

PERENCANAAN PELABUHAN



PERENCANAAN PELABUHAN

Bambang Triatmodjo

Beta Offset

PERENCANAAN PELABUHAN

Prof. Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, DEA
Dosen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruh isi dalam bentuk apapun, baik cetak, photoprint, microfilm dan sebagainya.

ISBN: 979 – 8541 – 04 – 9

Hak cipta © 2009 pada Beta Offset Yogyakarta
Diterbitkan oleh : Beta Offset Yogyakarta
Kavling Madukismo No. 28 Seturan Caturtunggal
Depok Sleman Yogyakarta 55281
Telp./Fax: (0274) 485512

PENGANTAR

Peran angkutan laut di Indonesia yang merupakan negara kepulauan adalah sangat penting. Angkutan barang melalui laut sangat efisien dibanding moda angkutan darat dan udara. Kapal mempunyai daya angkut yang jauh lebih besar daripada kendaraan darat dan udara. Hampir semua barang impor, ekspor dan muatan dalam jumlah sangat besar diangkut dengan menggunakan kapal laut. Untuk mendukung sarana angkutan laut diperlukan prasarana yang berupa pelabuhan, tempat berlabuh kapal untuk melakukan berbagai kegiatan seperti menaik-turunkan penumpang, bongkar muat barang, pengisian bahan bakar dan air tawar, melakukan reparasi, mengadakan perbekalan, dan sebagainya.

Sejak tahun 1987 penulis mengajar mata kuliah Pelabuhan di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pada awalnya bahan kuliah tersebut hanya berupa catatan kuliah, yang kemudian dirangkum dan disempurnakan sehingga akhirnya menjadi bentuk buku ini.

Tujuan penulisan buku ini adalah untuk mengisi kelangkaan kepustakaan dan dapat digunakan sebagai referensi untuk merencanakan pelabuhan serta sebagai buku pengangan bagi mahasiswa S1, S2 maupun para praktisi. Penulisan buku Perencanaan Pelabuhan ini dimaksudkan untuk memudahkan mahasiswa di dalam mengikuti kuliah Pelabuhan. Dengan adanya buku ini diharapkan mahasiswa akan bisa mempelajari lebih teratur dan mendalam materi yang diberikan dalam kuliah. Di samping itu mahasiswa juga akan bisa mempelajari terlebih dahulu materi yang akan diberikan, sehingga pada waktu kuliah akan lebih mudah menangkap penjelasan yang diberikan oleh pengajar.

Penyusunan buku ini didasarkan pada beberapa buku referensi seperti yang disajikan dalam daftar pustaka; pengalaman penulis di dalam

memberikan kuliah, penelitian dan melaksanakan beberapa pekerjaan yang terkait dengan masalah pelabuhan dan teknik pantai.

Bab I dari buku ini merupakan Pendahuluan yang memberikan gambaran secara umum tentang pelabuhan dan kapal. Bab II tentang Beberapa Tinjauan Dalam Perencanaan Pelabuhan berisi berbagai hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan pelabuhan. Bab III membahas angin, pasang surut dan gelombang, yang merupakan fenomena alam yang berpengaruh dalam perencanaan pelabuhan. Penjelasan mengenai masalah ini diberikan secara garis besar, sehingga bagi para pembaca yang ingin mengetahui lebih mendalam bisa mempelajari buku tentang teknik pantai atau oseanografi. Alur pelayaran dan kolam pelabuhan dipelajari dalam Bab IV. Tinjauan tentang berbagai tipe dan cara perencanaan pemecah gelombang dibahas dalam Bab V. Bab VI mempelajari berbagai macam dermaga dan dimensinya serta gaya-gaya yang bekerja pada dermaga. Dalam bab ini juga diberikan contoh perencanaan dermaga. Bab VII berisi penjelasan tentang fender dan alat penambat serta cara perencanaannya. Beberapa fasilitas pelabuhan di daratan dipelajari dalam Bab VIII; sedang Bab IX berisi penjelasan tentang alat-alat yang digunakan untuk memandu pelayaran. Bab X berisi pelayanan pelabuhan, yang membahas cara menentukan tingkat pelayanan dermaga, yang disertai contoh hitungannya. Bab XI menjelaskan pelabuhan ikan. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, beberapa bab dari buku ini dilengkapi dengan beberapa foto, contoh hitungan dan perencanaan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Majelis Guru Besar Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang memberikan bantuan dan dukungan atas terbitnya buku ini.

Disadari bahwa isi buku ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran, kritik dan koreksi, yang akan digunakan sebagai masukan bagi penyempurnaan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 11 Juni 2010

Bambang Triatmodjo

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada berbagai pihak, baik institusi maupun perorangan yang telah memberi ijin pemuatan gambar-gambar dan foto-foto dalam buku ini, yaitu :

1. PT Pelindo II
2. Terminal Peti Kemas Semarang
3. Pelabuhan Perikanan Samudra Cilacap
4. Dinas Perikanan dan Kelautan Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
5. PT Utama Karya
6. Ir. Nani Setiawan

Kami juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Para Penulis seperti yang tercantum dalam daftar pustaka, di mana karya tulisannya kami acu dalam penulisan buku ini.
2. Web site seperti tercantum sebagai sumber beberapa foto yang kami muat dalam buku ini.

Semoga amal Ibu dan Bapak mendapat balasan dari Allah SWT, dan semoga buku ini bermanfaat bagi Pembaca.

Hormat kami

Bambang Triatmodjo

DAFTAR ISI

PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Perkembangan Pelabuhan	1
1.2. Arti Penting Pelabuhan	2
1.3. Definisi Pelabuhan	3
1.4. Pelabuhan di Indonesia	4
1.5. Macam Pelabuhan	6
1.5.1. Ditinjau dari segi penyelenggaraannya	6
1.5.2. Ditinjau dari segi pengusahaannya	7
1.5.3. Ditinjau dari fungsi perdagangan nasional dan internasional	7
1.5.4. Ditinjau dari segi penggunaannya	9
1.5.5. Ditinjau menurut letak geografis	21
1.6. Kapal	26
1.6.1. Beberapa Definisi	26
1.6.2. Jenis kapal	27
1.6.3. Karakteristik kapal	36
BAB II. BEBERAPA TINJAUAN DALAM PERENCANAAN PELABUHAN	43
2.1. Pendahuluan	43
2.2. Persyaratan dan Perlengkapan Pelabuhan	45
2.3. Pemilihan Lokasi Pelabuhan	48

2.4. Tinjauan Hidro-oseanografi terhadap Bentuk Pelabuhan	50
2.4.1. Tinjauan pelayaran.....	51
2.4.2. Tinjauan gelombang	52
2.4.3. Tinjauan sedimentasi	53
2.4.4. Penentuan Tata Letak Pemecah Gelombang.....	58
2.5. Tata Letak Fasilitas Pelabuhan	59
2.6. Mulut Pelabuhan	62
BAB III. ANGIN, PASANG SURUT DAN GELOMBANG	65
3.1. Pendahuluan	65
3.2. Angin	66
3.3. Pasang Surut	69
3.3.1. Kurva pasang surut	72
3.3.2. Pembangkitan pasang surut	72
3.3.3. Beberapa tipe pasang surut	74
3.3.4. Pasang surut purnama dan perbani	75
3.3.5. Beberapa definisi elevasi muka air	78
3.3.6. Elevasi muka air rencana	80
3.4. Gelombang	80
3.4.1. Teori gelombang Airy	83
3.4.2. Refraksi gelombang	94
3.4.3. Difraksi gelombang	98
3.4.4. Hitungan difraksi gelombang	99
3.4.5. Gelombang laut dalam ekivalen	101
3.4.6. Refleksi gelombang	112
3.4.7. Gelombang pecah	114
3.4.8. Gelombang alam	118
3.4.9. Pembangkitan gelombang.....	123
3.4.10. Pemilihan gelombang rencana	126
3.4.11. Transpor sedimen pantai	129
3.4.12. Pengaruh pembangunan pelabuhan terhadap pantai di sekitarnya.....	132

BAB IV. ALUR PELAYARAN	141
4.1. Pendahuluan	141
4.2. Pemilihan Karakteristik Alur	145
4.3. Kedalaman Alur	147
4.4. Lebar Alur	152
4.5. Layout Alur Pelayaran	154
4.6. Kolam Pelabuhan	155
BAB V. PEMECAH GELOMBANG	159
5.1. Pendahuluan	159
5.2. Tipe Pemecah Gelombang	161
5.3. Pemecah Gelombang Sisi Miring	164
5.3.1. Stabilitas batu lapis pelindung	168
5.3.2. Dimensi pemecah gelombang sisi miring	170
5.3.3. Runup gelombang	176
5.4. Pemecah Gelombang Sisi Tegak	183
5.5. Pemecah Gelombang Campuran.....	185
5.6. Gaya Gelombang pada Dinding Vertikal.....	188
BAB VI. DERMAGA	195
6.1. Pendahuluan	195
6.2. Tipe Dermaga	196
6.3. Pemilihan Tipe Dermaga	208
6.4. Struktur Dermaga	204
6.4.1. Wharf.....	204
6.4.2. Pier.....	209
6.4.3. Jetty.....	211
6.5. Ukuran Dermaga	211
6.6. Gaya-gaya yang Bekerja pada Dermaga.....	217
6.6.1. Gaya sandar (<i>berthing forces</i>).....	217
6.6.2. Gaya tambat (<i>mooring forces</i>)	222
6.6.3. Contoh hitungan gaya standar dan tambat.....	224
6.7. Perencanaan Dermaga	226
6.7.1. Perencanaan dermaga dengan menggunakan software	227
6.7.2. Contoh perencanaan dermaga secara konvensional.....	238

BAB VII. FENDER DAN ALAT PENAMBAT	259	10.4. Penanganan Muatan	372
7.1. Pendahuluan	259	10.5. Kinerja Pelabuhan	375
7.2. Fender	259	10.6. Indikator Kinerja Pelabuhan	376
7.3. Perencanaan Fender	274	10.7. Nilai BOR	380
7.3.1. Prosedur perencanaan fender	275	10.8. <i>Berth Throughput</i>	383
7.3.2. Hubungan energi dan gaya	275	10.9. Kapasitas Terpasang	383
7.3.3. Posisi daerah yang dilindungi	277	10.10 Panjang Dermaga	384
7.3.4. Contoh perencanaan fender	280		
7.4. Alat Penambat	282	BAB XI. PELABUHAN IKAN	401
7.4.1. Bolder / alat pengikat	282	11.1. Pendahuluan	401
7.4.2. Pelampung penambat (<i>mooring buoy</i>)	284	11.2. Kelas Pelabuhan Perikanan	402
7.4.3. Perencanaan dolphin dengan software SAP2000	293	11.3. Tata Ruang Pelabuhan Perikanan	405
		11.4. Dermaga di Pelabuhan Perikanan	410
BAB VIII. FASILITAS PELABUHAN DI DARAT	303	11.5. Dasar Perencanaan Fasilitas Pelabuhan	412
8.1. Pendahuluan	303	11.5.1. Dermaga	412
8.2. Terminal Barang Umum (<i>General Cargo Terminal</i>)	306	11.5.2. Kolam Pelabuhan	414
8.3. Terminal Barang Curah (<i>Bulk Cargo Terminal</i>)	316	11.5.3. Tempat Pelelangan Ikan	419
8.4. Terminal Peti Kemas (<i>Container Terminal</i>)	323	11.6. Contoh Perencanaan Pelabuhan Ikan Baron	420
8.4.1. Penanganan peti kemas	324	11.6.1. Data Perencanaan	421
8.4.2. Fasilitas pada terminal peti kemas	331	11.6.2. Bentuk Pelabuhan	425
8.4.3. Sistem penanganan peti kemas di <i>container yard</i>	337	11.6.3. Perkiraan Armada Kapal dan Produk Ikan	426
8.4.4. Kebutuhan luas terminal peti kemas	341	11.6.4. Perencanaan Dermaga	427
8.4.5. Luas lapangan penumpukan peti kemas (<i>container yard</i>)	342	11.6.5. Kolam Pelabuhan	429
8.4.6. Kinerja peralatan penanganan peti kemas	343	11.6.6. Alur Pelayaran	432
		11.6.7. Kolam Pelabuhan Kapal Kecil	433
BAB IX. ALAT PEMANDU PELAYARAN	349	11.6.8. Kolam Pelabuhan	437
9.1. Pendahuluan	349	11.7. Pemecah Gelombang	438
9.2. Alat Pemandu Pelayaran di Pelabuhan	349		
9.3. Alat Pemandu Konstruksi Tetap	354	DAFTAR PUSTAKA	449
9.4. Alat Pemandu Pelayaran Konstruksi Terapung	358		
		LAMPIRAN-LAMPIRAN	455
BAB X. PELAYANAN PELABUHAN	365		
10.1. Pendahuluan	365		
10.2. Pemanduan dan Penundaan	366		
10.3. Labuh dan Tambat	370		

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Perkembangan Pelabuhan

Pada awalnya, pelabuhan hanya merupakan suatu tepian di mana kapal-kapal dan perahu-perahu dapat merapat dan bertambat untuk bisa melakukan bongkar muat barang, menaik-turunkan penumpang dan kegiatan lain. Untuk bisa melakukan kegiatan tersebut maka pelabuhan harus tenang terhadap gangguan gelombang, sehingga pada masa itu pelabuhan berada di tepi sungai, teluk atau pantai yang secara alami terlindung terhadap gangguan gelombang. Dengan berkembangnya kehidupan sosial dan ekonomi penduduk suatu daerah atau negara maka kebutuhan akan sandang, pangan dan fasilitas hidup lainnya meningkat. Hasil produksi suatu daerah baik yang berupa hasil bumi maupun industri semakin banyak sehingga diperlukan pemindahan atau pemasaran barang ke daerah lain. Dengan demikian diperlukan sarana dan prasarana pengangkutan yang lebih memadai. Kapal yang semula sederhana dan kecil, sesuai dengan berkembangnya teknologi meningkat menjadi kapal-kapal besar dengan teknologi lebih canggih. Bahkan kemudian berkembang kapal-kapal khusus yang disesuaikan dengan barang yang diangkut, seperti kapal barang umum (*general cargo ship*), kapal barang curah, kapal tanker, kapal peti kemas, kapal pengangkut gas alam cair (*LNG tanker*), kapal penumpang, kapal ferry, kapal ikan, kapal keruk, kapal perang, dan lain sebagainya. Sejalan dengan itu, pelabuhan sebagai prasarana angkutan laut juga berkembang. Pelabuhan tidak lagi harus berada di daerah ter-

lindung secara alami, tetapi bisa berada di laut terbuka, untuk mendapatkan perairan yang luas dan dalam, dengan membuat pemecah gelombang untuk melindungi daerah perairan. Tipe pelabuhan juga disesuaikan dengan kapal-kapal yang menggunakannya, sehingga ada pelabuhan barang, pelabuhan minyak, pelabuhan ikan, dan sebagainya. Daerah pelabuhan harus cukup luas yang menyediakan berbagai fasilitas untuk bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang.

1.2. Arti Penting Pelabuhan

Indonesia sebagai negara kepulauan/maritim, peranan pelayaran adalah sangat penting bagi kehidupan sosial, ekonomi, pemerintahan, pertahanan/keamanan, dan sebagainya. Bidang kegiatan pelayaran sangat luas yang meliputi angkutan penumpang dan barang, penjagaan pantai, hidrografi, dan masih banyak lagi jenis pelayaran lainnya.

Bidang kegiatan pelayaran dapat dibedakan menjadi dua yaitu pelayaran niaga dan bukan niaga. Pelayaran niaga adalah usaha pengangkutan barang, terutama barang dagangan, melalui laut antar pulau atau pelabuhan. Pelayaran bukan niaga meliputi pelayaran kapal patroli, survai kelautan, dan sebagainya.

Kapal sebagai sarana pelayaran mempunyai peran sangat penting dalam sistem angkutan laut. Hampir semua barang impor, ekspor dan muatan dalam jumlah sangat besar diangkut dengan menggunakan kapal laut, walaupun di antara tempat-tempat di mana pengangkutan dilakukan terdapat fasilitas angkutan lain yang berupa angkutan darat dan udara. Hal ini mengingat bahwa kapal mempunyai kapasitas yang jauh lebih besar daripada sarana angkutan lainnya. Sebagai contoh pengangkutan minyak yang mencapai puluhan bahkan ratusan ribu ton, apabila harus diangkut dengan truk tangki diperlukan ribuan kendaraan dan tenaga kerja. Misalnya kapal tanker 10.000 DWT bisa mengangkut minyak 10.000 ton atau sekitar 12.000.000 liter yang setara dengan 1000 truk gandeng dengan kapasitas 12.000 liter. Dengan demikian untuk muatan dalam jumlah besar, angkutan dengan kapal akan memerlukan waktu lebih singkat, tenaga kerja lebih sedikit dan biaya lebih murah. Selain itu untuk angkutan barang antar pulau atau negara, kapal merupakan satu-satunya sarana yang paling sesuai.

Untuk mendukung sarana angkutan laut tersebut diperlukan prasarana yang berupa pelabuhan. Pelabuhan merupakan tempat pemberhentian (terminal) kapal setelah melakukan pelayaran. Di pelabuhan ini kapal melakukan berbagai kegiatan seperti menaik-turunkan penumpang, bongkar muat barang, pengisian bahan bakar dan air tawar, melakukan reparasi, mengadakan perbekalan, dan sebagainya. Untuk bisa melaksanakan berbagai kegiatan tersebut pelabuhan harus dilengkapi dengan fasilitas seperti pemecah gelombang, dermaga, peralatan tambatan, peralatan bongkar muat barang, gudang-gudang, lapangan untuk menimbun barang, perkantoran baik untuk pengelola pelabuhan maupun untuk maskapai pelayaran, ruang tunggu bagi penumpang, perlengkapan pengisian bahan bakar dan penyediaan air bersih, dan lain sebagainya. Dalam bab-bab selanjutnya dari buku ini akan dijelaskan berbagai fasilitas penting dari suatu pelabuhan.

1.3. Definisi Pelabuhan

Pelabuhan (*port*) adalah daerah perairan yang terlindung terhadap gelombang, yang dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga di mana kapal dapat bertambat untuk bongkar muat barang, kran-kran (*crane*) untuk bongkar muat barang, gudang laut (*transito*) dan tempat-tempat penyimpanan di mana kapal membongkar muatannya, dan gudang-gudang di mana barang-barang dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama selama menunggu pengiriman ke daerah tujuan atau pengapalan. Terminal ini dilengkapi dengan jalan kereta api dan/atau jalan raya.

Pelabuhan merupakan suatu pintu gerbang untuk masuk ke suatu wilayah atau negara dan sebagai prasarana penghubung antar daerah, antar pulau atau bahkan antar negara, benua dan bangsa. Dengan fungsinya tersebut maka pembangunan pelabuhan harus dapat dipertanggungjawabkan baik secara sosial ekonomis maupun teknis.

Pelabuhan mempunyai daerah pengaruh (*hinterland*), yaitu daerah yang mempunyai kepentingan hubungan ekonomi, sosial dan lain-lain dengan pelabuhan tersebut. Misalnya Jawa Barat dan bahkan Indonesia merupakan daerah pengaruh dari Pelabuhan Tanjung Priok, atau Pelabuhan Makasar mempunyai daerah pengaruh yang berupa pulau-pulau dan laut-laut di sekitarnya. Barang-barang import, misalnya mobil masuk ke Indonesia melalui Pelabuhan Tanjung Priok yang selanjutnya akan didistribusikan ke seluruh wilayah Indonesia.

Selain untuk kepentingan sosial dan ekonomi, ada pula pelabuhan yang dibangun untuk kepentingan pertahanan. Pelabuhan ini dibangun untuk tegaknya suatu negara. Dalam hal ini pelabuhan disebut dengan pangkalan angkatan laut atau pelabuhan militer.

1.4. Pelabuhan di Indonesia

Indonesia sebagai negara kepulauan mempunyai lebih dari 13.000 pulau dan wilayah pantai sepanjang 80.000 km atau dua kali keliling dunia melalui katulistiwa. Kegiatan pelayaran sangat diperlukan untuk menghubungkan antar pulau, pemberdayaan sumberdaya kelautan, penjagaan wilayah laut, penelitian kelautan, dan sebagainya. Salah satu kegiatan pelayaran terpenting adalah pelayaran niaga, yang dapat dibedakan menjadi pelayaran lokal, pelayaran pantai dan pelayaran samudra. Pada pelayaran lokal, pelayaran hanya bergerak dalam batas daerah tertentu di dalam suatu propinsi di Indonesia, atau dalam dua propinsi yang berbatasan. Sebagai contoh adalah pelayaran di wilayah kepulauan Riau, pelayaran antara pelabuhan Panjang di Propinsi Lampung dan Merak di Jawa Barat. Luas wilayah operasi pelayaran lokal tidak melebihi 200 mil. Kapal-kapal yang digunakan adalah kapal kecil dan biasanya kurang dari 200 DWT. Pelayaran pantai, yang juga disebut pelayaran antar pulau atau pelayaran Nusantara, mempunyai wilayah operasi di seluruh perairan Indonesia. Pelayaran Samudra adalah pelayaran yang beroperasi dalam perairan internasional, dengan membawa barang-barang ekspor dan impor dari satu negara ke negara lain. Selain ketiga jenis pelayaran tersebut, terdapat pelayaran rakyat sebagai usaha rakyat yang bersifat tradisional yang merupakan bagian dari usaha angkutan di perairan. Pelayaran ini menggunakan kapal-kapal kecil. Wilayah operasinya adalah di seluruh perairan Indonesia.

Sehubungan dengan jenis pelayaran niaga tersebut, maka pelabuhan sebagai prasarana angkutan laut juga disesuaikan. Ditinjau dari fungsinya dalam perdagangan nasional dan internasional pelabuhan dibedakan menjadi dua macam yaitu pelabuhan laut dan pelabuhan pantai. Pelabuhan laut bebas dimasuki oleh kapal-kapal asing. Pelabuhan ini banyak dikunjungi oleh kapal-kapal samudra dengan ukuran yang besar. Pelabuhan laut juga sering disebut dengan pelabuhan samudra. Pelabuhan pantai hanya digunakan untuk perdagangan dalam negeri sehingga tidak bebas disinggahi oleh kapal-kapal asing, kecuali dengan ijin.

Sesuai dengan jenis dan ukuran kapal yang singgah di pelabuhan dan tingkat perkembangan daerah yang tidak sama, maka Pemerintah telah melakukan kebijaksanaan dalam pengembangan jaringan sistem pelayanan angkutan laut dan kepelabuhanan yang didasarkan pada *4th Gate Way Ports System*. Dalam kaitannya dengan hal tersebut di atas, dikenal adanya penggolongan pelabuhan sebagai berikut ini.

1. *Gate Way Port*, yang terdiri dari pelabuhan berikut :

- | | |
|------------------|------------------|
| a. Tanjung Priok | c. Belawan |
| b. Tanjung Perak | d. Ujung Pandang |

2. *Regional Collector Port*, yang terdiri dari pelabuhan berikut :

- | | | |
|-----------------|---------------|-----------------|
| a. Teluk Bayur, | f. Pontianak, | k. Lhok Seumawe |
| b. Palembang, | g. Cirebon, | l. Sorong |
| c. Balikpapan, | h. Panjang, | m. Bitung |
| d. Dumai, | i. Ambon , | n. Semarang |
| e. Lembar, | j. Kendari, | |

3. *Trunk Port*, yang dibedakan menjadi dua kategori :

- Kategori I :

- | | | |
|-----------------|-----------------|--------------|
| a. Banjarmasin, | f. Donggala, | k. Jayapura |
| b. Samarinda, | g. Tenau, | l. Gorontalo |
| c. Meneng, | h. Ternate, | m. Bengkulu |
| d. Cilacap, | i. Krueng Raya, | n. Batam |
| e. Tarakan, | j. Sibolga, | |

- Kategori II

- | | | |
|------------------|---------------|--------------|
| a. Kuala Langsa, | e. Jambi, | i. Merauke |
| b. Sampit, | f. Pare-Pare, | j. Toli-Toli |
| c. Bena, | g. Sintete, | k. Kalianget |
| d. Pakanbaru, | h. Biak , | |

4. *Feeder Port*

Pelabuhan ini merupakan pelabuhan kecil dan perintis yang jumlahnya lebih dari 250 buah di seluruh Indonesia. Pelabuhan ini melayani pelayaran di daerah-daerah terpencil. Pelabuhan perintis ini dimaksudkan untuk membuka kegiatan ekonomi daerah terpencil, seperti di wilayah barat Sumatra, Nusa Tenggara Barat dan Timur, Maluku dan Irian Jaya.

Meskipun konsep *4th Gate Way Ports System* telah dicanangkan, namun konsep tersebut belum bisa diimplementasikan. Sampai saat ini banyak pelabuhan yang terbuka untuk perdagangan luar negeri, sehingga Indonesia mempunyai banyak pintu gerbang.

1.5. Macam Pelabuhan

Pelabuhan dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada sudut tinjauannya, yaitu dari segi penyelenggaraannya, pengusaannya, fungsi dalam perdagangan nasional dan internasional, segi kegunaan dan letak geografisnya.

1.5.1. Ditinjau dari segi penyelenggaraannya

1. Pelabuhan umum

Pelabuhan umum diselenggarakan untuk kepentingan pelayanan masyarakat umum. Penyelenggaraan pelabuhan umum dilakukan oleh Pemerintah dan pelaksanaannya dapat dilimpahkan kepada badan usaha milik negara yang didirikan untuk maksud tersebut. Di Indonesia dibentuk empat badan usaha milik negara yang diberi wewenang mengelola pelabuhan umum diusahakan. Keempat badan usaha tersebut adalah PT (Persero) Pelabuhan Indonesia I berkedudukan di Medan, Pelabuhan Indonesia II berkedudukan di Jakarta, Pelabuhan Indonesia III berkedudukan di Surabaya dan Pelabuhan Indonesia IV berkedudukan di Ujung Pandang. Pembagian wilayah pengelolaan dapat dilihat dalam Gambar 1.1.

2. Pelabuhan Khusus

Pelabuhan khusus diselenggarakan untuk kepentingan sendiri guna menunjang kegiatan tertentu. Pelabuhan ini tidak boleh digunakan untuk kepentingan umum, kecuali dalam keadaan tertentu dengan ijin Pemerintah. Pelabuhan khusus dibangun oleh suatu perusahaan baik pemerintah maupun swasta, yang berfungsi untuk prasarana pengiriman hasil produksi perusahaan tersebut. Sebagai contoh adalah Pelabuhan LNG Arun di Aceh yang digunakan untuk mengirimkan hasil produksi gas alam cair ke daerah atau negara lain. Pelabuhan Pabrik Aluminium Asahan di Kuala Tanjung Sumatra Utara digunakan untuk melayani import bahan baku bouksit dan export aluminium ke daerah/negara lain.

1.5.2. Ditinjau dari segi pengusaannya

1. Pelabuhan yang diusahakan

Pelabuhan ini sengaja diusahakan untuk memberikan fasilitas-fasilitas yang diperlukan oleh kapal yang memasuki pelabuhan untuk melakukan kegiatan bongkar muat barang, menaik-turunkan penumpang serta kegiatan lainnya. Pemakaian pelabuhan ini dikenakan biaya-biaya, seperti biaya jasa labuh, jasa tambat, jasa pemanduan, jasa penundaan, jasa pelayanan air bersih, jasa dermaga, jasa penumpukan, bongkar-muat, dan sebagainya.

2. Pelabuhan yang tidak diusahakan

Pelabuhan ini hanya merupakan tempat singgahan kapal, tanpa fasilitas bongkar-muat, bea cukai, dan sebagainya. Pelabuhan ini merupakan pelabuhan kecil yang disubsidi oleh Pemerintah, dan dikelola oleh Unit Pelaksana Teknis Direktorat Jendral Perhubungan Laut.

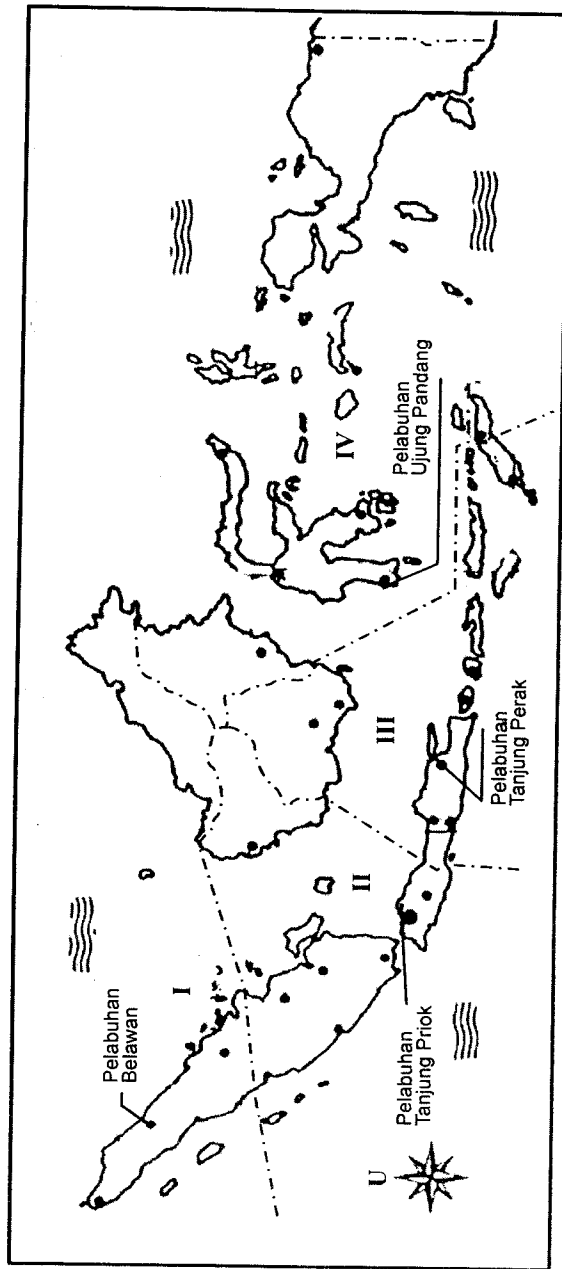
1.5.3. Ditinjau dari fungsi perdagangan nasional dan internasional

1. Pelabuhan laut

Pelabuhan laut adalah pelabuhan yang bebas dimasuki oleh kapal-kapal berbendera asing. Pelabuhan ini biasanya merupakan pelabuhan utama di suatu daerah yang dilabui kapal-kapal yang membawa barang untuk ekspor/impur secara langsung ke dan dari luar negeri. Di Indonesia terdapat lebih dari seratus pelabuhan seperti ini. Contohnya adalah Pelabuhan Gorontalo, Pelabuhan Tarakan, Tanjung Mas Semarang, Tanjung Intan Cilacap, dan masih banyak lagi.

2. Pelabuhan pantai

Pelabuhan pantai ialah pelabuhan yang disediakan untuk perdagangan dalam negeri dan oleh karena itu tidak bebas disinggahi oleh kapal berbendera asing. Kapal asing dapat masuk ke pelabuhan ini dengan meminta ijin terlebih dulu.



Gambar 1.1. Wilayah pengelolaan pelabuhan di Indonesia

1.5.4. Ditinjau dari segi penggunaannya

1. Pelabuhan ikan

Pelabuhan ikan menyediakan tempat bagi kapal-kapal ikan untuk melakukan kegiatan penangkapan ikan dan memberikan pelayanan yang diperlukan. Berbeda dengan pelabuhan umum di mana semua kegiatan seperti bongkar muat barang, pengisian perbekalan, perawatan dan perbaikan ringan yang dilakukan di dermaga yang sama; pada pelabuhan ikan sarana dermaga disediakan secara terpisah untuk berbagai kegiatan. Hal ini mengingat bahwa hasil tangkapan ikan adalah produk yang mudah busuk sehingga perlu penanganan secara cepat. Di samping itu jumlah kapal yang berlabuh di pelabuhan bisa cukup banyak sehingga penggunaan fasilitas pelabuhan, terutama dermaga harus dilakukan seefisien mungkin. Pelabuhan ikan dilengkapi dengan berbagai fasilitas untuk mendukung kegiatan penangkapan ikan dan kegiatan-kegiatan pendukungnya, seperti pemecah gelombang, kantor pelabuhan, dermaga, tempat pelelangan ikan (TPI), tangki air, tangki BBM, pabrik es, ruang pendingin, tempat pelayanan/perbaikan kapal, dan tempat penjemuran jala.

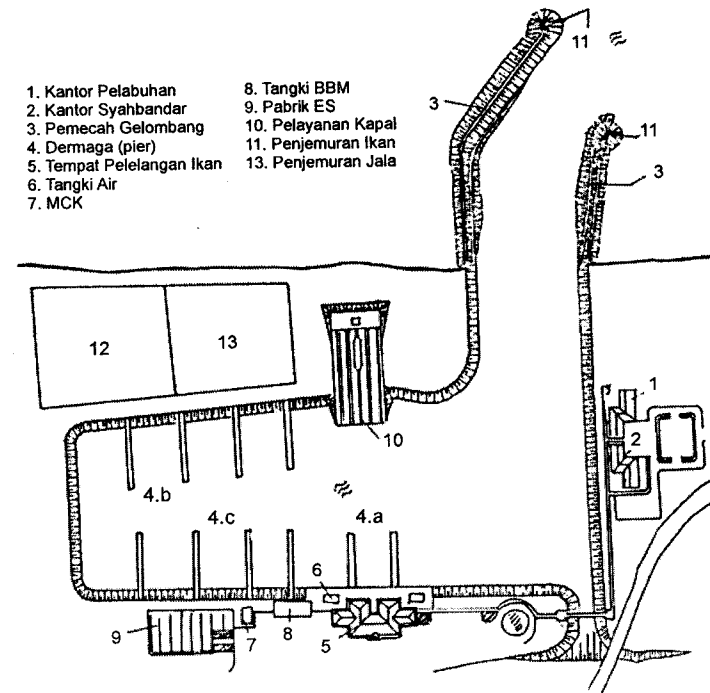
Untuk bisa memberikan pelayanan hasil penangkapan ikan dengan cepat, maka dermaga pada pelabuhan ikan dibedakan menjadi tiga macam, yaitu 1) dermaga bongkar, 2) dermaga tambat dan 3) dermaga perbekalan. Fungsi dari masing-masing dermaga dijelaskan berikut ini.

1. Dermaga Bongkar. Dermaga ini digunakan oleh kapal-kapal yang baru datang dari melaut untuk membongkar hasil tangkapan ikan. Setelah merapat ke dermaga, ikan harus segera dibongkar dan langsung dibawa ke TPI (tempat pelelangan ikan) yang letaknya tidak jauh dari dermaga bongkar. Di TPI ikan hasil tangkapan dilelang. Agar dermaga bongkar dapat digunakan lagi oleh kapal yang datang berikutnya, setelah semua hasil tangkapan ikan diangkat ke TPI, kapal segera meninggalkan dermaga bongkar menuju dermaga tambat.
2. Dermaga Tambat. Di dermaga ini kapal ditambatkan dan ABK (anak buah kapal) pulang ke rumah untuk beristirahat setelah selama satu minggu atau bahkan lebih berada di laut untuk menangkap ikan. Selama berada di dermaga tambat dilakukan perawatan kapal dan perawatan serta perbaikan alat penangkap ikan. Di dermaga ini ABK melakukan persiapan untuk melaut berikutnya. Di dekat dermaga tambat disediakan lahan untuk penjemuran jaring dan bangunan untuk men-

jurai dan memperbaiki jaring, serta tempat untuk penyimpanan alat tangkap dan suku cadang.

3. Dermaga Perbekalan. Ketika nelayan akan melaut lagi, kapal yang ditambatkan di dermaga tambat dibawa ke dermaga perbekalan untuk mempersiapkan bekal yang akan dibawa melaut. Bahan pokok yang disiapkan untuk melaut adalah bahan makanan, air tawar, bahan bakar minyak, dan es. Setelah semua perbekalan disiapkan, selanjutnya kapal meninggalkan dermaga dan melaut lagi.

Gambar 1.2. adalah contoh pelabuhan ikan Cilacap. Pelabuhan Ikan Cilacap berada di pantai Teluk Penyus dan menghadap ke Samudra Indonesia dengan gelombang cukup besar. Pelabuhan tersebut merupakan pelabuhan dalam yang dibuat dengan mengeruk daerah daratan untuk digunakan sebagai perairan pelabuhan. Dengan membuat kolam pelabuhan di daerah darat, akan dapat mengurangi panjang pemecah gelombang. Tetapi, dengan demikian dibutuhkan pengerukan yang lebih besar. Pemecah gelombang dibuat dari tumpukan batu dengan lapis pelindung dari tetrapod. Biaya pembuatan pemecah gelombang di laut dengan gelombang besar adalah sangat mahal. Pemecah gelombang ini hanya berfungsi untuk melindungi mulut pelabuhan (bukan perairan pelabuhan) sehingga bisa lebih pendek dan murah. Pelabuhan ini direncanakan dapat menampung 250 kapal dengan ukuran kapal maksimum 100 GRT. Kedalaman pelabuhan adalah 3,0 m. Produksi ikan yang diharapkan adalah 36 ton/hari. Fasilitas-fasilitas yang ada pada pelabuhan ini adalah kantor pelabuhan, kantor syahbandar, pemecah gelombang, dermaga (pier/jetty), tempat pelelangan ikan, penyediaan air tawar, persediaan bahan bakar minyak, pabrik es, tempat pelayanan/repairasi kapal (*slipway*), rambu suar, tempat penjemuran ikan dan perawatan jala. Dalam Gambar 1.2., fasilitas 4.a adalah dermaga bongkar, 4.b adalah dermaga tambat dan 4.c adalah dermaga perbekalan. Pelabuhan Perikanan Cilacap dibangun pada tahun 1993. Gambar 1.3. adalah foto Pelabuhan Ikan Cilacap.



Gambar 1.2. Pelabuhan ikan Cilacap



(Atas Ijin PPS Cilacap)

Gambar 1.3. Pelabuhan Perikanan Samudra Cilacap (ijin PPS Cilacap)

2. Pelabuhan Minyak

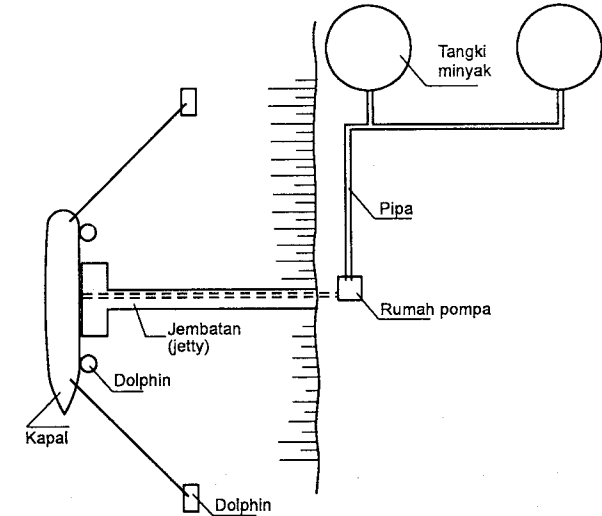
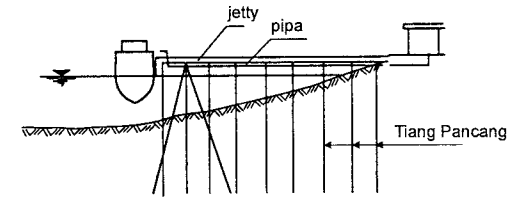
Untuk keamanan, pelabuhan minyak harus diletakkan agak jauh dari keperluan umum. Pelabuhan minyak biasanya tidak memerlukan dermaga atau pangkalan yang harus dapat menahan muatan vertikal yang besar, melainkan cukup membuat jembatan perancah atau tambatan yang dibuat menjorok ke laut untuk mendapatkan kedalaman air yang cukup besar. Bongkar muat dilakukan dengan pipa-pipa dan pompa-pompa. Gambar 1.4. adalah contoh pelabuhan minyak, sedang Gambar 1.5. adalah foto jetty/dermaga yang menjorok ke laut untuk bertambat kapal tanker .

Pipa-pipa penyalur diletakkan di bawah jembatan agar lalu lintas di atas jembatan tidak terganggu. Tetapi pada tempat-tempat di dekat kapal yang merapat, pipa-pipa dinaikkan ke atas jembatan guna memudahkan penyambungan pipa-pipa. Biasanya di jembatan tersebut juga ditempatkan pipa uap untuk membersihkan tangki kapal dan pipa air untuk suplai air tawar. Untuk menghindari benturan antara dermaga dengan kapal, dibuat *breasting dolphin* yang digunakan untuk menahan benturan kapal dan *mooring dolphin* untuk menambatkan kapal.

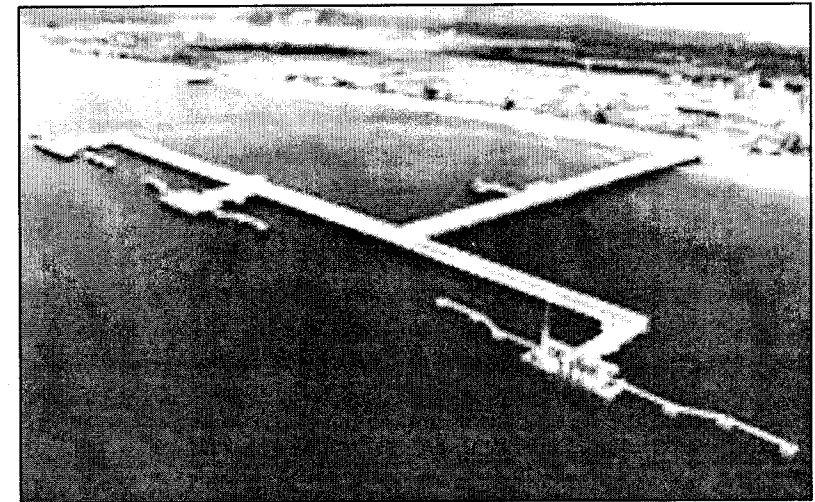
Perkembangan ukuran kapal tanker yang cukup pesat mempunyai konsekuensi draft kapal melampaui kedalaman air di depan jetty/dermaga sehingga kapal tidak bisa berlabuh. Untuk itu kapal tanker dengan ukuran besar ditambatkan pada sarana tambat yang spesifik yaitu SPM (*Single Point Mooring*) yaitu suatu tambatan berupa pelampung yang berada di lepas pantai, yang berfungsi sekaligus sebagai sarana bongkar muat. Melalui SPM ini minyak yang ada di tanker dibongkar serta dialirkan ke tangki minyak yang berada di darat melalui pipa bawah laut. Gambar 1.6. adalah sket dan foto bentuk SPM.

3. Pelabuhan Barang

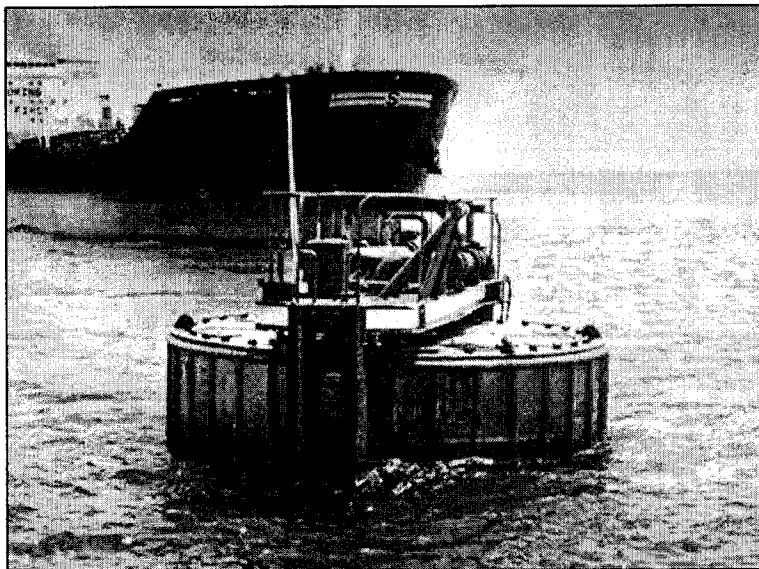
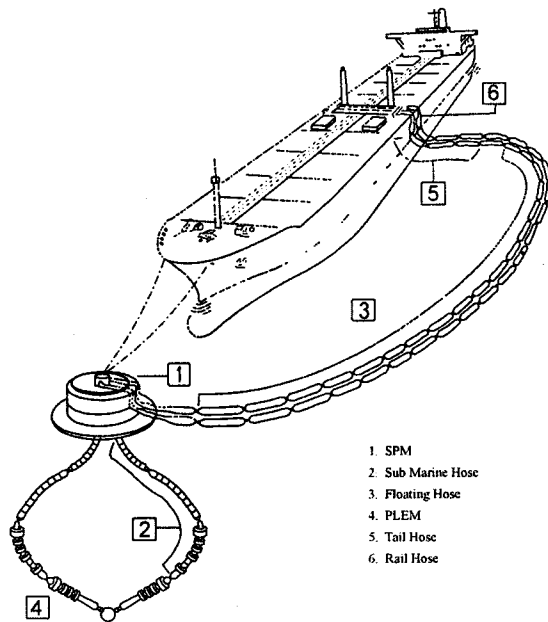
Di pelabuhan ini terjadi perpindahan moda transportasi, yaitu dari angkutan laut ke angkutan darat dan sebaliknya. Barang di bongkar dari kapal dan diturunkan di dermaga. Selanjutnya barang tersebut diangkut langsung dengan menggunakan truk atau kereta api ke tempat tujuan, atau disimpan di gudang atau lapangan penumpukan terbuka sebelum di kirim ke tempat tujuan. Demikian pula sebaliknya, barang-barang dari pengirim ditempatkan di gudang atau lapangan penumpukan sebelum dimuat ke kapal dan diangkut ke pelabuhan tujuan.



Gambar 1.5. Pelabuhan minyak



Gambar 1.5. Jetty kapal tanker



Sumber : <http://aviation.pertamina.com>

Gambar 1.6. SPM (Single Point Mooring)

Untuk mendukung kegiatan tersebut, suatu pelabuhan harus dilengkapi dengan fasilitas berikut ini.

- a. Dermaga di mana kapal akan bertambat dan melakukan kegiatan bongkar muat barang. Panjang dermaga harus cukup untuk menampung seluruh panjang kapal atau setidaknya-tidaknya 80 % dari panjang kapal. Hal ini disebabkan karena muatan dibongkar muat melalui bagian muka, belakang dan tengah kapal.
- b. Mempunyai halaman dermaga yang cukup lebar untuk keperluan bongkar muat barang. Barang yang akan dimuat disiapkan di atas dermaga dan kemudian diangkat dengan kran masuk kapal. Demikian pula pembongkarannya dilakukan dengan kran dan barang diletakkan di atas dermaga yang kemudian diangkat ke gudang.
- c. Mempunyai gudang transito (gudang lini I) dan lapangan penumpukan terbuka serta gudang penyimpanan.
- d. Tersedia jalan raya dan/atau jalan kereta api untuk pengangkutan barang dari pelabuhan ke tempat tujuan dan sebaliknya.
- e. Peralatan bongkar muat untuk membongkar muatan dari kapal ke dermaga dan sebaliknya serta untuk mengangkut barang ke gudang dan lapangan penumpukan.

Penanganan muatan di pelabuhan dilakukan di terminal pengapalan yang penanganannya tergantung pada jenis muatan yang diangkut. Jenis muatan dapat dibedakan menjadi tiga jenis berikut ini.

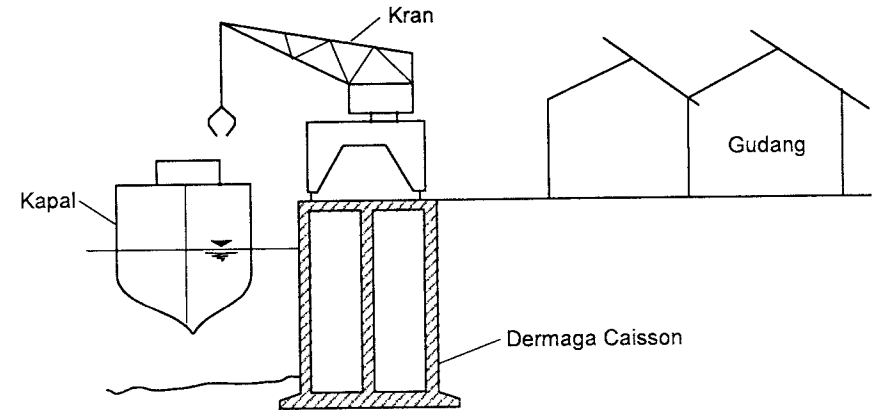
1. Barang umum (*general cargo*) yaitu barang-barang yang dikirim dalam bentuk satuan seperti mobil, truk, mesin, dan barang-barang yang dibungkus dalam peti, karung, drum, dan sebagainya.
2. Muatan curah/lepas (*bulk cargo*) yang dapat dibedakan menjadi muatan curah kering berupa butiran padat seperti tepung, pasir, semen, batu bara, beras, jagung, gandum dan sebagainya dan muatan curah cair seperti air, minyak bumi, minyak nabati, dsb.
3. Peti kemas (*container*), adalah suatu kotak besar berbentuk empat persegi panjang yang digunakan sebagai tempat untuk mengangkut sejumlah barang. Peti kemas mempunyai ukuran yang telah distandarisasi. Ukuran peti kemas dibedakan dalam 2 macam yaitu:
 - a. Peti kemas 20 kaki yang biasa disebut 20 footer container berukuran $8 \times 8 \times 20 \text{ ft}^3$

- b. Peti kemas 40 kaki yang biasa disebut 40 *footer container* berukuran $8 \times 8 \times 40 \text{ ft}^3$

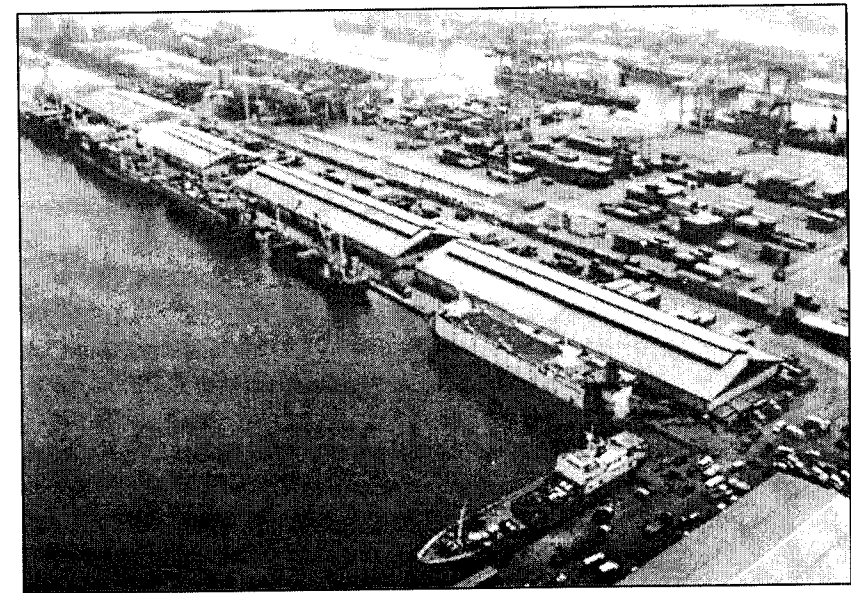
Gambar 1.6. dan 1.7. adalah contoh pelabuhan barang umum. Di belakang dermaga terdapat gudang lini I yang digunakan untuk menyimpan barang setelah dibongkar dari kapal atau sebelum diangkut dengan kapal. Gambar 1.8. adalah skema terminal peti kemas, sedang Gambar 1.9. adalah contoh terminal peti kemas yang bongkar muat peti kemas dilakukan dengan menggunakan kran darat. Kran darat (*quai gantry crane*) berada di atas rel yang dapat bergerak di sepanjang dermaga. Beberapa pelabuhan di Indonesia telah dilengkapi dengan *quai gantry crane* seperti Pelabuhan Tanjung Priok, Tanjung Mas, Tanjung Perak, Belawan, Makassar dan Panjang di Lampung. Pada pelabuhan yang belum dilengkapi dengan *quai gantry crane*, bongkar muat peti kemas dilakukan dengan menggunakan kran kapal. Gambar 1.10. dan 1.11. adalah contoh terminal barang curah padat. Penanganan muatan curah kering dengan menggunakan *belt conveyor*, sedangkan pembongkaran barang curah kering dapat ditangani dengan *crane* yang dilengkapi dengan *grab/clamshell* dan diangkut melalui *belt conveyor*.

4. Pelabuhan Penumpang

Pelabuhan/terminal penumpang digunakan oleh orang-orang yang bepergian dengan menggunakan kapal penumpang. Terminal penumpang dilengkapi dengan stasiun penumpang yang melayani segala kegiatan yang berhubungan dengan kebutuhan orang yang bepergian, seperti ruang tunggu, kantor maskapai pelayaran, tempat penjualan tiket, mushala, toilet, kantor imigrasi, kantor bea cukai, keamanan, direksi pelabuhan, dan sebagainya. Barang-barang yang perlu dibongkar muat tidak begitu banyak, sehingga gudang barang tidak perlu besar. Untuk kelancaran masuk keluarnya penumpang dan barang, sebaiknya jalan masuk/keluar dipisahkan. Penumpang melalui lantai atas dengan menggunakan jembatan langsung ke kapal, sedang barang-barang melalui dermaga. Pada pelabuhan dengan tinggi pasang surut besar, dibuat jembatan apung yang digunakan oleh penumpang untuk masuk ke kapal dan sebaliknya. Gambar 1.12. dan 1.13. adalah contoh pelabuhan penumpang.

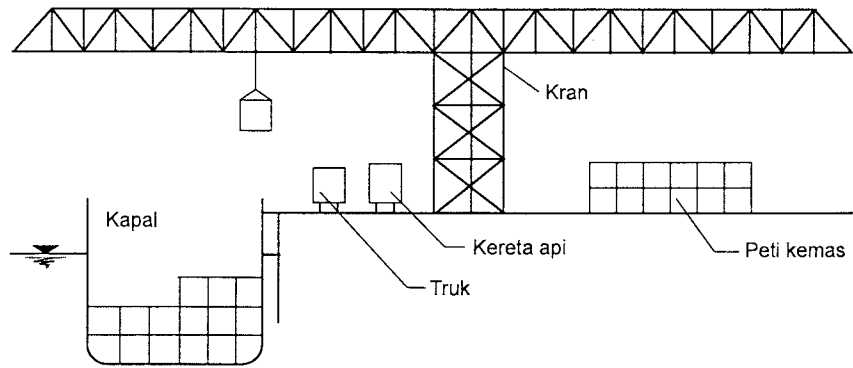


Gambar 1.6. Sket terminal barang umum

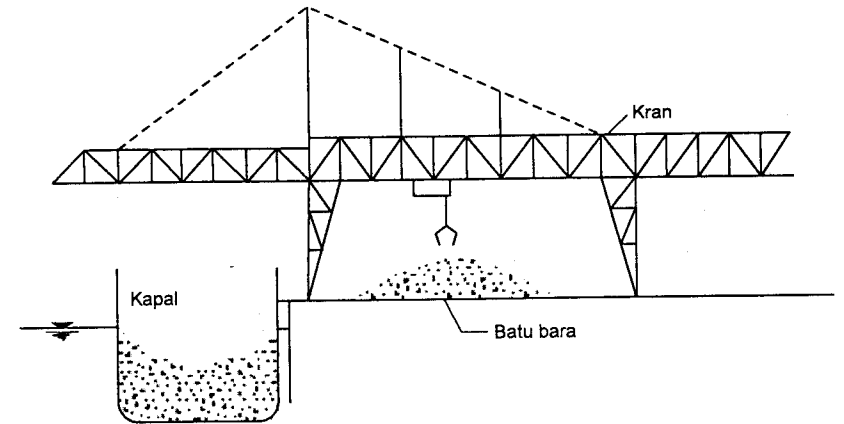


(Atas Ijin PT Pelindo II)

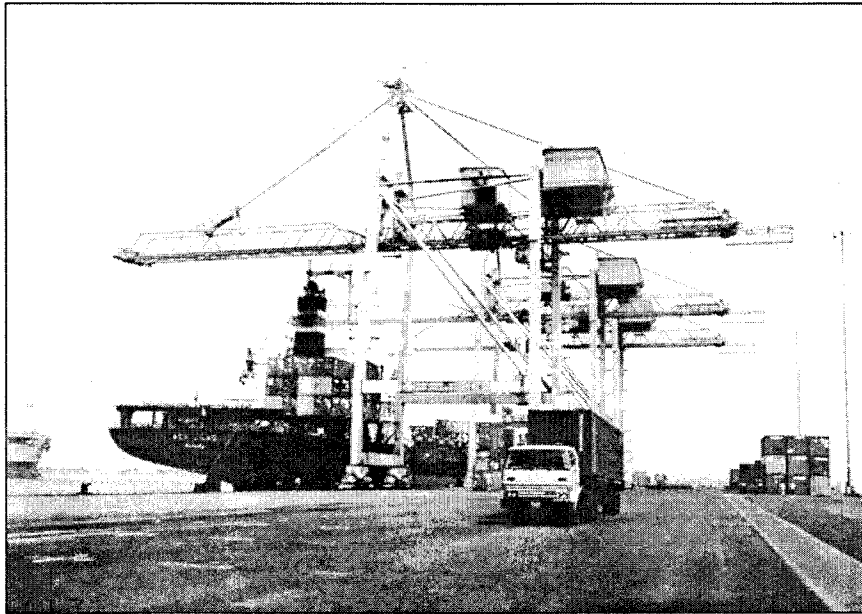
Gambar 1.7. Terminal barang umum Pelabuhan Tanjung Priok



Gambar 1.8. Sket terminal peti kemas

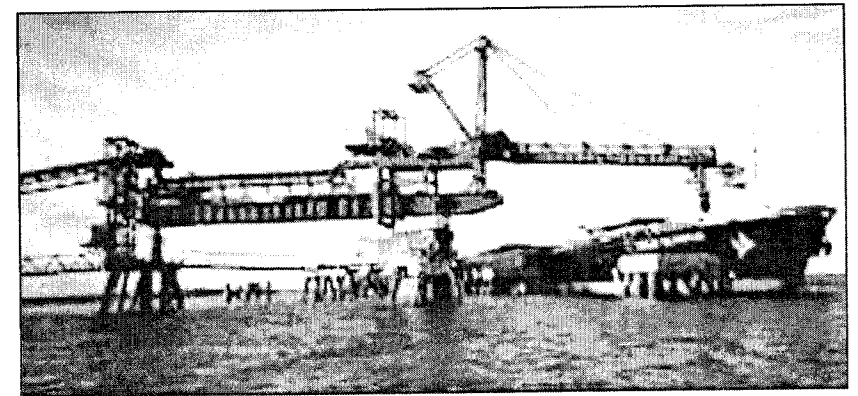


Gambar 1.10. Sket terminal barang curah padat

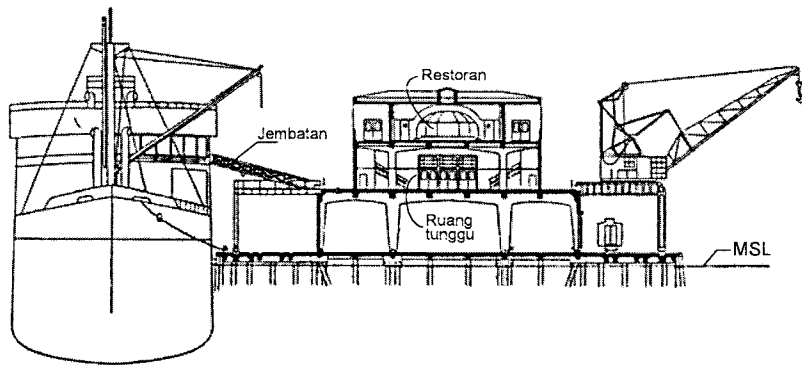


(Atas Ijin PT Pelindo II)

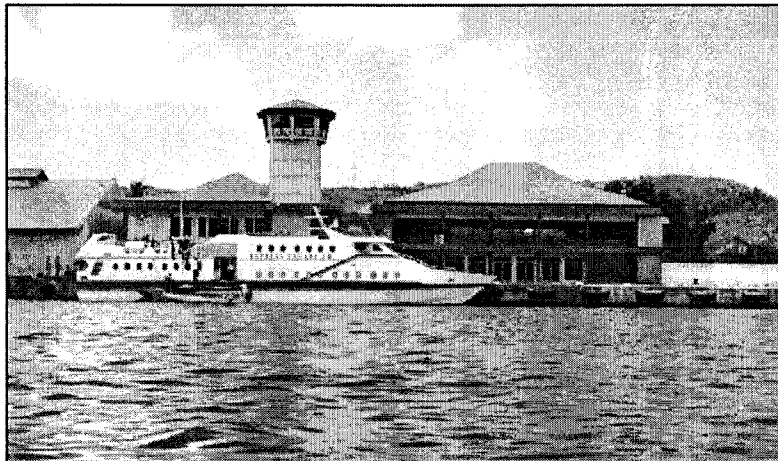
Gambar 1.9. Terminal peti kemas Pelabuhan Tanjung Priok



Gambar 1.11. Terminal barang curah padat



Gambar 1.12. Pelabuhan penumpang



Gambar 1.13. Pelabuhan penumpang di Ambon

5. Pelabuhan Campuran

Pada umumnya pencampuran pemakaian ini terbatas untuk penumpang dan barang, sedang untuk keperluan minyak dan ikan biasanya tetap terpisah. Tetapi bagi pelabuhan kecil atau masih dalam taraf perkembangan, keperluan untuk bongkar muat minyak juga menggunakan dermaga atau jembatan yang sama guna keperluan barang dan penumpang. Pada dermaga dan jembatan juga diletakkan pipa-pipa untuk mengalirkan minyak.

6. Pelabuhan Militer

Pelabuhan ini mempunyai daerah perairan yang cukup luas untuk memungkinkan gerakan cepat kapal-kapal perang dan agar letak bangunan cukup terpisah. Konstruksi tambatan maupun dermaga hampir sama dengan pelabuhan barang, hanya saja situasi dan perlengkapannya agak lain. Pada pelabuhan barang letak/kegunaan bangunan harus seefisien mungkin, sedang pada pelabuhan militer bangunan-bangunan pelabuhan harus dipisah-pisah yang letaknya agak berjauhan.

1.5.5. Ditinjau menurut letak geografis

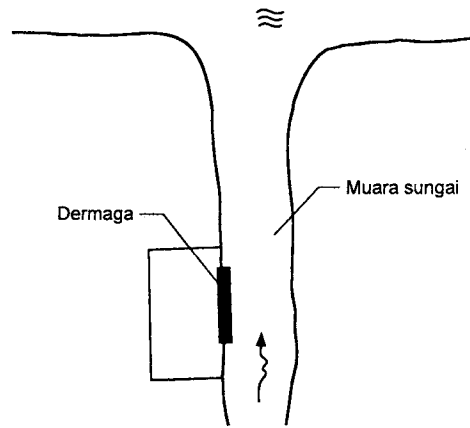
Menurut letak geografisnya, pelabuhan dapat dibedakan menjadi pelabuhan alam, semi alam atau buatan.

1. Pelabuhan alam

Pelabuhan alam merupakan daerah perairan yang terlindungi dari badai dan gelombang secara alami, misalnya oleh suatu pulau, jazirah atau terletak di teluk, estuari atau muara sungai. Di daerah ini pengaruh gelombang sangat kecil. Pelabuhan Cilacap merupakan contoh pelabuhan alam yang daerah perairannya terlindungi dari pengaruh gelombang, yaitu oleh Pulau Nusakambangan. Contoh dari pelabuhan alam lainnya adalah pelabuhan Palembang, Belawan, Pontianak, New York, San Fransisco, London, dsb., yang terletak di estuari dan muara sungai. Estuari adalah bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Gambar 1.14. dan 1.15. adalah contoh pelabuhan yang berada di muara sungai.

2. Pelabuhan buatan

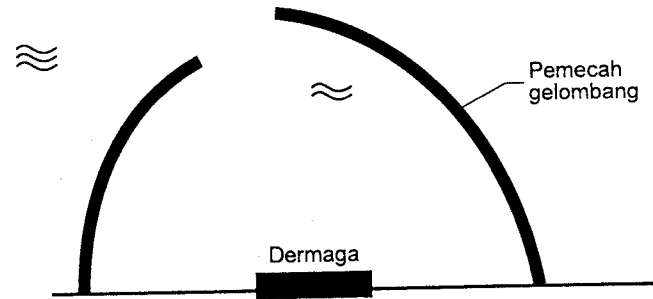
Pelabuhan buatan adalah suatu daerah perairan yang dilindungi dari pengaruh gelombang dengan membuat bangunan pemecah gelombang (*breakwater*). Pemecah gelombang ini membuat daerah perairan tertutup dari laut dan hanya dihubungkan oleh suatu celah (mulut pelabuhan) untuk keluar-masuknya kapal. Di dalam daerah tersebut dilengkapi dengan alat penambat. Bangunan ini dibuat mulai dari pantai dan menjorok ke laut sehingga gelombang yang menjalar ke pantai terhalang oleh bangunan tersebut. Contoh dari pelabuhan ini adalah pelabuhan Tanjung Priok, Tanjung Mas, dsb.



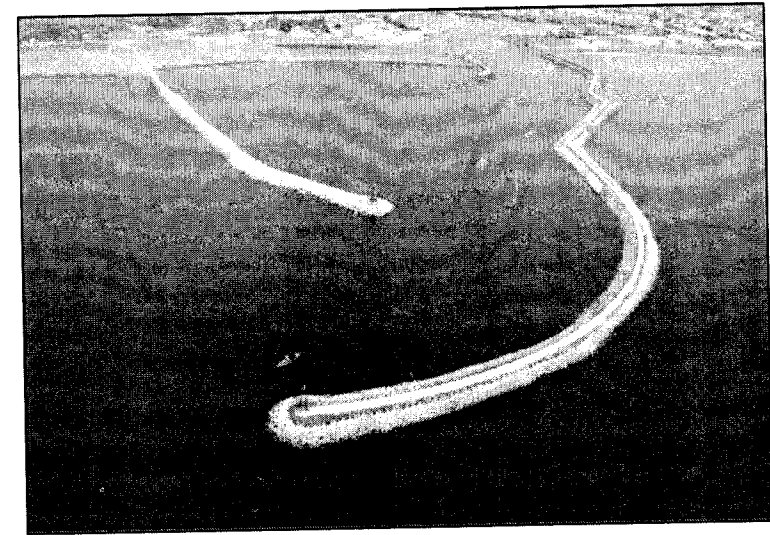
Gambar 1.14. Pelabuhan di muara sungai



Gambar 1.15. Pelabuhan Belawan di muara sungai



Gambar 1.16. Pelabuhan buatan



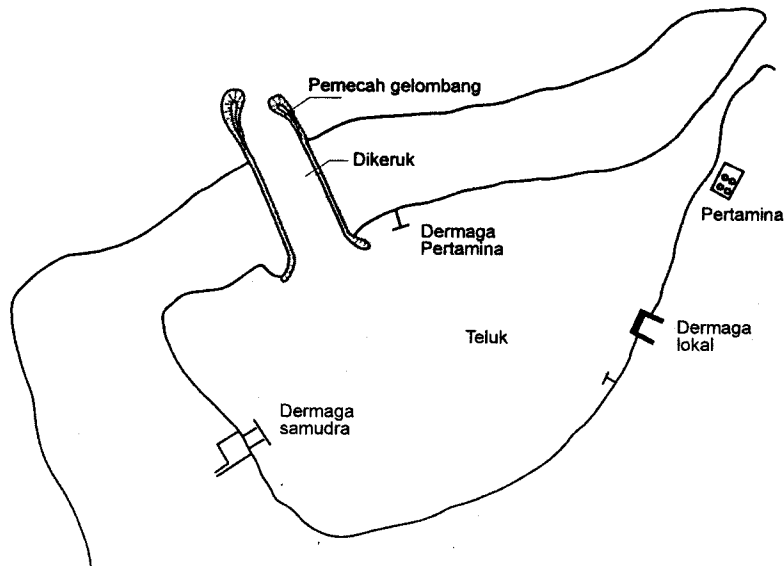
(Atas ijin PPS Cilacap)

Gambar 1.17. Foto pelabuhan buatan

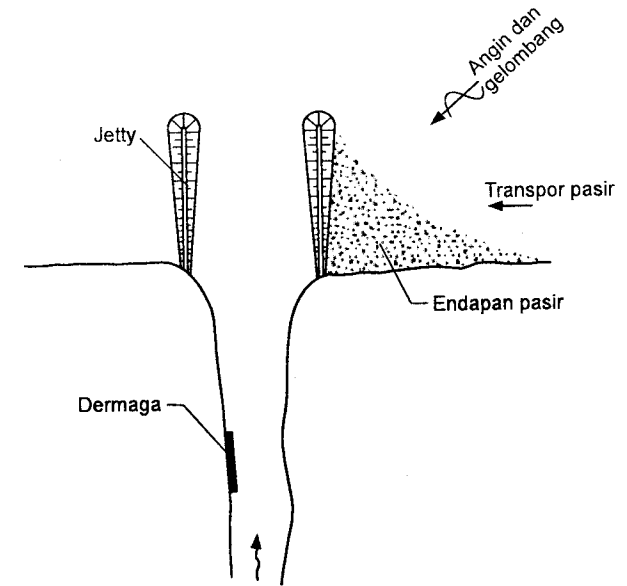
3. Pelabuhan semi alam

Pelabuhan ini merupakan campuran dari kedua tipe di atas. Misalnya suatu pelabuhan yang terlindungi oleh lidah pasir dan perlindungan buatan hanya pada alur masuk. Pelabuhan Bengkulu adalah contoh dari pelabuhan ini. Pelabuhan Bengkulu memanfaatkan teluk yang terlindung oleh lidah pasir untuk kolam pelabuhan. Pengerukan dilakukan pada lidah pasir untuk membentuk saluran sebagai jalan masuk/keluar kapal.

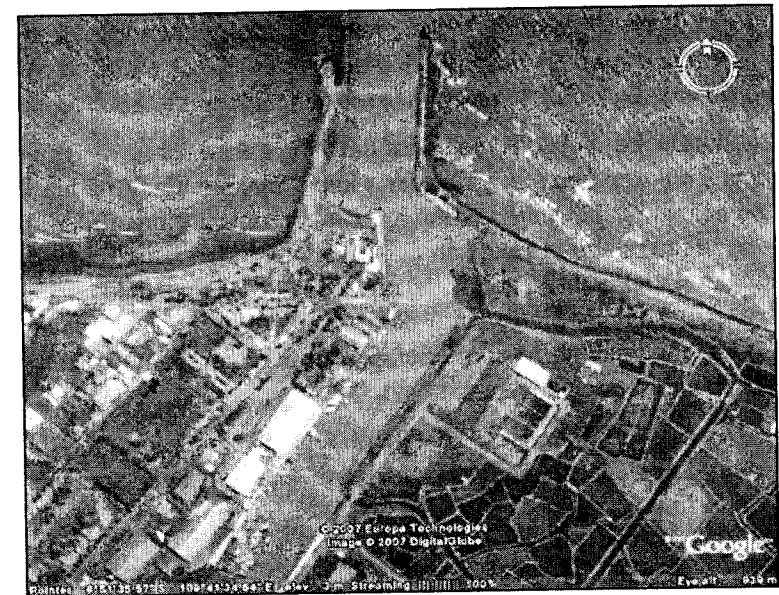
Contoh lainnya adalah muara sungai yang kedua sisinya dilindungi oleh jetty. Jetty tersebut berfungsi untuk menahan masuknya transpor pasir sepanjang pantai ke muara sungai, yang dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan. Gambar 1.18. dan 1.19. adalah contoh pelabuhan semi alam tersebut. Gambar 1.20 adalah pelabuhan ikan Pekalongan yang berada di muara sungai dengan jetty di kedua sisi mulut sungai untuk mencegah sedimentasi.



Gambar 1.18. Pelabuhan semi alam



Gambar 1.19. Pelabuhan semi alam

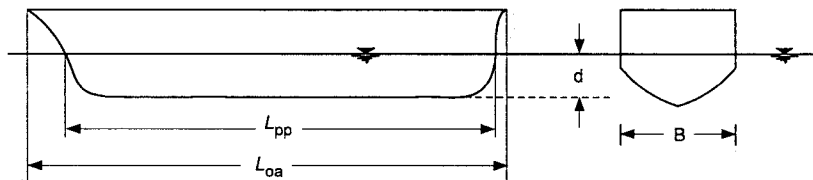


Gambar 1.20. Pelabuhan Pekalongan di muara sungai

1.6. Kapal

1.6.1. Beberapa Definisi

Panjang, lebar dan sarat (draft) kapal yang akan menggunakan pelabuhan berhubungan langsung pada perencanaan pelabuhan dan fasilitas-fasilitas yang harus tersedia di pelabuhan. Gambar 1.21. menunjukkan dimensi utama kapal yang akan digunakan untuk menjelaskan beberapa definisi kapal. Beberapa istilah masih diberikan dalam bahasa asing, mengingat dalam praktek di lapangan istilah tersebut banyak digunakan.



Gambar 1.21. Dimensi kapal

Displacement Tonnage, DPL (Ukuran Isi Tolak) adalah volume air yang dipindahkan oleh kapal, dan sama dengan berat kapal.

Ukuran Isi Tolak Kapal bermuatan penuh disebut dengan *Displacement Tonnage Loaded*, yaitu berat kapal maksimum. Apabila kapal sudah mencapai *Displacement Tonnage Loaded* masih dimuati lagi, kapal akan terganggu stabilitasnya sehingga kemungkinan kapal tenggelam menjadi besar. Ukuran isi tolak dalam keadaan kosong disebut dengan *Displacement Tonnage Light*, yaitu berat kapal tanpa muatan. Dalam hal ini berat kapal adalah termasuk perlengkapan berlayar, bahan bakar, anak buah kapal, dan sebagainya.

Deadweight Tonnage, DWT (Bobot Mati) yaitu berat total muatan di mana kapal dapat mengangkut dalam keadaan pelayaran optimal (draft maksimum). Jadi DWT adalah selisih antara *Displacement Tonnage Loaded* dan *Displacement Tonnage Light*.

Gross register tons, GRT (Ukuran Isi Kotor) adalah volume keseluruhan ruangan kapal ($1 \text{ GRT} = 2,83 \text{ m}^3 = 100 \text{ ft}^3$).

Netto register tons, NRT (Ukuran Isi Bersih) adalah ruangan yang disediakan untuk muatan dan penumpang, besarnya sama dengan GRT dikurangi dengan ruangan-ruangan yang disediakan untuk nakhkoda dan anak buah kapal, ruang mesin, gang, kamar mandi, dapur, ruang peta. Jadi NRT adalah ruangan-ruangan yang dapat didayagunakan, dapat diisi dengan muatan yang membayar uang tambang.

Sarat (*draft*) adalah bagian kapal yang terendam air pada keadaan muatan maksimum, atau jarak antara garis air pada beban yang direncanakan (*designed load water line*) dengan titik terendah kapal.

Panjang total (*length overall*, L_{oa}) adalah panjang kapal dihitung dari ujung depan (haluan) sampai ujung belakang (buritan).

Panjang garis air (*length between perpendiculars*, L_{pp}) adalah panjang antara kedua ujung *design load water line*.

Lebar kapal (*beam*) adalah jarak maksimum antara dua sisi kapal.

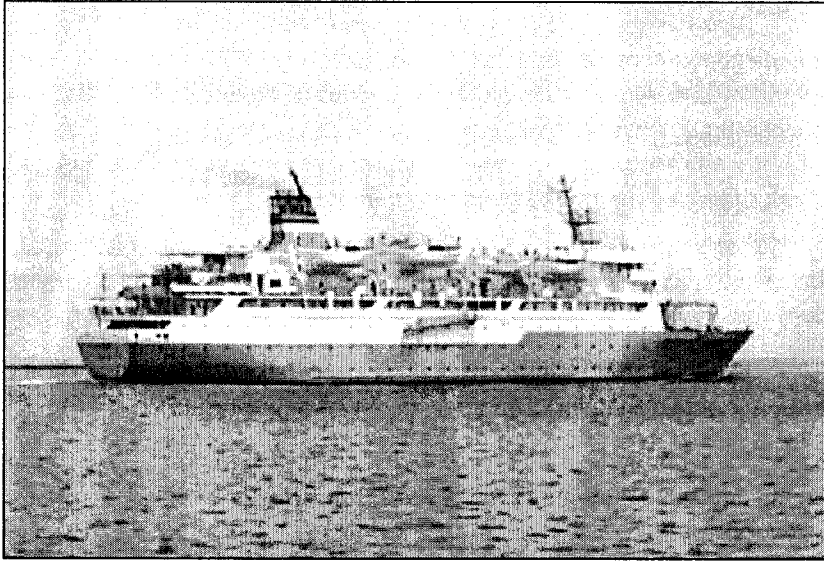
1.6.2. Jenis kapal

Selain dimensi kapal, karakteristik kapal seperti tipe dan fungsinya juga berpengaruh terhadap perencanaan pelabuhan. Tipe kapal berpengaruh pada tipe pelabuhan yang akan direncanakan. Sesuai dengan fungsinya, kapal dapat dibedakan menjadi beberapa tipe sebagai berikut ini.

1. Kapal penumpang

Di Indonesia yang merupakan negara kepulauan dan taraf hidup sebagian penduduknya relatif masih rendah, kapal penumpang masih mempunyai peran yang cukup besar. Jarak antara pulau yang relatif dekat masih bisa dilayani oleh kapal-kapal penumpang. Selain itu dengan semakin mudahnya hubungan antara pulau (Sumatra-Jawa-Bali), semakin banyak beroperasi ferri-ferri yang memungkinkan mengangkut mobil, bus, dan truk bersama-sama dengan penumpangnya. Pada umumnya kapal penumpang mempunyai ukuran relatif kecil.

Di negara maju, kapal-kapal besar antar lautan menjadi semakin jarang. Orang lebih memilih pesawat terbang untuk menempuh jarak yang jauh. Sebaliknya muncul kapal pesiar dan juga ferri. Gambar 2.22. adalah kapal penumpang.



Gambar 2.22. Kapal penumpang

2. Kapal Barang

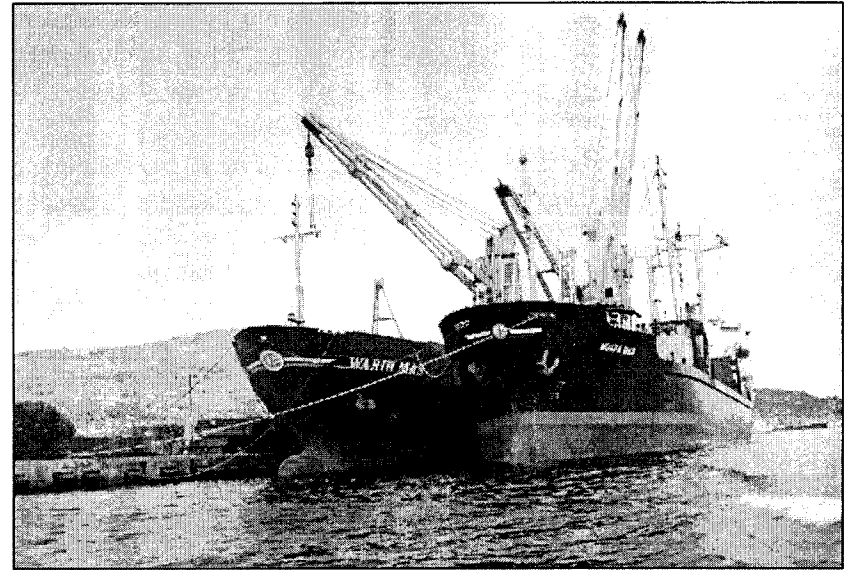
Kapal barang khusus dibuat untuk mengangkut barang. Pada umumnya kapal barang mempunyai ukuran yang lebih besar dari pada kapal penumpang.

Bongkar muat barang bisa dilakukan dengan dua cara yaitu secara vertikal atau horisontal. Bongkar muat secara vertikal yang biasa disebut *lift on / lift off (Lo/Lo)* dilakukan dengan keran kapal, keran mobil dan/atau keran tetap yang ada di dermaga. Pada bongkar muat secara horisontal yang juga disebut *Roll on/Roll Off (Ro/Ro)* barang-barang diangkut dengan menggunakan truk.

Kapal ini juga dapat dibedakan menjadi beberapa macam sesuai dengan barang yang diangkut, seperti biji-bijian, barang-barang yang dimasukkan dalam peti kemas (*container*), benda cair (minyak, bahan kimia, gas alam, gas alam cair dsb).

a. Kapal barang umum (*general cargo ship*)

Kapal ini digunakan untuk mengangkut muatan umum (*general cargo*). Muatan tersebut bisa terdiri dari bermacam-macam barang yang dibungkus dalam peti, karung dan sebagainya yang dikapalkan oleh banyak pengirim untuk banyak penerima di beberapa pelabuhan tujuan. Gambar 1.23 adalah bentuk kapal barang umum. Kapal tersebut dilengkapi dengan kran kapal untuk membongkar muat barang.



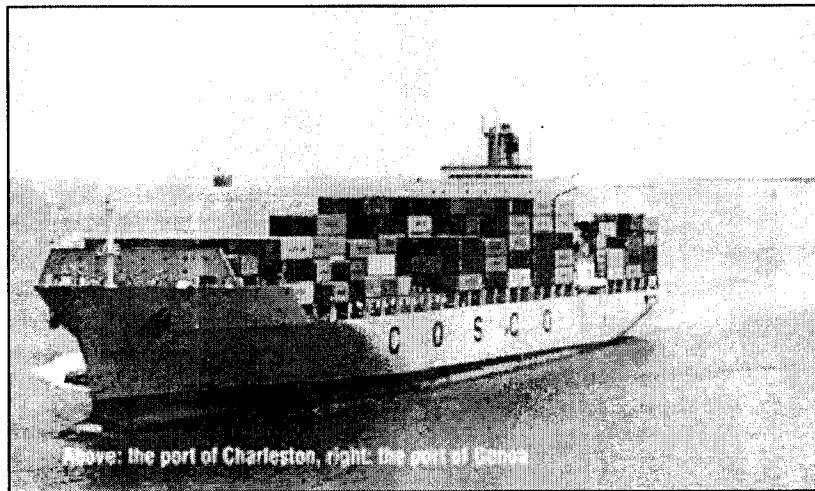
Gambar 1.23. Kapal barang umum

b. Kapal peti kemas

Kapal peti kemas dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berikut ini (Subandi, 1996). Gambar 1.24. adalah kapal peti kemas.

- 1) *Full container ship*, yaitu kapal yang dibuat secara khusus untuk mengangkut peti kemas. Ruang muatan kapal dilengkapi dengan sel-sel yang keempat sudutnya diberi pemandu untuk memudahkan masuk dan keluarnya peti kemas. Kapal seperti ini biasa disebut *third generation container ship*.

- 2) *Partial container ship*, yaitu kapal yang sebagian ruangnya diperuntukkan bagi muatan peti kemas dan sebagian lainnya untuk muatan konvensional. Kapal ini biasa disebut dengan *semi container*.
- 3) *Convertible container ship*, yaitu kapal yang sebagian atau seluruh ruangnya dapat dipergunakan untuk memuat peti kemas atau muatan lainnya. Pada saat yang lain kapal ini dapat diubah sesuai dengan kebutuhan untuk mengangkut muatan konvensional atau peti kemas.
- 4) *Ship with limited container carrying ability*, yaitu kapal yang mempunyai kemampuan mengangkut peti kemas dalam jumlah terbatas. Kapal ini dilengkapi dengan perlengkapan khusus untuk memungkinkan mengangkut peti kemas dalam jumlah terbatas. Dilihat dari segi konstruksinya, kapal ini adalah kapal konvensional.
- 5) *Ship without special container stowing or handling device*, yaitu kapal yang tidak mempunyai alat-alat bongkar muat dan alat pemadatan (*stowing*) secara khusus, tetapi juga mengangkut peti kemas. Muatan peti kemas diperlakukan sebagai muatan konvensional yang berukuran besar dan diikat dengan cara-cara konvensional.

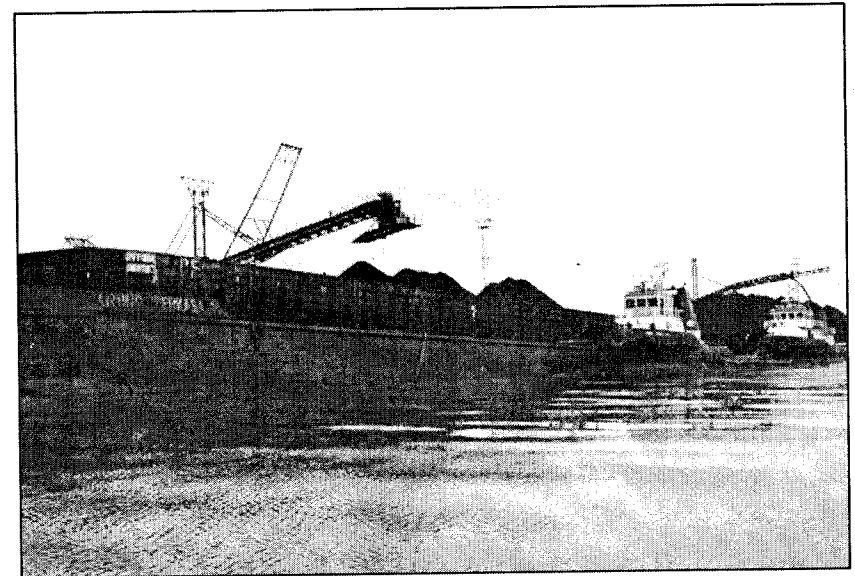


Gambar 1.24. Kapal peti kemas

b. Kapal barang curah (*bulk cargo ship*)

Kapal ini digunakan untuk mengangkut muatan curah yang dikumpulkan dalam jumlah banyak sekaligus. Muatan curah ini bisa berupa beras, gandum, batu bara, bijih besi, dan sebagainya. Kapal jenis ini ada yang mempunyai kapasitas 175.000 DWT dengan panjang 330 m, lebar 48,5 m dan sarat 18,5 m. Kapal pengangkut barang curah bisa berupa tongkang yang ditarik oleh kapal tunda. Gambar 1.25 adalah tongkang sedang memuat batubara dan kapal tunda yang membantunya.

Sejak beberapa tahun ini telah muncul kapal campuran OBO (*Ore-Bulk-Oil*) yang dapat memuat barang curah dan barang cair secara bersama-sama. Kapal jenis ini berkembang dengan pesat, dan ada yang mempunyai kapasitas 260.000 sampai DWT.

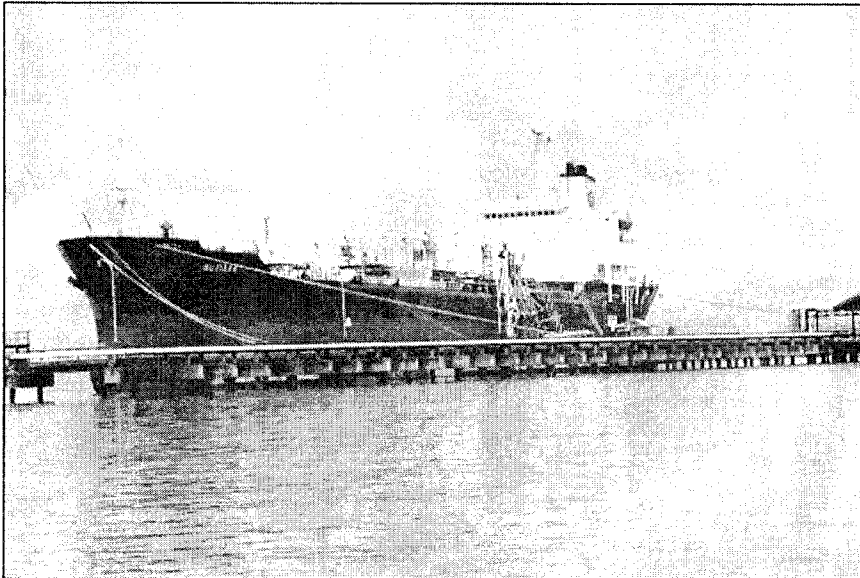


Gambar 1.25. Tongkang sedang memuat batubara

c. Kapal tanker

Kapal ini digunakan untuk mengangkut minyak, yang umumnya mempunyai ukuran sangat besar. Berat yang bisa diangkut bervariasi antara beberapa ribu ton sampai ratusan ribu ton. Kapal tanker ada yang mempunyai kapasitas sampai 555.000 DWT yang mempunyai panjang 414 m, lebar 63 m dan sarat 28,5 m. Gambar 1.26 adalah kapal tanker yang sedang bertambat di jetty.

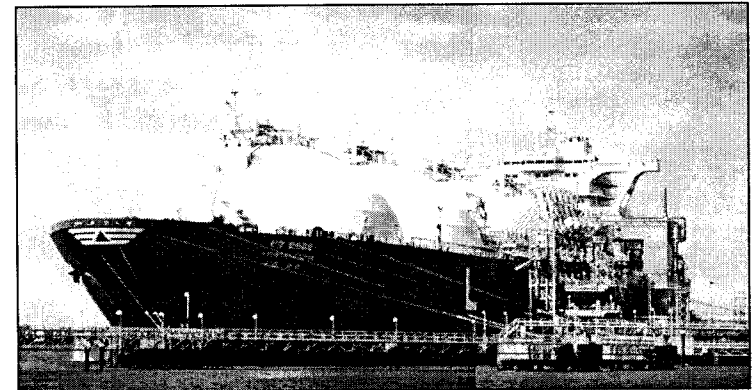
Karena barang cair yang berada di dalam ruangan kapal dapat bergerak secara horisontal (memanjang dan melintang), sehingga dapat membahayakan stabilitas kapal, maka ruangan kapal dibagi menjadi beberapa kompartemen (bagian ruangan) yang berupa tangki-tangki. Dengan pembagian ini maka tekanan zat cair dapat dipecah sehingga tidak membahayakan stabilitas kapal. Tetapi dengan demikian diperlukan lebih banyak pompa dan pipa-pipa untuk menyalurkan minyak masuk dan keluar kapal.



Gambar 1.26 Kapal tanker yang sedang bertambat di jetty.

d. Kapal khusus (special designed ship)

Kapal ini dibuat khusus untuk mengangkut barang tertentu seperti daging yang harus diangkut dalam keadaan beku, kapal pengangkut gas alam cair (*liquified natural gas*, LNG), dan sebagainya. Gambar 1.27 adalah kapal LNG yang sedang memuat muatan di pelabuhan LNG Badak Kalimantan Timur. Pemuatan LNG dilakukan dengan menggunakan pipa-pipa dan pompa. Sedang Gambar 1.28 adalah kapal tanker yang didorong oleh tiga buah kapal tunda sedang masuk ke Pelabuhan Pertamina Cilacap.



Gambar 1.27. Kapal LNG



Gambar 1.28. Kapal tanker didorong kapal tunda

e. Kapal ikan

Kapal ikan digunakan untuk menangkap ikan di laut. Ukuran kapal ikan yang digunakan tergantung pada jenis ikan yang tersedia, potensi ikan di daerah tangkapan, karakteristik alat tangkap, jarak daerah tangkapan, dsb. Ukuran kapal yang singgah di pelabuhan bervariasi, mulai dari perahu motor tempel sampai dengan kapal motor berbobot puluhan sampai ratusan GT. Jarak jangkauan dan waktu atau durasi penangkapan ikan tergantung pada ukuran kapal. Perahu motor tempel dapat menangkap ikan di perairan sampai sejauh 3-4 mil, yang berangkat melaut pagi hari dan pulang siang/sore hari. Kapal-kapal dengan bobot lebih besar bisa beroperasi di perairan lepas pantai (perairan Nusantara), perairan ZEEI (zona ekonomi eksklusif Indonesia), dan laut bebas (internasional). Tabel 1.1. menunjukkan ukuran kapal ikan sesuai dengan bobot kapal.

Tabel 1.1. Dimensi Kapal Sesuai Bobot Kapal

Bobot Kapal (GT)	Panjang Total Loa (m)	Lebar B (m)	Draft (m)
10	13,50	3,80	1,05
20	16,20	4,20	1,30
30	18,50	4,50	1,50
50	21,50	5,00	1,78
75	23,85	5,55	2,00
100	25,90	5,90	2,20
125	28,10	6,15	2,33
150	30	6,45	2,50

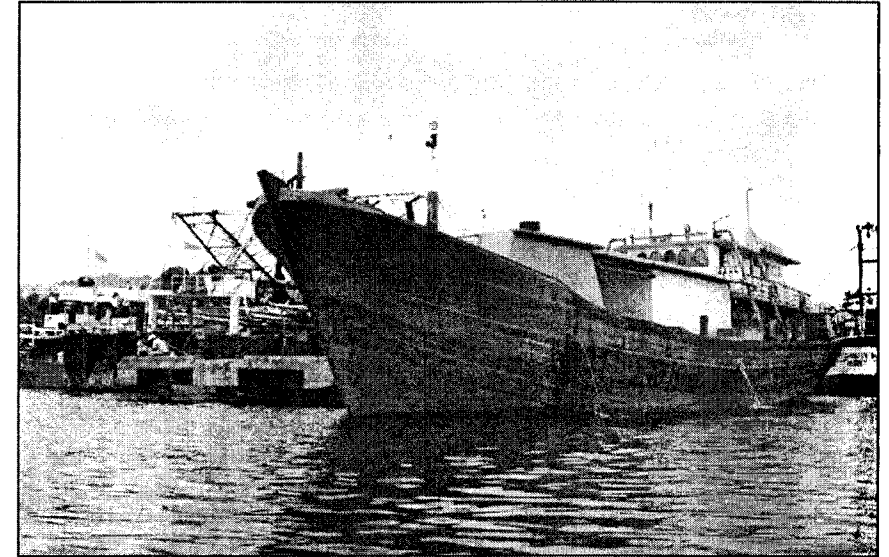
Selain ukuran kapal tersebut, banyak nelayan yang menggunakan perahu motor tempel, yang mempunyai ukuran berikut ini.

Panjang : $L = 8 \text{ m}$

Lebar : $B = 1 \text{ m}$

Draft : $D = 0.5 \text{ m}$

Kapal tersebut dilengkapi dengan cadik di kanan kirinya, yang berfungsi untuk menjaga kestabilan perahu ketika terjadi gelombang besar. Lebar antara kedua cadik adalah $L_c = 3,5 \text{ m}$. Gambar 1.29 dan 1.30 adalah bentuk kapal ikan dan perahu motor tempel.



Gambar 1.29. Kapal ikan



Gambar 1.30. Perahu motor tempel

1.6.3. Karakteristik kapal

Tipe dan bentuk pelabuhan tergantung pada jenis dan karakteristik kapal yang akan berlabuh. Perencanaan pembangunan pelabuhan harus meninjau pengembangan pelabuhan di masa mendatang, dengan memperhatikan daerah perairan untuk alur pelayaran, kolam putar, pemambatan, dermaga, tempat pembuangan bahan pengerukan, daerah daratan yang diperlukan untuk penempatan, penyimpanan dan pengangkutan barang-barang. Kedalaman dan lebar alur pelayaran tergantung pada kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan. Kuantitas angkutan (trafik) yang diharapkan menggunakan pelabuhan juga menentukan apakah alur untuk satu jalur atau dua jalur. Luas kolam pelabuhan dan panjang dermaga sangat dipengaruhi oleh jumlah dan ukuran kapal yang akan berlabuh.

Untuk keperluan perencanaan pelabuhan tersebut maka berikut ini diberikan dimensi dan ukuran kapal secara umum, seperti terlihat dalam Tabel 1.2. Sesuai dengan penggolongan pelabuhan dalam empat sistem pelabuhan, maka kapal-kapal yang menggunakan pelabuhan tersebut juga disesuaikan, seperti terlihat dalam Tabel 1.3. Arcelor Group (2005) memberikan dimensi kapal sesuai dengan jenis kapal dan bobotnya, seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.4. Dalam tabel tersebut diberikan pula bobot kapal dan muatannya (*displacement*).

Tabel 1.2. Karakteristik kapal

Bobot	Panjang <i>L_{oa}</i> (m)	Lebar (m)	Draft (m)	Bobot	Panjang <i>L_{oa}</i> (m)	Lebar (m)	Draft (m)
Kapal Penumpang (GRT)				Kapal Minyak (lanjutan)			
500	51	10,2	2,9	20.000	162	24,9	9,8
1.000	68	11,9	3,6	30.000	185	28,3	10,9
2.000	88	13,2	4,0	40.000	204	30,9	11,8
3.000	99	14,7	4,5	50.000	219	33,1	12,7
5.000	120	16,9	5,2	60.000	232	35,0	13,6
8.000	142	19,2	5,8	70.000	244	36,7	14,3
10.000	154	20,9	6,2	80.000	255	38,3	14,9
15.000	179	22,8	6,8	Kapal Barang Curah (DWT)			
20.000	198	24,7	7,5	10.000	140	18,7	8,1
30.000	230	27,5	8,5	15.000	157	21,5	9,0
Kapal Barang (DWT)				20.000	170	23,7	9,8
700	58	9,7	3,7	30.000	192	27,3	10,6
1.000	64	10,4	4,2	40.000	208	30,2	11,4
2.000	81	12,7	4,9	50.000	222	32,6	11,9
3.000	92	14,2	5,7	70.000	244	37,8	13,3
5.000	109	16,4	6,8	90.000	250	38,5	14,5
8.000	126	18,7	8,0	100.000	275	42,0	16,1
10.000	137	19,9	8,5	150.000	313	44,5	18,0
15.000	153	22,3	9,3	Kapal Ferry (GRT)			
20.000	177	23,4	10,0	1.000	73	14,3	3,7
30.000	186	27,1	10,9	2.000	90	16,2	4,3
40.000	201	29,4	11,7	3.000	113	18,9	4,9
50.000	216	31,5	12,4	4.000	127	20,2	5,3
Kapal Minyak (DWT)				6.000	138	22,4	5,9
700	50	8,5	3,7	8.000	155	21,8	6,1
1.000	61	9,8	4,0	10.000	170	25,4	6,5
2.000	77	12,2	5,0	13.000	188	27,1	6,7
3.000	88	13,8	5,6	Kapal peti kemas (DWT)			
5.000	104	16,2	6,5	20.000	201	27,1	10,6
10.000	130	20,1	8,0	30.000	237	30,7	11,6
15.000	148	22,8	9,0	40.000	263	33,5	12,4
				50.000	280	35,8	13,0

Catatan : (DWT), (GRT) : bobot kapal dalam DWT atau GRT

Tabel 1.3. Dimensi kapal pada pelabuhan

Tipe Pelabuhan	Dimensi Kapal			Panj. Dermg. (m)
	Bobot (DWT)	Draft (m)	Panjang (m)	
1. Gate way port				
a. Kapal kontainer	15.000-25.000	9,0-12,0	175-285	300
b. Kapal barang umum	8.000-20.000	8,0-10,0	135-185	200
c. Kapal brng dr <i>colector port</i>	5.000-7.000	7,5	100-130	150
d. Kapal penumpang	3.000-5.000	5,0-6,0	100-135	165
2. Collector Port				
Kapal barang				
a. Dari Pelabuhan Pengumpul	5.000-7.000	7,5	100-130	150
b. Dari Pelabuhan Cabang	500-3.000	4,0-6,0	50-90	110
3. Trunk port				
a. Kapal barang				
- Dari Pelabuhan Pengumpul	500-3.000	4,0-6,0	50-90	110
- Dari Pelabuhan Feeder	500-1.000	6,0		75
b. Kapal Perintis	700-1.000	6,0		75
4. Feeder port				
a. Kapal barang	< 1000	6,0		
b. Kapal perintis	500-1.000	6,0		75

Tabel 1.4. Karakteristik kapal (Arcelor Group, 2005)

Tonage	Kapasitas Angkut	Displacement <i>G</i>	Panjang total Loa	Panjang garis air Lpp	Lebar B	Draft
GRT	(DWT)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Kapal Penumpang						
70.000	-	37.600	260	220	33,1	7,6
50.000	-	27.900	231	197	30,5	7,6
30.000	-	17.700	194	166	26,8	7,6
20.000	-	12.300	169	146	24,2	7,6
15.000	-	9.500	153	132	22,5	5,6
10.000	-	6.600	133	116	20,4	4,8
7.000	-	4.830	117	103	18,6	4,1
5.000	-	3.580	104	92	17,1	3,6
3.000	-	2.270	87	78	15,1	3,0
2.000	-	1.580	76	68	13,6	2,5
1.000	-	850	60	54	11,4	1,9
Kapal curah padat						
-	250.000	273.000	332	314	50,4	19,4
-	200.000	221.000	303	294	47,1	18,2
-	150.000	168.000	279	270	43,0	16,7
-	100.000	115.000	248	239	37,9	14,8
-	70.000	81.900	224	215	32,3	13,3
-	50.000	59.600	204	194	32,3	12,0
-	30.000	36.700	176	167	26,1	10,3
-	20.000	25.000	157	148	23,0	9,2
-	15.000	19.100	145	135	21,0	8,4
-	10.000	13.000	129	120	18,5	7,5

Tabel 1.4. Karakteristik kapal (Kapal Barang Umum)

Tonage	Kapasitas Angkut	Displacement <i>G</i>	Panjang total Loa	Panjang garis air Lpp	Lebar B	Draft
	(DWT)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Kapal Barang Umum						
-	40.000	51.100	197	186	28,6	12,0
-	30.000	39.000	181	170	26,4	10,9
-	20.000	26.600	159	149	23,6	9,6
-	15.000	20.300	146	136	21,8	8,7
-	10.000	13.900	128	120	19,5	7,6
-	7.000	9.900	115	107	17,6	6,8
-	5.000	7.210	104	96	16,0	6,1
-	3.000	4.460	88	82	13,9	5,1
-	2.000	3.040	78	72	12,4	4,5
-	1.000	1.580	63	58	10,3	3,6

Tabel 1.4. Karakteristik kapal peti kemas

Kapasitas Angkut (DWT)	Displacement <i>G</i> (ton)	Panjang total Loa (m)	Panjang garis air Lpp (m)	Lebar B (m)	Draft (m)	Juml. Peti kemas
100.000	133.000	326	310	42,8	14,5	7.100
90.000	120.000	313	298	42,8	14,5	6.400
80.000	107.000	300	284	40,3	14,5	5.700
70.000	93.600	285	270	40,3	14,0	4.900
60.000	80.400	268	254	32,3	13,4	4.200
50.000	67.200	250	237	32,3	12,6	3.500
40.000	53.900	230	217	32,3	11,8	2.800
30.000	40.700	206	194	30,2	10,8	2.100
25.000	34.100	192	181	28,8	10,2	1.700
20.000	27.500	177	165	25,4	9,5	1.300
15.000	20.900	158	148	23,3	8,7	1.000
10.000	14.200	135	126	20,8	7,6	600
7.000	1.300	118	109	20,1	6,8	400

Tabel 1.4. Karakteristik kapal (Kapal Ferry dan Kapal Ro-Ro)

Kapasitas Angkut	Displacement <i>G</i>	Panjang total, Loa	Panjang garis air Lpp	Lebar B	Draft
(DWT)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Kapal Ferry					
40.000	30.300	223	209	31,9	8,0
30.000	22.800	201	188	29,7	7,4
20.000	15.300	174	162	26,8	6,5
15.000	11.600	157	145	25,0	6,0
10.000	7.800	135	125	22,6	5,3
7.000	5.500	119	110	20,6	4,8
5.000	3.900	106	97	19,0	4,3
3.000	2.390	88	80	16,7	3,7
2.000	1.600	76	69	15,1	3,3
1.000	810	59	54	12,7	2,7
Kapal Ro-Ro					
30.000	45.600	229	211	30,3	11,3
20.000	31.300	198	182	27,4	9,7
15.000	24.000	178	163	25,6	8,7
10.000	16.500	153	141	23,1	7,5
7.000	11.900	135	123	21,2	6,6
5.000	8.710	119	109	19,5	5,8
3.000	5.430	99	90	17,2	4,8
2.000	3.730	85	78	15,6	4,1
1.000	1.970	66	60	13,2	3,2

Tabel 1.4. Karakteristik kapal (Kapal tanker minyak)

Kapasitas Angkut	Displacement <i>G</i>	Panjang total, Loa	Panjang garis air, Lpp	Lebar B	Draft
(DWT)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Kapal tanker minyak					
300.000	337.000	354	342	57,0	20,1
200.000	229.000	311	300	50,3	17,9
150.000	174.000	284	273	46,0	16,4
100.000	118.000	250	240	40,6	14,6
50.000	60.800	201	192	32,3	11,9
20.000	25.300	151	143	24,6	9,1
10.000	13.100	121	114	19,9	7,5
5.000	6.740	97	91	16,0	6,1
2.000	2.810	73	68	12,1	4,7

Tabel 1.4. Karakteristik kapal (Kapal LNG dan Kapal LPG)

Kapasitas Angkut	Capacity	Displacement <i>G</i>	Panjang total, Loa	Panjang garis air Lpp	Lebar B	Draft
(DWT)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Kapal LNG						
100.000	155.000	125.000	305	294	50,0	12,5
70.000	110.000	100.000	280	269	45,0	11,5
50.000	77.000	75.000	255	245	38,0	10,5
20.000	30.500	34.000	195	185	30,0	8,5
10.000	15.000	19.000	148	135	26,0	7,0
Kapal LPG						
70.000	105.000	90.000	260	250	38,0	14,0
50.000	65.000	65.000	230	220	35,0	13,0
20.000	20.000	27.000	170	160	25,0	10,5
10.000	10.000	15.000	130	120	21,0	9,0
5.000	5.000	8.000	110	100	18,0	6,8
2.000	2.000	3.500	90	75	13,0	5,5

BAB II

BEBERAPA TINJAUAN DALAM PERENCANAAN PELABUHAN

2.1. Pendahuluan

Pembangunan pelabuhan memakan biaya yang sangat besar. Oleh karena itu diperlukan suatu perhitungan dan pertimbangan yang masak untuk memutuskan pembangunan suatu pelabuhan. Keputusan pembangunan pelabuhan biasanya didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan ekonomi, politik dan teknis. Ketiga dasar pertimbangan tersebut saling berkaitan, tetapi biasanya yang paling menentukan adalah pertimbangan ekonomi. Pembuatan pelabuhan secara ekonomis harus layak, yang berarti penghasilan yang diperoleh pelabuhan harus bisa menutup biaya investasi maupun biaya operasi dan pemeliharaan untuk jangka waktu tertentu; serta untuk mendapatkan keuntungan.

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan di dalam pembangunan suatu pelabuhan adalah kebutuhan akan pelabuhan dan pertimbangan ekonomi, volume perdagangan melalui laut, dan adanya hubungan dengan daerah pedalaman baik melalui darat maupun air.

Kebutuhan akan pelabuhan timbul untuk memenuhi beberapa hal berikut ini.

- a. Pembangunan pelabuhan yang didasarkan pada pertimbangan politik. Sebagai contoh adalah pelabuhan militer yang diperlukan untuk mendukung keamanan suatu negara, misalnya pelabuhan Ujung di Surabaya sebagai pangkalan angkatan laut. Demikian juga pelabuhan perintis yang dibangun untuk membuka hubungan ekonomi dan sosial daerah yang terpencil.
- b. Pembangunan suatu pelabuhan diperlukan untuk melayani/ meningkatkan kegiatan ekonomi daerah di belakangnya dan untuk menunjang kelancaran perdagangan antar pulau maupun negara (eksport, import). Pelabuhan ini banyak mendukung perkembangan kota di dekatnya dan daerah belakang.
- c. Untuk mendukung kelancaran produksi suatu perusahaan/pabrik, sering diperlukan suatu pelabuhan khusus. Pelabuhan ini akan melayani pemasaran/pengiriman hasil produksi ataupun untuk mendatangkan bahan baku pabrik tersebut. Sebagai contoh adalah Pelabuhan Kuala Tanjung milik PT Inalum (*Indonesia Asahan Aluminium*) di Sumatra Utara, sebagai prasarana untuk mengimpor biji bauksit dan pengiriman aluminium hasil produksi perusahaan tersebut. Selain itu masih banyak lagi pelabuhan khusus seperti Pelabuhan LNG Arun di Lhokseumawe, Pelabuhan Pupuk Iskandar Muda dan Pelabuhan Pupuk Asean juga di Lhokseumawe Aceh, dan sebagainya. Mengingat sifatnya sebagai pendukung dari proyek utama, maka pertimbangan ekonomis tidak seketat seperti dalam pembangunan pelabuhan umum.

Sebelum memulai pembangunan pelabuhan umum harus dilakukan survai dan studi untuk mengetahui volume perdagangan baik pada saat pembangunan maupun di masa mendatang yang dapat diantisipasi dari daerah di sekitarnya. Volume perdagangan ini penting untuk menentukan layak tidaknya pelabuhan tersebut dibangun, disamping juga untuk menentukan ukuran pelabuhan. Pada pelabuhan khusus, produksi dari suatu perusahaan biasanya sudah diketahui, sehingga pelabuhan dapat direncanakan untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut.

Ketersediaan hubungan dengan daerah pedalaman merupakan pendukung utama di dalam menentukan lokasi pelabuhan. Kemajuan pelabuhan tersebut akan didukung oleh adanya jalan raya yang baik, jalan kereta api, maupun jalan air yang menuju daerah pedalaman. Tanpa pra-

sarana tersebut keberadaan pelabuhan tidak akan banyak berarti bagi perkembangan daerah.

Setelah beberapa studi di atas dilakukan, selanjutnya ditetapkan lokasi secara umum pelabuhan, fungsi utama pelabuhan, dan jenis serta volume barang yang dilayani. Langkah berikutnya adalah membuat studi pendahuluan dan layout pelabuhan dalam persiapan untuk membuat penyelidikan lapangan yang lebih lengkap guna mengumpulkan semua informasi yang diperlukan di dalam pembuatan perencanaan akhir pelabuhan. Beberapa penyelidikan yang perlu dilakukan adalah survai hidrografi dan topografi; penyelidikan tanah di rencana lokasi pemecah gelombang, dermaga, dan bangunan-bangunan pelabuhan lainnya; angin, arus, pasang surut dan gelombang.

2.2. Persyaratan dan Perlengkapan Pelabuhan

Kapal laut diusahakan oleh suatu perusahaan pelayaran untuk mengangkut barang dan/atau penumpang. Keuntungan yang diperoleh perusahaan tersebut tergantung banyak faktor seperti banyak/sedikitnya barang dan penumpang yang diangkut, waktu pelayaran kapal, waktu singgah di pelabuhan, dan sebagainya. Semakin banyak barang/penumpang yang diangkut akan memberikan penghasilan yang besar. Waktu pelayaran dipengaruhi oleh kecepatan kapal. Kapal yang berlayar dengan kecepatan penuh akan memakan bahan bakar yang banyak, sebaliknya jika terlalu lambat dapat mengacaukan jadwal pelayaran dan kemungkinan kerusakan (busuk) barang yang diangkut. Biasanya kapal berlayar dengan kecepatan ekonomis, yaitu suatu kecepatan di mana pengeluaran biaya adalah serendah mungkin.

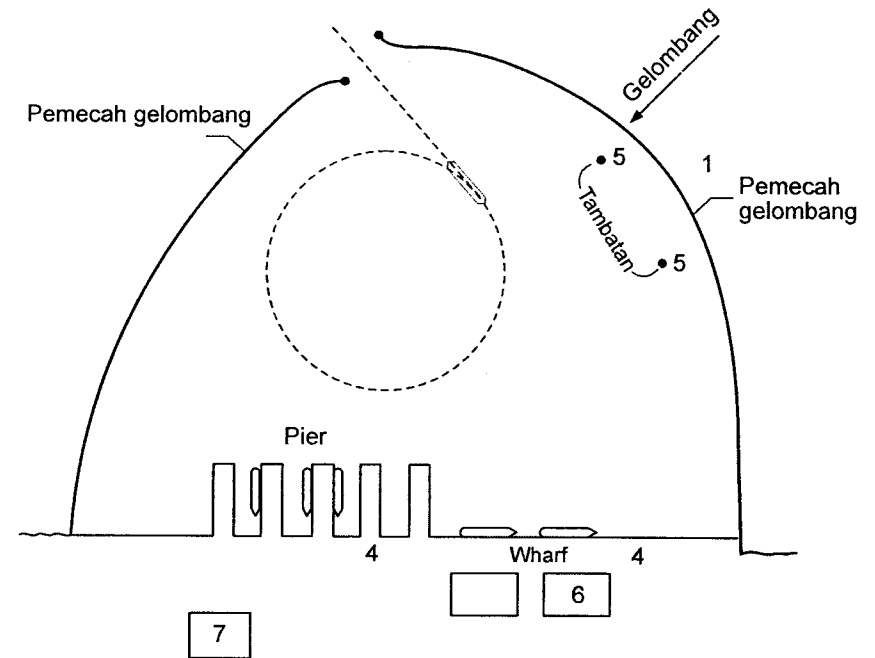
Kapal yang berada di pelabuhan harus membayar biaya jasa pelabuhan, yang meliputi biaya pandu, tunda, labuh, tambat, air, dermaga, dsb. Untuk menghemat biaya maka kapal harus diusahakan sesingkat mungkin berada di pelabuhan. Oleh karena itu berbagai kegiatan di pelabuhan harus dapat dilakukan secepat mungkin; dan kapal dapat sesegera mungkin meninggalkan pelabuhan. Berbagai kegiatan yang ada di pelabuhan antara lain melakukan bongkar muat barang dan naik-turunkan penumpang, penyelesaian surat-surat administrasi, pengisian bahan bakar, reparasi, penyediaan perbekalan dan air bersih, dsb. Untuk bisa memberi

pelayanan yang baik dan cepat, maka pelabuhan harus bisa memenuhi beberapa persyaratan berikut ini.

1. Harus ada hubungan yang mudah antara transportasi air dan darat seperti jalan raya dan kereta api, sedemikian sehingga barang-barang dapat diangkut ke dan dari pelabuhan dengan mudah dan cepat.
2. Pelabuhan berada di suatu lokasi yang mempunyai daerah belakang (daerah pengaruh) subur dengan populasi penduduk yang cukup padat.
3. Pelabuhan harus mempunyai kedalaman air dan lebar alur yang cukup.
4. Kapal-kapal yang mencapai pelabuhan harus bisa membuang sauh selama menunggu untuk merapat ke dermaga guna bongkar muat barang atau mengisi bahan bakar.
5. Pelabuhan harus mempunyai fasilitas bongkar muat barang (kran, dsb) dan gudang-gudang penyimpanan barang.
6. Pelabuhan harus mempunyai fasilitas untuk mereparasi kapal-kapal.

Untuk memenuhi persyaratan tersebut pada umumnya pelabuhan mempunyai bangunan-bangunan berikut ini (Gambar 2.1.).

1. Pemecah gelombang, yang berfungsi untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Gelombang besar yang datang dari laut lepas akan dihalangi oleh bangunan ini. Ujung pemecah gelombang (mulut pelabuhan) harus berada di luar gelombang pecah. Apabila daerah perairan sudah terlindung secara alami, misalnya berada di selat, teluk, muara sungai, maka tidak diperlukan pemecah gelombang.
2. Alur pelayaran, yang berfungsi untuk mengarahkan kapal-kapal yang akan keluar/masuk ke pelabuhan. Alur pelayaran harus mempunyai kedalaman dan lebar yang cukup untuk bisa dilalui kapal-kapal yang menggunakan pelabuhan. Apabila laut dangkal maka harus dilakukan pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang diperlukan.
3. Kolam pelabuhan, merupakan daerah perairan di mana kapal berlabuh untuk melakukan bongkar muat, melakukan gerakan untuk memutar (di kolam putar), dsb. Kolam pelabuhan harus terlindung dari gangguan gelombang dan mempunyai kedalaman yang cukup. Di laut yang dangkal diperlukan pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang direncanakan.



Gambar 2.1. Bangunan pada pelabuhan

4. Dermaga, adalah bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapatnya kapal dan menambatkannya pada waktu bongkar muat barang. Ada dua macam dermaga yaitu yang berada di garis pantai dan sejajar dengan pantai yang disebut *wharf* dan yang menjorok (tegak lurus) pantai disebut pier atau jetty. Pada pelabuhan barang, di belakang dermaga harus terdapat halaman yang cukup luas untuk menempatkan barang-barang selama menunggu pengapalan atau angkutan ke darat. Dermaga ini juga dilengkapi dengan kran atau alat bongkar-muat lainnya untuk mengangkat barang dari dan ke kapal.
5. Alat penambat, digunakan untuk menambatkan kapal pada waktu merapat di dermaga maupun menunggu di perairan sebelum bisa merapat ke dermaga. Alat penambat bisa diletakkan di dermaga atau di perairan yang berupa pelampung penambat. Pelampung penambat ditempatkan di dalam dan di luar perairan pelabuhan. Bentuk lain dari pelampung penambat adalah dolphin yang terbuat dari tiang-tiang yang dipancang dan dilengkapi dengan alat penambat.

6. Gudang lini I dan lapangan penumpukan terbuka, yang terletak di belakang dermaga untuk menyimpan barang-barang yang harus menunggu pengapalan atau yang dibongkar dari kapal sebelum dikirim ke tempat tujuan. Gudang lini I digunakan untuk menyimpan barang-barang yang mudah rusak, mudah hilang dan barang berharga yang memerlukan perlindungan terhadap cuaca dan hujan. Sedang lapangan penumpukan terbuka digunakan untuk menyimpan barang-barang besar, berat (mesin, besi, pipa, dll) yang tidak mudah hilang dan rusak akibat cuaca dan hujan. Untuk barang-barang yang mengganggu, berbahaya, mudah terbakar, beracun, mudah meledak dan lain-lain harus ditumpuk di gudang khusus, bahkan terhadap barang berbahaya kelas 1 (bahan peledak), harus langsung dikeluarkan dari daerah kerja pelabuhan.
7. Gedung terminal untuk keperluan administrasi.
8. Fasilitas bahan bakar untuk kapal.
9. Fasilitas pandu kapal, kapal tunda dan perlengkapan lain yang diperlukan untuk membawa kapal masuk/keluar pelabuhan. Untuk kapal-kapal besar, keluar/masuknya kapal dari/ke pelabuhan tidak boleh dengan kekuatan (mesin) nya sendiri, sebab perputaran baling-baling kapal dapat menimbulkan gelombang yang akan mengganggu kapal-kapal yang sedang melakukan bongkar muat barang. Untuk itu kapal harus dihela oleh kapal tunda, yaitu kapal kecil bertenaga besar yang dirancang khusus untuk menunda kapal.
10. Peralatan bongkar muat barang seperti kran darat (gantry crane), kran apung, kendaraan untuk mengangkat/memindahkan barang seperti *forklift*, *straddle carrier*, *sidelift truck*, dsb.
11. Fasilitas-fasilitas lain untuk keperluan penumpang, anak buah kapal dan muatan kapal seperti terminal penumpang, ruang tunggu, karantina, bea cukai, imigrasi, dokter pelabuhan, keamanan, dsb.

2.3. Pemilihan Lokasi Pelabuhan

Pemilihan lokasi rencana pelabuhan dilakukan dengan memperhatikan kondisi fisik lokasi yang meliputi 1) aksesibilitas (kondisi jalan menuju lokasi), 2) daerah pengaruh (*hinterland*), 3) ketersediaan lahan, 4) kondisi oseanografi, dan 5) fasilitas pendukung. Pemilihan lokasi pelabuhan harus mempertimbangkan berbagai faktor tersebut. Tetapi biasanya

tidak semua faktor bisa terpenuhi, sehingga diperlukan suatu kompromi untuk mendapatkan hasil optimal.

1) Aksesibilitas

Suatu pelabuhan akan dapat berkembang dengan baik apabila lokasi tersebut terhubung dengan jaringan jalan atau saluran transportasi air dengan daerah di sekitarnya, sehingga muatan (barang dan penumpang) dapat diangkut ke dan dari pelabuhan dengan mudah dan cepat. Kondisi jalan yang baik, lebar, datar dan dekat dengan lokasi pelabuhan memungkinkan hubungan yang lancar dengan kota-kota di sekitarnya.

2) Daerah pengaruh

Pelabuhan yang mempunyai daerah pengaruh subur dengan populasi penduduk cukup padat dan dekat dengan kota-kota besar di sekitarnya akan dapat berkembang dengan baik. Masyarakat dan industri akan mudah memanfaatkan keberadaan pelabuhan, baik untuk angkutan penumpang, barang maupun komoditi lainnya.

3) Ketersediaan lahan

Ketersediaan lahan yang cukup luas baik di perairan maupun daratan, akan dapat menampung fasilitas-fasilitas pendukung pelabuhan. Tinjauan daerah perairan menyangkut luas perairan yang diperlukan untuk alur pelayaran, kolam putar (*turning basin*), penambatan dan tempat berlabuh. Daerah daratan juga harus cukup luas untuk bisa mengantisipasi perkembangan di daerah sekitar pelabuhan, seperti pengembangan industri dan kegiatan lainnya. Keadaan topografi daratan dan bawah laut harus memungkinkan untuk membangun suatu pelabuhan dan kemungkinan untuk pengembangan di masa mendatang. Daerah daratan harus cukup luas untuk membangun suatu fasilitas pelabuhan seperti dermaga, jalan, gudang dan juga daerah industri. Apabila daerah daratan sempit maka pantai harus cukup luas dan dangkal untuk memungkinkan perluasan daratan dengan melakukan penimbunan pantai tersebut. Daerah yang akan digunakan untuk perairan pelabuhan harus mempunyai kedalaman yang cukup sehingga kapal-kapal bisa masuk ke pelabuhan. Selain keadaan tersebut, kondisi geologi juga perlu diteliti mengenai sulit tidaknya melakukan pengerukan daerah perairan dan kemungkinan menggunakan hasil pengerukan tersebut untuk menimbun tempat lain.

4) Hidrooseanografi

Perairan pelabuhan harus tenang terhadap serangan gelombang dan terhindar dari sedimentasi. Untuk itu sedapat mungkin pelabuhan berada di perairan yang terlindung secara alami dari pengaruh gelombang seperti di perairan yang terlindung oleh pulau, di teluk, di muara sungai/estuari. Namun apabila hal ini tidak memungkinkan, pelabuhan ditempatkan di pantai terbuka dengan membuat pemecah gelombang, dengan konsekuensi biaya pembangunan menjadi lebih mahal. Pemecah gelombang merupakan fasilitas pelabuhan yang sangat/ paling mahal.

5) Fasilitas pendukung

Keberadaan fasilitas pendukung pelabuhan yang telah ada di lokasi pelabuhan seperti air bersih, listrik dan komunikasi.

Dengan memperhatikan berbagai faktor yang mempengaruhi penentuan lokasi pelabuhan tersebut akan dapat diketahui apakah suatu lokasi layak dibangun suatu pelabuhan. Perlu diketahui kelayakan pelabuhan tersebut dengan memperhatikan beberapa hal berikut ini.

- 1) Biaya pembangunan dan perawatan bangunan-bangunan pelabuhan, termasuk pengerukan pertama yang harus dilakukan.
- 2) Biaya operasi dan pemeliharaan, terutama pengerukan endapan di alur dan kolam pelabuhan.
- 3) Penghasilan dari pelabuhan untuk dapat mengembalikan biaya investasi yang telah dikeluarkan dan biaya operasional dan pemeliharaan pelabuhan.
- 4) Manfaat dari pelabuhan tersebut terhadap perkembangan daerah pengaruh.

2.4. Tinjauan Hidro-oseanografi Terhadap Bentuk Pelabuhan

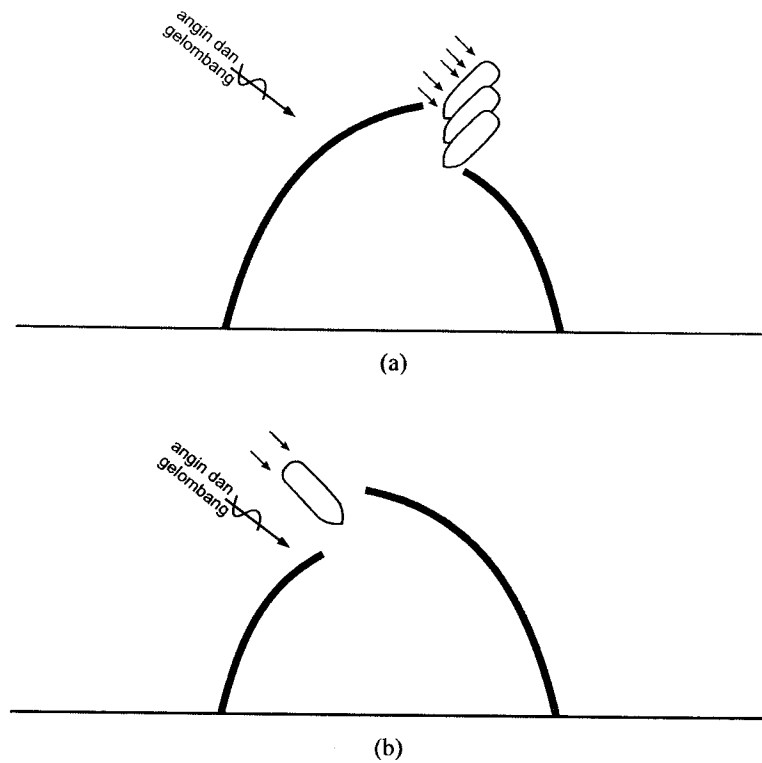
Kondisi hidro-oseanografi sangat penting di dalam menentukan tata letak suatu pelabuhan. Kondisi hidro-oseanografi yang ditinjau meliputi gelombang, arus, sedimentasi dan pengaruhnya terhadap gerak kapal yang masuk ke pelabuhan. Pelabuhan harus bisa memberi kemudahan dan keamanan bagi kapal-kapal yang masuk dan keluar ke dan dari pelabuhan. Perairan pelabuhan harus tenang terhadap gangguan gelombang dan arus sehingga kapal dapat melakukan berbagai kegiatan seperti bongkar-

muat barang, menaik-turunkan penumpang dengan lancar dan aman. Tata letak pelabuhan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga sedimentasi bisa diminimalkan atau bahkan ditiadakan. Berikut ini diberikan lebih rinci beberapa tinjauan dalam menentukan tata letak pelabuhan.

2.4.1. Tinjauan pelayaran

Pelabuhan yang dibangun harus mudah dilalui kapal-kapal yang akan menggunakannya. Kapal yang berlayar dipengaruhi oleh faktor-faktor alam seperti angin, gelombang dan arus yang dapat menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada badan kapal. Faktor tersebut semakin besar apabila pelabuhan terletak di pantai yang terbuka ke laut, dan sebaliknya pengaruhnya berkurang pada pelabuhan yang terletak di daerah yang terlindung secara alami. Pada umumnya gelombang, angin dan arus mempunyai arah tertentu yang dominan. Diharapkan bahwa kapal-kapal yang sedang memasuki pelabuhan tidak mengalami dorongan arus pada arah tegak lurus sisi kapal. Demikian juga, sedapat mungkin kapal-kapal harus memasuki pelabuhan pada arah sejajar dengan arah angin dominan. Gelombang yang mempunyai amplitudo besar akan menyebabkan diperlukannya kedalaman alur pelayaran yang lebih besar, karena pada keadaan tersebut kapal-kapal berosilasi (bergoyang naik turun sesuai dengan fluktuasi muka air).

Gambar 2.2. menunjukkan tata letak pemecah gelombang dan alur pelayaran terhadap arah gelombang dan angin dominan. Pada Gambar 2.2.a. kapal yang akan masuk ke pelabuhan menerima tiupan angin dan serangan gelombang dominan pada sisi badan kapal. Gaya-gaya tersebut akan dapat mendorong kapal ke arah samping sehingga dapat membahayakan kapal yang melewati ujung pemecah gelombang. Pada Gambar 2.2.b, gaya gelombang dan angin yang bekerja pada buritan kapal tidak sebesar pada Gambar 2.2.a. Gerak kapal ketika masuk dan keluar pelabuhan tidak sesulit pada tata letak pelabuhan seperti dalam Gambar 2.2.a. Dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari sisi pelayaran atau olah gerak (*manoeuvre*) kapal, tata letak pemecah gelombang pada Gambar 2.2.b lebih baik daripada Gambar 2.2.a.



Gambar 2.2. Pengaruh arah gelombang terhadap manuver kapal

2.4.2. Tinjauan gelombang

Perairan pelabuhan harus tenang terhadap gangguan gelombang supaya kapal dapat melakukan kegiatan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Mulut pelabuhan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga gelombang tidak langsung masuk ke perairan pelabuhan. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3.a, mulut pelabuhan tidak menghadap ke arah datang gelombang, sehingga gelombang tidak langsung masuk ke perairan pelabuhan. Dengan demikian perairan pelabuhan bisa tenang. Berbeda dengan Gambar 2.3.b, di mana mulut pelabuhan menghadap arah datang gelombang. Pada kondisi ini gelombang bisa langsung masuk ke perairan pelabuhan, sehingga perairan pelabuhan tidak tenang terhadap gelombang. Di kolam pelabuhan yang tidak tenang, kapal sulit untuk melakukan kegiatan bongkar-muat barang. Dapat disimpulkan bah-

wa dari tinjauan gelombang, tata letak pemecah gelombang seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3.a adalah lebih baik dibandingkan Gambar 2.3.b.



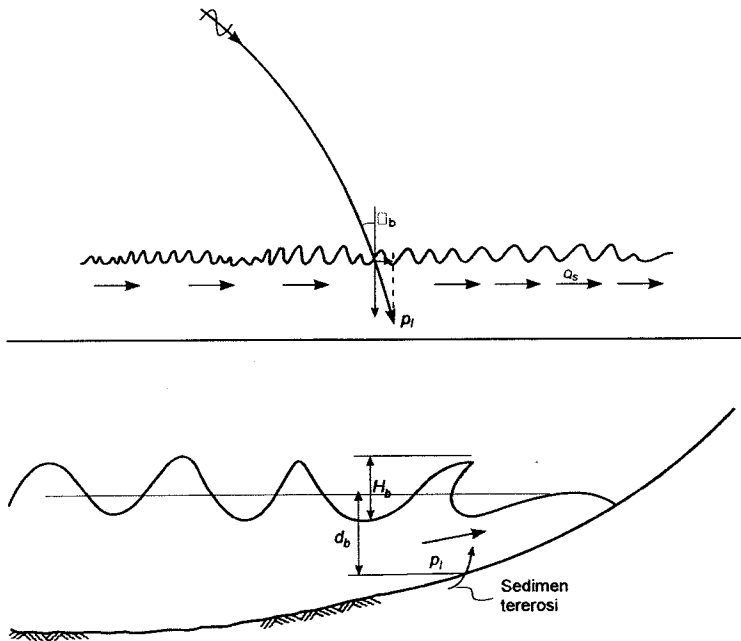
Gambar 2.3. Pengaruh arah gelombang terhadap ketenangan pelabuhan

2.4.3. Tinjauan sedimentasi

Pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang cukup bagi pelayaran di daerah perairan pelabuhan memerlukan biaya yang cukup besar. Pengerukan ini dapat dilakukan pada waktu membangun pelabuhan maupun selama perawatan. Pengerukan selama perawatan harus sedikit mungkin.

Pelabuhan harus dibuat sedemikian rupa sehingga sedimentasi yang terjadi harus sesedikit mungkin (kalau bisa tidak ada). Oleh karena itu, pelabuhan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga sedimentasi yang terjadi sesedikit mungkin. Angkutan sedimen sepanjang pantai dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

Gelombang yang datang dari laut dalam menuju pantai akan pecah pada kedalaman tertentu d_b (Gambar 2.4). Pada saat gelombang pecah akan terjadi limpasan energi gelombang yang dapat mengerosi sedimen dasar laut. Apabila gelombang pecah tersebut membentuk sudut terhadap garis pantai (α_b), komponen energi gelombang searah panjang pantai akan menyebabkan arus sepanjang pantai. Arus ini akan membawa sedimen yang tererosi dalam arah sejajar pantai, sehingga terjadi angkutan sedimen sepanjang pantai (Q_s).

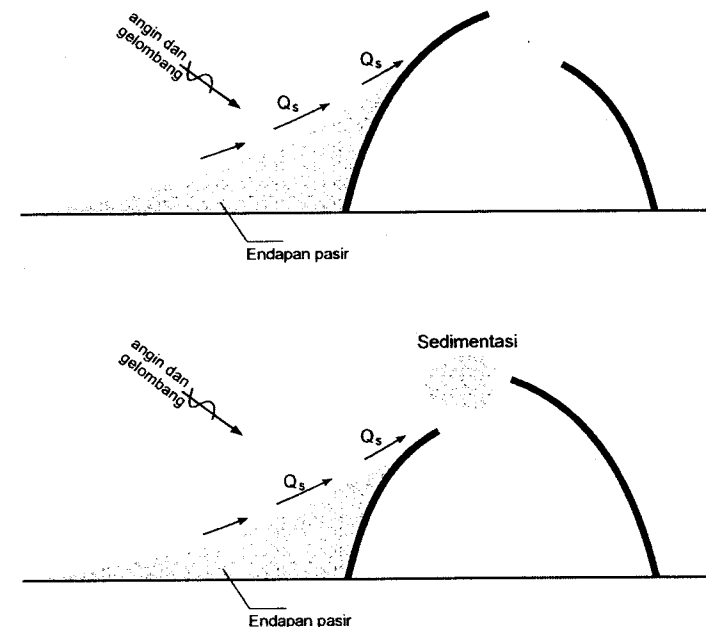


Gambar 2.4. Terbentuknya angkutan sedimen sepanjang pantai

Apabila di pantai tersebut dibangun pelabuhan, maka pemecah gelombang akan menghalangi transpor sedimen sepanjang pantai. Sedimen yang terhalang tersebut akan mengendap di sebelah hulu (terhadap arah angkutan sedimen) pemecah gelombang, sedang di hilirnya terjadi erosi. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5., angkutan sedimen sepanjang pantai (Q_s) yang bergerak dari kiri ke kanan akan terhalang oleh pemecah gelombang, sehingga sedimen tersebut akan mengendap di

sebelah kiri pemecah gelombang. Terjadi perubahan bentuk garis pantai. Garis pantai akan maju ke arah laut. Apabila majunya garis pantai cukup besar, endapan bisa mencapai ujung pemecah gelombang, dan angkutan sedimen sepanjang pantai yang terus terjadi akan bisa mengendap di alur pelayaran.

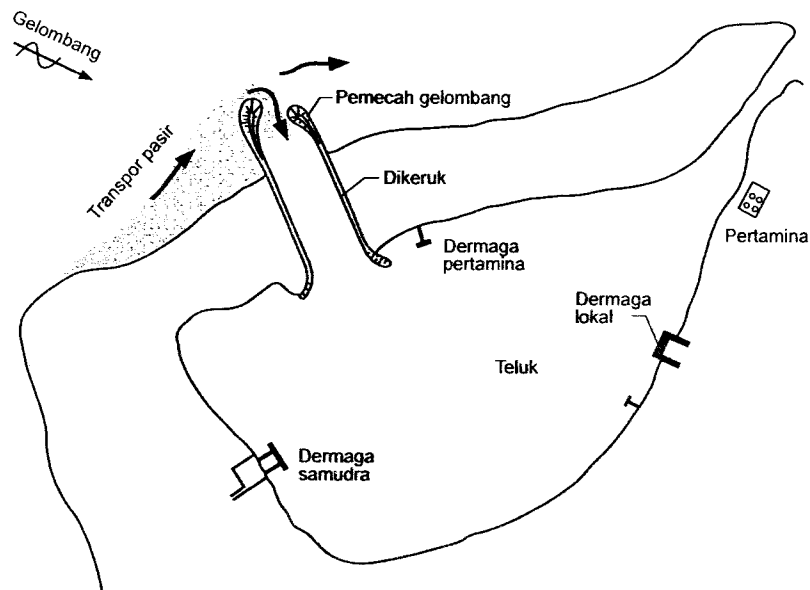
Tata letak pemecah gelombang direncanakan dengan memperhatikan angkutan sedimen sepanjang pantai. Pada Gambar 2.5.b, di mana mulut pelabuhan menghadap arah gelombang dominan, angkutan sedimen sepanjang pantai akan mudah masuk ke alur pelayaran dan perairan pelabuhan, sehingga di lokasi tersebut akan terjadi sedimentasi. Sementara pada Gambar 2.5.a di mana pemecah gelombang sisi kiri lebih panjang, sedimen lebih sulit atau memerlukan waktu lebih lama untuk bisa mencapai alur pelayaran. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dari tinjauan sedimentasi bentuk tata letak pelabuhan seperti pada Gambar 2.5.a lebih baik daripada Gambar 2.5.b.



Gambar 2.5. Pengaruh arah gelombang terhadap sedimentasi

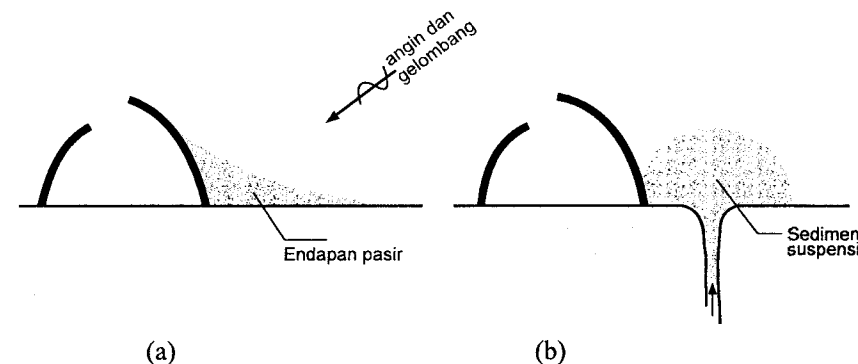
Sedimentasi merupakan masalah serius dalam pengelolaan pelabuhan. Pengerukan yang harus dilakukan membutuhkan biaya yang sangat besar. Berikut ini diberikan contoh masalah sedimentasi di pelabuhan Pulau Bai Bengkulu, yang terletak di pantai barat Sumatera (Gambar 2.6). Gelombang di Samudra Indonesia besar dan membentuk sudut terhadap garis pantai. Seperti telah dijelaskan di depan, pada saat gelombang tersebut pecah terjadi arus sepanjang pantai yang mengangkut pasir pantai dalam bentuk traspor sedimen sepanjang pantai. Sedimen yang bergerak sepanjang pantai tersebut akan terhalang oleh pemecah gelombang dan mengendap di daerah tersebut. Karena pemecah gelombang kurang panjang maka ruang pengendapan tersebut cepat penuh dan traspor sedimen yang terus terjadi akhirnya melintasi pemecah gelombang dan sebagian masuk ke alur pelayaran dan perairan pelabuhan. Diperlukan pengerukan sedimen secara periodik yang membutuhkan biaya sangat besar.

Penanggulangan pengendapan dapat dilakukan dengan menambah panjang pemecah gelombang dan membuat groin di sepanjang pantai sebelah kiri pelabuhan. Mengingat pembuatan bangunan-bangunan tersebut mahal maka cara lain adalah dengan melakukan pengerukan.



Gambar 2.6. Pelabuhan Pulau Bai Bengkulu

Untuk mengurangi masalah sedimentasi di pelabuhan, maka tata letak pemecah gelombang dibuat sedemikian rupa sehingga sedimen sulit masuk ke perairan pelabuhan (Gambar 2.6). Dalam Gambar 2.6.a. mulut pelabuhan dibuat tidak menghadap ke arah transpor sedimen sepanjang pantai. Sedimen yang bergerak ke kiri terhalang oleh pemecah gelombang dan mengendap di tempat tersebut. Dalam Gambar 2.6.b. sedimen suspensi dari sangat menyebar di pantai. Apabila terjadi arus dari kanan sedimen tersebut akan terbawa ke kiri. Apabila mulut pelabuhan menghadap ke kanan sedimen akan mudah masuk ke pelabuhan dan menyebabkan terjadinya sedimentasi. Karena sifat sedimen suspensi yang mudah terbawa arus, maka sedimen tersebut masih bisa masuk ke pelabuhan, meskipun mulut pelabuhan telah dibuat menghadap ke kiri, tetapi jumlahnya lebih sedikit dibanding apabila mulut menghadap ke kanan.

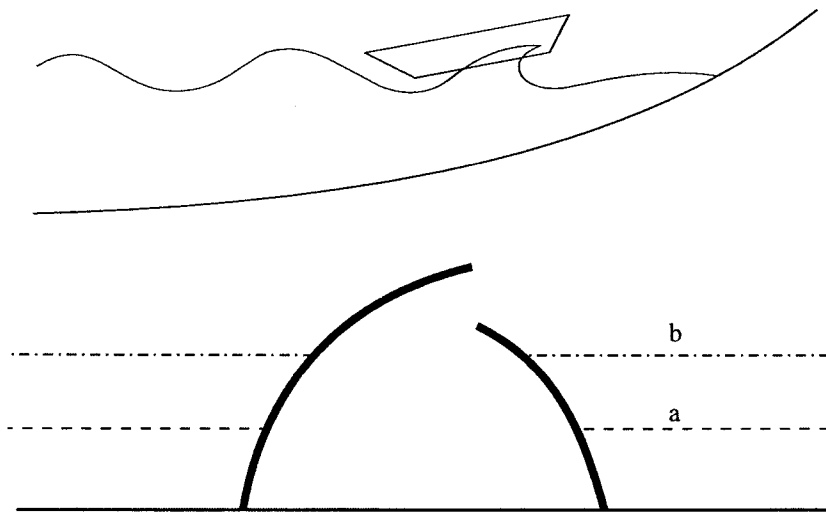


Gambar 2.7. Pengaruh sedimen terhadap pemecah gelombang

Perlu ditambahkan di sini bahwa di dalam pembangunan pelabuhan, ujung pemecah gelombang harus berada di luar lokasi gelombang pecah. Di lokasi gelombang pecah terjadi limpasan energi gelombang yang sangat kuat sehingga menyebabkan turbulensi yang sangat besar. Pada saat masuk ke mulut pelabuhan kapal harus dapat bergerak dengan tenang, tidak terganggu oleh turbulensi dan hantaman gelombang pecah. Dengan membuat mulut pemecah gelombang berada di luar lokasi gelombang pecah, di mana pada lokasi tersebut kondisi air tenang, maka kapal akan mudah masuk ke mulut pelabuhan.

Apabila mulut pelabuhan pada atau di dalam lokasi gelombang pecah, ketika akan masuk ke mulut pelabuhan kapal akan terhempas oleh

gelombang pecah yang dapat membahayakan stabilitasnya dan mendorong kapal yang bisa menyebabkan benturan dengan pemecah gelombang. Gambar 2.8. menunjukkan kondisi tersebut.



a : lokasi gelombang pecah pada saat pasang
b : lokasi gelombang pecah pada saat surut

Gambar 2.8. Gelombang pecah bisa membahayakan gerak kapal

2.4.4. Penentuan Tata Letak Pemecah Gelombang

Telah dijelaskan di depan bahwa arah gelombang dan angin dominan sangat menentukan tata letak palabuhan. Di dalam tinjauan pelayaran, diharapkan bahwa kapal-kapal yang masuk ke mulut pelabuhan tidak menerima serangan gelombang dan angin pada sisi kapal yang dapat membahayakan gerak kapal. Ditinjau dari sisi pelayaran, mulut pemecah gelombang sebaiknya menghadap arah datangnya gelombang. Namun mulut pelabuhan yang menghadap arah datangnya gelombang akan menyebabkan masuknya energi gelombang yang besar ke pelabuhan, sehingga mengganggu kapal yang sedang bongkar muat barang. Demikian juga mulut pelabuhan yang menghadap datang gelombang dan arah arus sepanjang pantai juga akan menyebabkan sedimentasi di pelabuhan. Oleh karena itu harus diambil kompromi sehingga didapat pelabuhan yang an-

dal dan memungkinkan kapal-kapal dapat berlabuh dengan mudah dan aman, namun juga pelabuhan tidak banyak mengalami sedimentasi. Berbagai tinjauan tersebut disajikan dalam Tabel 2.1. dari pertimbangan tersebut dipilih tata letak pelabuhan dengan mulut pelabuhan tidak menghadap arah datang gelombang. Untuk memudahkan pelayaran kapal, mulut pelabuhan dibuat lebih lebar.

Tabel 2.1. Pertimbangan pemilihan tata letak

Tinjauan	Tata letak (a)*	Tata letak (b)*
Pelayaran	Jelek	Baik
Ketenangan pelabuhan	Baik	Jelek
Sedimentasi	Baik	Jelek

*Gambar 2.2., 2.3., dan 2.5.

2.5. Tata Letak Fasilitas Pelabuhan

Dalam sub bab sebelumnya telah dijelaskan persyaratan dan fasilitas yang diperlukan oleh suatu pelabuhan. Penentuan tata letak fasilitas pelabuhan tergantung pada beberapa faktor, di antaranya adalah angin, gelombang, arus, kondisi geografis, jumlah dan ukuran kapal yang akan menggunakan pelabuhan, dan penggunaan kapal tunda untuk membantu gerak kapal. Pelabuhan yang direncanakan harus seefektif dan seefisien mungkin sedemikian sehingga biaya pembangunan seminimal mungkin, tetapi masih memungkinkan pengoperasian kapal dengan mudah dan aman. Pelabuhan juga dimungkinkan untuk dapat berkembang di masa yang akan datang. Pembangunan pelabuhan di perairan yang terlindung secara alami dapat mengurangi biaya pembangunannya karena tidak memerlukan pemecah gelombang yang sangat mahal.

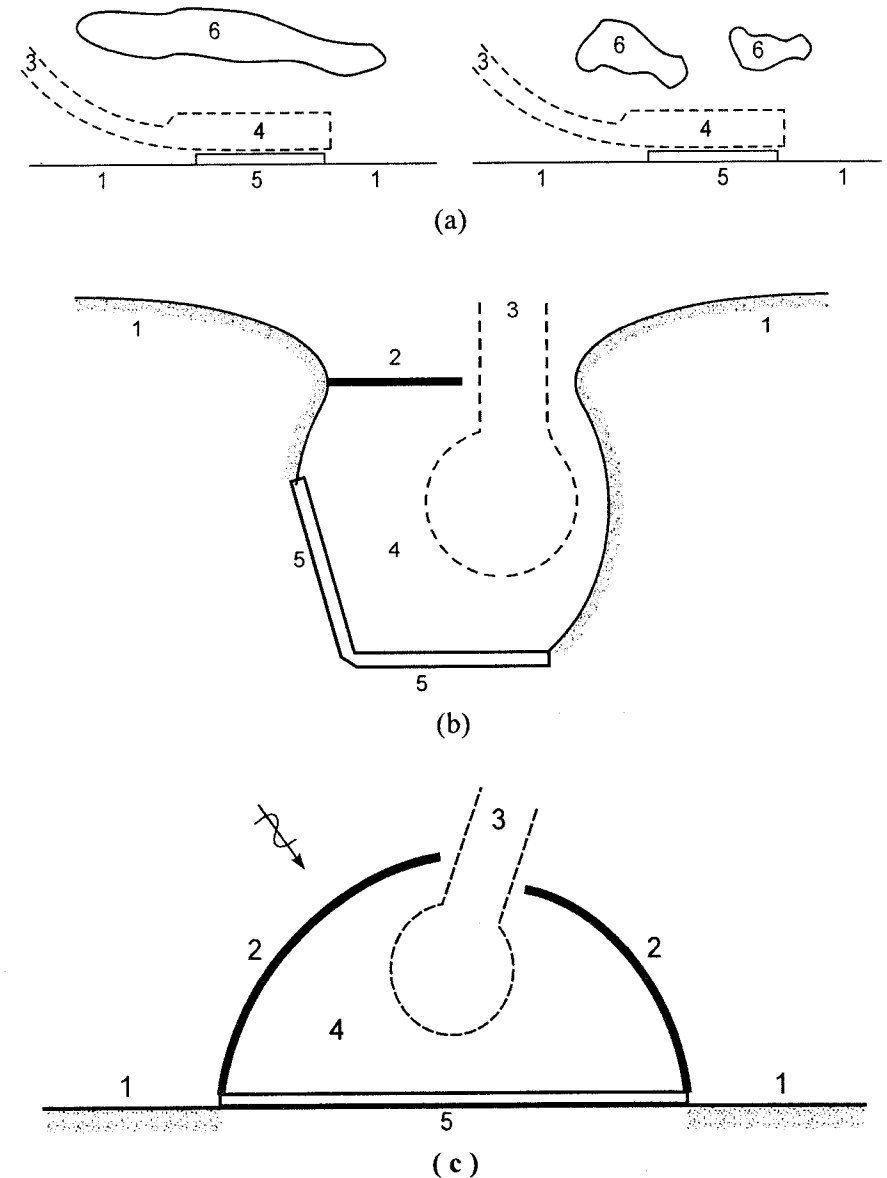
Gambar 2.10. adalah contoh beberapa bentuk tata letak fasilitas pelabuhan. Gambar 10.a. menunjukkan perairan yang tenang terhadap gangguan gelombang karena terlindung oleh pulau, yang dimanfaatkan sebagai pelabuhan. Fasilitas pelabuhan terdiri dari dermaga dan alur pelayaran yang diperlebar di depan dermaga untuk memungkinkan gerak berputarnya kapal. Pelabuhan ini dibuat dengan mengeruk alur pada perairan dangkal. Karena pelabuhan terlindung secara alami oleh suatu pulau, maka tidak diperlukan pemecah gelombang. Contoh dari pelabuhan

tipe ini adalah Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap yang terlindung oleh Pulau Nusakambangan dan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yang terlindung oleh Pulau Madura. Pelabuhan yang memanfaatkan perairan tenang secara alami juga dapat dibangun di sungai atau muara sungai. Perairan di muara sungai tidak terganggu oleh gelombang, namun di muara sungai terdapat arus sungai cukup besar terutama pada waktu banjir. Contoh pelabuhan di sungai adalah Pelabuhan Belawan-Medan, Pelabuhan Palembang, Pelabuhan Pontianak, dsb.

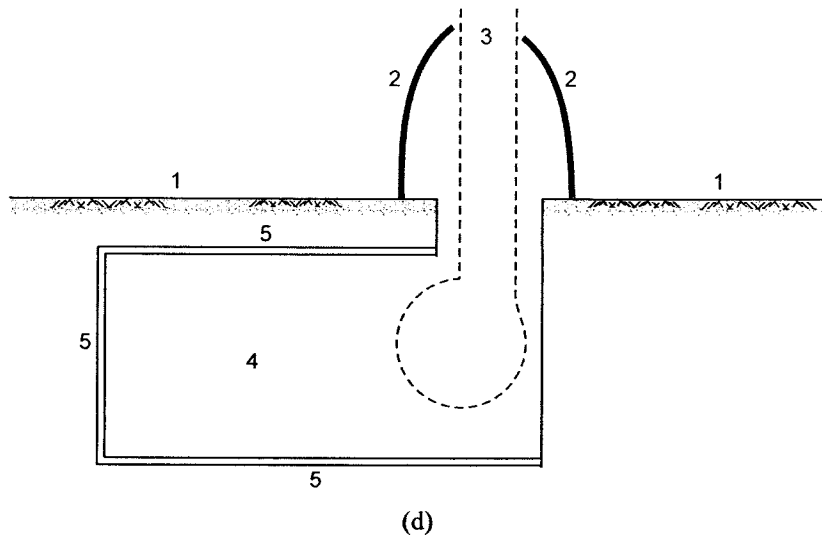
Gambar 2.10.b. adalah pelabuhan yang berada di suatu teluk. Perairan di teluk relatif tenang dibanding dengan di laut terbuka. Namun pada saat air pasang dan gelombang datang dari arah tegak lurus teluk, gelombang di perairan masih cukup besar. Untuk mengurangi gangguan gelombang dibangun pemecah gelombang pada salah satu sisi tebing. Alur pelayaran dibuat pada sisi tebing lainnya. Pengerukan dilakukan pada alur pelayaran dan kolam pelabuhan untuk memungkinkan kapal dapat masuk ke pelabuhan dengan aman. Kolam putar dibuat untuk memungkinkan kapal merubah arah. Dermaga dibangun pada tepi garis pantai. Contoh pelabuhan tipe ini adalah beberapa pelabuhan di pantai selatan Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Tengah dan Jawa Timur yang merupakan pantai berkarang dengan banyak teluk, seperti Pelabuhan Perikanan Sadeng di DIY, Pelabuhan Perikanan Prigi di Jawa Timur.

Gambar 2.10.c. adalah bentuk pelabuhan dengan daerah perairan yang dilindungi oleh dua buah pemecah gelombang. Untuk memudahkan kapal berubah arah, dibuat kolam putar berbentuk lingkaran. Pada pelabuhan besar yang memungkinkan kapal dapat merubah arah dengan mudah, jari-jari kolam putar adalah sama dengan dua kali panjang kapal terbesar. Beberapa contoh pelabuhan tipe ini diantaranya adalah Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta, Pelabuhan Tanjung Mas Semarang.

Gambar 2.10.d. adalah pelabuhan yang dibangun dengan melakukan pengerukan di darat untuk kolam pelabuhan. Untuk melindungi alur pelayaran dan perairan pelabuhan dari gangguan gelombang, dibuat pemecah gelombang. Pelabuhan tipe ini dipilih untuk mengurangi panjang pemecah gelombang yang sangat mahal, terutama di laut dengan gelombang sangat besar. Namun diperlukan pengerukan lahan untuk kolam pelabuhan. contoh pelabuhan tipe ini adalah Pelabuhan Perikanan Samudra Cilacap.



Gambar 2.10. a) Pelabuhan di perairan terlindung pulau, b) pelabuhan di teluk, c) pelabuhan di laut terbuka. 1. Garis pantai asli, 2. Pemecah gelombang, 3. Alur pelayaran, 4. Perairan pelabuhan, 5. Dermaga, 6. Pulau.



Gambar 2.10. d) Pelabuhan dengan kolam pelabuhan di darat

2.6. Mulut Pelabuhan

Pemecah gelombang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan terhadap gangguan gelombang. Kapal masuk dan keluar ke/dari pelabuhan melalui mulut pelabuhan. Tata letak dan lebar mulut pelabuhan harus direncanakan dengan cermat yang memungkinkan kapal dapat masuk ke pelabuhan dengan mudah dan aman. Seperti telah diberikan dalam Sub Bab 2.4. Tata letak mulut pelabuhan ditentukan berdasar tinjauan kemudahan pelayaran, ketenangan perairan terhadap gangguan gelombang, dan pengaruh sedimentasi; seperti telah dijelaskan dalam Sub Bab 2.4. Untuk kemudahan pelayaran, lebar alur dibuat menghadap langsung ke laut dan cukup lebar serta arah angin dan gelombang dominan tidak mengenai sisi samping kapal (angin dan gelombang melintang). Di sisi lain, semakin kecil lebar mulut pelabuhan, ketenangan di perairan akan semakin baik. Diperlukan kompromi untuk menentukan tata letak mulut pelabuhan yang memungkinkan ketenangan di perairan lebih terjaga dan terhindar dari sedimentasi. Pada kondisi di mana tidak mungkin menghindari angin dan gelombang melintang, maka pemecah gelombang di sisi yang menghadap arah angin dan gelombang dapat diperpanjang sepanjang satu kali panjang kapal rencana. Dengan demikian ketika kapal

melewati mulut pelabuhan telah terlindung dari angin dan gelombang melintang. Mulut pelabuhan juga harus berada di luar lokasi gelombang pecah. Apabila mulut pelabuhan berada di daerah gelombang pecah (*surf zone*) akan menyulitkan gerak kapal karena terdorong oleh hampasan gelombang pecah.

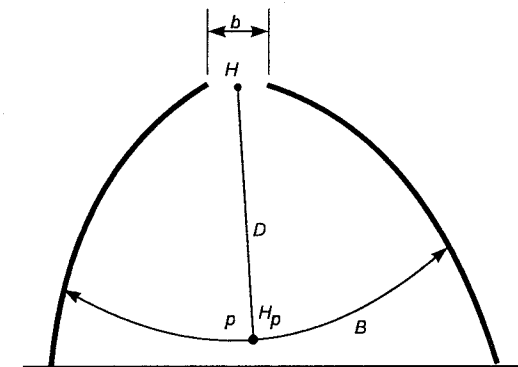
Gelombang dari laut dalam akan masuk ke pelabuhan melalui mulut pelabuhan. Dalam perjalanannya masuk ke pelabuhan, tinggi gelombang berkurang secara berangsur-angsur karena adanya proses difraksi, yaitu menyebarnya energi gelombang ke seluruh lebar daerah perairan pelabuhan. Tinggi gelombang di kolam pelabuhan dapat dihitung dengan rumus Stevenson, yang mempunyai bentuk :

$$H_p = H \left[\sqrt{\frac{b}{B}} - 0,027 \sqrt[4]{D} \left(1 + \sqrt{\frac{b}{B}} \right) \right] \quad (2.1)$$

dengan :

- H_p : tinggi gelombang di titik P di dalam pelabuhan (m).
- H : tinggi gelombang di mulut pelabuhan (m).
- b : lebar mulut (m)
- B : lebar kolam pelabuhan di titik P , yaitu panjang busur lingkaran dengan jari-jari D dan pusat pada titik tengah mulut (m).
- D : jarak dari mulut ke titik P .

Persamaan tersebut tidak berlaku pada titik yang berjarak kurang dari 15 m dari mulut.



Gambar 2.14. Penjelasan rumus Stevenson (Quinn A.Def., 1972)

BAB III

ANGIN, PASANG SURUT DAN GELOMBANG

3.1. Pendahuluan

Perencanaan pelabuhan harus memperhatikan berbagai faktor yang akan berpengaruh pada bangunan-bangunan pelabuhan dan kapal-kapal yang berlabuh. Ada tiga faktor yang harus diperhitungkan yaitu angin, pasang surut dan gelombang. Pengetahuan tentang angin sangat penting karena angin menimbulkan arus dan gelombang; dan angin dapat menimbulkan tekanan pada kapal dan bangunan pelabuhan. Pasang surut adalah penting di dalam menentukan dimensi bangunan pelabuhan seperti pemecah gelombang, dermaga, pelampung penambat, kedalaman alur pelayaran dan perairan pelabuhan, dan sebagainya. Elevasi puncak bangunan didasarkan pada elevasi muka air pasang, sedang kedalaman alur dan perairan pelabuhan berdasar muka air surut. Elevasi muka air rencana ditetapkan berdasar pengukuran pasang surut dalam periode waktu yang panjang.

Gelombang yang menyerang bangunan pantai akan menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan tersebut. Bangunan harus tetap aman terhadap gaya gelombang yang bekerja padanya. Selain itu gelombang juga akan berpengaruh pada ketenangan di perairan pelabuhan. Di dalam bab ini akan dipelajari angin, pasang surut dan gelombang.

3.2. Angin

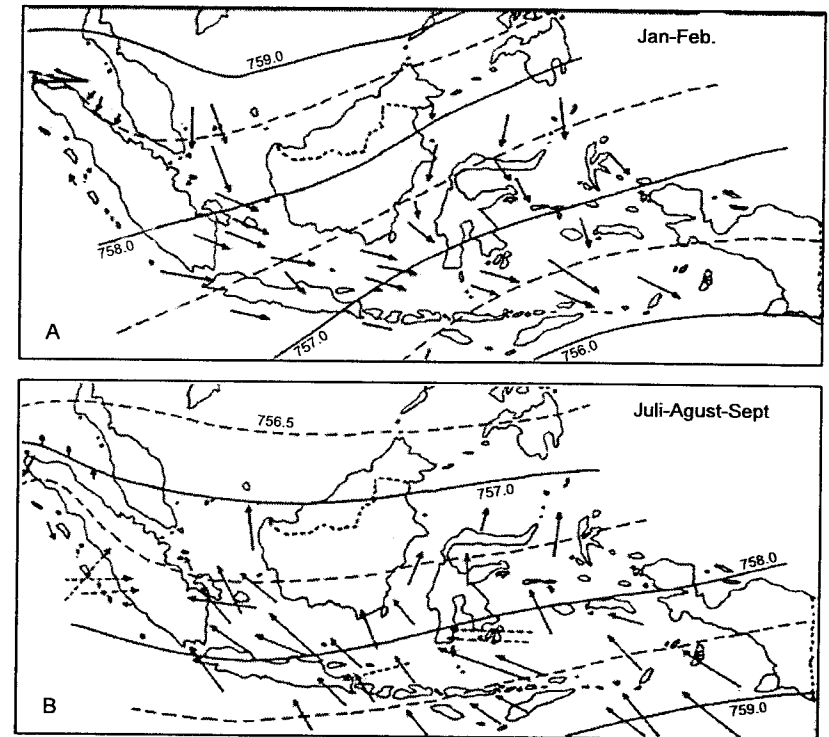
Sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi disebut angin. Gerakan udara ini disebabkan oleh perubahan temperatur atmosfer. Pada waktu udara dipanasi, rapat massanya berkurang, yang berakibat naiknya udara tersebut yang kemudian diganti oleh udara yang lebih dingin di sekitarnya. Perubahan temperatur di atmosfer disebabkan oleh perbedaan penyerapan panas oleh tanah dan air, atau perbedaan panas di gunung dan lembah, atau perubahan yang disebabkan oleh siang dan malam, atau perbedaan suhu pada belahan bumi bagian utara dan selatan karena adanya perbedaan musim dingin dan panas. Daratan lebih cepat menerima panas dari pada air (laut) dan sebaliknya daratan juga lebih cepat melepaskan panas. Oleh karena itu pada waktu siang hari daratan lebih panas daripada laut. Udara di atas daratan akan naik dan diganti oleh udara dari laut, sehingga terjadi angin laut. Sebaliknya, pada waktu malam hari daratan lebih dingin daripada laut, udara di atas laut akan naik dan diganti oleh udara dari daratan sehingga terjadi angin darat.

Indonesia mengalami angin musim, yaitu angin yang berhembus secara mantap dalam satu arah dalam satu periode dalam suatu tahun. Pada periode yang lain arah angin berlawanan dengan angin pada periode sebelumnya. Angin musim ini terjadi karena adanya perbedaan musim dingin dan panas di Benua Asia dan Australia. Pada bulan Desember, Januari dan Februari, belahan bumi bagian utara mengalami musim dingin; sedang belahan bumi bagian selatan mengalami musim panas.

Tekanan udara di daratan Asia adalah lebih tinggi dari daratan Australia, sehingga angin berhembus dari Asia menuju Australia. Tekanan udara di belahan bumi utara lebih tinggi dari belahan bumi selatan, sehingga angin dari Samudra Pasifik yang basah berhembus dari timur laut, dan karena perputaran bumi, di khatulistiwa dibelokkan menjadi dari arah barat laut. Di Indonesia angin tersebut dikenal dengan Angin Musim Barat, dengan arah dari barat laut.

Sebaliknya pada bulan Juli, Agustus dan September di Australia bermusim dingin dan Asia musim panas, sehingga angin dari daratan Australia yang kering berhembus dari tenggara, dan di khatulistiwa arah angin berubah karena perputaran bumi, menjadi dari arah barat daya menuju timur laut. Di Indonesia angin ini dikenal Angin Musim Timur. Sistem tekanan tersebut adalah tetap sehingga angin musim bertiup de-

ngan stabil terutama di lautan. Selat dan pegunungan yang membujur di pulau-pulau dapat mempengaruhi arah angin musim. Gambar 3.1. menunjukkan arah angin musim (Anugerah Nontji, 1987). Dalam gambar tersebut ditunjukkan pula garis isobar (garis dengan tekanan sama).



(Anugerah Nontji, 1987)

Gambar 3.1. Arah angin musim

Istilah Musim Barat dan Musim Timur banyak digunakan, meskipun seringkali juga disebut dengan istilah lain sesuai dengan arah utama angin yang bertiup di suatu daerah tertentu. Misalnya Musim Barat di sebelah utara garis khatulistiwa sering pula disebut dengan Musim Timur Laut, di sekitar khatulistiwa disebut dengan Musim Utara dan di sebelah selatan khatulistiwa dikenal dengan Musim Barat Laut. Sebaliknya Musim Timur disebut juga Musim Barat Daya di utara khatulistiwa, Musim Selatan di khatulistiwa dan Musim Tenggara di selatan khatulistiwa.

Kecepatan angin diukur dengan anemometer. Apabila tidak tersedia anemometer, kecepatan angin dapat diperkirakan berdasar keadaan lingkungan dengan menggunakan skala Beaufort, seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.1. Kecepatan angin biasanya dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui katulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1,852 km/jam.

Tabel 3.1. Skala Beaufort

Tingkat	Sifat Angin	Keadaan Lingkungan	V (knot)	P (kg/m ²)
0	Sunyi (calm)	Tidak ada angin, asap mengumpul	0-1	0,2
1	Angin sepoi	Arah angin terlihat pada arah asap, tidak ada bendera angin	1-3	0,8
2	Angin sangat lemah	Angin terasa pada muka, daun ringan bergerak	4-6	3,5
3	Angin lemah	Daun/ranting terus menerus bergerak	7-10	8,1
4	Angin sedang	Debu/kertas tertiup, ranting dan cabang kecil bergerak	11-16	15,7
5	Angin agak kuat	Pohon kecil bergerak, buih putih di laut	17-21	26,6
6	Angin kuat	Dahan besar bergerak, suara mendesir kawat tilpun	22-27	41,0
7	Angin kencang	Pohon seluruhnya bergerak, perjalanan di luar sukar	28-33	60,1
8	Angin sangat kuat	Ranting pohon patah, berjalan mementang angin	34-40	83,2
9	Badai	Kerusakan kecil pada rumah, genting tertiup dan terlempar	41-47	102,5
10	Badai kuat	Pohon tumbang, kerusakan besar pada rumah	48-55	147,5
11	Angin ribut	Kerusakan karena badai terdapat di daerah luas	56-63	188,0
12	Angin topan	Pohon besar tumbang, rumah rusak berat	64	213,0

Catatan : V : kecepatan angin dan p : tekanan angin

Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam tabel seperti terlihat dalam Tabel 3.2. Dengan pencatatan angin jam-jaman tersebut akan dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin, dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian.

Jumlah data angin seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.2. untuk beberapa tahun pengamatan adalah sangat besar. Untuk itu data tersebut harus diolah dan disajikan dalam bentuk tabel (ringkasan) atau diagram yang disebut dengan mawar angin. Penyajian tersebut dapat diberikan dalam bentuk bulanan, tahunan atau untuk beberapa tahun pencatatan. Dengan tabel atau mawar angin tersebut maka karakteristik angin dapat dibaca dengan cepat. Tabel 3.3. adalah contoh penyajian data angin dalam bentuk tabel dari pencatatan angin di lapangan terbang Kemayoran selama 11 tahun (1974-1985). Sedang Gambar 3.2. adalah contoh mawar angin yang dibuat berdasarkan data dalam Tabel 3.3.

Tabel dan gambar tersebut menunjukkan persentasi kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. Sebagai contoh, persentasi kejadian angin dengan kecepatan 10-13 knot dari arah utara adalah 1,23 % dari 11 tahun pencatatan.

Dalam gambar tersebut garis-garis radial adalah arah angin dan tiap lingkaran menunjukkan persentasi kejadian angin dalam periode waktu pengukuran.

3.3. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari.

Pengetahuan tentang pasang surut adalah penting di dalam perencanaan pelabuhan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pelabuhan. Sebagai contoh, elevasi puncak bangunan pemecah gelombang dan dermaga ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara kedalaman alur pelayaran dan perairan pelabuhan ditentukan oleh muka air surut.

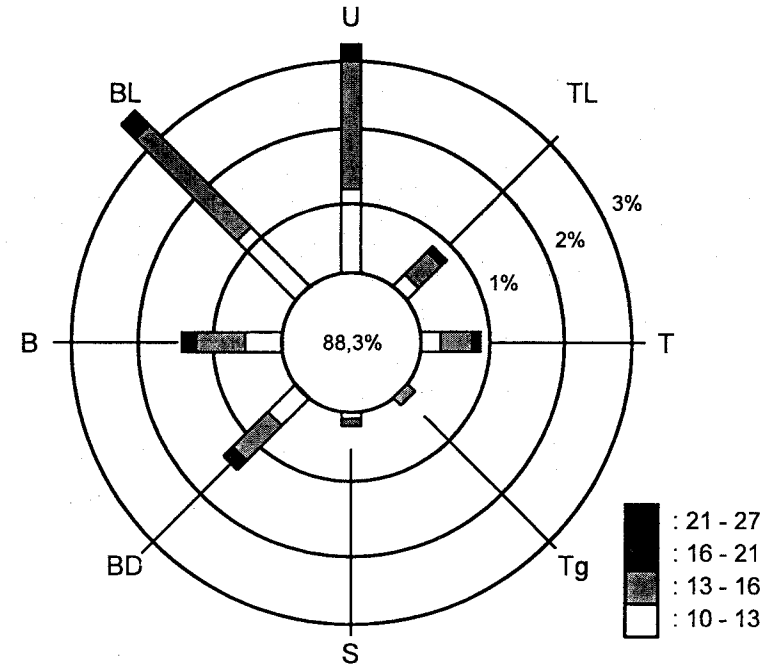
Tabel 3.2. Pencatatan angin tiap jam

Tgl	Pukul																								Angin maximum			
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Arah	Kecep	Pukul	
1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	30,8	14,35
2	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	27,5	10,45
3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	31,3	18,05
4	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	297	1631
5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	264	22,20
6	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	23,7	24,00
7	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	27,0	18,45
25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-	
26	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	23,2	10,15
27	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	20,0	18,05	
28	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	21,0	15,03	

Catatan: C : Calm ; N : North; NW : North West
Kecepatan angin dalam knot

Tabel 3.3. Data persentasi kejadian angin di Kemayoran tahun 1974-1985

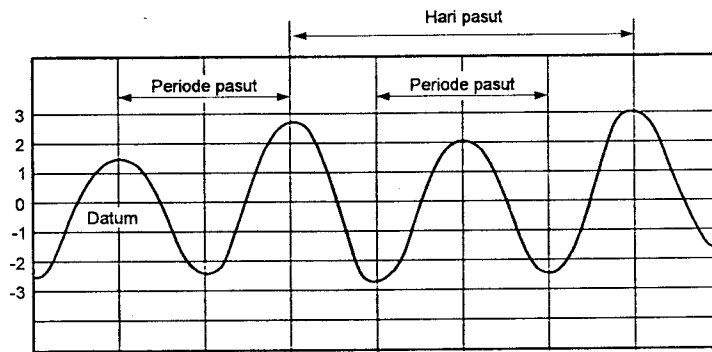
Kecepatan (knot)	Arah Angin							
	U	TL	T	Tg	S	BD	B	BL
0-10	88,3 %							
10-13	1,23	0,27	0,32	0,06	0,08	0,6	0,56	1,35
13-16	1,84	0,40	0,48	0,08	0,13	0,7	0,70	2,03
16-21	0,17	0,07	0,08	0,01	0,01	0,12	0,12	0,20
21-27	0,01	-	-	-	-	0,03	0,03	-



Gambar 3.2. Mawar angin

3.3.1. Kurva pasang surut

Gambar 3.3. menunjukkan contoh hasil pencatatan muka air laut sebagai fungsi waktu (kurva pasang surut).



Gambar 3.3. Kurva pasang surut

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berturutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama berikutnya. Periode pasang surut bisa 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, yang tergantung pada tipe pasang surut. Periode pada mana muka air naik disebut pasang, sedang pada saat air turun disebut surut. Variasi muka air menimbulkan arus yang disebut dengan arus pasang surut, yang mengangkut massa air dalam jumlah sangat besar. Arus pasang terjadi pada waktu periode pasang dan arus surut terjadi pada periode air surut. Titik balik (*slack*) adalah saat di mana arus berbalik antara arus pasang dan arus surut. Titik balik ini bisa terjadi pada saat muka air tertinggi dan muka air terendah. Pada saat tersebut kecepatan arus adalah nol.

3.3.2. Pembangkitan pasang surut

Gaya-gaya pembangkit pasang surut ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara bumi, bulan dan matahari. Penjelasan terjadinya pasang surut dilakukan hanya dengan memandang suatu sistem bumi-bulan; sedang untuk sistem bumi-matahari penjelasannya adalah identik. Dianggap bahwa permukaan bumi, yang apabila tanpa pengaruh gaya tarik bulan, tertutup secara merata oleh laut (bentuk permukaan air adalah bundar).

Rotasi bumi menyebabkan elevasi muka air laut di khatulistiwa lebih tinggi daripada di garis lintang yang lebih tinggi. Tetapi karena pengaruhnya yang seragam di sepanjang garis lintang yang sama, sehingga tidak bisa diamati sebagai suatu variasi pasang surut. Oleh karena itu rotasi bumi tidak menimbulkan pasang surut. Di dalam penjelasan pasang surut ini dianggap bahwa bumi tidak berrotasi.

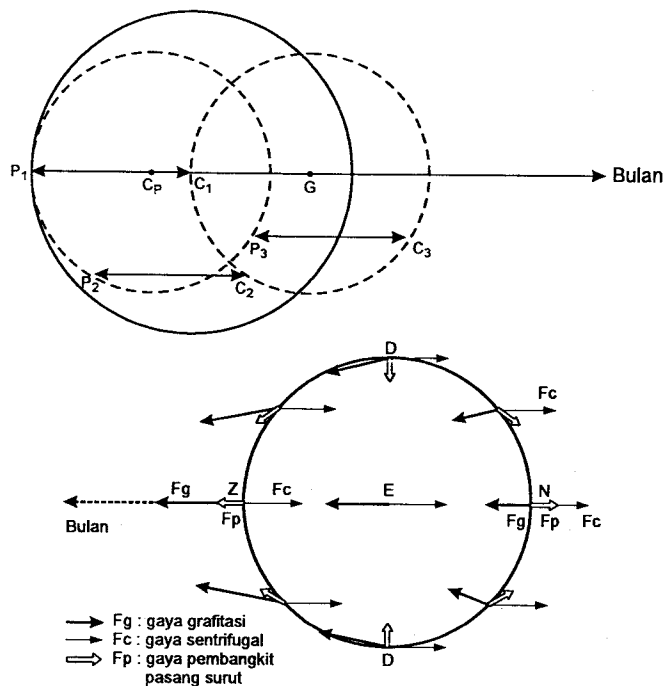
Gaya tarik menarik antara bumi dan bulan tersebut menyebabkan sistem bumi-bulan menjadi satu sistem kesatuan yang beredar bersama-sama sekeliling sumbu perputaran bersama (*common axis of revolution*). Sumbu perputaran bersama ini adalah pusat berat dari sistem bumi-bulan, yang berada di bumi dengan jarak 1718 km di bawah permukaan bumi.

Selama peredaran tersebut, setiap titik di bumi beredar sekeliling pusatnya dalam orbit berbentuk lingkaran dengan jari-jari sama dengan jari-jari dari revolusi pusat massa bumi sekeliling sumbu perputaran bersama. Jari-jari tersebut adalah sama dengan jarak antara pusat massa bumi dan sumbu perputaran bersama. Gambar 3.4.a. menunjukkan revolusi pusat massa bumi sekeliling sumbu perputaran bersama. Dipandang titik P yang berada di permukaan bumi. Selama gerak revolusi pusat massa bumi C sekeliling sumbu perputaran bersama G (tidak disertai dengan rotasi) titik P beredar sekeliling C_p dengan orbit lintasan berbentuk lingkaran yang berjari-jari sama dengan jari-jari orbit pusat massa bumi sekeliling sumbu perputaran bersama (CG). Dalam peredaran tersebut titik C_1 bergerak ke C_2 dan P_1 juga bergerak ke P_2 . Demikian juga karena C_2 bergerak ke C_3 , P_2 juga bergerak ke P_3 , demikian seterusnya. Orbit yang dilintasi adalah $P_1 P_2 P_3$ dan seterusnya.

Dengan adanya perputaran tersebut maka pada setiap titik di bumi bekerja gaya sentrifugal (F_c) yang sama besar dan arahnya. Arah gaya tersebut adalah berlawanan dengan posisi bulan. Selain itu karena pengaruh gravitasi bulan, setiap titik di bumi mengalami gaya tarik (FM_g) dengan arah menuju pusat massa bulan, sedang besar gaya tergantung pada jarak antara titik yang ditinjau dan pusat massa bulan.

Gaya pembangkit pasang surut adalah resultan dari kedua gaya tersebut (Gambar 3.4.b). Pada sumbu bumi gaya gravitasi dan gaya sentrifugal adalah seimbang. Suatu elemen air yang berada pada sisi bumi yang terjauh dari bulan, gaya sentrifugal lebih besar dari gaya gravitasi ($FMV_c < F_g$), sehingga resultannya keluar dan akibatnya permukaan air tertarik keluar. Sedangkan pada belahan bumi yang terdekat dengan bulan

$F < MV_g < FMV_c$, sehingga resultannya juga keluar (ke arah bulan) dan permukaan air tertarik ke arah bulan.



Gambar 3.4. Pembangkitan pasang surut (Schwartz, ML, 1987)

Penjelasan tentang pembangkitan pasang surut yang diberikan di depan adalah dengan anggapan bahwa bumi dikelilingi oleh laut secara merata. Pada kenyataannya di permukaan bumi terdapat pulau-pulau dan benua-benua. Selain itu dasar laut juga tidak rata, karena adanya palung yang dalam, perairan dangkal, selat, teluk, gunung bawah laut, dan sebagainya. Keadaan ini menyebabkan terjadinya penyimpangan-penyimpangan dari kondisi yang ideal, dan dapat menimbulkan ciri-ciri pasang surut yang berbeda dari satu lokasi ke lokasi lainnya.

3.3.3. Beberapa tipe pasang surut

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat

tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semi-diurnal tide*) dan dua jenis campuran. Gambar 3.5. menunjukkan keempat jenis pasang surut tersebut. Sedang Gambar 3.6. adalah sebaran keempat jenis pasang surut tersebut di Indonesia dan sekitarnya.

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur (Gambar 3.5.a.). Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.

2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut (Gambar 3.5.d). Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata.

3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

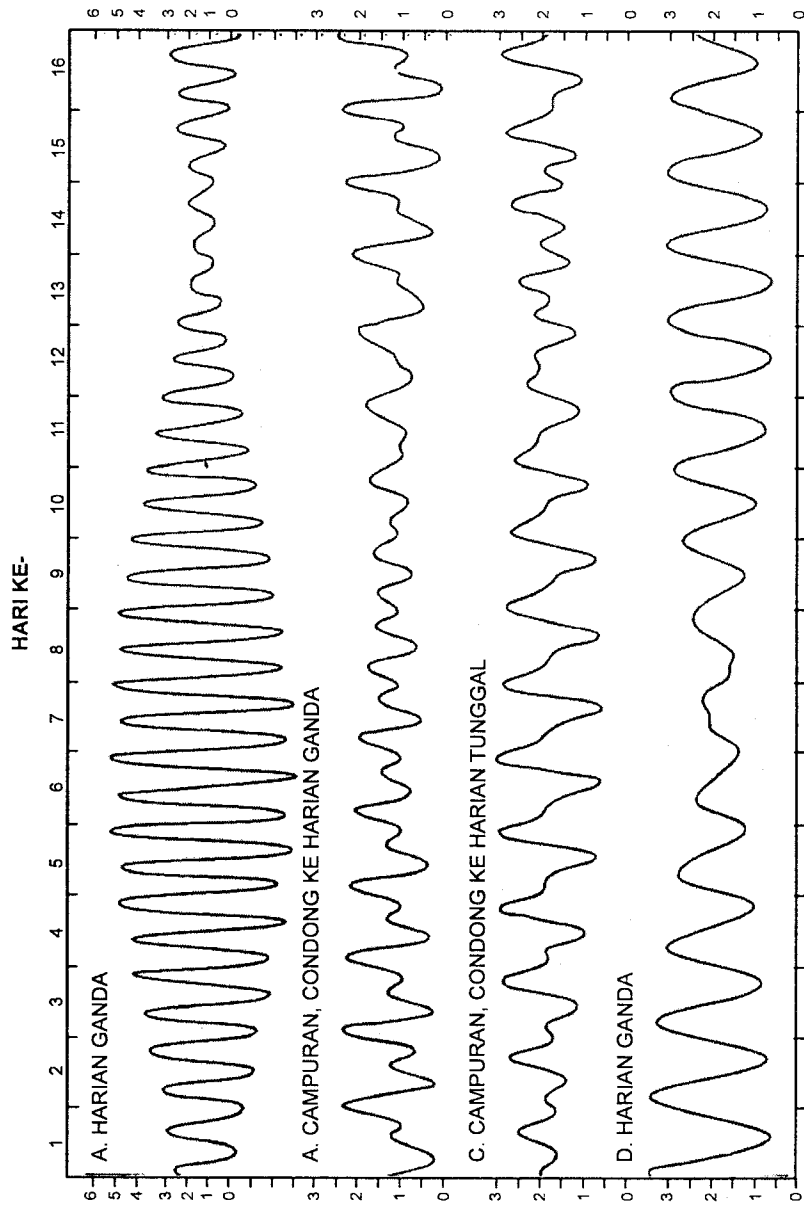
Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda (Gambar 3.5.b.). Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.

4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

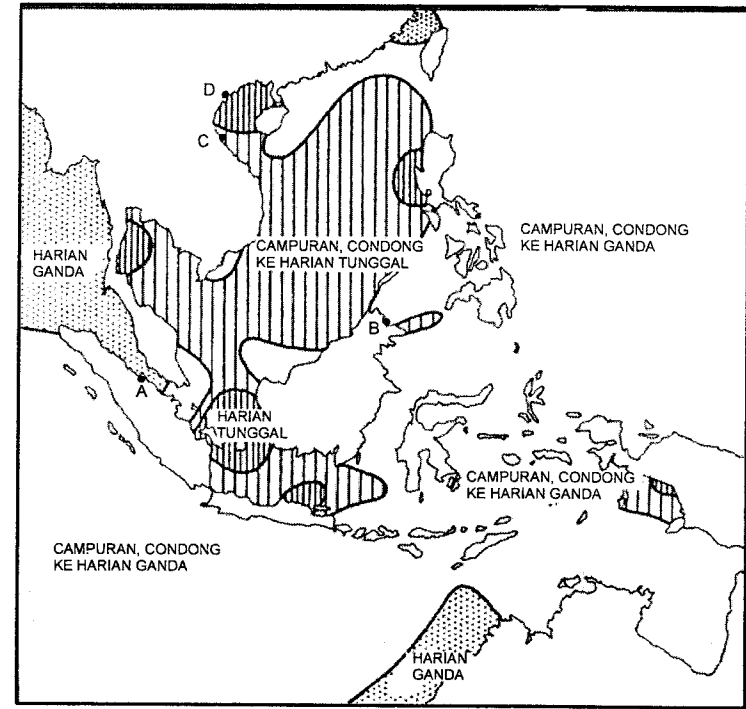
Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda (Gambar 3.5.c). Pasang surut jenis ini terdapat di selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

3.3.4. Pasang surut purnama dan perbani

Proses terjadinya pasang surut purnama dan perbani ini dapat dijelaskan sebagai berikut ini. Seperti telah dijelaskan di depan, dengan adanya gaya tarik bulan dan matahari maka lapisan air yang semula berbentuk bola berubah menjadi ellips. Karena peredaran bumi dan bulan pada orbitnya, maka posisi bumi-bulan-matahari selalu berubah setiap saat.



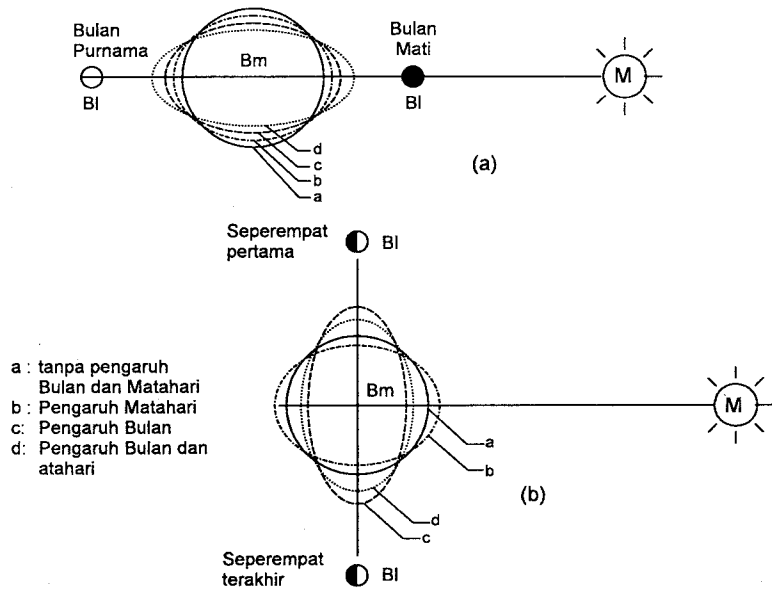
Gambar 3.5. Tipe pasang surut (Anugerah Nontji, 1987)



(Anugerah Nontji, 1987)

Gambar 3.6. Sebaran pasang surut di perairan Indonesia dan sekitarnya

Revolusi bulan terhadap bumi ditempuh dalam waktu 29,5 hari (jumlah hari dalam satu bulan menurut kalender tahun kamariah, yaitu tahun yang didasarkan pada peredaran bulan). Pada setiap sekitar tanggal 1 dan 15 (bulan muda dan bulan purnama) posisi bumi-bulan-matahari kira-kira berada pada satu garis lurus (Gambar 3.7.a), sehingga gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi saling memperkuat. Dalam keadaan ini terjadi pasang surut purnama (pasang besar, *spring tide*), di mana tinggi pasang surut sangat besar dibanding pada hari-hari yang lain. Sedang pada sekitar tanggal 7 dan 21 (seperempat dan tiga perempat revolusi bulan terhadap bumi) di mana bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi (Gambar 3.7) maka gaya tarik bulan terhadap bumi saling mengurangi. Dalam keadaan ini terjadi pasang surut perbani (pasang kecil, *neap tide*) di mana tinggi pasang surut kecil dibanding dengan hari-hari yang lain. Gambar 3.8. menunjukkan variasi pasang surut selama satu bulan yang menunjukkan terjadinya pasang surut purnama dan perbani.

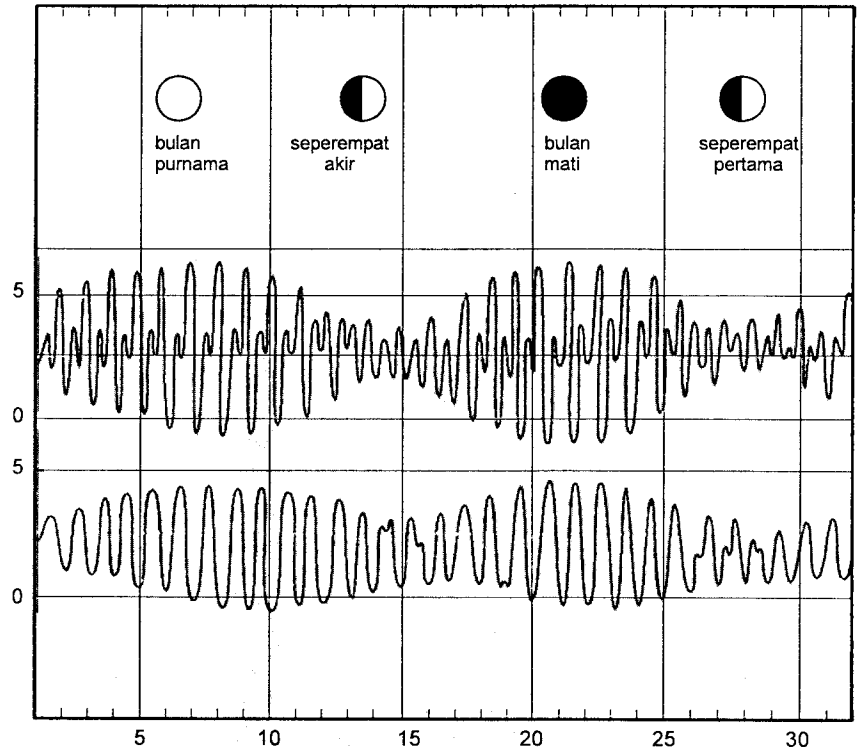


Gambar 3.7. Kedudukan bumi-bulan-matahari saat pasang purnama (a) dan perbani (b)

3.3.5. Beberapa definisi elevasi muka air

Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu pelabuhan. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut ini.

1. Muka air tinggi (*high water level*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. Muka air rendah (*low water level*), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level, MHWL*), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level, MLWL*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
5. Muka air laut rerata (*mean sea level, MSL*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.



Gambar 3.8. Variasi pasang surut tergantung tata letak bumi-bulan-matahari (Ippen, AT., 1966)

6. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
7. Air rendah terendah (*Lowest low water level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
8. *Higher high water level*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
9. *Lower low water level*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

Beberapa definisi muka air tersebut banyak digunakan dalam perencanaan bangunan pelabuhan, misalnya *MHWL* atau *HHWL* digunakan untuk menentukan elevasi puncak pemecah gelombang, dermaga, panjang rantai pelampung penambat, dan sebagainya. Sedang *LLWL* diperlukan untuk menentukan kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan.

3.3.6. Elevasi muka air rencana

Di dalam perencanaan pelabuhan diperlukan data pengamatan pasang surut minimal selama 15 hari yang digunakan untuk menentukan elevasi muka air rencana. Dengan pengamatan selama 15 hari tersebut telah tercakup satu siklus pasang surut yang meliputi pasang purnama dan perbani. Pengamatan lebih lama (30 hari atau lebih) akan memberikan data yang lebih lengkap. Pengamatan muka air dapat dengan menggunakan alat otomatis (*automatic water level recorder*) atau secara manual dengan menggunakan bak ukur dengan interval pengamatan setiap jam, siang dan malam. Untuk dapat melakukan pembacaan dengan baik tanpa terpengaruh gelombang, biasanya pengamatan dilakukan di tempat terlindung, seperti muara sungai atau teluk.

Gambar 3.9. adalah contoh hasil pengamatan pasang surut selama 30 hari di muara Sungai Donan, Cilacap. Dari kurva pasang surut tersebut dapat ditentukan beberapa elevasi muka air, yaitu *MHWL*, *MLWL*, *MSL*, *HHWL* dan *LLWL*; seperti terlihat dalam Gambar 3.9.

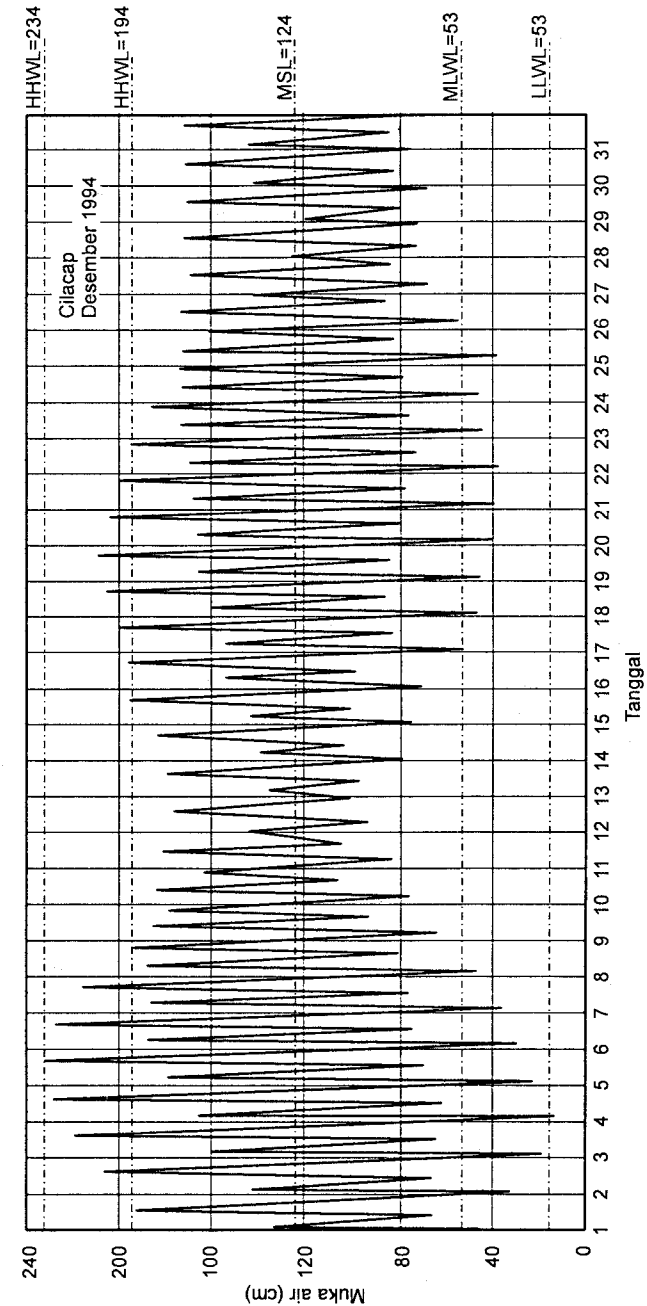
Dari data pengamatan selama 15 hari atau 30 hari dapat diramalkan pasang surut untuk periode berikutnya dengan menggunakan metode Admiralty atau metode kuadrat terkecil (*least square method*).

Metode peramalan tersebut tidak diberikan dalam buku ini dan dapat dipelajari dari buku-buku tentang pasang surut atau teknik pantai. Jawatan Hidrooseanografi di Jakarta setiap tahun menerbitkan buku Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia yang berisi data pasang surut di berbagai lokasi di Indonesia. Data tersebut diperoleh dari hasil peramalan dengan menggunakan metode Admiralty. Buku ini penting untuk petugas pelabuhan, di bidang pelayaran, perencana dan kontraktor.

3.4. Gelombang

Gelombang merupakan faktor penting di dalam perencanaan pelabuhan. Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (*tsunami*), kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Di antara beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam perencanaan pelabuhan adalah gelombang angin (untuk selanjutnya disebut gelombang) dan pasang surut. Tinjauan tentang pasang surut telah diberikan dalam sub bab sebelumnya.



Gambar 3.9. Kurva pasang surut dan beberapa elevasi muka air

Tsunami adalah gelombang yang sangat besar yang apabila sampai di pantai akan bisa menghancurkan kehidupan di daerah tersebut, misalnya tsunami yang disebabkan oleh letusan gunung Krakatau pada tahun 1883 yang menewaskan 36.000 orang, tsunami Aceh yang terjadi pada tanggal 26 Desember 2004 yang menewaskan lebih dari 250.000 jiwa. Meskipun akibat yang ditimbulkan sangat besar, namun kejadiannya sangat jarang. Periode ulang terjadinya bisa lebih dari 100 tahun. Oleh karena itu, bangunan pelabuhan tidak direncanakan berdasarkan tsunami. Tetapi karena tsunami ini jarang terjadi, maka bangunan-bangunan pelabuhan tidak direncanakan berdasarkan tsunami. Perencanaan bangunan dengan memperhitungkan tsunami akan memberikan dimensi bangunan yang sangat besar, sehingga pekerjaan menjadi sangat mahal.

Gelombang digunakan untuk merencanakan bangunan-bangunan pelabuhan seperti pemecah gelombang, studi ketenangan di pelabuhan, dan fasilitas-fasilitas pelabuhan lainnya. Gelombang tersebut akan menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelabuhan. Selain itu gelombang juga bisa menimbulkan arus dan transpor sedimen di daerah pantai. Tata letak/layout pelabuhan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga sedimentasi di pelabuhan dapat dikurangi/dihindari.

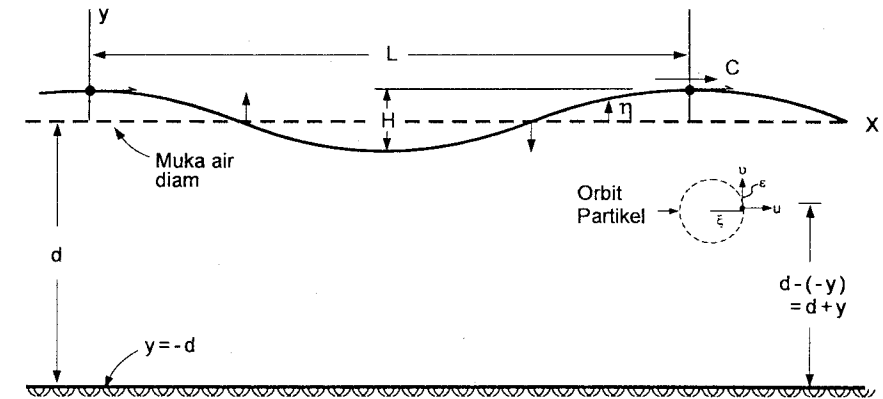
Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random (suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode berbeda). Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam. Ada beberapa teori dengan berbagai derajat kompleksitas dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, di antaranya adalah teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal, dan tunggal.

Teori paling sederhana adalah teori gelombang Airy, yang juga disebut teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845. Selain mudah dipahami, teori tersebut sudah dapat digunakan sebagai dasar dalam merencanakan pelabuhan. Dalam buku ini hanya dipelajari secara singkat teori gelombang Airy.

3.4.1. Teori gelombang Airy

Dalam anak sub bab ini hanya diberikan beberapa karakteristik gelombang Airy yang nantinya banyak berkaitan dalam hitungan-hitungan perencanaan pelabuhan. Bagi pembaca yang ingin mengetahui lebih mendalam tentang teori gelombang, dapat mempelajarinya dari buku-buku lain, diantaranya adalah Teknik Pantai oleh penulis yang sama.

Gambar 3.10. menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x,y . Gelombang menjalar pada arah sumbu x .



Gambar 3.10. Definisi gelombang

Beberapa notasi yang digunakan adalah :

- d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut
- $\eta(x,t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam
- a : amplitudo gelombang
- H : tinggi gelombang $= 2a$
- L : panjang gelombang
- T : periode gelombang, interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.
- C : kecepatan rambat gelombang $= L/T$
- k : angka gelombang $2\pi/L$
- σ : frekuensi gelombang $2\pi/T$

Dalam gambar tersebut gelombang bergerak dengan cepat rambat C di air dengan kedalaman d . Dalam hal ini yang bergerak (merambat) hanya bentuk (profil) muka airnya. Tidak seperti dalam aliran air di su-

ngai di mana partikel (massa) air bergerak se arah aliran, pada gelombang partikel air bergerak dalam satu orbit tertutup sehingga tidak bergerak maju ke arah sumbu x . Suatu pelampung yang berada di laut hanya bergerak naik turun mengikuti gelombang dan tidak berpindah (dalam arah penjararan) dari tempatnya semula. Posisi partikel setiap saat selama gerak orbit tersebut diberikan oleh koordinat horisontal (ξ) dan vertikal (ε) terhadap pusat orbit. Komponen kecepatan vertikal pada setiap saat adalah u dan v , dan elevasi muka air terhadap muka air diam (sumbu x) di setiap titik adalah η .

a. Profil muka air

Profil muka air merupakan fungsi ruang (x) dan waktu (t) yang mempunyai bentuk berikut ini.

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad (3.1)$$

Persamaan (3.1) menunjukkan bahwa fluktuasi muka air adalah periodik terhadap x dan t , dan merupakan gelombang sinusoidal dan progresif yang menjalar dalam arah sumbu x positif.

Gambar 3.11. adalah bentuk gelombang dari Persamaan (3.1) untuk empat nilai t yaitu $t_0=0$, $t_1=T/8$, $t_2=T/4$, $t_3=3T/8$; dengan T adalah periode gelombang. Kurva 1, 2, 3 dan 4 adalah bentuk muka air pada keempat nilai t tersebut. Gambar tersebut menunjukkan bahwa sesuai dengan perubahan waktu gelombang menjalar dalam arah sumbu x dengan cepat rambat $C=L/T$, dengan L adalah panjang gelombang. Penjararan tersebut terlihat dari bergesernya puncak gelombang, dari kiri ke kanan sesuai dengan perubahan waktu.

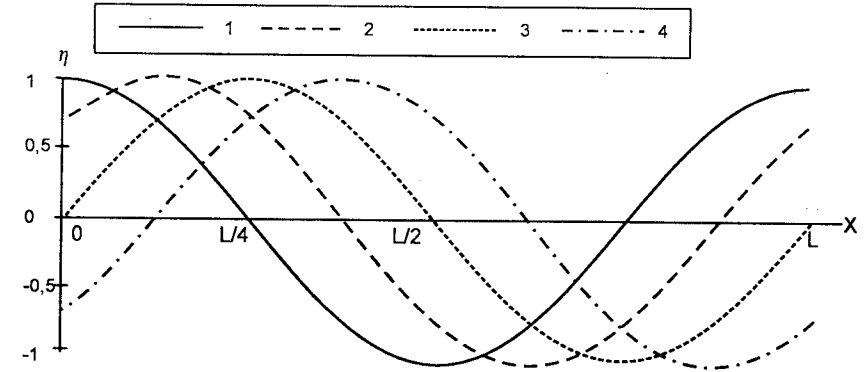
b. Cepat rambat dan panjang gelombang

Cepat rambat (C) dan panjang gelombang (L) diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd \quad (3.2)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \quad (3.3)$$

dengan $k = 2\pi/L$



Gambar 3.11. Profil muka air karena adanya gelombang

Jika kedalaman air dan periode gelombang diketahui, maka dengan cara coba-banding (iterasi) akan didapat panjang gelombang L .

c. Klasifikasi gelombang menurut kedalaman relatif

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air d dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

1. gelombang di laut dangkal jika $d/L < 1/20$
2. gelombang di laut transisi jika $1/20 < d/L < 1/2$
3. gelombang di laut dalam jika $d/L > 1/2$

Klasifikasi ini dilakukan untuk menyederhanakan rumus-rumus gelombang. Apabila kedalaman relatif d/L adalah lebih besar dari 0,5; nilai $\tanh(2\pi d/L) = 1,0$ sehingga Persamaan (3.2.) dan (3.3.) menjadi (untuk $g=9,81 \text{ m/d}^2$):

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1,56T \quad (3.4)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2 \quad (3.5)$$

Indeks 0 menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut adalah untuk kondisi di laut dalam. Di laut dalam, cepat rambat dan panjang gelombang hanya tergantung pada periode gelombang T .

Apabila kedalaman relatif kurang dari $1/20$, nilai $\tanh(2\pi d/L) = (2\pi d/L)$ sehingga Persamaan (3.2.) dan (3.3) menjadi :

$$C = \sqrt{gd} \quad (3.6)$$

$$L = \sqrt{gd} T \quad (3.7)$$

Di laut dangkal, cepat rambat gelombang hanya tergantung pada kedalaman.

Untuk gelombang di laut transisi, yaitu apabila $1/20 < d/L < 1/2$, cepat rambat dan panjang gelombang dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.2) dan (3.3).

Terdapat hubungan antara panjang gelombang di laut dalam dan di suatu lokasi yang ditinjau, yaitu:

$$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (3.8)$$

Persamaan (3.8) dapat digunakan untuk menghitung panjang gelombang di setiap kedalaman, apabila panjang gelombang di laut dalam diketahui. Penyelesaian Persamaan (3.8) sangat sulit karena diperlukan iterasi yang panjang. Untuk memudahkan hitungan telah dibuat tabel yang disusun berdasarkan persamaan tersebut, seperti disajikan dalam Lampiran A-1 pada Lampiran A. Dalam tabel tersebut juga diberikan beberapa fungsi yang akan banyak digunakan dalam hitungan gelombang.

d. Kecepatan partikel air

Komponen horisontal dan vertikal dari kecepatan dan percepatan partikel mempunyai bentuk berikut ini.

$$u = \left(\frac{\pi H}{T}\right) \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \quad (3.9)$$

$$v = \left(\frac{\pi H}{T}\right) \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (3.10)$$

$$a_x = \left(\frac{2\pi^2 H}{T^2}\right) \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (3.11)$$

$$a_y = -\left(\frac{2\pi^2 H}{T^2}\right) \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \quad (3.12)$$

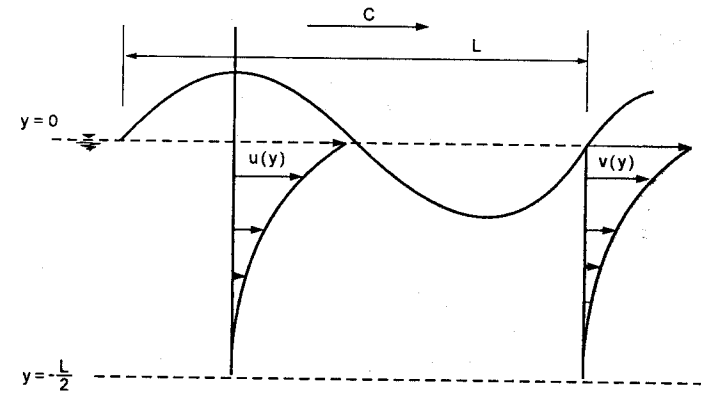
Kecepatan partikel maksimum terjadi pada permukaan air dan berkurang dengan kedalaman sampai akhirnya nol pada kedalaman relatif $d/L = 0,5$; seperti terlihat dalam Gambar 3.12.

e. Perpindahan partikel

Ordinat horisontal dan vertikal dari gerak orbit partikel terhadap pusat orbit diberikan oleh bentuk berikut ini.

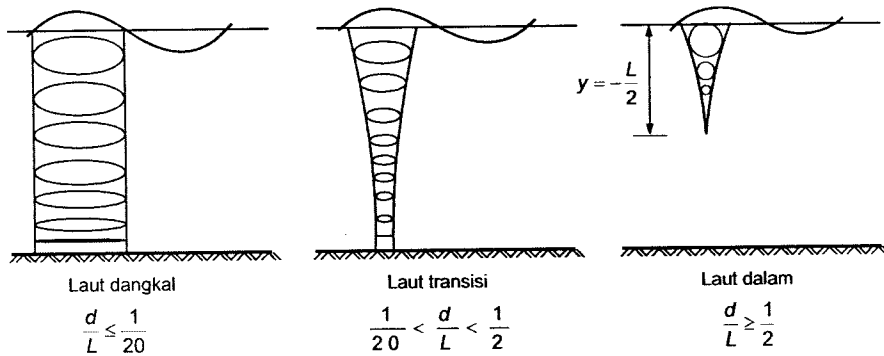
$$\xi = -\frac{H}{2} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (3.13)$$

$$\varepsilon = \frac{H}{2} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \quad (3.14)$$



Gambar 3.12. Distribusi kecepatan partikel pada kedalaman

Selama penjalaran gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.13. Orbit perpindahan partikel berbentuk lingkaran pada seluruh kedalaman di laut dalam. Di laut transisi dan dangkal lintasan partikel berbentuk ellips. Semakin besar kedalaman bentuk ellips semakin pipih, dan di dasar gerak partikel adalah horisontal.

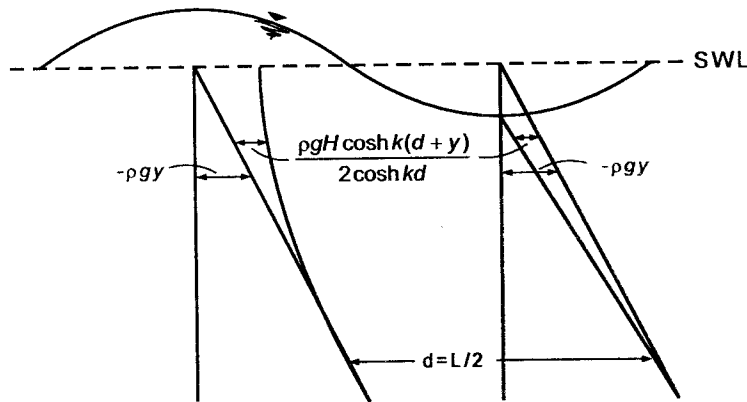


Gambar 3.13. Gerak orbit partikel air di laut dangkal, transisi dan dalam

f. Tekanan gelombang

Tekanan yang disebabkan oleh gelombang merupakan gabungan dari tekanan hidrostatik dan dinamis yang disebabkan oleh gelombang, dan mempunyai bentuk berikut ini. Gambar 3.14. menunjukkan distribusi tekanan tersebut.

$$p = -\rho gy + \left(\frac{\rho g H}{2} \right) \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \cos(kx - \sigma t) \quad (3.15)$$



Gambar 3.14. Tekanan gelombang

g. Kecepatan kelompok gelombang

Kecepatan kelompok gelombang mempunyai bentuk berikut :

$$C_g = \frac{1}{2} \frac{L}{T} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) = nC \quad (3.16)$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (3.17)$$

h. Energi dan tenaga gelombang

Energi total gelombang adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang. Energi potensial adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang. Tenaga gelombang adalah energi gelombang tiap satu satuan waktu yang menjalar dalam arah penjarangan gelombang.

Energi kinetik gelombang :

$$E_k = \left(\frac{\rho g H^2 L}{16} \right)$$

Energi potensial gelombang :

$$E_p = \left(\frac{\rho g H^2 L}{16} \right)$$

Energi total gelombang :

$$E_t = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (3.18)$$

Tenaga gelombang :

$$P = \frac{nE}{T} \quad (3.19)$$

dengan :

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (3.20)$$

Contoh 1

Gelombang dengan periode 10 detik terjadi di laut dengan kedalaman 30 m. Hitung panjang dan cepat rambat gelombang. Hitung pula panjang dan cepat rambat gelombang pada kedalaman 5 m.

Penyelesaian

Panjang gelombang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.3) atau Lampiran A-1 dalam Lampiran A. Penyelesaian berdasar Persamaan (3.3) dilakukan dengan cara iterasi (coba banding). Dalam contoh hitungan ini digunakan Lampiran A-1 dengan prosedur hitungan berikut ini.

Panjang gelombang di laut dalam (Persamaan 3.5) :

$$L_0 = 1,56T^2 = 1,56 \times 10^2 = 156 \text{ m}$$

Untuk kedalaman 30 m :

$$\frac{d}{L_0} = \frac{30}{156} = 0,1923$$

Dengan Lampiran A-1 untuk nilai d/L_0 didapat nilai d/L (dengan interpolasi):

$$\frac{d}{L} = 0,21839 + \frac{0,0003}{0,001}(0,21923 - 0,21839) = 0,218642$$

$$\text{Panjang gelombang : } L = \frac{30}{0,218642} = 137,2 \text{ m}$$

$$\text{Cepat rambat gelombang : } C = \frac{L}{T} = \frac{137,2}{10} = 13,72 \text{ m/d}$$

Untuk $d = 5$ m :

$$\frac{d}{L_0} = \frac{5}{156} = 0,032 \rightarrow \frac{d}{L} = 0,07385$$

$$\text{Panjang gelombang : } L = \frac{5}{0,07385} = 67,6 \text{ m}$$

$$\text{Cepat rambat gelombang : } C = \frac{67,6}{10} = 6,77 \text{ m/d}$$

Contoh 2

Suatu gelombang dengan periode $T=8$ detik, di air dengan kedalaman $d=15$ m dan tinggi gelombang 2,0 m. Hitung kecepatan dan percepatan horisontal dan vertikal u, v, a_x, a_y pada posisi $x=10$ m dan $y=-5$ m di bawah muka air untuk $t=0$.

Penyelesaian

Untuk $x = 10$ m

Hitungan dilakukan dengan menggunakan Lampiran A-1 dalam Lampiran A. Dihitung panjang gelombang pada kedalaman $d = 15$ m.

$$L_0 = 1,56T^2 = 1,56(10)^2 = 99,84 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{L_0} = \frac{15}{99,84} = 0,1502$$

Dari Lampiran A-1 dengan interpolasi :

$$\frac{d}{L} = 0,1833 + \frac{2}{10}(0,18414 - 0,1833) = 0,183468$$

$$L = \frac{15}{0,183468} = 81,76 \text{ m}$$

Kecepatan dan percepatan partikel pada posisi $x = 10$ m dan $t = 0$ (Persamaan 3.9).

$$\begin{aligned} u &= \left(\frac{\pi H}{T} \right) \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \\ &= \left(\frac{\pi \times 2}{8} \right) \frac{\cosh 2\pi(15-5)/81,76}{\sinh 2\pi(15)/81,76} \cos\left(\frac{2\pi \times 10}{81,76} - \frac{2\pi \times 0}{81,76} \right) \\ &= \frac{\pi \cosh(0,7685)}{4 \sinh(1,527)} \cos\left(\frac{2 \times 180^\circ \times 10}{81,76} - 0 \right) \end{aligned}$$

Dari Lampiran A-1 untuk $2\pi/L = 0,7685$ dan dengan interpolasi didapat:

$$\cosh(0,7685) = 1,31 + \frac{0,0001}{(0,7741 - 0,7684)}(1,3149 - 1,31) = 1,3101$$

$$\sinh(0,7685) = 0,8463$$

$$\sinh(1,527) = 1,4238 + \frac{0,0010}{0,0053}(1,4329 - 1,4238) = 1,4255$$

sehingga :

$$u = \frac{\pi}{4} \frac{1,3101}{1,4255} \cos(44,03^\circ) = 0,519 \text{ m/d}$$

Dengan cara yang sama, komponen kecepatan vertikal adalah (Persamaan 3.10) :

$$v = \left(\frac{\pi H}{T} \right) \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times \frac{0,8463}{1,4255} \sin(44,03^\circ) = 0,3241 \text{ m/d}$$

Percepatan partikel dalam arah horisontal dan vertikal (Persamaan 3.11 dan 3.12) :

$$a_x = \left(\frac{2\pi^2 H}{T^2} \right) \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

$$= \left(\frac{2\pi^2 \times 2}{8^2} \right) \frac{1,3101}{1,4255} \sin(44,03^\circ) = 0,394 \text{ m/d}^2$$

$$a_y = - \left(\frac{2\pi^2 H}{T^2} \right) \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t)$$

$$= - \left(\frac{2\pi^2 \times 2}{8^2} \right) \frac{0,8463}{1,4255} \cos(44,03^\circ) = -0,263 \text{ m/d}^2$$

Contoh 3

Gelombang dengan tinggi 2 m dan periode 10 detik berada di laut dengan kedalaman 15 m. Hitung perpindahan horisontal dan vertikal partikel air terhadap posisi rata-ratanya jika $y = 0$ dan $y = -15$ m; untuk $x = 0$ dan $t = 0$.

Penyelesaian

$$L_0 = 1,56 T^2 = 1,56 (10)^2 = 156 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{L_0} = \frac{15}{156} = 0,0962$$

Dari Lampiran A-1 :

$$\frac{d}{L} = 0,13767 \rightarrow L = 108,96 \text{ m}$$

$$\sinh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = 0,9754 + \frac{0,0002}{0,001} (0,9831 - 0,9754) = 0,97694$$

$$\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = 1,39798$$

Untuk $y = 0$

Perpindahan partikel horisontal dan vertikal :

$$\xi = - \frac{H}{2} \frac{\cosh 2\pi(d+0)/L}{\sinh kd} \sin\left(\frac{2\pi \times 0}{108,96} - \frac{2\pi \times 0}{10}\right) = 0$$

$$= - \frac{2}{2} \frac{1,39798}{0,97694} \sin(0) = 0$$

$$\varepsilon = \frac{H}{2} \frac{\sinh k(d+0)}{\sinh kd} \cos(0) = \frac{0,97694}{0,97694} \cos(0) = 1,0 \text{ m}$$

Untuk $y = -15$ m :

$$\cosh \frac{2\pi(15-15)}{108,96} = \cosh(0) = 1$$

$$\sinh \frac{2\pi(15)}{108,96} = \sinh(0,865) = 0,97694$$

$$\sinh \frac{2\pi(15-15)}{108,96} = \sinh(0) = 0$$

$$\xi = - \frac{2}{2} \frac{\cosh k(15-15)}{\sinh k(15)} \sin(0) = - \frac{\cosh(0)}{\sinh(0,865)} \sin(0) = 0$$

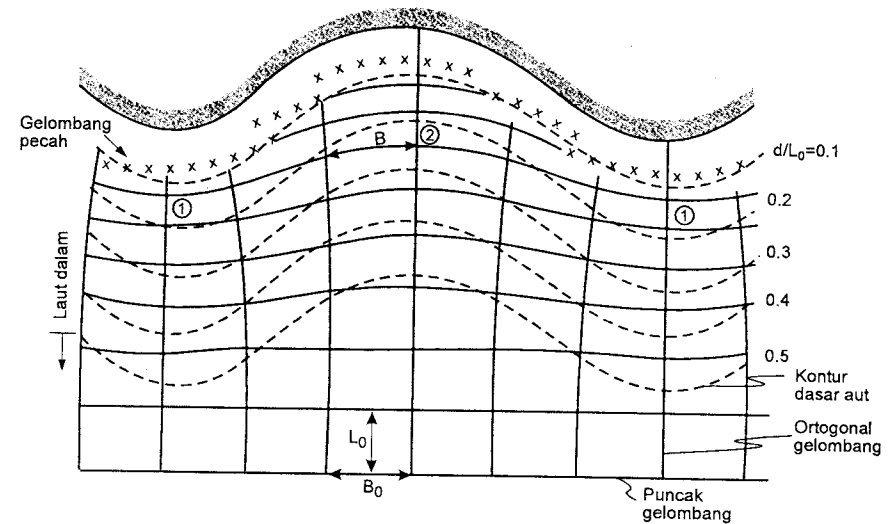
$$\varepsilon = \frac{2}{2} \frac{\sinh(0)}{\sinh(0,865)} \cos(0) = \frac{2}{2} \frac{0}{0,97694} \cos(0) = 0$$

3.4.2. Refraksi gelombang

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di daerah di mana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Di daerah ini, apabila ditinjau suatu garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil daripada bagian di air yang lebih dalam. Akibatnya garis puncak gelombang akan membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kedalaman laut. Garis ortogonal gelombang, yaitu garis yang tegak lurus dengan garis puncak gelombang dan menunjukkan arah penjalaran gelombang, juga akan membelok; dan berusaha untuk menuju tegak lurus dengan garis kontur dasar laut.

Gambar (3.15) menunjukkan contoh refraksi gelombang di daerah pantai yang mempunyai garis kontur dasar laut dan garis pantai yang tidak teratur. Suatu deretan gelombang yang di laut dalam mempunyai panjang gelombang L_0 dan garis puncak gelombang sejajar bergerak menuju pantai. Terlihat dalam gambar bahwa garis puncak gelombang berubah bentuk dan berusaha untuk sejajar garis kontur dan garis pantai. Garis ortogonal gelombang membelok dalam arah menuju tegak lurus garis kontur. Pada lokasi 1, garis ortogonal gelombang menguncup sedang di lokasi 2 garis ortogonal gelombang menyebar. Karena energi di antara dua garis ortogonal adalah konstan sepanjang lintasan, berarti energi gelombang tiap satuan lebar di lokasi 1 adalah lebih besar daripada di lokasi 2 (jarak antara garis ortogonal di lokasi 1 lebih kecil daripada di laut dalam sedang di lokasi 2 jarak tersebut lebih besar). Apabila akan direncanakan suatu pelabuhan di daerah pantai tersebut, maka lokasi 2 adalah lebih cocok daripada lokasi 1, karena bangunan-bangunan yang direncanakan akan menahan energi gelombang yang lebih kecil.

Dipandang dua garis ortogonal yang melintas dari laut dalam menuju pantai dan dianggap tidak ada energi yang merambat ke arah garis puncak gelombang (Gambar 3.16). Tenaga yang terkandung di antara dua garis ortogonal dapat dianggap konstan. Apabila jarak antara garis ortogonal adalah b , maka tenaga gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau adalah :



Gambar 3.15. Refraksi gelombang

$$\left(\frac{bnE}{T}\right)_0 = \left(\frac{bnE}{T}\right)_1 = \text{konstan}$$

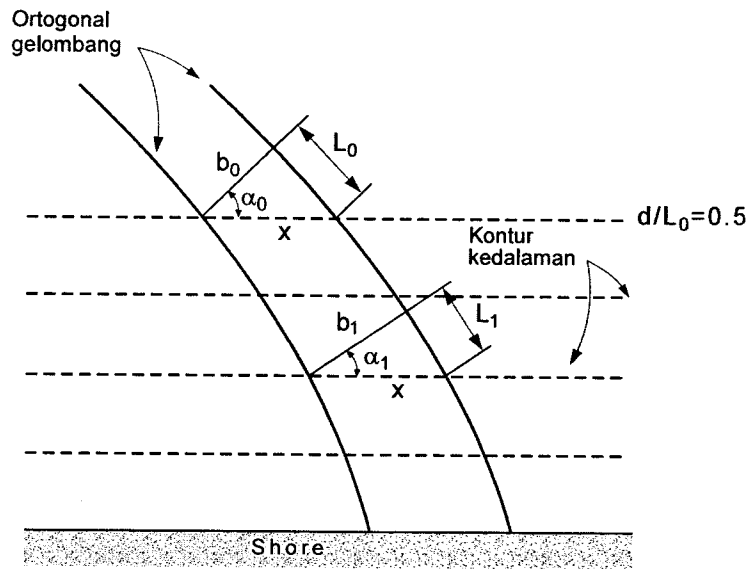
Apabila energi gelombang seperti yang diberikan oleh Persamaan (3.18) disubstitusikan ke dalam persamaan di atas maka :

$$\frac{H_1^2}{H_0^2} = \frac{b_0 n_0 L_0}{b_1 n_1 L_1}$$

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_1 L_1}} \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} \quad (3.21)$$

Suku pertama dari Persamaan (3.21) adalah pengaruh pendangkalan sedang suku kedua adalah pengaruh garis ortogonal menguncup (konvergen) atau menyebar (divergen) yang disebabkan oleh refraksi gelombang. Kedua suku tersebut dikenal sebagai koefisien pendangkalan K_s dan koefisien refraksi K_r , sehingga Persamaan (3.21) menjadi :

$$H_1 = K_s K_r H_0 \quad (3.22)$$



Gambar 3.16. Refraksi gelombang pada kontur lurus dan sejajar

Proses refraksi gelombang adalah sama dengan refraksi cahaya yang terjadi karena cahaya melintasi dua media perantara berbeda. Dengan kesamaan tersebut maka pemakaian hukum Snell pada optik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah refraksi gelombang yang disebabkan karena perubahan kedalaman.

Dipandang suatu deretan gelombang yang menjalar dari laut dengan kedalaman d_0 menuju kedalaman d_1 , dengan perubahan kedalaman mendadak (seperti anak tangga) dan dianggap tidak ada refleksi gelombang pada perubahan tersebut. Karena adanya perubahan kedalaman maka cepat rambat dan panjang gelombang berkurang dari C_0 dan L_0 menjadi C_1 dan L_1 . Sesuai dengan hukum Snell, berlaku:

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \sin \alpha_0 \quad (3.23)$$

dengan :

α_0 : sudut antara garis puncak gelombang dengan kontur dasar di mana gelombang melintas.

α_1 : sudut yang sama yang diukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar berikutnya.

C_0 : kecepatan gelombang pada kedalaman di kontur pertama

C_1 : kecepatan gelombang pada kedalaman kontur berikutnya.

Seperti terlihat dalam Gambar 3.16, jarak antara ortogonal di laut dalam dan di titik 1 adalah b_0 dan b_1 . Apabila kontur dasar laut adalah lurus dan sejajar maka jarak x di titik 0 dan 1 adalah sama sehingga :

$$x = \frac{b_0}{\cos \alpha_0} = \frac{b_1}{\cos \alpha_1}$$

dan koefisien refraksi adalah :

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \quad (3.24)$$

Analisis refraksi dapat dilakukan secara analitis apabila garis kontur lurus dan saling sejajar dengan menggunakan hukum Snell secara langsung (Persamaan 3.24).

Contoh 5

Suatu deret gelombang merambat dari laut dalam menuju pantai yang mempunyai kontur dasar laut lurus dan sejajar dalam arah barat-timur. Di laut dalam tinggi gelombang adalah 2,0 m; periode 8,0 detik dan arah gelombang adalah dari barat laut ($\alpha_0 = 45^\circ$). Tentukan tinggi dan sudut datang gelombang pada kedalaman 3,0 m.

Penyelesaian

$$L_0 = 1,56T^2 = 1,56(8)^2 = 99,84 \text{ m} \rightarrow C_0 = \frac{L_0}{T} = 12,48 \text{ m/d}$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{3}{99,84} = 0,03$$

Untuk nilai d/L_0 di atas, dengan Lampiran A-1 didapat :

$$\frac{d}{L} = 0,07135 \rightarrow L = \frac{3}{0,07135} = 42,05 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{42,05}{8} = 5,26 \text{ m/d}$$

Arah datang gelombang pada kedalaman 3,0 m dihitung dengan Persamaan (3.23) :

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \sin \alpha_0 = \frac{5,26}{12,48} \sin 45^\circ = 0,2980$$

$$\alpha_1 = 17,34^\circ$$

Koefisien refraksi :

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 17,34^\circ}} = 0,86$$

Untuk menghitung koefisien pendangkalan, dicari nilai n dengan menggunakan Lampiran A-1 berdasar nilai d/L_0 di atas, didapat $n_1=0,9388$. Di laut dalam nilai $n_0 = 0,5$; sehingga koefisien pendangkalan adalah :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_1 L_1}} = \sqrt{\frac{0,5 \times 99,84}{0,9388 \times 42,05}} = 1,1245$$

Tinggi gelombang pada kedalaman 3,0 m adalah :

$$H_1 = K_s K_r H_0 = 1,1245 \times 0,86 \times 2 = 1,93 \text{ m}$$

3.4.3. Difraksi gelombang

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya; seperti terlihat dalam Gambar 3.17. Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Dalam difraksi gelombang ini terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung. Seperti terlihat dalam gambar 3.17, apabila tidak terjadi difraksi gelombang, daerah di belakang rintangan akan tenang. Tetapi karena adanya proses difraksi maka daerah tersebut terpengaruh oleh gelombang datang. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya

gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung. Garis puncak gelombang di belakang rintangan mempunyai bentuk busur lingkaran. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung. Pengetahuan tentang difraksi gelombang ini penting di dalam perencanaan pelabuhan dan pemecah gelombang sebagai pelindung pantai.

3.4.4. Hitungan difraksi gelombang

Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan r , sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan β , dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan θ (Gambar 3.17). Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' .

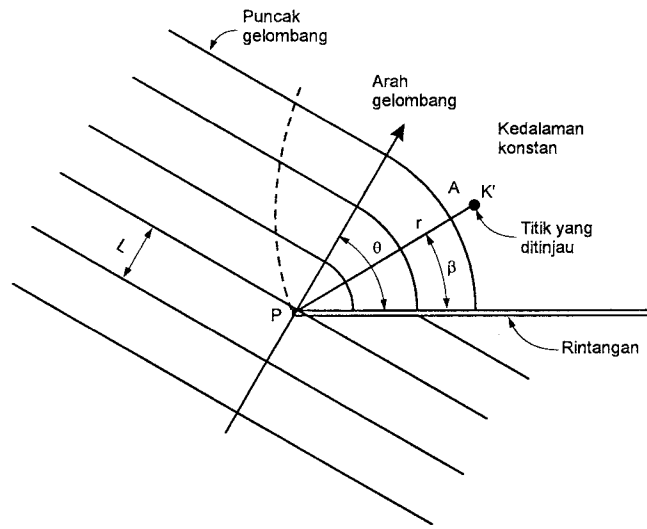
$$H_A = K' H_P \quad (3.25)$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L)$$

dengan A adalah titik yang ditinjau di belakang rintangan dan P adalah ujung pemecah gelombang. Nilai $K' = f(\theta, \beta, r/L)$ untuk θ , β dan r/L tertentu diberikan dalam Tabel 3.5. yang didasarkan pada penyelesaian matematis untuk difraksi cahaya (Panny and Price, 1952; dalam Sorensen, 1978). Difraksi gelombang air ini analog dengan difraksi cahaya, sehingga Tabel 3.5. juga dapat digunakan untuk memperkirakan pola garis puncak gelombang dan variasi tinggi gelombang yang mengalami difraksi.

Contoh 6

Suatu deret gelombang dengan periode 8 detik menuju pemecah gelombang dengan membentuk sudut $\theta = 60^\circ$. Kedalaman air di belakang pemecah gelombang adalah 10 m dan dianggap konstan. Hitung tinggi gelombang di titik A yang berjarak 140 m dari ujung pemecah gelombang dan membentuk sudut $\beta = 30^\circ$ terhadap pemecah gelombang. Tinggi gelombang di ujung rintangan adalah 2 m.



Gambar 3.17. Difraksi gelombang di belakang rintangan

Penyelesaian

$$L_0 = 1,56T^2 = 1,56 \times (8)^2 = 99,84 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{L_0} = \frac{10}{99,84} = 0,1002$$

Dari Lampiran A-1 lampiran A didapat :

$$\frac{d}{L} = 0,14115 \rightarrow L = \frac{10}{0,14115} = 70,84 \text{ m}$$

Jarak titik A ke ujung rintangan :

$$r = 140 \text{ m} \rightarrow \frac{r}{L} = \frac{140}{70,84} = 1,98 \approx 2$$

Dengan menggunakan Tabel 3.5. untuk nilai $r/L = 2$; $\theta = 60^\circ$ dan sudut $\beta = 30^\circ$ didapat koefisien difraksi $K' = 0.28$.

Tinggi gelombang di titik A adalah :

$$H_A = K' H_p = 0,28 \times 2 = 0,56 \text{ m}$$

Teori difraksi seperti yang dijelaskan di atas adalah untuk pemecah gelombang tunggal. Apabila terdapat dua pemecah gelombang dengan celah (bukaan) di antaranya, untuk menentukan koefisien difraksi digunakan grafik yang dikembangkan oleh Johnson (1952, 1953; dalam Wiegel, 1964). Grafik tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3.18.a. sampai 3.18.d.; yang menunjukkan kurva koefisien difraksi yang sama untuk arah gelombang datang tegak lurus sisi pemecah gelombang ($\theta = 90^\circ$) dan untuk berbagai perbandingan antara lebar celah B dan panjang gelombang L, B/L. Dalam Gambar 3.18.b. sampai 3.18.d. karena penyelesaiannya adalah simetris, maka hanya digambar setengah bagiannya. Johnson menganggap bahwa untuk keperluan praktis grafik-grafik tersebut dapat digunakan untuk sudut datang gelombang yang lain sampai batas tertentu (gelombang datang membentuk sudut selain 90°), dengan menggunakan proyeksi lebar celah imajiner seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.19. Apabila lebar celah sama dengan lima kali panjang gelombang atau lebih, maka difraksi oleh kedua ujung pemecah gelombang tidak saling mempengaruhi. Sehingga teori difraksi untuk pemecah gelombang tunggal dapat digunakan untuk kedua sisi. Dalam grafik-grafik tersebut sumbu absis dan ordinat serta lebar celah dinyatakan dalam besaran tak berdimensi yaitu x/L , y/L dan B/L .

Apabila diinginkan hasil yang lebih teliti di dalam menentukan koefisien difraksi untuk gelombang datang membentuk sudut terhadap sumbu pemecah gelombang, maka dapat digunakan Gambar 3.20.a. sampai 3.20.c.; yaitu bila sudut datang gelombang adalah 75° , 60° , 45° , 30° , 15° dan 0° . Gambar tersebut berlaku untuk nilai $B/L=1$.

3.4.5. Gelombang laut dalam ekivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekivalen. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan dengan lebih mudah. Tinggi gelombang laut dalam ekivalen diberikan oleh bentuk :

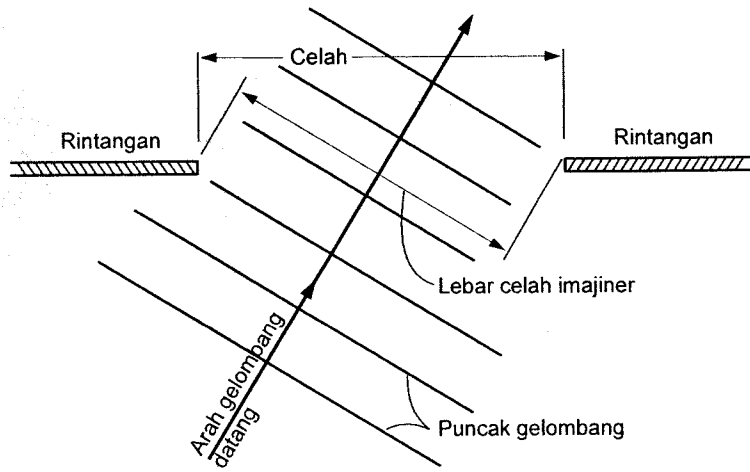
$$H'_0 = K_r H_0 \tag{3.26}$$

Tabel 3.5. Koefisien difraksi gelombang, K' , dari gelombang datang

r/L	β (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta = 15^\circ$													
1/2	0.49	0.79	0.83	0.90	0.97	1.01	1.03	1.02	1.01	0.99	0.99	1.00	1.00
1	0.38	0.73	0.83	0.95	1.04	1.04	0.99	0.98	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
2	0.21	0.68	0.86	1.05	1.03	0.97	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.13	0.63	0.99	1.04	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
10	0.35	0.58	1.10	1.05	0.98	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\theta = 30^\circ$													
1/2	0.61	0.63	0.68	0.76	0.87	0.97	1.03	1.05	1.03	1.01	0.99	0.95	1.00
1	0.50	0.53	0.63	0.78	0.95	1.06	1.05	0.98	0.98	1.01	1.01	0.97	1.00
2	0.40	0.44	0.59	0.84	1.07	1.03	0.96	1.02	0.98	1.01	0.99	0.95	1.00
5	0.27	0.32	0.55	1.00	1.04	1.04	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	0.97	1.00
10	0.20	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
$\theta = 45^\circ$													
1/2	0.49	0.50	0.55	0.63	0.73	0.85	0.96	1.04	1.06	1.04	1.00	0.99	1.00
1	0.38	0.40	0.47	0.59	0.76	0.95	1.07	1.06	0.98	0.97	1.01	1.01	1.00
2	0.29	0.31	0.39	0.56	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	1.00
5	0.18	0.20	0.29	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00
10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00
$\theta = 60^\circ$													
1/2	0.40	0.41	0.45	0.52	0.60	0.72	0.85	1.13	1.04	1.06	1.03	1.01	1.00
1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.75	0.96	1.08	1.06	0.98	0.98	1.01	1.00
2	0.22	0.23	0.28	0.37	0.55	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00
5	0.14	0.15	0.18	0.28	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00
10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
$\theta = 75^\circ$													
1/2	0.34	0.35	0.38	0.42	0.50	0.59	0.71	0.85	0.97	1.04	1.05	1.02	1.00
1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.43	0.56	0.75	0.95	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00
2	0.18	0.19	0.22	0.26	0.36	0.54	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00
5	0.12	0.12	0.13	0.17	0.27	0.52	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00
10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00
$\theta = 90^\circ$													
1/2	0.31	0.31	0.33	0.36	0.41	0.49	0.59	0.71	0.85	0.96	1.03	1.03	1.00
1	0.22	0.23	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.07	1.05	0.99	1.00
2	0.16	0.16	0.18	0.20	0.26	0.35	0.54	0.69	1.08	1.04	0.96	1.02	1.00
5	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.05	1.02	0.99	1.00
10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.99	1.01	1.00

dengan sudut θ , sebagai fungsi r/L dan β (Wiegel, dalam Sorensen, 1978)

r/L	β (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta = 105^\circ$													
1/2	0.28	0.28	0.29	0.32	0.35	0.41	0.49	0.59	0.72	0.85	0.97	1.01	1.00
1	0.20	0.20	0.24	0.23	0.27	0.33	0.42	0.56	0.75	0.95	1.06	1.04	1.00
2	0.14	0.14	0.13	0.17	0.20	0.25	0.35	0.54	0.83	1.08	1.03	0.97	1.00
5	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.27	0.52	1.02	1.04	1.04	1.02	1.00
10	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12	0.20	0.52	1.14	1.07	0.97	0.99	1.00
$\theta = 120^\circ$													
1/2	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.60	0.73	0.87	0.97	1.00
1	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33	0.43	0.57	0.76	0.95	1.04	1.00
2	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.16	0.55	0.83	1.07	1.03	1.00
5	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.03	1.00
10	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13	0.20	0.52	1.13	1.06	0.98	1.00
$\theta = 135^\circ$													
1/2	0.24	0.24	0.25	0.26	0.28	0.32	0.36	0.42	0.52	0.63	0.76	0.90	1.00
1	0.18	0.17	0.18	0.19	0.21	0.23	0.28	0.34	0.44	0.59	0.78	0.95	1.00
2	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.37	0.56	0.84	1.05	1.00
5	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.17	0.28	0.54	1.00	1.04	1.00
10	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.05	1.00
$\theta = 150^\circ$													
1/2	0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.33	0.38	0.45	0.55	0.68	0.83	1.00
1	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.22	0.24	0.29	0.36	0.47	0.63	0.83	1.00
2	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.22	0.28	0.39	0.59	0.86	1.00
5	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.18	0.29	0.55	0.99	1.00
10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.13	0.22	0.54	1.10	1.00
$\theta = 165^\circ$													
1/2	0.23	0.23	0.23	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.63	0.79	1.00
1	0.16	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.23	0.26	0.32	0.40	0.53	0.73	1.00
2	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.19	0.23	0.31	0.44	0.68	1.00
5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15	0.20	0.32	0.63	1.00
10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11	0.11	0.21	0.58	1.00
$\theta = 180^\circ$													
1/2	0.20	0.25	0.23	0.24	0.25	0.28	0.31	0.34	0.40	0.49	0.61	0.78	1.00
1	0.10	0.17	0.16	0.18	0.18	0.23	0.22	0.25	0.31	0.38	0.50	0.70	1.00
2	0.02	0.09	0.12	0.12	0.13	0.18	0.16	0.18	0.22	0.29	0.40	0.60	1.00
5	0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.18	0.27	0.46	1.00
10	0.01	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10	0.13	0.20	0.36	1.00



Gambar 3.19. Gelombang datang membentuk sudut terhadap celah

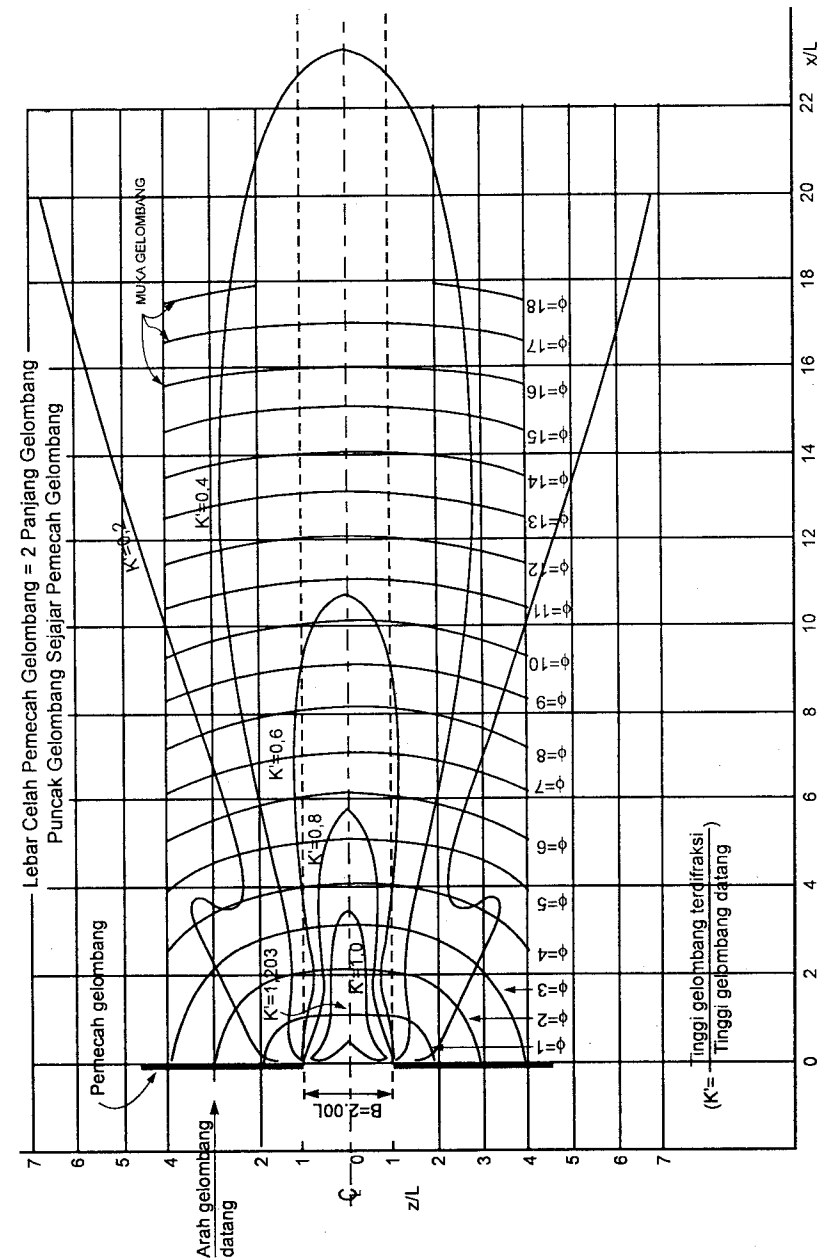
dengan :

H'_0 : tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

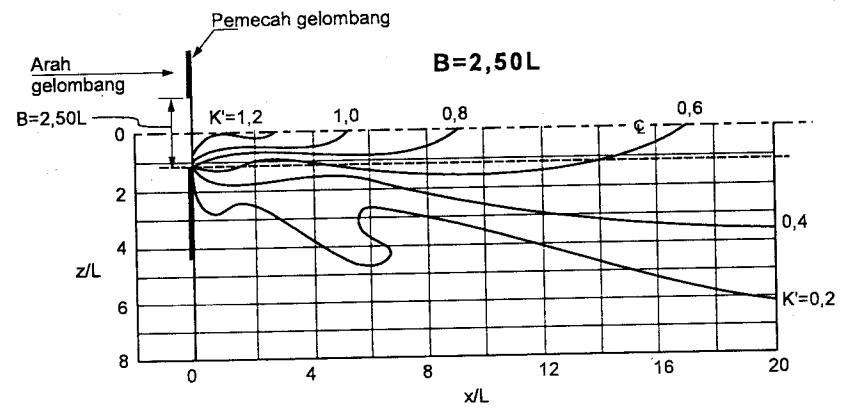
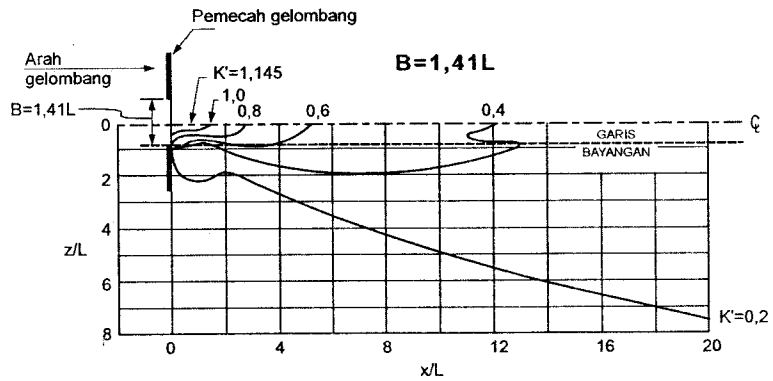
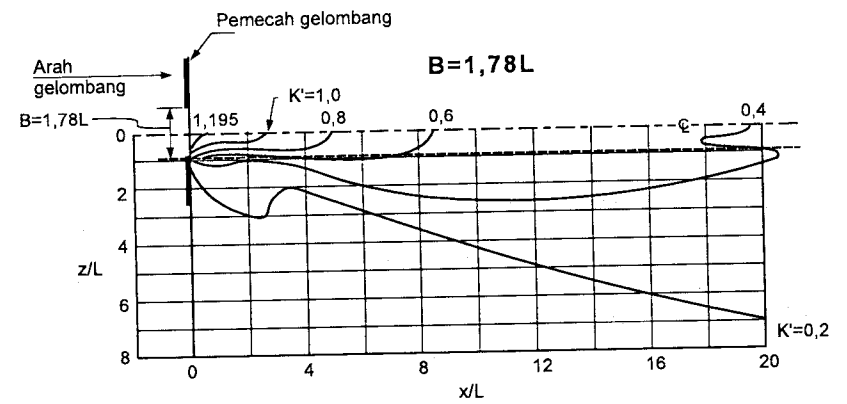
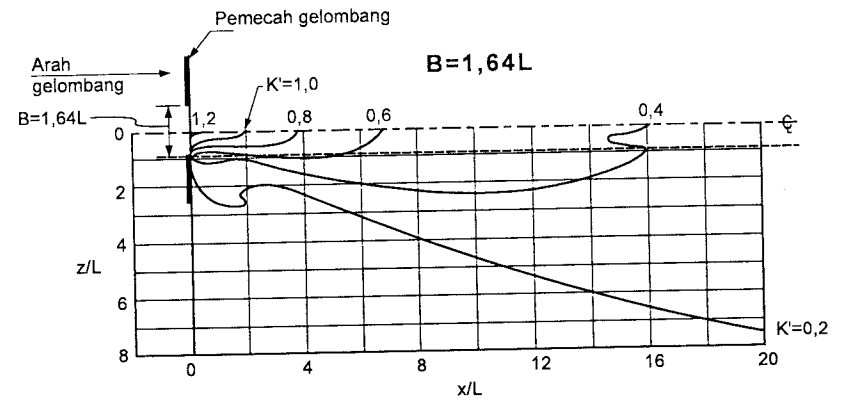
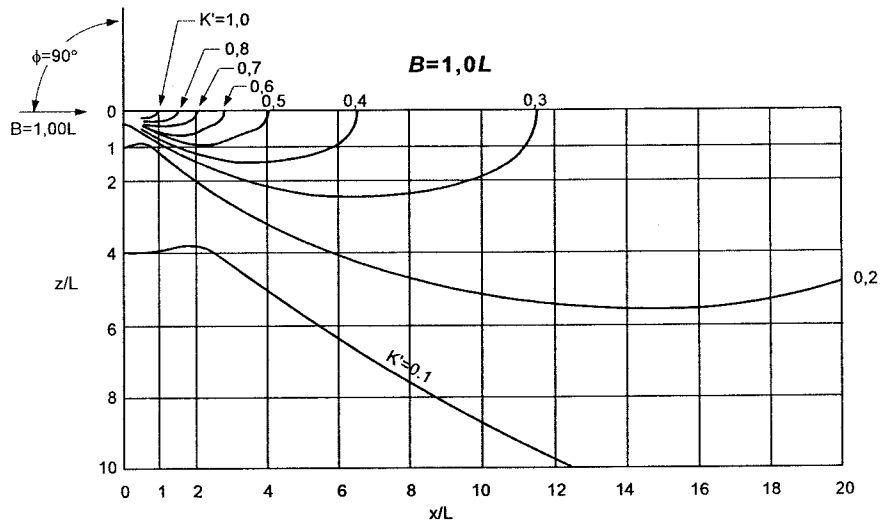
H_0 : tinggi gelombang laut dalam

K_r : koefisien refraksi

Konsep tinggi gelombang laut dalam ekuivalen ini digunakan dalam analisis gelombang pecah, kenaikan (runup) gelombang, limpasan gelombang dan proses lain.

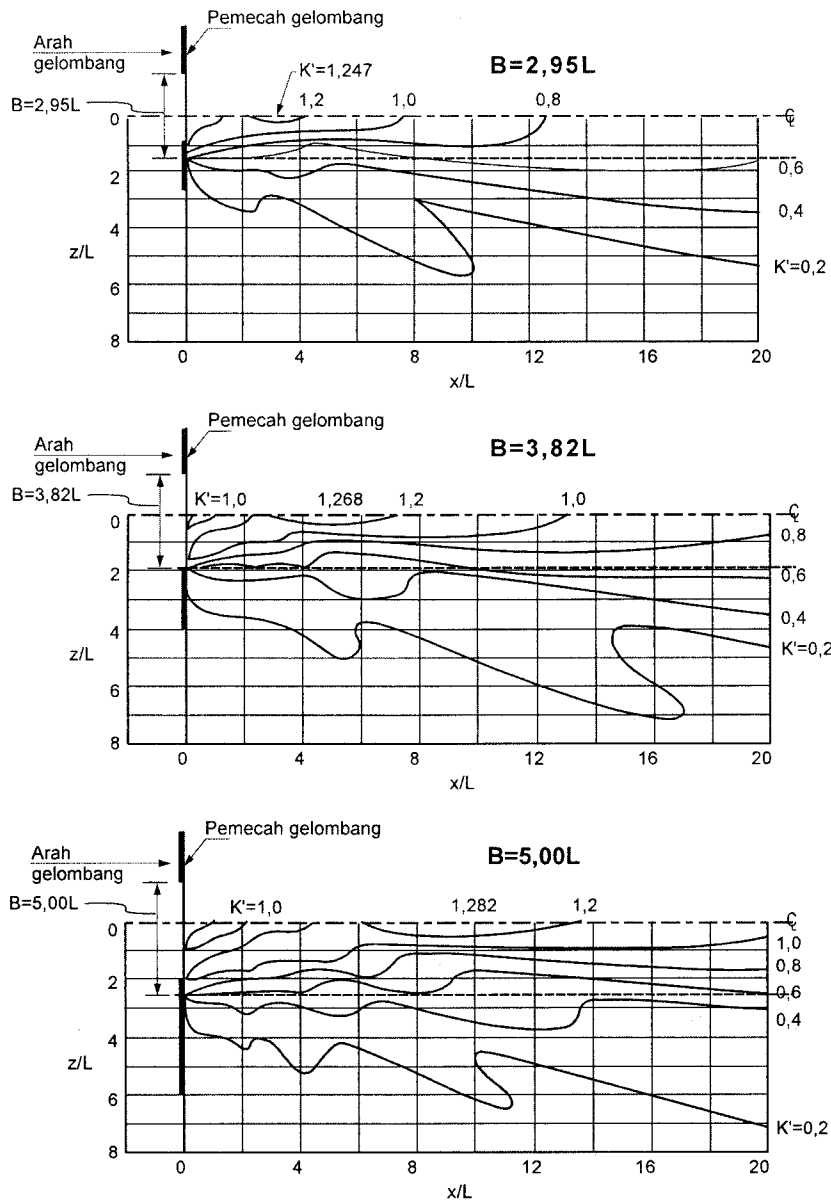


Gambar 3.18.a. Grafik difraksi melalui celah ($B=2L$)

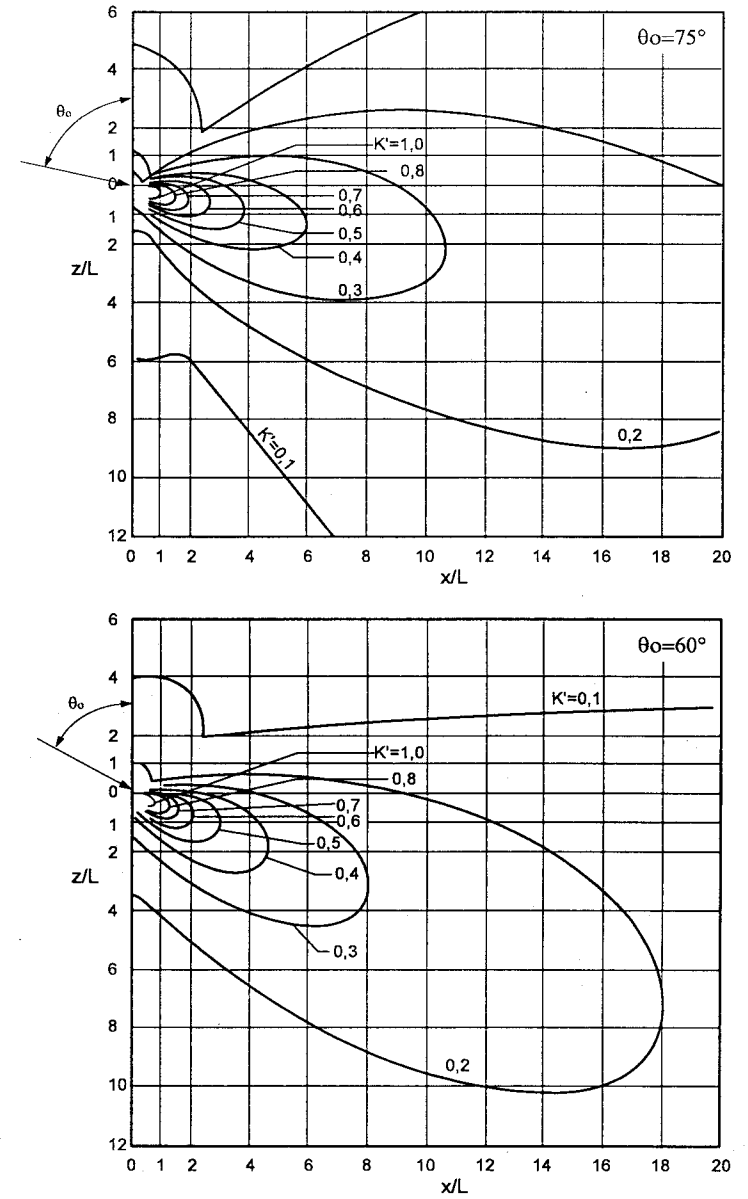


Gambar 3.18.b. Grafik difraksi melalui celah ($B=L$, $B=1,41 L$)

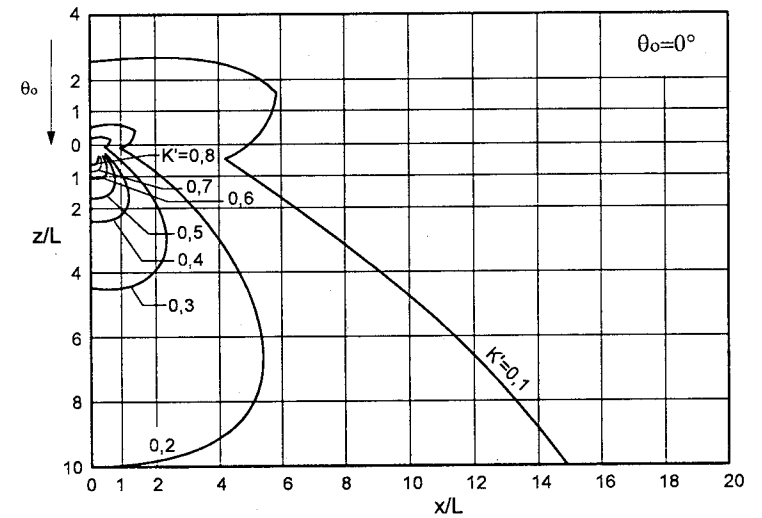
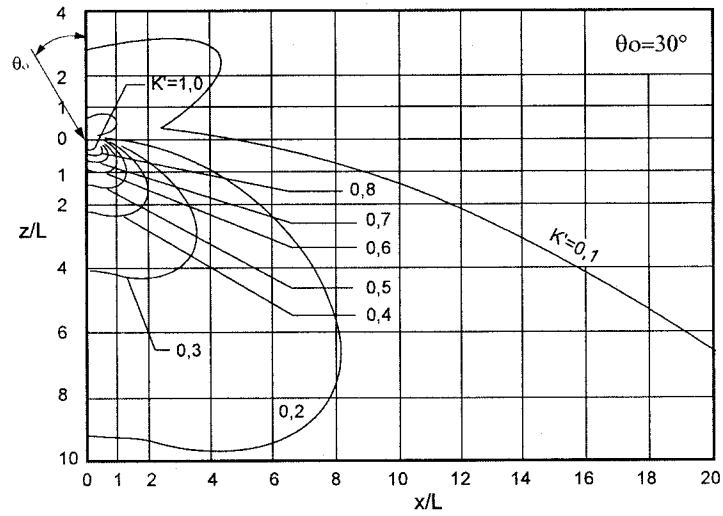
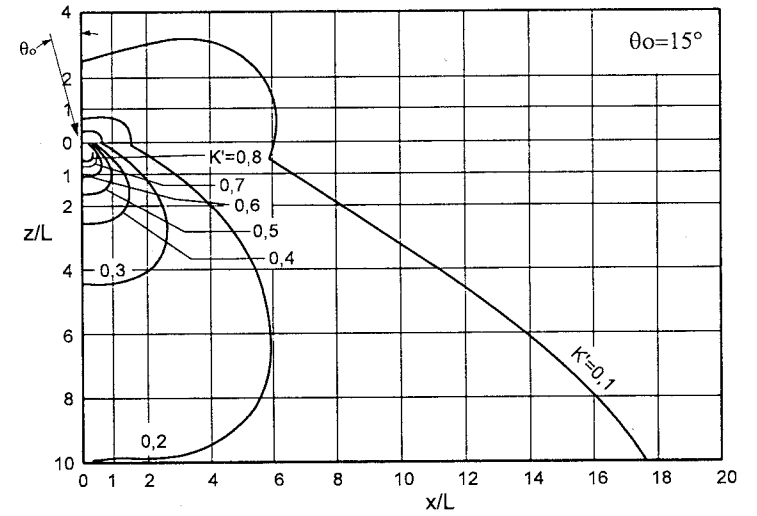
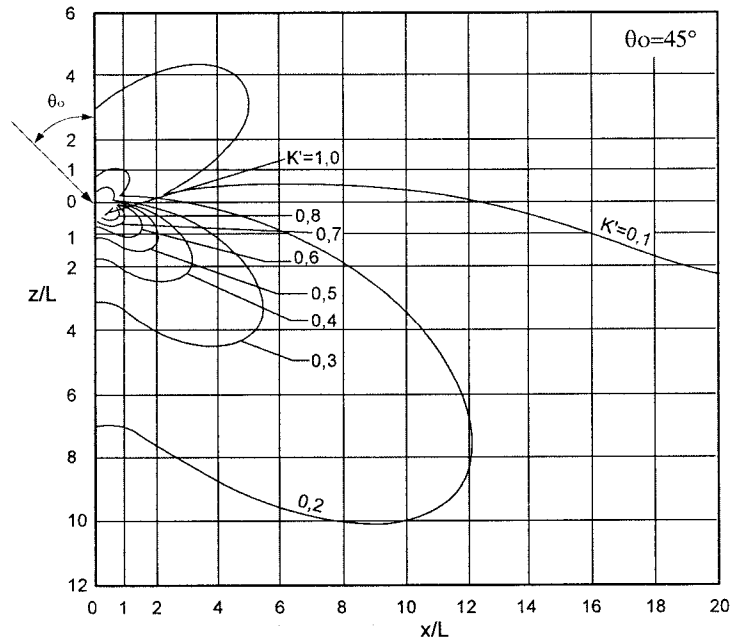
Gambar 3.18.c. Grafik difraksi melalui celah ($B=1,64L$; $B=1,78L$; $B=2,5L$)



Gambar 3.18.d. Grafik difraksi melalui celah ($B=1,95L$; $B=3,82L$; $B=5L$)



Gambar 3.20.a. Grafik difraksi melalui celah ($\theta = 75^\circ$ dan $\theta = 60^\circ$)



Gambar 3.20.b. Grafik difraksi melalui celah ($\theta = 45^\circ$ dan $\theta = 30^\circ$)

Gambar 3.18.d. Grafik difraksi melalui celah ($\theta = 15^\circ$ dan $\theta = 0^\circ$)

3.4.6. Refleksi gelombang

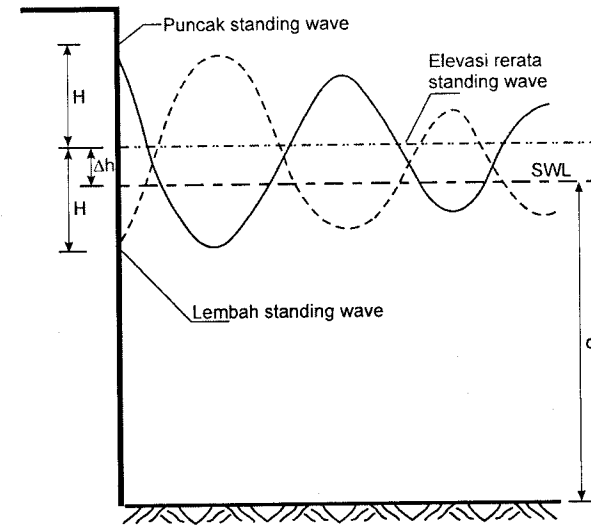
Gelombang yang mengenai/membentur suatu bangunan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidak-tenangan di dalam perairan pelabuhan. Fluktuasi muka air ini akan menyebabkan gerakan kapal-kapal yang di-tambat, dan dapat menimbulkan tegangan yang besar pada tali penambat. Untuk mendapatkan ketenangan di kolam pelabuhan maka bangunan-bangunan yang ada di pelabuhan harus bisa menyerap/menghancurkan gelombang. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan tegak dan masif. Pada bangunan vertikal, halus, dan dinding tidak elastis, gelombang akan dipantulkan seluruhnya. Gambar 3.21. adalah bentuk profil muka air di depan bangunan vertikal. Gelombang di depan bangunan vertikal disebut dengan gelombang berdiri (*standing wave*). Besar kemampuan suatu benda memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i :

$$X = \frac{H_r}{H_i}$$

Koefisien refleksi bangunan diestimasi berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai benda diberikan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Koefisien refleksi

Tipe bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak di atas air	0,7 - 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 - 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 - 0,6
Tumpukan blok beton	0,3 - 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lobang)	0,05 - 0,2



Gambar 3.21. Profil muka air di depan bangunan vertikal

Gerak gelombang di depan dinding vertikal yang dapat memantulkan gelombang dengan sempurna yang mempunyai arah tegak lurus pada dinding dapat ditentukan dengan superposisi dari dua gelombang yang mempunyai karakteristik sama tetapi arah penjalarnya berlawanan. Superposisi dari kedua gelombang tersebut menyebabkan terjadinya *standing wave* atau gelombang berdiri. Untuk gelombang amplitudo kecil, fluktuasi muka air :

$$\eta_i = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t)$$

dan gelombang refleksi :

$$\eta_r = \frac{H_r}{2} \cos(kx - \sigma t)$$

Profil muka air di depan bangunan diberikan oleh jumlah η_i dan η_r :

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_i + \eta_r = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) + X \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) \\ &= (1 + X) \frac{H_i}{2} \cos kx \cos \sigma t \end{aligned}$$

Apabila refleksi adalah sempurna maka $X=1$ sehingga :

$$\eta = H_i \cos kx \cos \sigma t \quad (3.27)$$

Persamaan tersebut menunjukkan fluktuasi muka air gelombang berdiri (*standing wave*) yang periodik terhadap waktu (t) dan terhadap jarak (x). Apabila $\cos kx = \cos \sigma t = 1$ maka tinggi maksimum adalah $2H_i$, yang berarti bahwa tinggi gelombang di depan bangunan vertikal bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang.

Tinggi gelombang di kolam pelabuhan harus cukup kecil sehingga tidak mengganggu kapal yang sedang melakukan bongkar muat barang. Untuk itu, bangunan pelabuhan dipilih sedemikian rupa sehingga gelombang berdiri yang terjadi di kolam pelabuhan tidak besar, yaitu dengan memilih material yang mempunyai koefisien refleksi kecil.

3.4.7. Gelombang pecah

Jika gelombang menjalar dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah. Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang. Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3,3(H'_0/L_0)^{1/3}} \quad (3.28)$$

Kedalaman air di mana gelombang pecah diberikan oleh rumus berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \quad (3.29)$$

di mana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan diberikan oleh persamaan berikut :

$$a = 43,75(1 - e^{-19m})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})}$$

dengan :

H_b : tinggi gelombang pecah

H'_0 : tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

L_0 : panjang gelombang di laut dalam

d_b : kedalaman air pada saat gelombang pecah

m : kemiringan dasar laut

g : percepatan gravitasi

T : periode gelombang

Sudut datang gelombang pecah diukur berdasarkan gambar refraksi pada kedalaman di mana terjadi gelombang pecah.

Penelitian yang dilakukan oleh Iversen, Galvin dan Goda (dalam SPM, 1984) menunjukkan bahwa H_b/H'_0 dan d_b/H_b tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kemiringan gelombang datang. Gambar 3.22, adalah grafik yang dibuat oleh Goda yang memberikan hubungan antara H_b/H'_0 dan H'_0/gT^2 untuk berbagai kemiringan dasar pantai. Sedangkan Gambar 3.23, adalah hasil penelitian Wiegel yang memberikan hubungan antara d_b/H_b dan H_b/gT^2 untuk berbagai kemiringan dasar pantai. Gambar 3.22. dan 3.23. disarankan untuk digunakan di dalam hitungan tinggi dan kedalaman gelombang pecah.

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi *spilling*, *plunging* dan *surging* yang tergantung pada cara pecahnya. *Spilling* biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju pantai yang sangat datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang. Gelombang pecah tipe *plunging* terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar laut besar sehingga gelombang pecah dengan puncak gelombang memutar dan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian kecil dipantulkan pantai ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang lebih dangkal. Gelombang pecah tipe *surging* terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Gelombang pecah tipe *surging* ini mirip dengan *plunging*, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah.

Contoh 7

Gelombang merambat dari laut dalam menuju pantai dengan kemiringan dasar laut 1:20. Di laut dalam tinggi gelombang adalah 2 m dan periode 10 detik. Dianggap bahwa analisis refraksi memberikan nilai koefisien refraksi $K_r=1,05$ pada titik di mana gelombang pecah diharapkan terjadi. Hitung tinggi dan kedalaman gelombang pecah.

Penyelesaian

Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen dihitung dengan persamaan berikut (Persamaan 3.26) :

$$H'_0 = K_r H_0 = 1,05 \times 2 = 2,1 \text{ m}$$

Dihitung nilai berikut :

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{2,1}{9,81 \times 10^2} = 0,00214$$

Dari Gambar 3.22. untuk nilai tersebut dan $m = 1:20 = 0,05$ didapat :

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,5 \rightarrow H_b = 1,5 \times 2,1 = 3,15 \text{ m}$$

Menghitung kedalaman gelombang pecah.

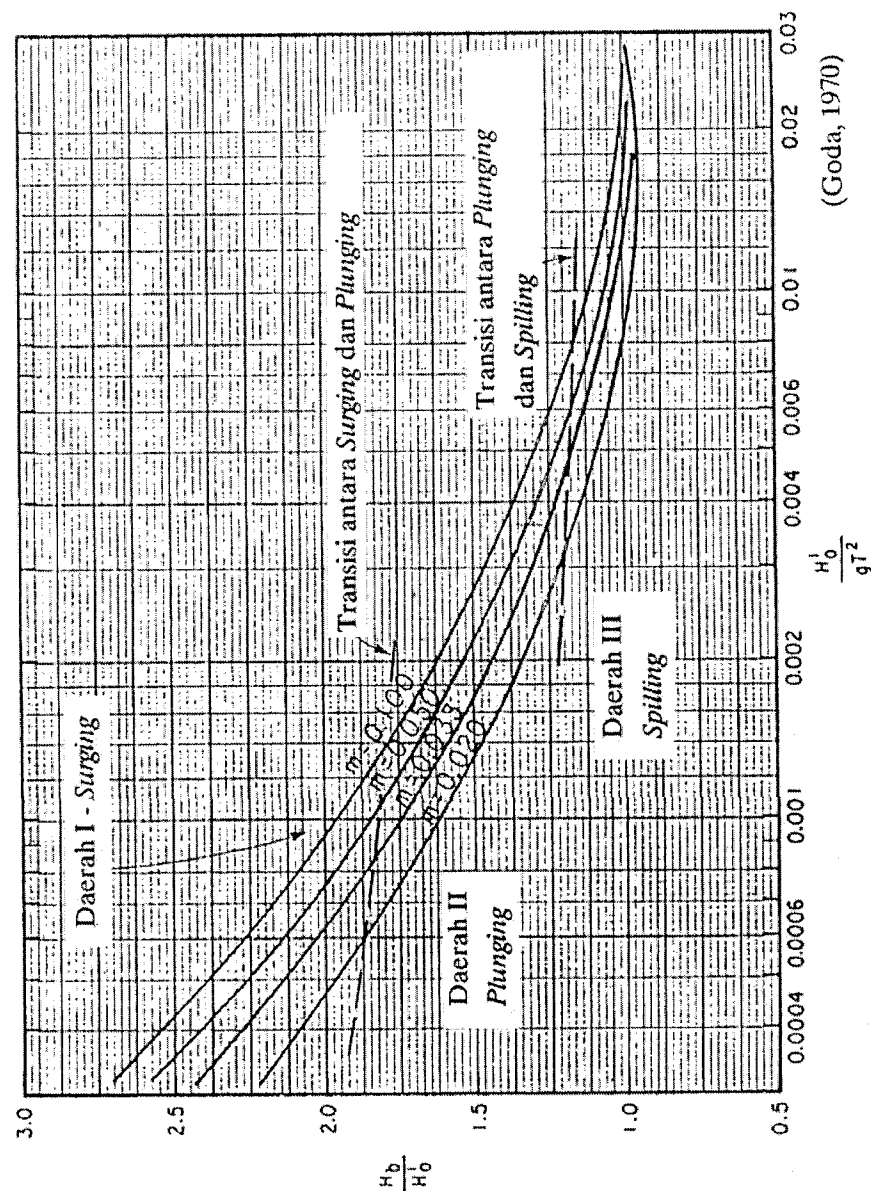
Dihitung nilai berikut :

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{3,15}{9,81 \times 10^2} = 0,00321$$

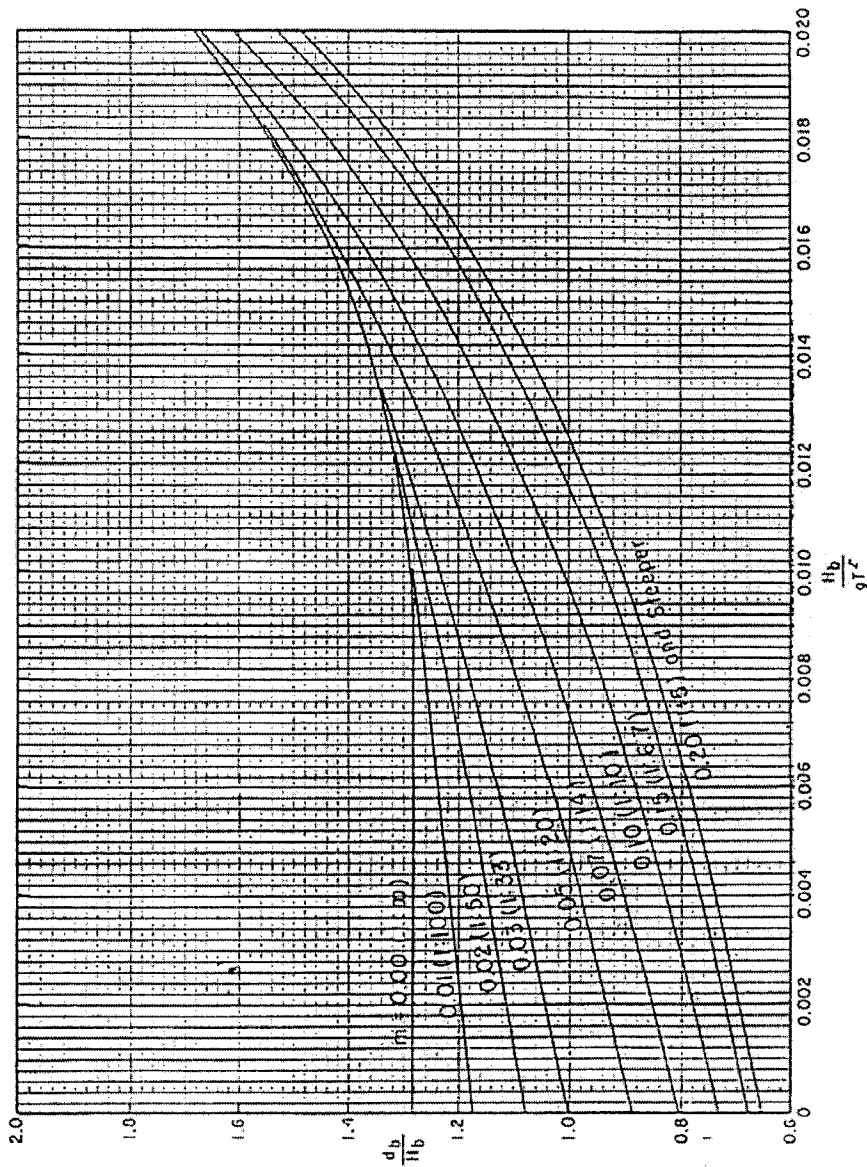
Dengan menggunakan Gambar 3.23. untuk nilai tersebut dan $m=0,05$ didapat :

$$\frac{d_b}{H_b} = 0,96 \rightarrow d_b = 0,96 \times 3,15 = 3,02 \text{ m}$$

Jadi tinggi dan kedalaman gelombang pecah adalah $H_b=3,15 \text{ m}$ dan $d_b=3,02 \text{ m}$.



Gambar 3.22. Penentuan tinggi gelombang pecah (SPM, 1984)

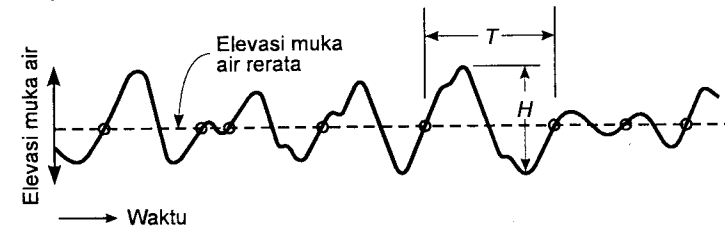


Gambar 3.23. Penentuan kedalaman gelombang pecah (SPM, 1984)

3.4.8. Gelombang alam

Pada sub bab terdahulu telah dibicarakan teori gelombang untuk gelombang sederhana, yaitu gelombang sinusoidal dan monochromatik (gelombang tunggal). Gelombang yang ada di alam adalah sangat kompleks yang terdiri dari suatu deretan/kelompok gelombang di mana masing-masing gelombang di dalam kelompok tersebut mempunyai tinggi dan periode berbeda.

Gambar 3.24. adalah suatu pencatatan gelombang sebagai fungsi waktu di suatu tempat. Gambar tersebut menunjukkan bahwa gelombang mempunyai bentuk yang tidak teratur, dengan tinggi dan periode tidak konstan. Evaluasi terhadap gambar tersebut menimbulkan pertanyaan berapakah tinggi dan periode gelombang tersebut, mengingat terdapat lebih dari satu gelombang dengan tinggi dan periode berbeda.



Gambar 3.24. Pencatatan gelombang di suatu lokasi

Pengukuran gelombang di suatu tempat memberikan pencatatan muka air sebagai fungsi waktu. Pengukuran ini dilakukan dalam waktu yang cukup panjang, sehingga data gelombang akan sangat banyak. Mengingat kekompleksan dan besarnya jumlah data tersebut, maka gelombang alam dianalisa secara statistik untuk mendapatkan bentuk gelombang yang bermanfaat. Dalam bidang teknik sipil, parameter gelombang yang banyak digunakan adalah tinggi gelombang.

Dalam pengukuran gelombang seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.24., absis adalah waktu dari dimulainya pencatatan. Ada dua metode untuk menentukan gelombang yaitu *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Untuk menjelaskan metode tersebut, pertama kali ditetapkan elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Muka air tersebut didefinisikan sebagai garis nol. Kemudian kurva gelombang ditelusuri dari awal sampai akhir. Pada metode *zero upcrossing*, diberi tanda titik perpotongan antara kurva naik

dan garis nol, dan titik tersebut ditetapkan sebagai awal dari satu gelombang. Mengikuti naik-turunnya kurva, penelusuran dilanjutkan untuk mendapatkan perpotongan antara kurva naik dan garis nol berikutnya. Titik tersebut ditetapkan sebagai akhir dari gelombang pertama dan awal dari gelombang kedua. Jarak antara kedua titik tersebut adalah periode gelombang pertama (T_1). Sedang jarak vertikal antara titik tertinggi dan terendah di antara kedua titik tersebut adalah tinggi gelombang pertama (H_1). Penelusuran dilanjutkan lagi untuk mendapatkan gelombang kedua, ketiga, dan seterusnya. Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, tetapi titik yang dicatat adalah pertemuan antara kurva turun dan garis nol.

Untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai perlu dipilih tinggi dan perioda gelombang tunggal yang dapat mewakili suatu spektrum gelombang, yang disebut dengan gelombang representatif. Apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah atau sebaliknya, maka akan dapat ditentukan tinggi H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Dengan bentuk seperti itu akan dapat dinyatakan karakteristik gelombang alam dalam bentuk gelombang tunggal. Misalnya, H_{10} adalah tinggi rerata dari 10 persen gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang. Bentuk yang paling banyak digunakan adalah H_{33} atau tinggi rerata dari 33,3% atau 1/3 nilai tertinggi dari pencatatan gelombang; yang juga disebut sebagai tinggi gelombang signifikan. Cara yang sama juga dapat digunakan untuk periode gelombang. Tetapi biasanya periode signifikan didefinisikan sebagai periode rerata untuk sepertiga gelombang tertinggi. Untuk memudahkan pemahaman tentang gelombang representatif, berikut ini diberikan contoh hitungan. Misalkan dalam pengukuran terdapat 20 buah gelombang seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.7.

Kolom 1 dari tabel tersebut adalah nomor gelombang yang didapat dari metode *zero upcrossing* atau *zero downcrossing*, sedang kolom 2 dan 3 adalah tinggi dan periode gelombang. Data tersebut kemudian diurutkan sesuai dengan tinggi gelombang, dari urutan terbesar ke terkecil seperti terlihat dalam kolom 3, 4 dan 5. Untuk periode gelombang mengikuti urutan tinggi gelombang.

Dari data tersebut dapat ditentukan H_n . Gelombang maksimum dan periodenya adalah $H_{\max}=3,25$ m dan $T_{\max}=8,4$ detik.

Gelombang 10 % (H_{10}) adalah :

$$n = 10\% \times 20 = 2 \text{ data}$$

$$H_{10} = \frac{3,25 + 3,05}{2} = 3,15 \text{ m}$$

$$T_{10} = \frac{8,4 + 8,3}{2} = 8,35 \text{ detik}$$

Gelombang 33,3 % (gelombang signifikan, H_s) adalah:

$$n = 33,3\% \times 20 = 6,6 \approx 7 \text{ data}$$

Tabel 3.7. Pencatatan tinggi dan periode gelombang

No. Gelomb	Tinggi Gelomb. H (m)	Periode gelomb. T (detik)	No. Urut	H (m)	T (detik)
1	2,32	7,4	1	3,25	8,4
2	0,24	2,3	2	3,05	8,3
3	1,85	6,5	3	2,89	7,4
4	2,41	7,3	4	2,45	7,8
5	2,89	7,4	5	2,41	7,3
6	0,47	4,1	6	2,38	7,7
7	1,87	5,7	7	2,32	7,4
8	1,92	6,2	8	2,31	7,4
9	1,00	5,1	9	2,05	6,9
10	2,05	6,9	10	2,05	7,1
11	2,38	7,7	11	2,00	7,2
12	1,05	6,2	12	1,92	6,2
13	2,00	7,2	13	1,89	6,8
14	2,05	7,1	14	1,87	5,7
15	1,63	6,4	15	1,85	6,5
16	3,05	8,3	16	1,63	6,4
17	3,25	8,4	17	1,05	6,2
18	2,31	7,4	18	1,00	5,1
19	1,89	6,8	19	0,47	4,1
20	2,45	7,8	20	0,24	2,3

$$H_{10} = \frac{3,25 + 3,05 + 2,89 + 2,45 + 2,41 + 2,38 + 2,32}{7} = 2,68 \text{ m}$$

$$T_{10} = \frac{8,4 + 8,3 + 7,4 + 7,8 + 7,3 + 7,7 + 7,4}{7} = 7,8 \text{ detik}$$

Gelombang 100 % (gelombang rerata) adalah :

$$n = 100\% \times 20 = 20 \text{ data}$$

$$H_{100} = \frac{3,25 + 3,05 + 2,89 + 2,45 + \dots + 0,47 + 0,24}{20} = 1,95 \text{ m}$$

$$T_{100} = \frac{8,4 + 8,3 + 7,4 + 7,8 + \dots + 4,1 + 2,3}{20} = 6,6 \text{ detik}$$

Apabila data tinggi gelombang dari pencatatan gelombang diplot terhadap probabilitas kejadiannya, maka akan terlihat bahwa probabilitas kejadian $p(H_i)$ akan mengikuti distribusi Rayleigh. Berdasar distribusi Rayleigh ini akan didapat hubungan antara tinggi gelombang rerata dari n % gelombang tertinggi dan tinggi gelombang signifikan (H_n/H_s), serta H_{100} (H_n/H_{100}) seperti diberikan dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8. Hubungan antara n , H_n/H_s dan H_n/H_{100}

n	H_n/H_s	H_n/H_{100}
1	1,68	2,68
5	1,37	2,18
10	1,28	2,03
33	1,00	1,60
50	0,89	1,42
100	0,63	1,00

Dengan kata lain, misalnya, tinggi gelombang rerata dari 1 % gelombang tertinggi dapat diperkirakan sama dengan 1,68 kali tinggi gelombang signifikan atau 2,68 kali gelombang rerata. Hubungan tersebut dapat berlaku dengan baik apabila jumlah data dalam satu pencatatan cukup banyak. Jumlah data sebanyak 100 gelombang sudah dapat memberikan hasil yang memadai.

3.4.9. Pembangkitan gelombang

Angin yang berhembus di atas permukaan air yang semula tenang, akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, dengan timbulnya riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk. Tinggi dan perioda gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh kecepatan angin U , lama hembus angin D , dan *fetch* F yaitu panjang permukaan laut pada mana angin berhembus.

Di dalam peramalan gelombang, perlu diketahui beberapa parameter berikut ini.

1. Kecepatan rerata angin U di permukaan air.
2. Arah angin.
3. Panjang daerah pembangkitan gelombang di mana angin mempunyai kecepatan dan arah konstan (*fetch*)
4. Lama hembus angin pada *fetch*.

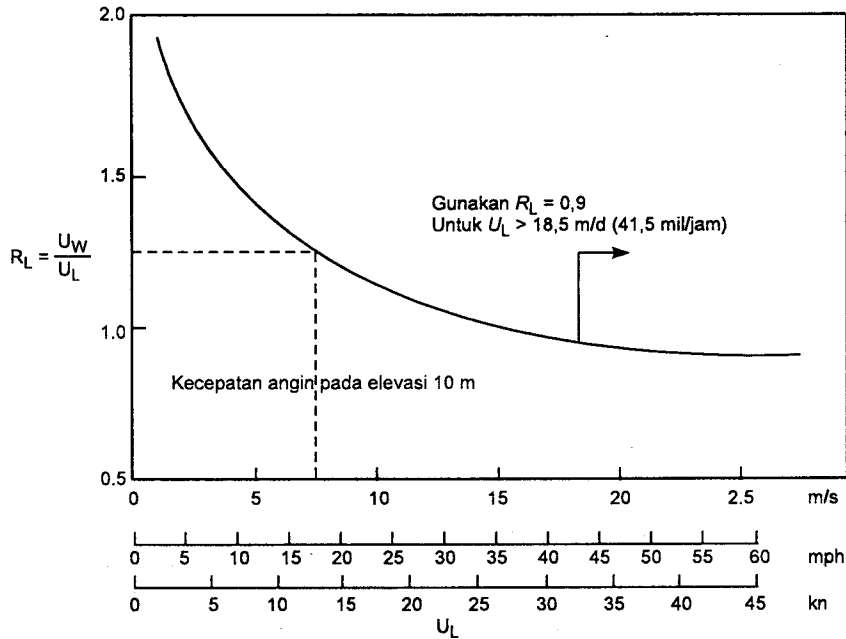
1. Kecepatan angin

Biasanya pengukuran angin dilakukan di daratan, padahal di dalam rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di daratan terdekat diberikan oleh $R_L = U_w / U_L$ seperti terlihat di dalam Gambar 3.25. Gambar tersebut merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Great Lake, Amerika Serikat (SPM, 1984). Grafik tersebut dapat digunakan untuk daerah lain kecuali apabila karakteristik daerah sangat berlainan. Lama hembus (durasi) angin dapat diperoleh dari data angin jam-jaman seperti telah dijelaskan di depan.

Rumus-rumus dan grafik-grafik pembangkitan gelombang mengandung variabel U_A , yaitu faktor tegangan angin yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin seperti yang dijelaskan di atas, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut :

$$U_A = 0,71U_w^{1,23} \quad (3.30)$$

di mana U_w adalah kecepatan angin di laut dengan satuan m/d .



Gambar 3.25. Hubungan kecepatan angin di laut dan darat (SPM, 1984)

2. Fetch

Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Panjang fetch adalah panjang laut yang dibatasi oleh pulau-pulau pada kedua ujungnya. Gambar 3.26. menunjukkan cara untuk mendapatkan fetch efektif. Fetch rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut.

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (3.31)$$

dengan :

F_{eff} : fetch rerata efektif

X_i : panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

3. Peramalan gelombang di laut dalam

Berdasarkan pada kecepatan angin, lama hembus angin dan fetch seperti yang telah dibicarakan di depan, dilakukan peramalan gelombang dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.27 (SPM, 1984). Dari grafik tersebut apabila panjang fetch (F), faktor tegangan angin (U_A) dan durasi diketahui maka tinggi dan periode gelombang signifikan dapat dihitung.

Contoh 8

Akan diramalkan tinggi dan periode gelombang di suatu tempat di laut. Kecepatan angin yang diukur di darat dekat laut adalah $10 m/d$, durasi angin 3 jam dan panjang fetch efektif adalah $100 km$. Berapakah tinggi dan periode gelombang.

Penyelesaian

Dihitung kecepatan angin di laut dengan grafik dalam Gambar 3.25.

Untuk nilai $U_L = 10 m/d$ didapat :

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} = 1,13$$

Kecepatan angin di laut :

$$U_w = R_L U_L = 1,13 \times 10 = 11,3 m/d$$

Faktor tegangan angin dihitung dengan rumus berikut :

$$U_A = 0,71U_w^{1,23} = 0,71 \times (11,3)^{1,23} = 14,01 m/d$$

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.27. untuk nilai $U_A=14,01$ m/d dan fetch $F=100$ km didapat :

$$H = 2,28 \text{ m}$$

$$T = 7 \text{ detik}$$

Selain berdasarkan U_A dan F dihitung pula tinggi dan periode gelombang berdasar U_A dan durasi angin dengan menggunakan grafik yang sama, dan didapat :

$$H = 1,1 \text{ m}$$

$$T = 4,3 \text{ detik}$$

Dari kedua nilai H dan T tersebut di atas diambil nilai yang lebih kecil, sehingga tinggi dan periode gelombang adalah :

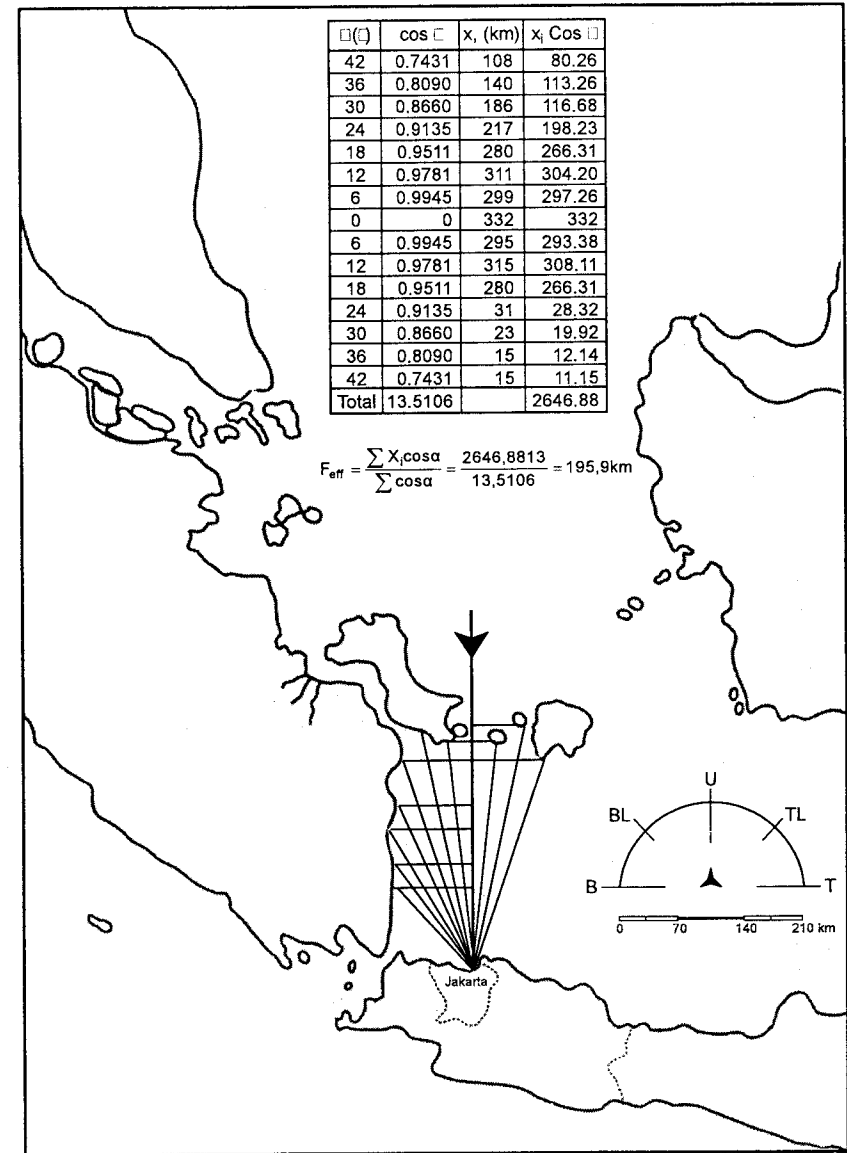
$$H = 1,1 \text{ m}$$

$$T = 4,3 \text{ detik}$$

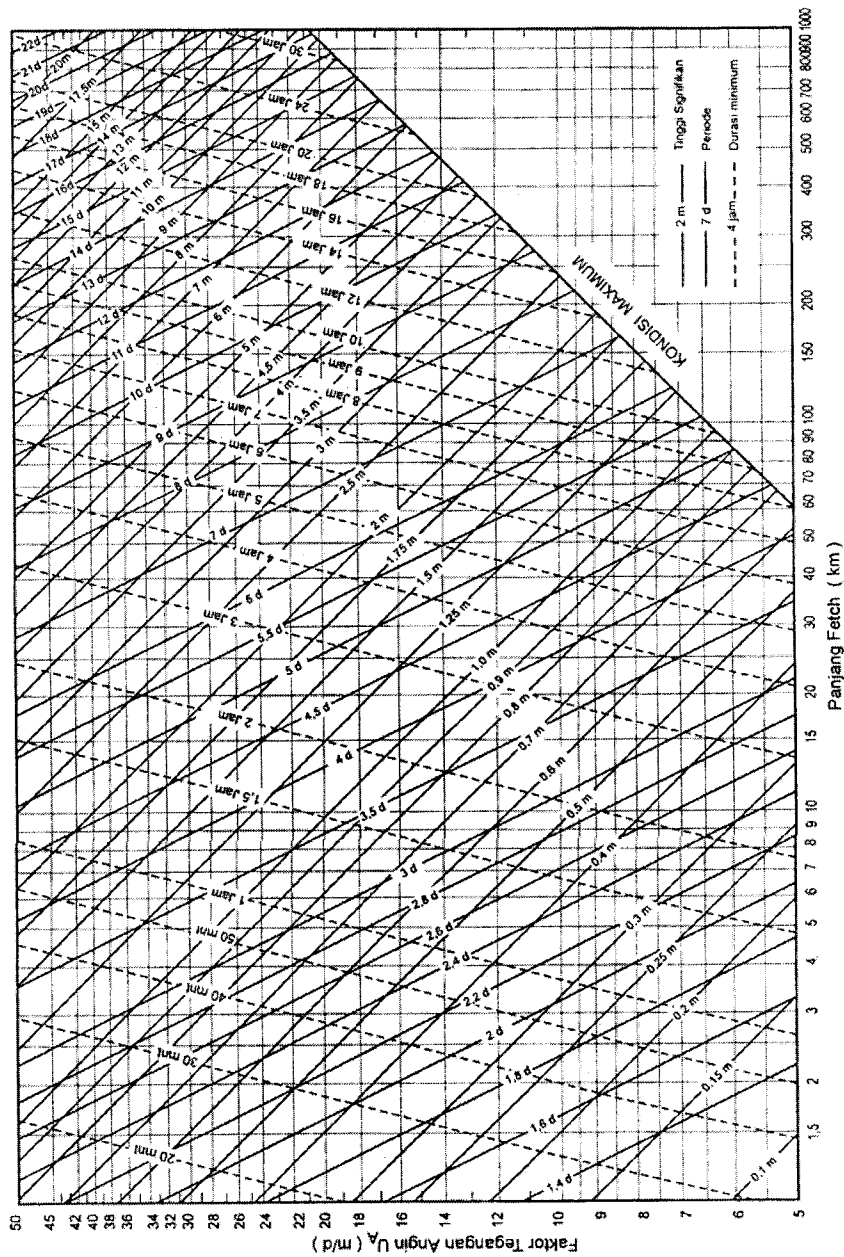
3.4.10. Pemilihan gelombang rencana

Bangunan pelabuhan harus direncanakan untuk mampu menahan gaya-gaya yang bekerja padanya. Hitungan stabilitas bangunan biasanya didasarkan pada kondisi ekstrim, di mana dengan kondisi tersebut bangunan harus tetap aman. Biasanya kondisi yang diperhitungkan tersebut adalah termasuk gelombang dengan periode kejadian tertentu, misalnya gelombang dengan masa ulang 50 atau 100 tahunan. Penentuan gelombang rencana harus mempertimbangkan fungsi dan tipe bangunan, kepentingan bangunan, dan juga biaya pelaksanaan pekerjaan.

Tinggi gelombang yang diperoleh dari peramalan gelombang adalah tinggi gelombang signifikan H_s . Dengan menganggap tinggi gelombang mengikuti distribusi Rayleigh, H_s dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi gelombang dengan karakteristik yang lain, misalnya $H_{10} = 1,28H_s$; $H_5 = 1,37H_s$; $H_1 = 1,68H_s$; dll.



Gambar 3.26. Fetch (FT UGM, 1988)



Gambar 3.27. Grafik peramalan gelombang (SPM, 1984)

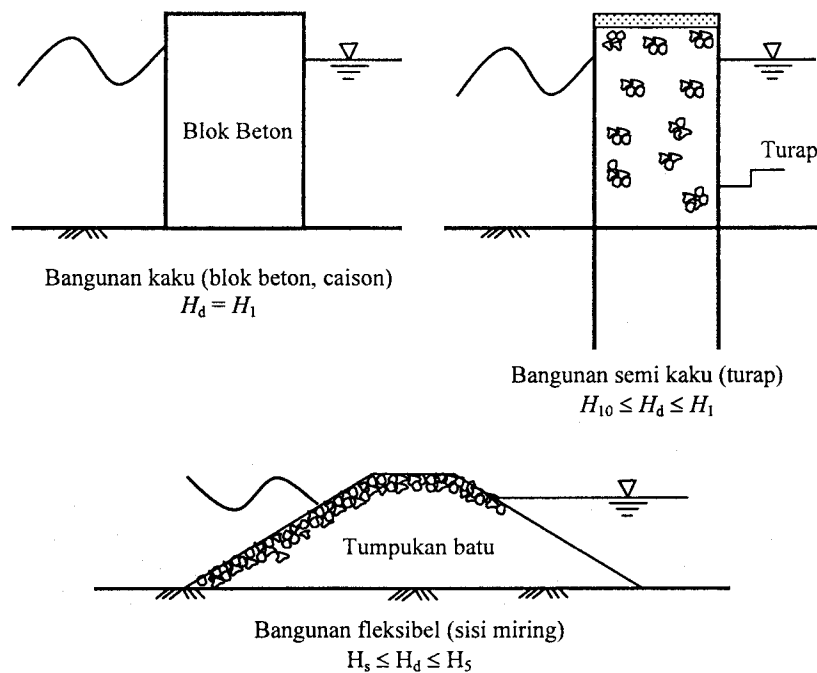
Untuk menghitung gaya-gaya gelombang maksimum yang bekerja pada bangunan atau berat batu pelindung pemecah gelombang diperlukan pemilihan tinggi dan periode gelombang rencana yang dapat mempresentasikan spektrum gelombang selama kejadian ekstrem. Pemilihan tinggi gelombang rencana tergantung pada kondisi lokasi bangunan, metoda pelaksanaan, bahan bangunan yang digunakan dan data-data lain yang tersedia.

Pemilihan tinggi gelombang rencana dengan memperhatikan apakah bangunan kaku, semi kaku, atau fleksibel. Untuk bangunan kaku, seperti dinding beton atau kaisan, di mana tinggi gelombang di dalam deretan gelombang dapat menyebabkan runtuhnya seluruh bangunan, maka tinggi gelombang rencana biasanya diambil H_1 . Untuk bangunan semi kaku, seperti sel turap baja, tinggi gelombang rencana dipilih antara H_{10} sampai H_1 . Untuk bangunan fleksibel, seperti bangunan dari tumpukan batu, tinggi gelombang rencana bervariasi dari H_5 sampai H_s . Kerusakan yang terjadi pada bangunan tumpukan batu, apabila gelombang yang terjadi lebih besar dari gelombang rencana, tidak akan berakibat fatal. Walaupun bangunan telah rusak tetapi masih bisa berfungsi, dan batu-batu yang tergeser dari tempatnya akan mudah diperbaiki. Gambar 3.28 memberikan gambaran penggunaan gelombang rencana untuk beberapa tipe bangunan.

3.4.11. Transpor sedimen pantai

Gelombang yang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai dapat menimbulkan arus sepanjang pantai (*longshore current*). Arus ini terjadi di daerah antara gelombang pecah dan garis pantai. Variabel terpenting di dalam menentukan kecepatan arus sepanjang pantai adalah sudut datang gelombang pecah (sudut antara puncak gelombang pecah dan garis pantai), dan tinggi gelombang pecah. Transpor sedimen pantai adalah gerak sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Daerah transpor sedimen pantai ini terbentang dari garis pantai sampai tepat di luar daerah gelombang pecah. Transpor sedimen pantai dapat diklasifikasikan menjadi transpor menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-off-shore transport*) dan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*). Transpor menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedang transpor sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Gerak partikel sedimen

mempunyai dua komponen yaitu menuju-meninggalkan pantai dan sepanjang pantai. Di daerah lepas pantai biasanya hanya terjadi transpor menuju dan meninggalkan pantai, sedang di daerah dekat pantai terjadi kedua jenis transpor sedimen.



Gambar 3.28. Pemilihan gelombang rencana

Transpor sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan di dalam pencegahan sedimentasi di pelabuhan dan erosi pantai. Oleh karena itu prediksi transpor sedimen sepanjang pantai untuk berbagai kondisi adalah sangat penting.

Transpor sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris. Rumus untuk menghitung transpor sedimen sepanjang pantai dikembangkan berdasar data pengukuran model dan prototip pada pantai berpasir; yang merupakan hubungan antara transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai dalam bentuk:

$$Q_s = KP_1^n \quad (3.32)$$

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (3.33)$$

di mana:

- Q_s : angkutan sedimen sepanjang pantai ($m^3/hari$)
- P_1 : komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah ($Nm/d/m$)
- ρ : rapat massa air laut (kg/m^3)
- H_b : tinggi gelombang pecah (m)
- C_b : cepat rambat gelombang pecah (m/d) = $\sqrt{gd_b}$
- α_b : sudut datang gelombang pecah
- K, n : konstanta

CERC (1984) memberikan hubungan berikut:

$$Q_s = 1290 P_1$$

dengan Q_s mempunyai satuan $m^3/tahun$. Apabila dikehendaki Q_s dalam $m^3/hari$ maka persamaan tersebut menjadi:

$$Q_s = 3,534 P_1 \quad (3.34)$$

Persamaan (3.34) memberikan transpor sedimen total. Distribusi transpor sedimen pada lebar *surf zone*, di mana transpor sedimen terjadi, tidak dapat diketahui. Selain itu rumus CERC tidak memperhitungkan sifat-sifat sedimen dasar. Rumus tersebut diturunkan untuk pantai yang terdiri dari pasir agak seragam dengan diameter rerata bervariasi dari 0,175 mm sampai 1 mm. Oleh karena itu rumus tersebut bisa digunakan untuk pantai lain yang memiliki sedimen dengan sifat serupa.

Contoh 9

Gelombang dari laut dalam bergerak menuju pantai dengan membentuk sudut terhadap garis pantai. Tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang pecah adalah $H_b=1$ m, $d_b=1$ m, dan $\alpha_b = 15^\circ$. Hitung transpor sedimen sepanjang pantai. Rapat massa air laut 1030 kg/m^3 .

Penyelesaian

Dalam sistem satuan MKS terdapat hubungan $\gamma = \rho g$ yang mempunyai satuan kgf/m^3 atau ton/m^3 . Untuk air laut $\gamma = 1030 kgf/m^3$ atau $1,03 ton/m^3$, sehingga:

$$P_1 = \frac{1,03}{16} (1)^2 \sqrt{9,81 \times 1} \sin(2 \times 15^\circ) = 0,10081 t - m / d / m$$

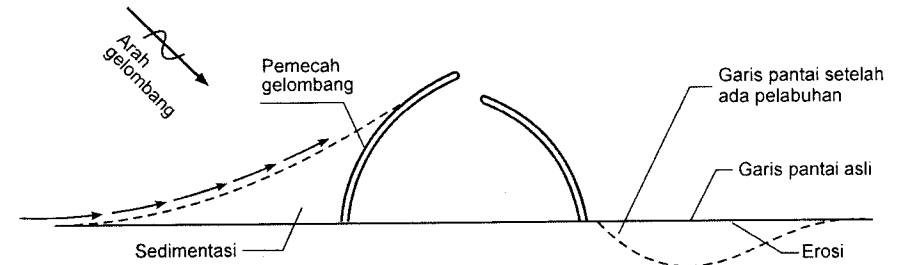
$$= 0,10081 \times 24 \times 3600 = 8710 t - m / hari / m$$

$$Q_s = 0,401 \times 8710 = 3492 m^3 / hari$$

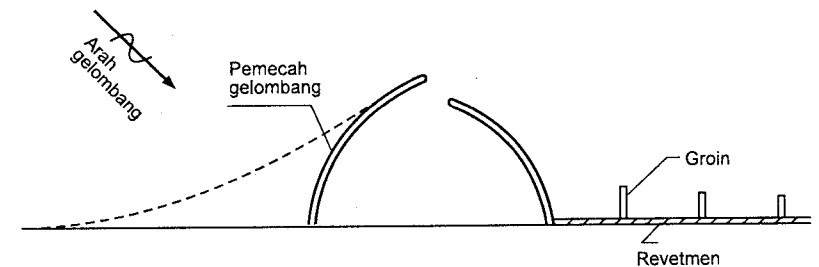
3.4.12. Pengaruh pembangunan pelabuhan terhadap pantai di sekitarnya

Pembangunan pelabuhan di pantai terbuka dilakukan dengan membuat pemecah gelombang yang menjorok dari pantai ke arah laut (Gambar 3.29.). Bangunan tersebut menyebabkan terhalangnya transpor sedimen sepanjang pantai. Akibatnya, sedimen (pasir) yang bergerak dari sebelah kiri akan terhalang oleh pemecah gelombang, sehingga pengendapan akan terjadi di daerah tersebut. Pada daerah di sebelah kanan pelabuhan, gelombang yang datang dengan membentuk sudut terhadap garis pantai menyebabkan terjadinya arus sepanjang pantai. Arus tersebut dapat mengangkut sedimen. Tetapi di daerah ini tidak mendapatkan suplai sedimen, karena sedimen yang bergerak dari sebelah kiri pelabuhan telah terhalang oleh pemecah gelombang. Akibatnya pantai di sebelah kanan pelabuhan akan mengalami erosi. Dalam gambar tersebut garis penuh adalah garis pantai asli, sedang garis terputus adalah keadaan pantai setelah adanya pelabuhan.

Untuk melindungi pantai di sebelah kanan pelabuhan terhadap erosi, perlu dibuat bangunan pelindung pantai yang bisa berupa dinding pantai (revetmen), groin, atau pemecah gelombang sejajar pantai. Gambar 3.30. adalah contoh perlindungan pantai di sebelah hilir pelabuhan (ditinjau terhadap arah transpor sedimen sepanjang pantai) yang terdiri dari gabungan antara revetmen dan groin. Bangunan revetmen akan menahan tererosinya pantai karena serangan gelombang, sedang groin akan menahan transpor sedimen sepanjang pantai.



Gambar 3.29. Perubahan garis pantai akibat pembangunan pelabuhan

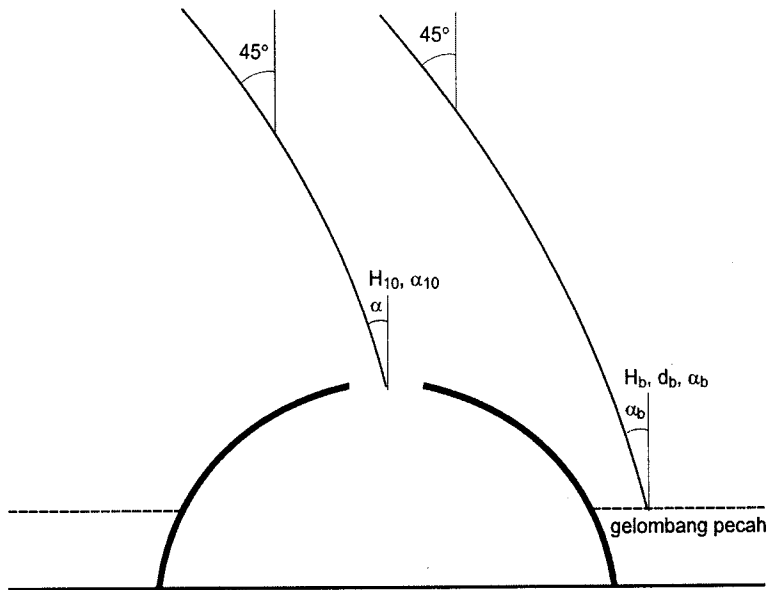


Gambar 3.30. Perlindungan pantai di sebelah hilir pelabuhan

Contoh 10

Gelombang merambat dari laut dalam menuju pantai dengan kontur dasar laut lurus dan sejajar (pantai terbentang sepanjang arah barat-timur). Di laut dalam tinggi gelombang adalah 3 m, periode 10 detik dan sudut datang gelombang adalah 45° (arah utara adalah 0°). Pelabuhan direncanakan di laut tersebut, dengan mulut pelabuhan berada pada kedalaman -10,0 m (muka air rerata pada 0,0 m). Kemiringan dasar laut 1 : 20 ($m=0,05$). Hitung :

- Panjang, tinggi dan arah datang gelombang di mulut pelabuhan
- Apabila koefisien difraksi di suatu titik di dalam kolam pelabuhan adalah 0,4 berapakah tinggi gelombang di titik tersebut.
- Hitung tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang pecah.



Gambar 3.31. Penjalaran gelombang pada contoh 10

Penyelesaian

a. Panjang, tinggi dan arah datang gelombang di mulut pelabuhan

Kondisi gelombang pada kedalaman 10 m dihitung dengan menggunakan Lampiran A-1 dalam Lampiran A, dengan prosedur hitungan berikut ini.

Panjang gelombang di laut dalam :

$$L_0 = 1,56T^2 = 1,56 \times 10^2 = 156 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang adalah :

$$C_0 = \frac{156}{10} = 15,6 \text{ m/d}$$

Untuk kedalaman 10 m :

$$\frac{d}{L_0} = \frac{10}{156} = 0,0641$$

Dengan Tabel A-1 untuk nilai d/L_0 didapat nilai d/L (dengan interpolasi):

$$\frac{d}{L} = 0,1083 \quad \rightarrow \quad L = \frac{10}{0,1083} = 92,3 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{92,3}{10} = 9,23 \text{ m/d}$$

Koefisien pendangkalan (*shoaling*) dapat diperoleh dari Lampiran A-1 dalam Lampiran A, dan hasilnya adalah :

$$K_s = 0,9837$$

Untuk menghitung koefisien refraksi, dihitung terlebih dahulu arah datang gelombang pada kedalaman 10,0 m yang dihitung dengan Persamaan (3.23) :

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \sin \alpha_0 = \frac{5,26}{12,48} \sin 45^\circ = 0,2980$$

$$\alpha_1 = 24,7^\circ$$

Koefisien refraksi :

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 24,7^\circ}} = 0,8824$$

Tinggi gelombang pada kedalaman 10,0 m adalah :

$$H_1 = K_s K_r H_0 = 0,9837 \times 0,8824 \times 3 = 2,60 \text{ m}$$

Dengan demikian, tinggi gelombang di mulut pelabuhan yang berada pada kedalaman 10 m adalah $H=2,6 \text{ m}$.

b. Tinggi gelombang di kolam pelabuhan

Gelombang yang masuk ke kolam pelabuhan mengalami proses difraksi gelombang, yang dinyatakan dalam bentuk koefisien difraksi. Koefisien difraksi dapat dihitung dengan menggunakan Tabel 3.5. atau grafik yang diberikan oleh Gambar 3.18. Dalam soal diketahui bahwa nilai koefisien difraksi $K'=0,4$ sehingga tinggi gelombang di lokasi yang ditinjau adalah sama dengan koefisien difraksi dikalikan dengan tinggi

gelombang di mulut pelabuhan, yang telah dihitung dalam penyelesaian a., yaitu :

$$H_{dif} = K' H_1 = 0,4 \times 2,6 = 1,04 \text{ m}$$

c. *Tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang pecah.*

Tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang pecah diperlukan dalam menentukan tata letak pelabuhan (pemecah gelombang). Dari analisis ini dapat digambarkan lokasi gelombang pecah, baik pada saat air pasang maupun air surut. Ujung pemecah gelombang harus berada di luar lokasi gelombang pecah, seperti telah dibahas dalam Bab II.

Untuk menentukan sudut datang gelombang pecah diperlukan data kedalaman gelombang pecah. Dalam hitungan ini, data tersebut belum diketahui, sehingga langkah pertama yang perlu dilakukan adalah memperkirakan kedalaman gelombang pecah.

Langkah/iterasi I

Misalnya kedalaman gelombang pecah adalah $d_b = 3 \text{ m}$, sehingga hitungan dilakukan berikut ini.

$$\frac{d_b}{L_0} = \frac{3}{156} = 0,0192$$

Dengan Tabel A-1 untuk nilai d_b/L_0 didapat nilai d_b/L (dengan interpolasi):

$$\frac{d_b}{L} = 0,05646 \quad \rightarrow \quad L = \frac{3}{0,05646} = 53,13 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{53,13}{10} = 5,31 \text{ m/d}$$

Koefisien pendangkalan (*shoaling*) dapat diperoleh dari Lampiran A-1 dalam Lampiran A, dan hasilnya adalah :

$$K_s = 1,1183$$

Koefisien refraksi dihitung dengan cara berikut ini.

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \sin \alpha_0 = \frac{5,31}{15,6} \sin 45^\circ = 0,24084$$

$$\alpha_1 = 13,94^\circ$$

Koefisien refraksi :

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 13,94^\circ}} = 0,8536$$

Tinggi gelombang laut dalam ekivalen dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.26) :

$$H'_0 = K_r H_0 = 0,8536 \times 3 = 2,56 \text{ m}$$

Tinggi gelombang pecah dihitung dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.22. Untuk itu dihitung :

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{2,56}{10 \times 10^2} = 0,00261$$

Dengan menggunakan Gambar 3.22. untuk nilai $H'_0 / gT^2 = 0,00261$ dan kemiringan pantai $m=0,05$ diperoleh :

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,45$$

Sehingga diperoleh tinggi gelombang pecah :

$$H_b = 1,45 \times 2,56 = 3,71 \text{ m}$$

Setelah tinggi gelombang pecah diperoleh, selanjutnya dihitung kedalaman gelombang pecah d_b dengan menggunakan Gambar 3.23. Untuk itu dihitung nilai berikut :

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{3,71}{10 \times 10^2} = 0,0037$$

Dengan menggunakan Gambar 3.23. diperoleh :

$$\frac{d_b}{H_b} = 0,95$$

Sehingga diperoleh kedalaman gelombang pecah :

$$d_b = 0,95 \times 3,71 = 3,52 \text{ m}$$

Hitungan tinggi dan kedalaman gelombang pecah serta sudut datang gelombang (d_b , H_b , dan α_b) di atas berdasarkan perkiraan awal bahwa gelombang pecah terjadi pada kedalaman 3,0 m. Hasil hitungan menunjukkan bahwa $d_b=3,52$ m. Jika dianggap bahwa hasil hitungan tersebut sudah mendekati perkiraan awal ($d_b=3,0 \text{ m} \cong db = 3,52 \text{ m}$), maka hitungan dapat dihentikan, dan hasilnya adalah $d_b=3,52 \text{ m}$; $H_b=3,71 \text{ m}$; dan $\alpha_b = 13,94^\circ$. Namun apabila dikehendaki hitungan yang lebih teliti, dapat dilakukan hitungan untuk iterasi berikutnya dengan anggapan bahwa kedalaman gelombang pecah terjadi pada $d_b=3,52 \text{ m}$. Prosedur hitungan dilakukan dengan cara yang sama dengan iterasi sebelumnya, seperti diberikan berikut ini.

Iterasi II

Misalnya gelombang pecah terjadi pada kedalaman $d_b=3,52 \text{ m}$.

$$\frac{d_b}{L_0} = \frac{3,52}{156} = 0,023$$

Dengan Lampiran A-1 untuk nilai d_b/L_0 didapat nilai d_b/L (dengan interpolasi):

$$\frac{d_b}{L} = 0,062 \quad \rightarrow \quad L = \frac{3,52}{0,062} = 56,8 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{56,8}{10} = 5,68 \text{ m/d}$$

Koefisien pendangkalan (*shoaling*) dapat diperoleh dari Lampiran A-1 dalam Lampiran A-1, dan hasilnya adalah :

$$K_s = 1,189$$

Koefisien refraksi dihitung dengan cara berikut ini.

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \frac{5,68}{15,6} \sin 45^\circ = 0,2575$$

$$\alpha_1 = 14,9^\circ$$

Koefisien refraksi :

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 14,9^\circ}} = 0,8554$$

Tinggi gelombang laut dalam ekivalen dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.26) :

$$H'_0 = K_r H_0 = 0,8554 \times 3 = 2,57 \text{ m}$$

Tinggi gelombang pecah dihitung dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.22. Untuk itu dihitung :

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{2,57}{10 \times 10^2} = 0,0026$$

Dengan menggunakan Gambar 3.22. untuk nilai $H'_0 / gT^2 = 0,0026$ dan kemiringan pantai $m=0,05$ diperoleh :

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,45$$

Sehingga diperoleh tinggi gelombang pecah :

$$H_b = 1,45 \times 2,57 = 3,73 \text{ m}$$

Setelah tinggi gelombang pecah diperoleh, selanjutnya dihitung kedalaman gelombang pecah d_b dengan menggunakan Gambar 3.23. Untuk itu dihitung nilai berikut :

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{3,73}{10 \times 10^2} = 0,0037$$

Dengan menggunakan Gambar 3.23. diperoleh :

$$\frac{d_b}{H_b} = 0,95$$

Sehingga diperoleh kedalaman gelombang pecah :

$$d_b = 0,95 \times 3,73 = 3,54 \text{ m}$$

Hasil hitungan pada iterasi II hampir sama dengan iterasi I, sehingga hitungan dapat dihentikan dan hasilnya adalah hasil hitungan pada iterasi ke II.

Tinggi gelombang pecah : $H_b=3,73 m$;

Kedalaman gelombang pecah : $d_b=3,54 m$;

Sudut datang gelombang pecah : $\alpha_b = 14,9^\circ$.

BAB IV

ALUR PELAYARAN

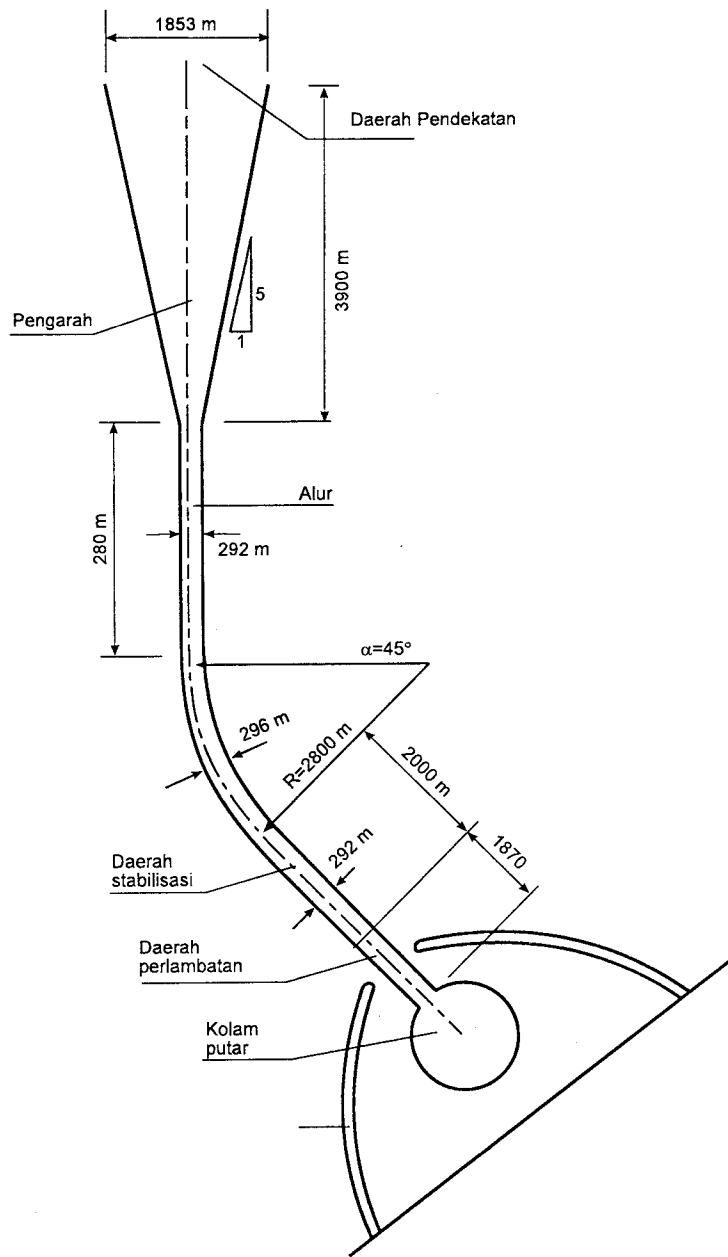
4.1. Pendahuluan

Alur pelayaran digunakan untuk mengarahkan kapal yang akan masuk ke kolam pelabuhan. Alur pelayaran dan kolam pelabuhan harus cukup tenang terhadap pengaruh gelombang dan arus. Perencanaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan ditentukan oleh kapal terbesar yang akan masuk ke pelabuhan dan kondisi meteorologi dan oseanografi.

Dalam perjalanan masuk ke pelabuhan melalui alur pelayaran, kapal mengurangi kecepatannya sampai kemudian berhenti di dermaga. Secara umum ada beberapa daerah yang dilewati selama perjalanan tersebut yaitu 1) daerah tempat kapal melempar sauh di luar pelabuhan, 2) daerah pendekatan di luar alur masuk, 3) alur masuk di luar pelabuhan dan kemudian di dalam daerah terlindung, 4) saluran menuju ke dermaga, apabila pelabuhan berada di dalam daerah daratan, dan 5) kolam putar.

Alur pelayaran ini ditandai dengan alat bantu pelayaran yang berupa pelampung dan lampu-lampu. Pada umumnya daerah-daerah tersebut mempunyai kedalaman yang kecil, sehingga sering diperlukan pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang diperlukan. Gambar 4.1. menunjukkan contoh layout dari alur masuk ke pelabuhan.

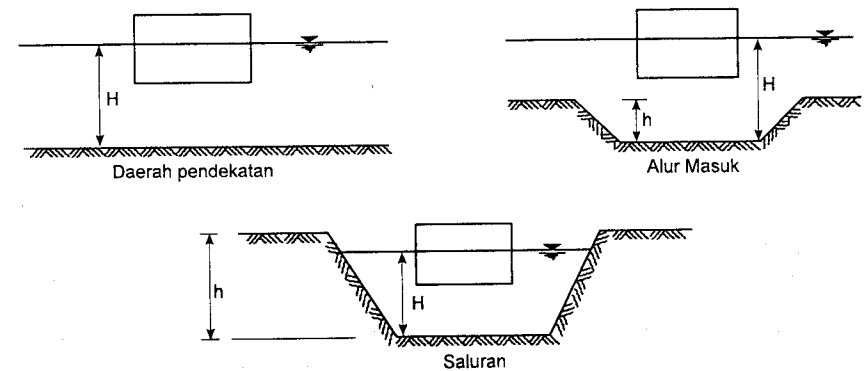
Daerah pendekatan, alur masuk dan saluran dapat dibedakan menurut tinggi tebing, yang masing-masing ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Layout alur pelayaran

- di daerah pendekatan $h = 0$
- di alur masuk $0 < h < H$ dan perbandingan $h/H < 0,4$
- di saluran $h > H$

dengan h adalah kedalaman pengerukan dan H adalah kedalaman alur. Di sini perlu diperhatikan perbandingan antara h dan H , yaitu h/H . Kondisi pelayaran di alur pelayaran tidak banyak berbeda dengan di laut (dasar rata) apabila $h/H < 0,4$. Apabila $h/H > 0,4$ maka pelayaran adalah serupa dengan di saluran dengan kedua tebing di kedua sisinya.



Gambar 4.2. Tampang alur pelayaran

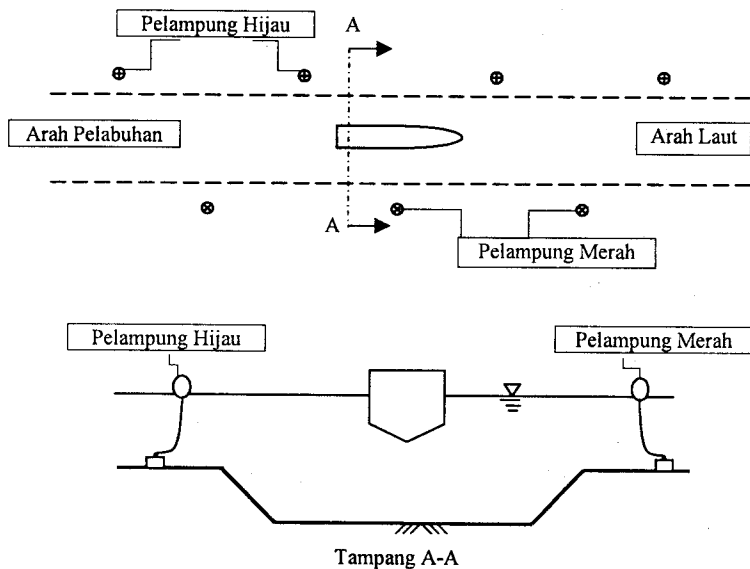
Daerah tempat kapal melempar sauh di luar pelabuhan digunakan sebagai tempat penungguan sebelum kapal bisa masuk ke dalam pelabuhan, baik karena sedang menunggu kapal tunda dan pandu yang akan membantu kapal masuk ke pelabuhan, atau keadaan meteorologi dan oseanografi belum memungkinkan (pasang surut) atau karena dermaga sedang penuh. Daerah ini harus terletak sedekat mungkin dengan alur masuk kecuali daerah yang diperuntukkan bagi kapal yang mengangkut barang berbahaya. Dasar dari daerah ini harus merupakan tanah yang mempunyai daya tahanan yang baik untuk bisa menahan jangkar yang dilepas. Kedalaman tidak boleh kurang dari 1,15 kali dari draft maksimum kapal terbesar dan tidak boleh lebih dari 100 m (Grailot, A., 1983).

Pada waktu kapal akan masuk ke pelabuhan, kapal tersebut melalui alur pendekatan. Di sini kapal diarahkan untuk bergerak menuju alur masuk dengan menggunakan pelampung pengarah (rambu pelayar-

an). Sedapat mungkin alur masuk ini lurus. Tetapi apabila alur terpaksa membelok, misalnya untuk menghindari dasar karang, maka setelah belokan harus dibuat alur stabilisasi yang berguna untuk menstabilkan gerak kapal setelah membelok. Pada ujung akhir alur masuk terdapat kolam putar yang berfungsi untuk mengubah arah kapal yang akan merapat ke dermaga. Panjang alur pelayaran tergantung pada kedalaman dasar laut dan kedalaman alur yang diperlukan. Di laut/pantai yang dangkal diperlukan alur pelayaran yang panjang, sementara di pantai yang dalam (kemiringan besar) diperlukan alur pelayaran yang lebih pendek.

Alur pendekatan biasanya terbuka terhadap gelombang besar dibanding dengan alur masuk atau saluran. Akibatnya gerak vertikal kapal karena pengaruh gelombang di alur pendekatan lebih besar daripada di alur masuk atau di saluran.

Alur pelayaran berada di bawah permukaan air, sehingga tidak dapat terlihat oleh nahkoda kapal. Untuk menunjukkan posisi alur pelayaran, di kanan kirinya dipasang pelampung, dengan warna berbeda. Pelampung di sebelah kanan, terhadap arah ke laut berwarna merah sedang di sebelah kiri berwarna hijau. Kapal harus bergerak di antara kedua pelampung tersebut. Gambar 4.3. menunjukkan alur pelayaran dan posisi pelampung.



Gambar 4.3. Alur pelayaran

Sebelum masuk ke mulut pelabuhan kapal harus mempunyai kecepatan tertentu untuk menghindari pengaruh angin, arus dan gelombang. Setelah masuk ke kolam pelabuhan kapal mengurangi kecepatan. Untuk kapal kecil, kapal tersebut bisa merapat ke dermaga dengan menggunakan mesinnya sendiri. Tetapi untuk kapal besar, diperlukan kapal tunda untuk menghela kapal merapat di dermaga. Gambar 4.4. adalah contoh gerak (*maneuver*) kapal dari luar pelabuhan menuju ke dermaga dan meninggalkan dermaga ke luar pelabuhan dari pelabuhan *Asean Aceh Fertiliser, AAF (PCI, 1980)*. Pelabuhan tersebut direncanakan untuk bisa menerima kapal 15.000 DWT di masa mendatang. Sementara ini kapal yang menggunakan pelabuhan adalah antara 8.000 DWT dan 10.000 DWT. Untuk membantu masuk/keluar kapal ke/dari pelabuhan digunakan kapal tunda (*tug boat*) dengan kapasitas 800 hp dan 1000 hp. Pelabuhan tersebut mempunyai dua dermaga yaitu A dan B.

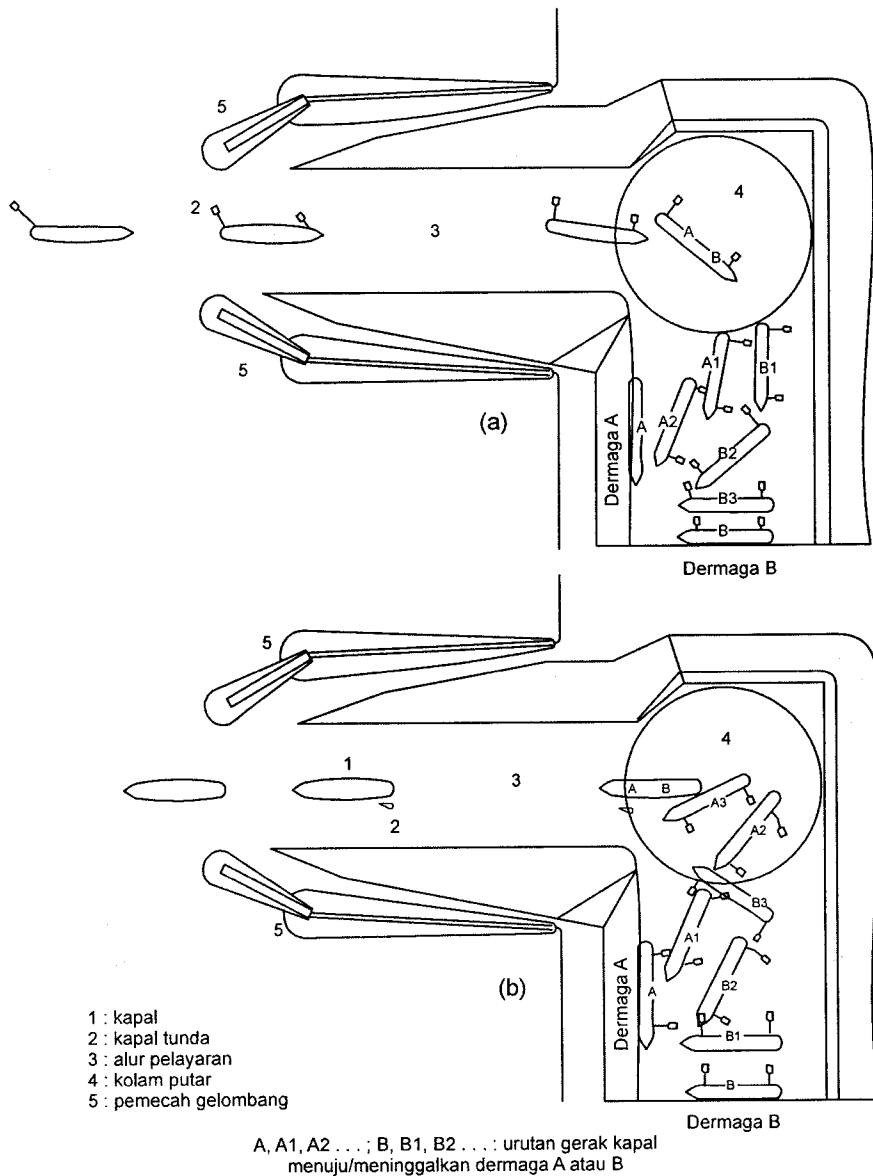
4.2. Pemilihan Karakteristik Alur

Alur masuk ke pelabuhan biasanya sempit dan dangkal. Alur-alur tersebut merupakan tempat terjadinya arus, terutama yang disebabkan oleh pasang surut. Sebuah kapal yang mengalami/menerima arus dari depan akan dapat mengatur gerakannya (*maneuver*), tetapi apabila arus berasal dari belakang kapal akan menyebabkan gerakan yang tidak baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan karakteristik alur masuk ke pelabuhan adalah sebagai berikut ini.

1. Keadaan trafik kapal.
2. Keadaan geografi dan meteorologi di daerah alur.
3. Sifat-sifat fisik dan variasi dasar saluran.
4. Fasilitas-fasilitas atau bantuan-bantuan yang diberikan pada pelayaran.
5. Karakteristik maksimum kapal-kapal yang menggunakan pelabuhan.
6. Kondisi pasang surut, arus dan gelombang.

Suatu alur masuk ke pelabuhan yang lebar dan dalam akan memberikan keuntungan-keuntungan baik langsung maupun tidak langsung seperti :

1. jumlah kapal yang dapat bergerak tanpa tergantung pada pasang surut akan lebih besar,
2. berkurangnya batasan gerak dari kapal-kapal yang mempunyai draft besar,



Gambar 4.4. Gerak kapal masuk dan keluar pelabuhan

3. dapat menerima kapal yang berukuran besar ke pelabuhan,
4. mengurangi waktu penungguan kapal-kapal yang hanya dapat masuk ke pelabuhan pada waktu air pasang,
5. mengurangi waktu transito barang-barang.

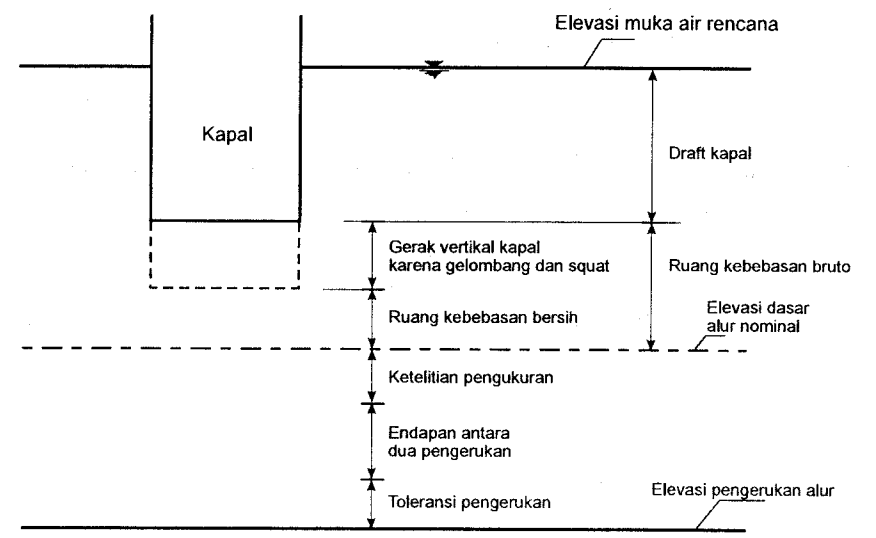
Selain keuntungan-keuntungan tersebut, dalam menentukan karakteristik alur ini perlu ditinjau pula biaya pengerukan yang lebih besar apabila alur tersebut lebar dan dalam, dibanding dengan alur yang sempit dan dangkal.

4.3. Kedalaman Alur

Untuk mendapatkan kondisi operasi yang ideal kedalaman air di alur masuk harus cukup besar untuk memungkinkan pelayaran pada muka air terendah dengan kapal bermuatan penuh.

Kedalaman air ini ditentukan oleh berbagai faktor seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.5. Kedalaman air total adalah :

$$H = d + G + R + P + S + K \quad (4.1)$$



Gambar 4.5. Kedalaman alur pelayaran

dengan :

d : draft kapal

G : gerak vertikal kapal karena gelombang dan *squat*

R : ruang kebebasan bersih

P : ketelitian pengukuran

S : pengendapan sedimen antara dua pengerukan

K : toleransi pengerukan

Kedalaman air diukur terhadap muka air referensi. Biasanya muka air referensi ini ditentukan berdasarkan dari muka air surut terendah pada saat pasang purnama (*spring tide*) dalam periode panjang, yang disebut LLWS (*lower low water spring tide*).

Beberapa definisi yang terdapat dalam Gambar 4.4. adalah sebagai berikut ini. Elevasi dasar alur nominal adalah elevasi di atas mana tidak terdapat rintangan yang mengganggu pelayaran. Kedalaman elevasi ini adalah jumlah dari draft kapal dan ruang kebebasan bruto yang dihitung terhadap muka air rencana. Ruang kebebasan bruto adalah jarak antara sisi terbawah kapal dan elevasi dasar alur nominal, pada draft kapal maksimum yang diukur pada air diam. Ruang ini terdiri dari ruang gerak vertikal kapal karena pengaruh gelombang dan *squat* dan ruang kebebasan bersih. Ruang kebebasan bersih adalah ruang minimum yang tersisa antara sisi terbawah kapal dan elevasi dasar alur nominal kapal, pada kondisi kapal bergerak dengan kecepatan penuh dan pada gelombang dan angin terbesar. Ruang kebebasan bersih minimum adalah 0,5 m untuk dasar laut berpasir dan 1,0 m untuk dasar karang.

Elevasi pengerukan alur ditetapkan dari elevasi dasar alur nominal dengan memperhitungkan beberapa hal berikut ini.

- Jumlah endapan yang terjadi antara dua periode pengerukan
- Toleransi pengerukan
- Ketelitian pengukuran

1. Draft kapal

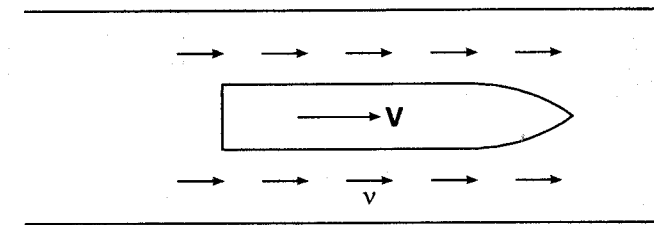
Draft kapal ditentukan oleh karakteristik kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan, muatan yang diangkut, dan juga sifat-sifat air seperti berat jenis, salinitas dan temperatur. Tabel 1.1. memberikan draft kapal untuk berbagai ukuran. Nilai yang ada dalam tabel tersebut perlu

ditambah dengan angka koreksi karena adanya salinitas dan kondisi muatan. Angka koreksi minimum adalah sebesar 0,3 m.

2. Squat

Squat adalah pertambahan draft kapal terhadap muka air yang disebabkan oleh kecepatan kapal. Squat ini diperhitungkan berdasarkan dimensi dan kecepatan kapal dan kedalaman air.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.6., kecepatan air di sisi kapal akan naik disebabkan karena gerak kapal. Berdasar hukum Bernoulli, permukaan air akan turun karena kecepatan bertambah. *Squat* akan tampak jelas di saluran sempit, tetapi juga terjadi di saluran dengan lebar tak terhingga. Dua faktor yang menentukan besar squat adalah kedalaman alur pelayaran dan kecepatan kapal. *Squat* dihitung berdasarkan kecepatan maksimum yang diijinkan.



Gambar 4.6. Squat

Besar *squat* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut yang didasarkan pada percobaan di laboratorium (Bruun, P., 1981).

$$z = 2,4 \frac{\Delta}{L_{pp}^2} \frac{Fr^2}{\sqrt{1 - Fr^2}} \quad (4.2)$$

dengan :

Δ : volume air yang dipindahkan (m^3)

L_{pp} : panjang garis air (m)

Fr : angka Fraude = \sqrt{gh} (tak berdimensi)

V : kecepatan (m/d)

g : percepatan gravitasi (m/d^2)

h : kedalaman air (m)

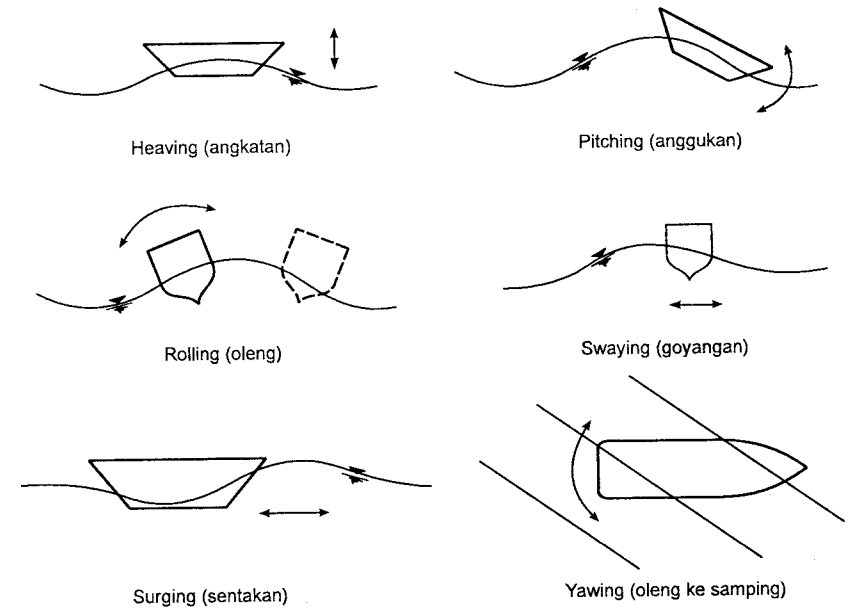
3. Gerak kapal karena pengaruh gelombang

Gerak kapal relatif terhadap posisinya pada waktu tidak bergerak di air diam adalah penting di dalam perencanaan alur pelayaran dan mulut pelabuhan. Gerak vertikal kapal digunakan untuk menentukan kedalaman alur, sedang gerak horisontal terhadap sumbu alur yang ditetapkan adalah penting untuk menentukan lebar alur. Gambar 4.7. adalah beberapa gerakan kapal karena pengaruh gelombang. Skala dari gambar tersebut didistorsi untuk memberikan gambaran yang lebih jelas.

Kenaikan draft yang disebabkan oleh gerak tersebut kadang-kadang sangat besar. Untuk kapal yang lebar, pengaruh *rolling* dapat cukup besar, terutama bila frekwensi *rolling* kapal sama dengan frekwensi gelombang. Sebagai contoh untuk kapal tanker dengan lebar 60 m dan oleng dengan membentuk sudut 3° , maka pertambahan draft adalah $60/2 \times \sin 3^\circ = 1,6 \text{ m}$. Apabila kedalaman air terbatas, gerak kapal akan diredam oleh air yang berada di antara dasar kapal dan dasar alur.

Beberapa parameter yang diberikan di atas harus diperhitungkan di dalam menentukan elevasi dasar alur nominal. Untuk menyederhanakan hitungan, Brunn (1981) memberikan nilai ruang kebebasan bruto secara umum untuk berbagai daerah berikut ini.

1. Di laut terbuka yang mengalami gelombang besar dan kecepatan kapal masih besar, ruang kebebasan bruto adalah 20% dari draft kapal maksimum.
2. Di daerah tempat kapal melempar sauh di mana gelombang besar, ruang kebebasan bruto adalah 15% dari draft kapal.
3. Alur di luar kolam pelabuhan di mana gelombang besar, ruang kebebasan bruto adalah 15% dari draft kapal.
4. Alur yang tidak terbuka terhadap gelombang, ruang kebebasan bruto adalah 10% dari draft kapal.
5. Kolam pelabuhan yang tidak terlindung dari gelombang, ruang kebebasan bruto adalah 10% - 15% dari draft kapal.
6. Kolam pelabuhan yang terlindung dari gelombang, ruang kebebasan bruto adalah 7% dari draft kapal.



Gambar 4.7. Pengaruh gelombang pada gerak kapal

Selain acuan yang diberikan oleh Brunn tersebut di atas, OCDI (1991) juga memberikan cara penentuan kedalaman alur, yaitu dengan menambahkan suatu kelonggaran (kedalaman tambahan untuk keamanan) terhadap kedalaman kolam pelabuhan seperti diberikan dalam Tabel 4.4. (dalam Sub Bab 4.6. Kolam Pelabuhan). Kelonggaran yang diberikan tergantung pada gerak vertikal kapal karena pengaruh gelombang seperti *rolling*, *pitching*, *squad* kapal dan kondisi dasar laut. Untuk alur pelayaran di luar pemecah gelombang, tinggi kelonggaran tersebut adalah sekitar dua-pertiga dari tinggi gelombang untuk kapal kecil dan sedang, dan setengah tinggi gelombang untuk kapal besar.

Beberapa aturan untuk menentukan kedalaman alur yang diberikan oleh Brunn dan OCDI adalah untuk menentukan elevasi dasar alur nominal. Untuk menetapkan kedalaman alur pelayaran perlu diperhitungkan ruang untuk pengendapan dan toleransi pengukuran dan pengerukan.

4.4. Lebar Alur

Lebar alur biasanya diukur pada kaki sisi-sisi miring saluran atau pada kedalaman yang direncanakan. Lebar alur tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

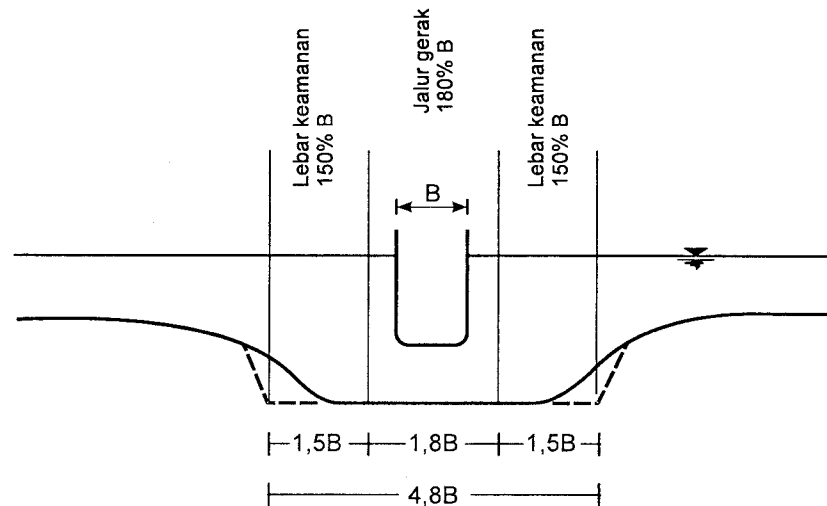
1. lebar, kecepatan dan gerakan kapal
2. trafik kapal, apakah alur direncanakan untuk satu atau dua jalur
3. kedalaman alur
4. apakah alur sempit atau lebar
5. stabilitas tebing alur
6. angin, gelombang, arus dan arus melintang dalam alur.

Tidak ada rumus yang memuat faktor-faktor tersebut secara eksplisit, tetapi beberapa kriteria telah ditetapkan berdasarkan pada lebar kapal dan faktor-faktor tersebut secara implisit. Pada alur untuk satu jalur (tidak ada simpangan), lebar alur dapat ditentukan dengan mengacu Gambar 4.8.a.; sedang jika kapal boleh bersimpangan, lebar alur dapat ditentukan dengan menggunakan 4.8.b. (Bruun, P., 1981).

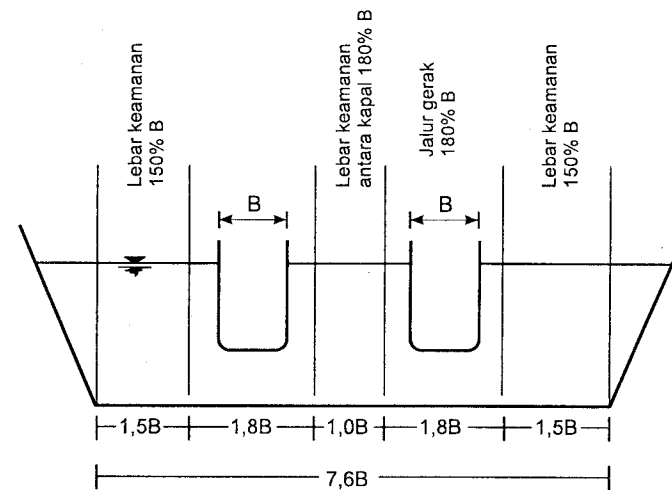
Cara lain untuk menentukan lebar alur diberikan oleh OCDI (1991). Lebar alur untuk dua jalur diberikan oleh Tabel 4.1. Untuk alur di luar pemecah gelombang, lebar alur harus lebih besar daripada yang diberikan dalam tabel tersebut, supaya kapal bisa melakukan gerakan (*maneuver*) dengan aman di bawah pengaruh gelombang, arus, topografi dan sebagainya.

Tabel 4.1. Lebar alur menurut OCDI

Panjang Alur	Kondisi Pelayaran	Lebar
Relatif panjang	Kapal sering bersimpangan	$2 L_{oa}$
	Kapal tidak sering bersimpangan	$1,5 L_{oa}$
Selain dari alur di atas	Kapal sering bersimpangan	$1,5 L_{oa}$
	Kapal tidak sering bersimpangan	L_{oa}



Gambar 4.8.a. Lebar alur satu jalur (Bruun, P., 1981).



Gambar 4.8.b. Lebar alur dua jalur (Bruun, P., 1981).

4.5. Layout Alur Pelayaran

Untuk mengurangi kesulitan dalam pelayaran, sedapat mungkin trase alur pelayaran merupakan garis lurus. Apabila hal ini tidak mungkin, misalnya karena adanya dasar karang, maka sumbu alur dibuat dengan beberapa bagian lurus yang dihubungkan dengan busur lingkaran. Faktor-faktor yang berpengaruh pada pemilihan trase adalah kondisi tanah dasar laut, kondisi pelayaran (angin, arus, gelombang), peralatan bantu (lampu-lampu, radar) dan pertimbangan ekonomis. Secara garis besar trase alur ditentukan oleh kondisi lokal dan tipe kapal yang akan menggunakannya. Beberapa ketentuan berikut ini perlu diperhatikan dalam merencanakan trase alur pelayaran.

1. Sedapat mungkin trase alur harus mengikuti garis lurus.
2. Satu garis lengkung akan lebih baik daripada sederetan belokan kecil dengan interval pendek.
3. Garis lurus yang menghubungkan dua kurva lengkung harus mempunyai panjang minimum 10 kali panjang kapal terbesar.
4. Sedapat mungkin alur tersebut harus mengikuti arah arus dominan, untuk memperkecil alur melintang.
5. Jika mungkin, pada waktu kapal terbesar masuk pada air pasang, arus berlawanan dengan arah kapal yang datang.
6. Gerakan kapal akan sulit apabila dipengaruhi oleh arus atau angin melintang. Hal ini dapat terjadi ketika kapal bergerak dari daerah terbuka ke perairan terlindung. Untuk itu maka lebar alur dan mulut pelabuhan harus cukup besar.
7. Pada setiap alur terdapat apa yang disebut titik tidak boleh kembali di mana kapal tidak boleh berhenti atau berputar, dan mulai dari titik tersebut kapal-kapal diharuskan melanjutkan sampai ke pelabuhan. Titik tersebut harus terletak sedekat mungkin dengan mulut pelabuhan dengan merencanakan/membuat tempat keluar yang memungkinkan kapal-kapal yang mengalami kecelakaan dapat meninggalkan tempat tersebut, atau dengan membuat suatu lebar tambahan.

Apabila terdapat belokan maka belokan tersebut harus berupa kurva lengkung. Jari-jari busur pada belokan tergantung pada sudut belokan terhadap sumbu alur. Jari-jari minimum untuk kapal yang membelok tanpa bantuan kapal tunda adalah seperti berikut ini (Gambar 4.9).

$$R \geq 3L \text{ untuk } \alpha < 25^\circ$$

$$R \geq 5L \text{ untuk } 25^\circ < \alpha < 35^\circ$$

$$R \geq 10L \text{ untuk } \alpha > 35^\circ$$

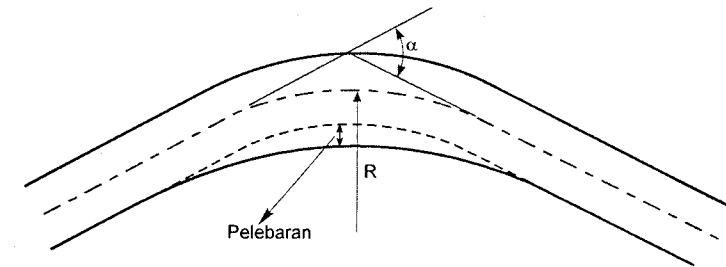
dengan :

R : jari-jari belokan

L : panjang kapal

α : sudut belokan

Lebar alur pada belokan dibuat lebih besar dibanding dengan lebar pada alur pada bagian lurus lurus, yang dimaksudkan untuk memudahkan gerak kapal. Tergantung pada olah gerak kapal dan jari-jari belokan, pelebaran bervariasi dari sekitar dua kali lebar kapal terbesar pada bagian lurus sampai empat kali lebar kapal terbesar di belokan.



Gambar 4.9. Alur pada belokan

4.6. Kolam Pelabuhan

Kolam pelabuhan harus tenang, mempunyai luas dan kedalaman yang cukup, sehingga memungkinkan kapal berlabuh dengan aman dan memudahkan bongkar muat barang. Selain itu tanah dasar harus cukup baik untuk bisa menahan anker dari pelampung penambat. OCDI memberikan beberapa besaran untuk menentukan dimensi kolam pelabuhan. Daerah kolam yang digunakan untuk menambatkan kapal, selain penambatan di depan dermaga dan tiang penambat, mempunyai luasan air yang melebihi daerah lingkaran dengan jari-jari yang diberikan dalam Tabel 4.2. Sedangkan pada pelampung penambat, daerah perairan mempunyai jari-jari yang diberikan dalam Tabel 4.3. Pada kolam yang digunakan untuk penambatan di depan dermaga atau tiang penambat, mempunyai dae-

rah perairan yang cukup. Panjang kolam tidak kurang dari panjang total kapal (L_{oa}) ditambah dengan ruang yang diperlukan untuk penambatan yaitu sebesar lebar kapal; sedang lebarnya tidak kurang dari yang diperlukan untuk penambatan dan keberangkatan kapal yang aman. Lebar kolam di antara dua dermaga yang berhadapan ditentukan oleh ukuran kapal, jumlah tambatan dan penggunaan kapal tunda. Apabila dermaga digunakan untuk tambatan tiga kapal atau kurang, lebar kolam di antara dermaga adalah sama dengan panjang kapal (L_{oa}). Sedang dermaga untuk empat kapal atau lebih, lebar kolam adalah $1,5 L_{oa}$.

Tabel 4.2. Luas kolam untuk tambatan

Penggunaan	Tipe Tambatan	Tanah Dasar atau Kecepatan Angin	Jari-jari (m)
Penungguan di lepas pantai atau Bongkar muat barang	Tambatan bisa berputar 360°	Pengangkeran baik	$L_{oa} + 6H$
		Pengangkeran jelek	$L_{oa} + 6H + 30$
	Tambatan dengan dua jangkar	Pengangkeran baik	$L_{oa} + 4,5H$
		Pengangkeran jelek	$L_{oa} + 4,5H + 25$
Penambatan selama ada badai		Kec. Angin 20 m/d	$L_{oa} + 3H + 90$
		Kec. Angin 30 m/d	$L_{oa} + 4H + 145$

H : kedalaman air

1. Kolam putar

Luas kolam putar yang digunakan untuk mengubah arah kapal minimum adalah luasan lingkaran dengan jari-jari 1,5 kali panjang kapal total (L_{oa}) dari kapal terbesar yang menggunakannya. Apabila perputaran kapal dilakukan dengan bantuan jangkar atau menggunakan kapal tunda, luas kolam putar minimum adalah luas lingkaran dengan jari-jari sama dengan panjang total kapal (L_{oa}).

2. Kedalaman kolam pelabuhan

Dengan memperhitungkan gerak osilasi kapal karena pengaruh alam seperti gelombang, angin dan arus pasang surut, kedalaman kolam pelabuhan adalah 1,1 kali draft kapal pada muatan penuh di bawah elevasi muka air rencana. Kedalaman tersebut diberikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Kedalaman kolam pelabuhan

Bobot	Kedalaman (m)	Bobot (DWT)	Kedalaman (m)
Kapal Penumpang (GT)		Kapal Minyak (lanjutan)	
500	3,5	20.000	11,0
1.000	4,0	30.000	12,0
2.000	4,5	40.000	13,0
3.000	5,0	50.000	14,0
5.000	6,0	60.000	15,0
8.000	6,5	70.000	16,0
10.000	7,0	80.000	17,0
15.000	7,5	Kapal Barang Curah (DWT)	
20.000	9,0	10.000	9,0
30.000	10,0	15.000	10,0
Kapal Barang (DWT)		20.000	11,0
700	4,5	30.000	12,0
1.000	5,0	40.000	12,5
2.000	5,5	50.000	13,0
3.000	6,5	70.000	15,0
5.000	7,5	90.000	16,0
8.000	9,0	100.000	18,0
10.000	10,0	150.000	20,0
15.000	11,0	Kapal Ferry (GT)	
20.000	11,5	1.000	4,5
30.000	12,0	2.000	5,5
40.000	13,0	3.000	6,0
50.000	14,0	4.000	6,5
Kapal Minyak (DWT)		6.000	7,5
700	4,0	8.000	8,0
1.000	4,5	10.000	8,0
2.000	5,5	13.000	8,0
3.000	6,5	Kapal peti kemas (DWT)	
5.000	7,5	20.000	12,0
10.000	9,0	30.000	13,0
15.000	10,0	40.000	14,0
		50.000	15,0

3. Ketenangan di pelabuhan

Kolam pelabuhan harus cukup tenang baik dalam kondisi biasa maupun badai. Kolam di depan dermaga harus tenang untuk memungkinkan penambatan selama 95 % - 97,5 % dari hari atau lebih dalam satu tahun.

Tinggi gelombang kritis untuk bongkar muat barang di kolam di depan fasilitas tambatan ditentukan berdasarkan jenis kapal, ukuran dan kondisi bongkar muat, yang dapat diberikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Tinggi gelombang kritis di pelabuhan

Ukuran Kapal	Tinggi gelombang kritis untuk bongkar muat ($H_{1/3}$)
Kapal kecil	0,3 m
Kapal sedang dan besar	0,5 m
Kapal sangat besar	0,7 - 1,5 m

Catatan

Kapal kecil : kapal kurang dari 500 GRT yang selalu menggunakan kolam untuk kapal kecil

Kapal sedang dan besar : Kapal selain kapal kecil dan sangat besar

Kapal sangat besar : Kapal lebih dari 500.000 GRT yang menggunakan dolphin besar dan tambatan di laut

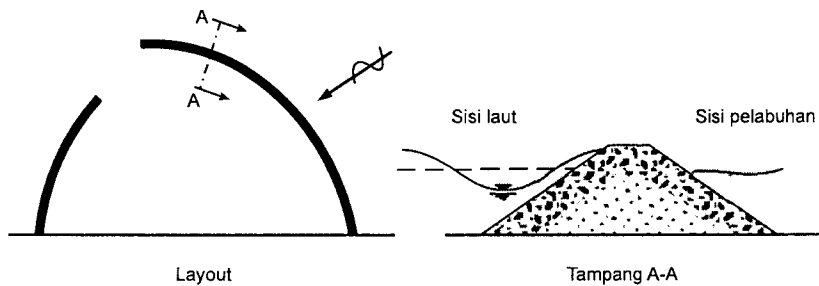
BAB V

PEMECAH GELOMBANG

5.1. Pendahuluan

Pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut bebas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu, dan kapal ke luar/masuk pelabuhan melalui celah tersebut. Dengan adanya pemecah gelombang ini daerah perairan pelabuhan menjadi tenang dan kapal bisa melakukan bongkar muat barang dengan mudah. Gambar 5.1. menunjukkan contoh bentuk pemecah gelombang.

Pengaturan tata letak pemecah gelombang telah dipelajari dalam bab II. Pada prinsipnya, pemecah gelombang dibuat sedemikian rupa sehingga mulut pelabuhan tidak menghadap ke arah gelombang dan arus dominan yang terjadi di lokasi pelabuhan. Gelombang yang datang dengan membentuk sudut terhadap garis pantai dapat menimbulkan arus sepanjang pantai. Kecepatan arus yang besar akan bisa mengangkut sedimen dasar dan membawanya searah dengan arus tersebut. Mulut pelabuhan yang menghadap arus tersebut akan memungkinkan masuknya sedimen ke dalam perairan pelabuhan yang berakibat terjadinya pendangkalan.



Gambar 5.1. Pemecah gelombang sisi miring

Ada beberapa macam pemecah gelombang ditinjau dari bentuk dan bahan bangunan yang digunakan. Menurut bentuknya pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi pemecah gelombang sisi miring, sisi tegak dan campuran.

Pemecah gelombang bisa dibuat dari tumpukan batu, blok beton, beton massa, turap dan sebagainya. Tipe masing-masing pemecah gelombang akan dibahas lebih mendalam dalam sub bab berikutnya.

Dimensi pemecah gelombang tergantung pada banyak faktor, di antaranya adalah ukuran dan layout perairan pelabuhan, kedalaman laut, tinggi pasang surut dan gelombang, ketenangan pelabuhan yang diharapkan (besarnya limpasan air melalui puncak bangunan yang diijinkan), transpor sedimen di sekitar lokasi pelabuhan.

Mengingat tujuan utama pemecah gelombang adalah untuk melindungi kolam pelabuhan terhadap gangguan gelombang, maka pengetahuan tentang gelombang dan gaya-gaya yang ditimbulkannya merupakan faktor penting di dalam perencanaan. Pemecah gelombang harus mampu menahan gaya-gaya gelombang yang bekerja. Pada pemecah gelombang sisi miring, butir-butir batu atau blok beton harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga tidak runtuh oleh serangan gelombang. Demikian juga, pemecah gelombang dinding tegak harus mampu menahan gaya-gaya pengguling yang disebabkan oleh gaya gelombang dan tekanan hidrostatis. Resultan dari gaya berat sendiri dan gaya-gaya gelombang harus berada pada sepertiga lebar dasar bagian tengah. Selain itu tanah dasar juga harus mampu mendukung beban bangunan di atasnya.

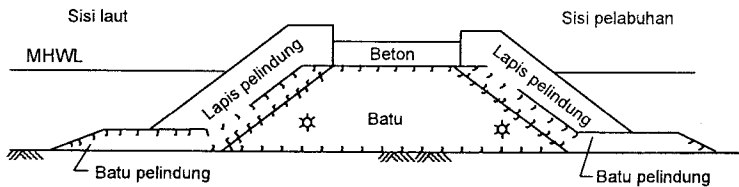
5.2. Tipe Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu :

1. pemecah gelombang sisi miring,
2. pemecah gelombang sisi tegak,
3. pemecah gelombang campuran.

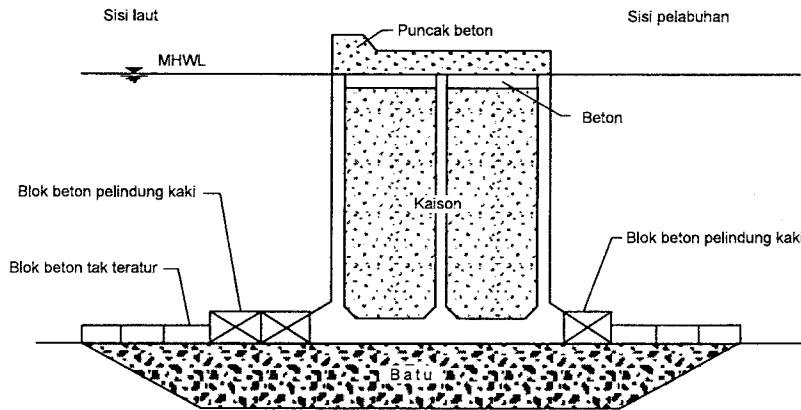
Termasuk dalam kelompok pertama adalah pemecah gelombang dari tumpukan batu alam, blok beton, gabungan antara batu pecah dan blok beton, batu buatan dari beton dengan bentuk khusus seperti tetrapod, quadripods, tribars, dolos, dan sebagainya. Di bagian atas pemecah gelombang tipe ini biasanya juga dilengkapi dengan dinding beton yang berfungsi menahan limpasan air di atas bangunan. Sedang yang termasuk dalam tipe kedua adalah dinding blok beton massa yang disusun secara vertikal, kaisan beton, sel turap baja yang didalamnya diisi batu, dinding turap baja atau beton dan sebagainya. Selain kedua tipe tersebut pada kedalaman air yang besar, di mana pembuatan pemecah gelombang sisi miring atau vertikal tidak ekonomis, dibuat pemecah gelombang tipe campuran yang merupakan gabungan dari tipe pertama dan kedua. Gambar 5.2. menunjukkan beberapa contoh ketiga tipe pemecah gelombang. Gambar 5.2.a. adalah pemecah gelombang sisi miring, yang terdiri dari tumpukan batu di bagian dalamnya sedang lapis luarnya dapat berupa batu dengan ukuran besar atau beton dengan bentuk tertentu. Lapis luar (lapis pelindung) ini harus mampu menahan serangan gelombang. Gambar 5.2.b. adalah pemecah gelombang sisi tegak dari kaisan beton. Tanah dasar laut dikeruk dan diganti dengan batu yang berfungsi sebagai fondasi. Untuk menanggulangi gerusan pada fondasi, maka dibuat perlindungan kaki yang terbuat dari blok beton. Bagian dalam kaisan diisi dengan pasir. Sedang gambar 5.2.c. adalah pemecah gelombang campuran. Bagian bawah terdiri dari tumpukan batu sedang bagian atas terbuat dari kaisan beton yang didalamnya diisi pasir atau batu.

Tipe pemecah gelombang yang digunakan biasanya ditentukan oleh ketersediaan material di atau di dekat lokasi pekerjaan, kondisi dasar laut, kedalaman air, fungsi pelabuhan, dan ketersediaan peralatan untuk pelaksanaan pekerjaan.

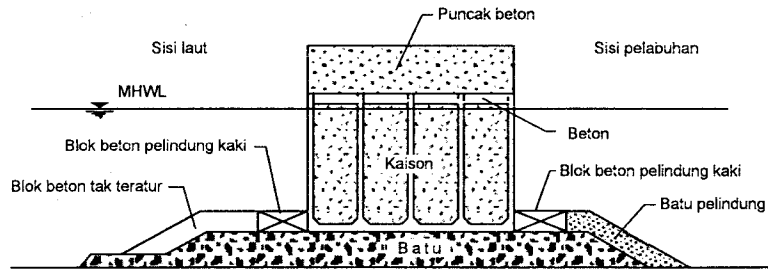


Gambar 5.1. Pemecah gelombang sisi miring

Batu adalah salah satu bahan utama yang digunakan untuk membangun pemecah gelombang. Mengingat jumlah yang diperlukan sangat besar maka ketersediaan batu di sekitar lokasi pekerjaan harus diperhatikan. Ketersediaan batu dalam jumlah besar dan biaya angkutan dari lokasi batu ke proyek yang ekonomis akan mengarahkan pada pemilihan pemecah gelombang tipe tumpukan batu.



Gambar 5.2.c. Pemecah gelombang sisi tegak dari kaisan



Gambar 5.2.c. Pemecah gelombang sisi tegak dari kaisan

Faktor penting lainnya adalah karakteristik dasar laut yang mendukung bangunan tersebut di bawah pengaruh gelombang. Tanah dasar (fondasi bangunan) harus mempunyai daya dukung yang cukup sehingga stabilitas bangunan dapat terjamin. Pada pantai dengan tanah dasar lunak, di mana daya dukung tanah kecil, maka konstruksi harus dibuat ringan (memperkecil dimensi) atau memperlebar dasar sehingga bangunan berbentuk trapesium (sisi miring) yang terbuat dari tumpukan batu atau blok beton. Bangunan berbentuk trapesium mempunyai luas alas besar sehingga tekanan yang ditimbulkan oleh berat bangunan kecil. Apabila daya dukung tanah besar maka dapat digunakan pemecah gelombang sisi tegak. Bangunan ini dapat dibuat dari blok-blok beton massa yang ditumpuk secara vertikal atau berupa kaisan, yaitu bangunan berbentuk kotak dari beton yang didalamnya diisi pasir atau batu. Sering dijumpai tanah dasar sangat lunak sehingga tidak mampu mendukung beban di atasnya. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan perbaikan tanah dasar dengan mengeruk tanah lunak tersebut dan menggantinya dengan pasir, atau dengan memancang turucuk bambu yang akan berfungsi sebagai fondasi.

Selain itu kedalaman air juga penting terutama di dalam analisis stabilitas bangunan. Di daerah pantai yang dalam dimensi pemecah gelombang sisi miring (trapesium) menjadi besar yang berarti dibutuhkan bahan bangunan yang sangat banyak sehingga harga bangunan menjadi mahal. Dengan demikian apabila kedalaman air besar pemakaian pemecah gelombang sisi miring tidak ekonomis. Dalam hal ini dipakai pemecah gelombang sisi tegak.

Stabilitas pemecah gelombang sisi tegak tergantung pada dimensi bangunan. Berat sendiri bangunan harus mampu menahan gaya-gaya gelombang. Perbandingan antara tinggi (H) dan lebar (B) bangunan juga mempengaruhi stabilitas. Semakin besar kedalaman diperlukan lebar bangunan lebih besar. Perbandingan antara lebar dan tinggi pemecah gelombang tidak boleh kurang dari tiga perempat ($B \geq 0,75H$). Dengan demikian di laut yang sangat dalam pemakaian pemecah gelombang sisi tegak tidak ekonomis lagi. Pada kondisi ini digunakan pemecah gelombang tipe campuran. Bagian bawah dari bangunan ini terbuat dari tumpukan batu sedang bagian atas merupakan bangunan sisi tegak.

Tabel 5.1. memberikan beberapa keuntungan dan kerugian dari masing-masing tipe pemecah gelombang.

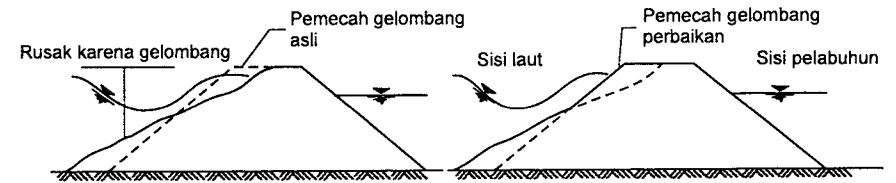
Tabel 5.1. Keuntungan dan kerugian ketiga tipe pemecah gelombang

Tipe	Keuntungan	Kerugian
Pemecah Gelombang Sisi Miring	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elevasi puncak bangunan rendah 2. Gelombang refleksi kecil/ meredam energi gelombang 3. Kerusakan berangsur-angsur 4. Perbaikan mudah 5. Murah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dibutuhkan jumlah material besar 2. Pelaksanaan pekerjaan lama 3. Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan besar 4. Lebar dasar besar
Pemecah Gelombang Sisi Tegak	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pelaksanaan pekerjaan cepat 2. Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil 3. Luas perairan pelabuhan lebih besar 4. Sisi dalamnya dapat digunakan sebagai dermaga atau tempat tambatan 5. Biaya perawatan kecil 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahal 2. Elevasi puncak bangunan tinggi 3. Tekanan gelombang besar 4. Diperlukan tempat pembuatan kaisan yang luas 5. Kalau rusak sulit diperbaiki 6. Diperlukan peralatan berat 7. Erosi kaki fondasi
Pemecah Gelombang Campuran	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pelaksanaan pekerjaan cepat 2. Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil 3. Luas perairan pelabuhan besar 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahal 2. Diperlukan peralatan berat 3. Diperlukan tempat pembuatan kaisan yang luas

5.3. Pemecah Gelombang Sisi Miring

Pemecah gelombang sisi miring biasanya dibuat dari tumpukan batu alam yang dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar atau beton dengan bentuk tertentu. Pemecah gelombang tipe ini banyak digunakan di Indonesia, mengingat dasar laut di pantai perairan Indonesia kebanyakan dari tanah lunak. Selain itu batu alam sebagai bahan utama banyak tersedia.

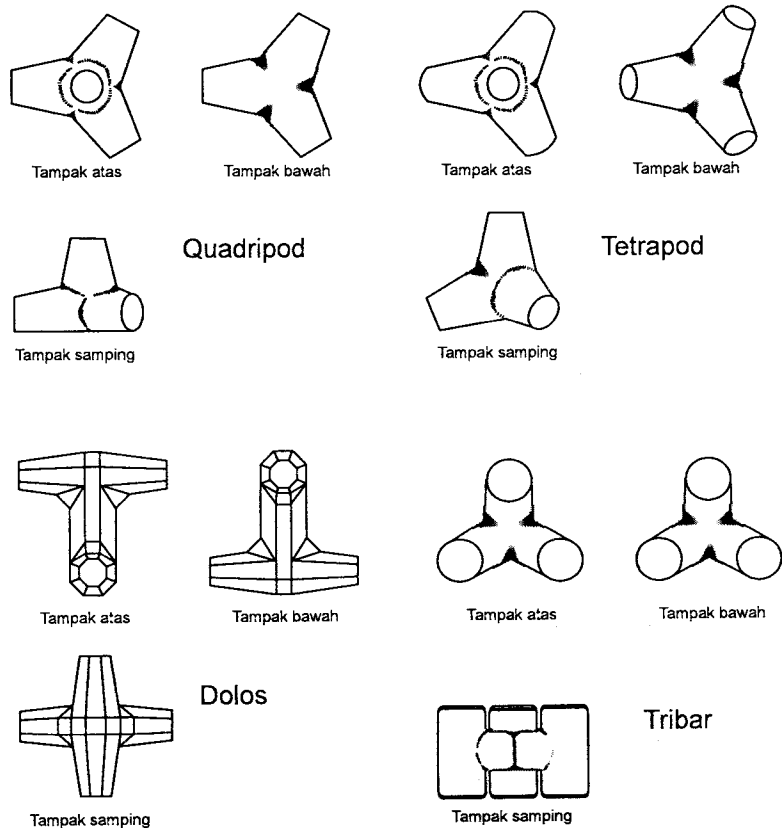
Pemecah gelombang sisi miring mempunyai sifat fleksibel. Kerusakan yang terjadi karena serangan gelombang tidak secara tiba-tiba (tidak fatal). Meskipun beberapa butir batu longsor, tetapi bangunan masih bisa berfungsi. Kerusakan yang terjadi mudah diperbaiki dengan menambal batu pelindung pada bagian yang longsor (Gambar 5.3).



Gambar 5.3. Kerusakan dan perbaikan pemecah gelombang sisi miring

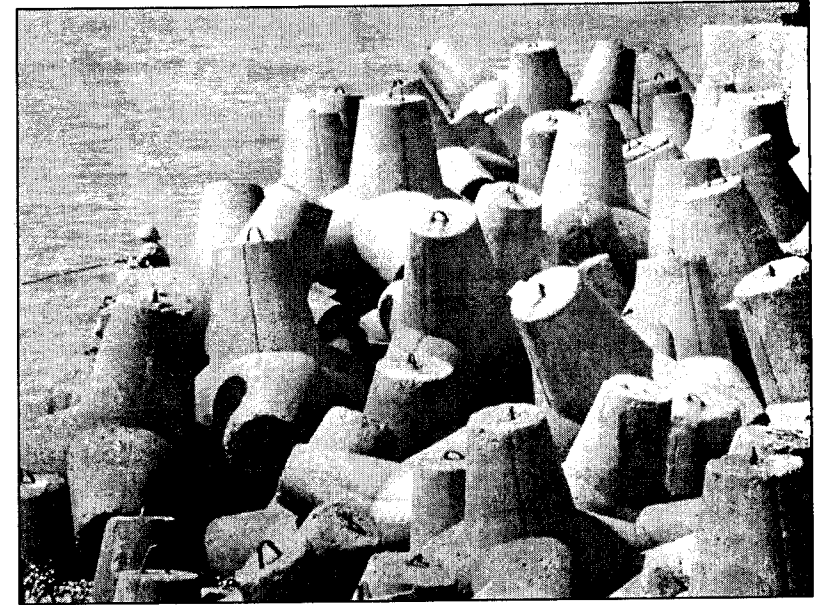
Biasanya butir batu pemecah gelombang sisi miring disusun dalam beberapa lapis, dengan lapis terluar (lapis pelindung) terdiri dari batu dengan ukuran besar dan semakin ke dalam ukurannya semakin kecil. Stabilitas batu lapis pelindung tergantung pada berat dan bentuk butir-an serta kemiringan sisi bangunan. Bentuk butiran akan mempengaruhi kaitan antara butir batu yang ditumpuk. Butir batu dengan sisi tajam akan mengait (mengunci) satu sama lain dengan lebih baik sehingga lebih stabil. Batu-batu pada lapis pelindung dapat diatur peletakkannya untuk mendapat kaitan yang cukup baik atau diletakkan secara sembarang. Semakin besar kemiringan memerlukan batu semakin berat. Berat tiap butir batu dapat mencapai beberapa ton. Kadang-kadang sulit mendapatkan batu seberat itu dalam jumlah yang sangat besar. Untuk mengatasinya maka dibuat batu buatan (butir pelindung) dari beton dengan bentuk tertentu. Butir pelindung ini bisa berbentuk sederhana (kubus) yang memerlukan berat yang cukup besar, atau bentuk khusus yang lebih ringan tetapi lebih mahal dalam pembuatan. Butir pelindung ini bisa berupa tetrapod, tribar, hexapod, dolos, dsb. Beberapa bentuk butir pelindung diberikan dalam Gambar 5.4. Tetrapod mempunyai empat kaki yang berbentuk kerucut terpancung. Tribar terdiri dari tiga kaki yang saling dihubungkan oleh lengan. Quadripod mempunyai bentuk mirip tetrapod tetapi sumbu-sumbu dari ketiga kakinya berada pada bidang datar. Dolos terdiri dari dua kaki saling menyilang yang dihubungkan dengan lengan.

Gambar 5.5. adalah contoh bentuk tetrapod yang disusun secara acak pada pemecah gelombang Pelabuhan Perikanan Cilacap. Berat butir tetrapod adalah 4,5 ton. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa kaki-kaki tetrapod saling mengkait yang dapat meningkatkan stabilitasnya. Dibanding dengan tumpukan batu, stabilitas tetrapod lebih baik, sehingga diperlukan berat butir yang lebih kecil dibanding dengan tumpukan batu.

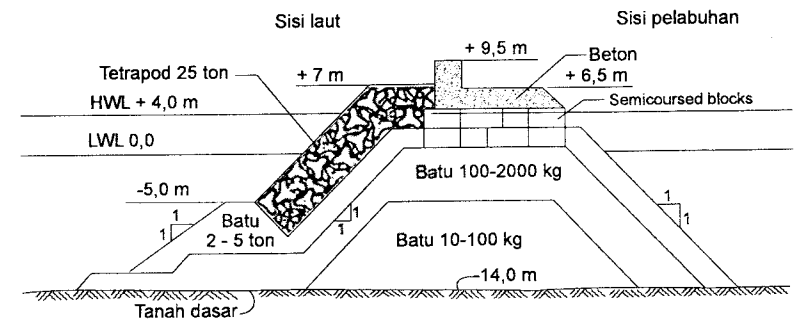


Gambar 5.4. Butir lapis lindung buatan

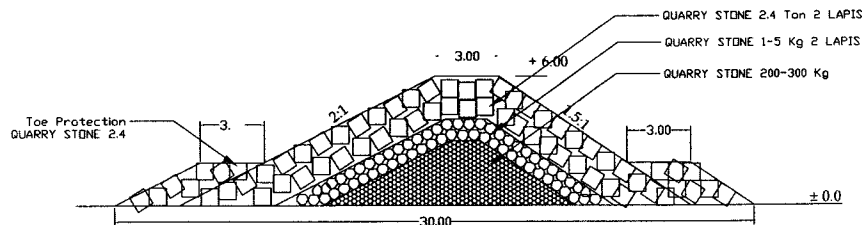
Gambar 5.6.a. adalah contoh pemecah gelombang tumpukan batu dengan lapis pelindung terbuat dari tetrapod. Berat satu butir tetrapod adalah 25 ton. Tetrapod hanya diletakkan pada sisi bangunan yang banyak menerima serangan gelombang besar. Gambar 5.6.b. adalah contoh pemecah gelombang tumpukan batu dengan lapis pelindung dari tumpukan blok beton berbentuk kubus dengan berat tiap butir adalah 8 - 16 ton. Bangunan ini dimungkinkan terjadinya limpasan, sehingga lapis pelindung juga dibuat pada kedua sisi bangunan. Lapis pelindung pada sisi pelabuhan digunakan untuk menahan limpasan air.



Gambar 5.5. Tetrapod disusun secara acak



Gambar 5.6.a. Pemecah gelombang dengan lapis pelindung tetrapod



Gambar 5.6.b. Pemecah gelombang dengan lapis pelindung blok beton

5.3.1. Stabilitas batu lapis pelindung

Di dalam perencanaan pemecah gelombang sisi miring, ditentukan berat butir batu pelindung, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus Hudson.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (5.1)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

dengan :

W : berat butir batu pelindung

γ_r : berat jenis batu

γ_a : berat jenis air laut

H : tinggi gelombang rencana

θ : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

K_D : koefisien stabilitas yang tergantung pada bentuk batu pelindung (batu alam atau buatan), kekasaran permukaan batu, ketajaman sisi-sisinya, ikatan antara butir, keadaan pecahnya gelombang. Nilai K_D untuk berbagai bentuk batu pelindung diberikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Koefisien Stabilitas K_D untuk berbagai jenis butir

Lapis lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung (kepala) Bangunan		Kemiringan
			K_D		K_D		
			Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	
Batu pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	* ²
Bersudut kasar	1	Acak	* ¹	2,9	* ¹	2,3	* ²
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
					1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	* ²
Bersudut kasar	2	Khusus* ³	5,8	7,0	5,3	6,4	* ²
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	
Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	5,0	6,0	1,5
					4,5	5,5	2,0
					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3	9,0	1,5
					7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0
					7,0	14,0	3,0
Kubus modifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	* ²
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	* ²
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	* ²

(SPM, 1984)

Catatan:

n : Jumlah susunan butir batu dalam lapis pelindung

*¹ : penggunaan n=1 tidak disarankan untuk kondisi gelombang pecah

*² : sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai K_D , penggunaan K_D dibatasi pada kemiringan 1:1,5 sampai 1:3

*³ : batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan

Rumus 5.1. memberikan berat butir batu pelindung yang sangat besar. Untuk mendapatkan batu yang sangat besar tersebut adalah sulit dan mahal. Untuk memperkecil harga pemecah gelombang, maka pemecah gelombang dibuat dalam beberapa lapis. Lapis terluar terdiri dari batu dengan ukuran seperti yang diberikan oleh persamaan 5.1. Berat butir batu pada lapis di bawahnya adalah semakin kecil. Gambar 5.7. dan 5.8. adalah bentuk tampang lintang pemecah gelombang (SPM, 1984). Gambar 5.7. adalah tampang lintang pemecah gelombang yang mengalami serangan pemecah gelombang pada satu sisi (sisi laut). Pemecah gelombang ini direncanakan dengan elevasi puncak sedemikian rupa sehingga limpasan terjadi hanya pada saat badai dengan periode ulang yang panjang. Gambar 5.8. adalah pemecah gelombang yang mengalami serangan gelombang pada kedua sisinya, seperti misalnya pada bagian luar (ujung) jetty, dan limpasan dimungkinkan sering terjadi. Kedua gambar tersebut menunjukkan tampang lintang ideal dengan banyak lapis dan tampang lintang yang disarankan. Tampang lintang ideal menggunakan banyak lapis dengan ukuran berbeda sehingga memungkinkan digunakannya semua ukuran batu yang diambil dari peledakan di suatu sumber batu (quarry), tetapi pelaksana pekerjaan menjadi lebih sulit. Gambar tersebut juga memberikan gradasi butir batu pada setiap lapis dalam persen dari ukuran batu rerata di setiap lapis.

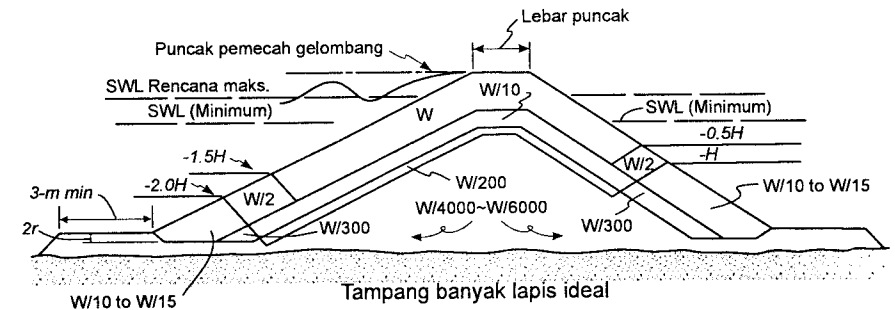
5.3.2. Dimensi pemecah gelombang sisi miring

Elevasi puncak pemecah gelombang tumpukan batu tergantung pada limpasan (overtopping) yang diijinkan. Air yang melimpas puncak pemecah gelombang akan mengganggu ketenangan di kolam pelabuhan. Elevasi puncak bangunan dihitung berdasarkan kenaikan (runup) gelombang, yang tergantung pada karakteristik gelombang, kemiringan bangunan, porositas, dan kekasaran lapis pelindung. Hitungan runup gelombang diberikan dalam sub bab berikutnya.

Lebar puncak juga tergantung pada limpasan yang diijinkan. Pada kondisi limpasan diijinkan, lebar puncak minimum adalah sama dengan lebar dari tiga butir batu pelindung yang disusun berdampingan ($n=3$). Untuk bangunan tanpa terjadi limpasan, lebar puncak pemecah gelombang bisa lebih kecil. Selain batasan tersebut, lebar puncak harus cukup lebar untuk keperluan operasi peralatan pada waktu pelaksanaan dan perawatan.

Lebar puncak pemecah gelombang dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

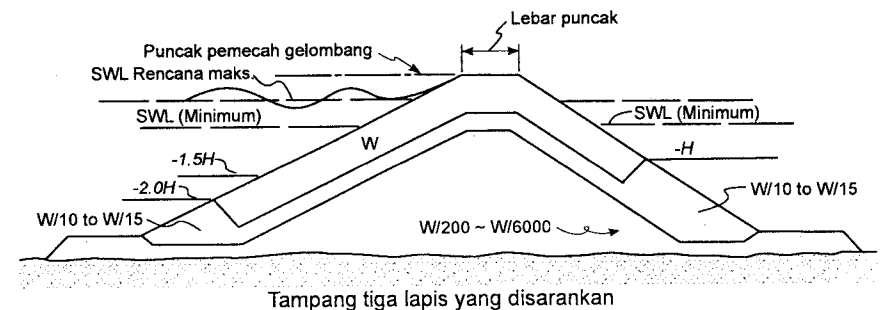
$$B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (5.2)$$



Ukuran batu	Lapis	Gradasi ukuran Butir (%)
W	Lapis pelindung pertama	125 to 75
W/2 dan W/15	Lapis pelindung kedua	125 to 75
W/10 dan W/300	Lapis bawah pertama	130 to 70
W/200	Lapis bawah kedua	150 to 50
W/4000-W/6000	Inti	170 to 30

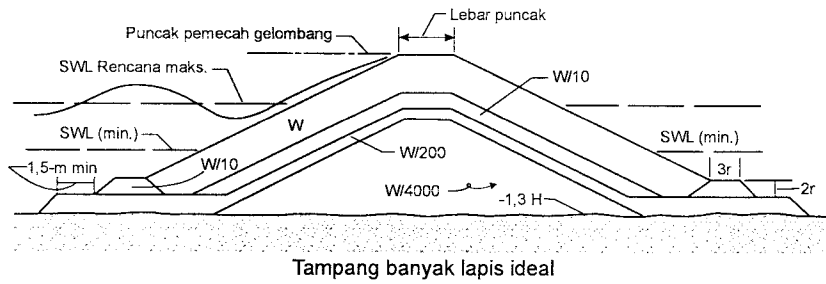
H : Tinggi gelombang
W : Berat butir batu pelindung
r : Tebal lapis rerata

SWL : Still water level (muka air diam)

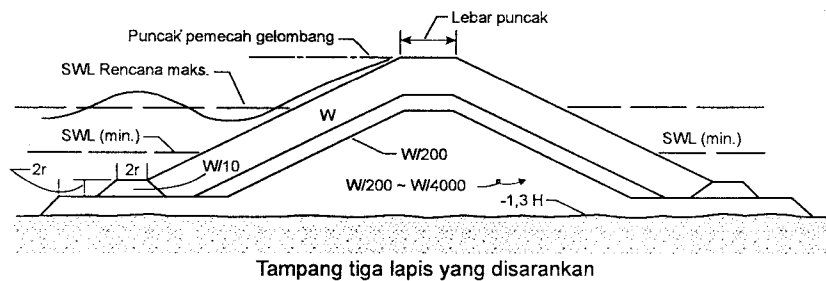


SPM (1984)

Gambar 5.7. Pemecah gelombang sisi miring dengan serangan gelombang pada satu sisi



Ukuran batu	Lapis	Gradasi ukuran Butir (%)	
W	Lapis pelindung pertama	125 to 75	H : Tinggi gelombang
W/10	Berm. kaki dan lapis bawah pertama	130 to 70	W : Berat butir batu pelindung
W/200	Lapis bawah kedua	150 to 50	r : Tebal lapis rerata
W/4000	Inti	170 to 30	



SPM (1984)

Gambar 5.8. Pemecah gelombang sisi miring dengan serangan gelombang pada kedua sisi

dengan :

B : lebar puncak

n : jumlah butir batu ($n_{\text{minimum}}=3$)

k_{Δ} : koefisien lapis (Tabel 5.3)

W : berat butir batu pelindung

γ_r : berat jenis batu pelindung

Kadang-kadang di puncak pemecah gelombang tumpukan batu dibuat dinding dan lapis beton yang dicor di tempat. Lapis beton ini mempunyai tiga fungsi yaitu :

1. Memperkuat puncak bangunan
2. Menambah tinggi puncak bangunan
3. Sebagai jalan untuk perawatan

Tebal lapis pelindung dan jumlah butir batu tiap satu luasan diberikan oleh rumus berikut ini.

$$t = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (5.3)$$

$$N = Ank_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3} \quad (5.4)$$

dengan :

t : tebal lapis pelindung

n : jumlah lapis batu dalam lapis pelindung

k_{Δ} : koefisien yang diberikan dalam Tabel 5.2.

A : luas permukaan

P : porositas rerata dari lapis pelindung (%) yang diberikan dalam Tabel 5.3.

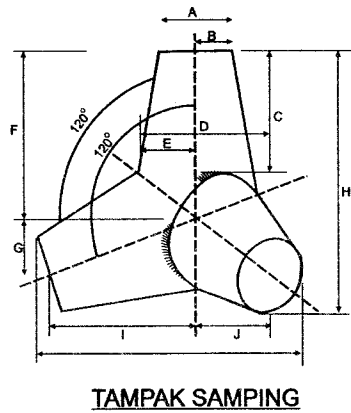
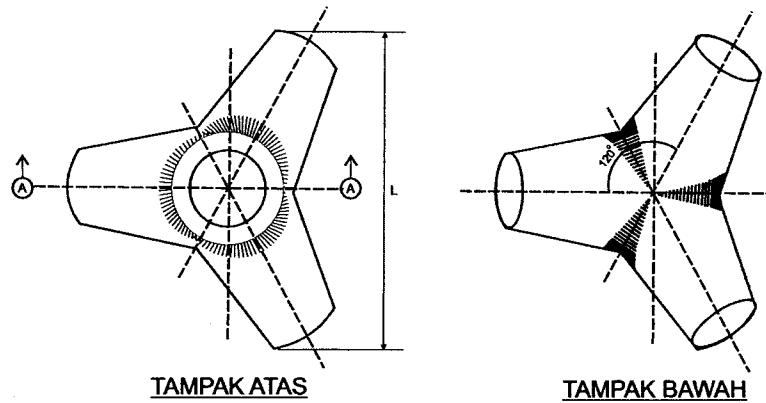
N : Jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A

γ_r : berat jenis batu.

Tabel 5.3. Koefisien lapis

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (k_{Δ})	Porositas P(%)
Batu alam (halus)	2	random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	random (acak)	1,10	40
Kubus	2	random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	random (acak)	1,15	47
Tribard	2	random (acak)	1,02	54
Dolos	2	random (acak)	1,00	63
Tribar	1	seragam	1,13	47
Batu alam		random (acak)		37

Untuk membuat butir pelindung dengan berat sesuai dengan rencana, Gambar 5.9 dan Tabel 5.4. dapat digunakan sebagai acuan. Gambar dan tabel tersebut adalah untuk butir tetrapod, sedang untuk bentuk yang lain diberikan dalam Lampiran B. Selain memberikan dimensi tetrapod, Tabel 5.4. juga memberikan tebal lapis lindung dan jumlah tetrapod yang diperlukan untuk setiap $10 m^2$ luasan.



Gambar 5.9. Dimensi tetrapod

Tabel 5.4. Dimensi tetrapod

Parameter	Berat Butir Lapis Lindung Tetrapod W (ton)								
	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
V (m ³)	0.21	0.42	0.83	2.08	4.17	6.25	8.33	10.42	12.50
H (m)	0.91	1.14	1.44	1.95	2.46	2.82	3.10	3.34	3.55
A (m)	0.27	0.34	0.43	0.59	0.74	0.85	0.94	1.01	1.07
B (m)	0.14	0.17	0.22	0.29	0.37	0.43	0.47	0.50	0.54
C (m)	0.43	0.54	0.69	0.93	1.17	1.34	1.48	1.59	1.69
D (m)	0.43	0.54	0.68	0.92	1.16	1.32	1.46	1.57	1.67
E (m)	0.21	0.27	0.34	0.46	0.58	0.66	0.73	0.78	0.83
F (m)	0.58	0.74	0.93	1.26	1.58	1.81	2.00	2.15	2.28
G (m)	0.19	0.25	0.31	0.42	0.53	0.61	0.67	0.72	0.76
I (m)	0.55	0.69	0.87	1.18	1.49	1.71	1.88	2.02	2.15
J (m)	0.27	0.35	0.44	0.59	0.75	0.85	0.94	1.01	1.07
K (m)	0.99	1.25	1.57	2.13	2.68	3.07	3.38	3.64	3.87
L (m)	1.09	1.37	1.73	2.34	2.95	3.38	3.72	4.01	4.26
TLL (m)	1.23	1.55	1.96	2.66	3.35	3.83	4.22	4.54	4.83
JBLL (buah)	29.59	18.64	11.74	6.38	4.02	3.07	2.53	2.18	1.93

Catatan

Berat jenis beton : 2,4 ton/m³

Volume Butir Lapis Lindung (V) = 0,280 H³

dengan : A = 0,302 H G = 0,215 H
 B = 0,151 H H = Tinggi tetrapod
 C = 0,477 H I = 0,606 H
 D = 0,470 H J = 0,303 H
 E = 0,235 H K = 1,091 H
 F = 0,644 H L = 1,201 H

Tebal lapis lindung (2 lapis) t = 1,361 H

Jumlah butir lapis lindung tiap 10m⁻² Ns = 24,3 H⁻²

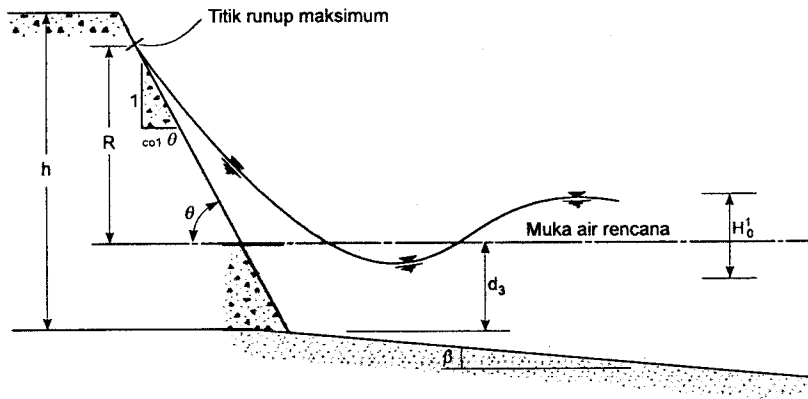
TLL : Tebal lapis lindung

JBLL : Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m²

5.3.3. Runup gelombang

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (runup) pada permukaan bangunan. Elevasi (tinggi) bangunan yang direncanakan tergantung pada runup dan limpasan yang diijinkan. Runup tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang. Karena banyaknya variabel yang berpengaruh, maka besarnya runup sangat sulit ditentukan secara analitis. Gambar 5.10. menunjukkan runup gelombang yang terjadi karena gelombang membentur bangunan dengan permukaan miring.

Berbagai penelitian tentang runup gelombang telah dilakukan di laboratorium. Hasil penelitian tersebut berupa grafik-grafik yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi runup. Gambar 5.11. adalah hasil percobaan di laboratorium yang dilakukan oleh Iribaren untuk menentukan besar runup gelombang pada bangunan dengan permukaan miring untuk berbagai tipe material, sebagai fungsi bilangan Iribaren untuk berbagai jenis lapis lindung yang mempunyai bentuk berikut :



Gambar 5.10. Runup gelombang

$$I_r = \frac{tg \theta}{(H/L_0)^{0,5}} \quad (5.5)$$

dengan :

I_r : bilangan Iribaren

θ_r : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

H : tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_0 : panjang gelombang di laut dalam

Grafik tersebut juga dapat digunakan untuk menghitung *run down* (R_d) yaitu turunnya permukaan air karena gelombang pada sisi pemecah gelombang.

Kurva pada Gambar 5.11. tersebut mempunyai bentuk tak berdimensi untuk *runup* relatif R_u/H atau R_d/H sebagai fungsi dari bilangan Iribaren, di mana R_u dan R_d adalah runup dan *rundown* yang dihitung dari muka air laut rerata.

Contoh 1

Suatu pemecah gelombang akan dibangun pada kedalaman -8,0 m di suatu laut dengan kemiringan dasar laut 1:50. Tinggi gelombang di lokasi rencana pemecah gelombang adalah 3 m. Periode gelombang 10 detik. Dari analisis refraksi didapatkan nilai koefisien refraksi sebesar $K_r=0,95$ pada rencana lokasi pemecah gelombang. Dari data pasang surut didapatkan $HWL=1,85$ m; $MWL=1,05$ m dan $LWL=0,3$ m. Rencanakan pemecah gelombang tersebut.

Penyelesaian

Kedalaman air di lokasi bangunan berdasarkan HWL , LWL dan MWL adalah :

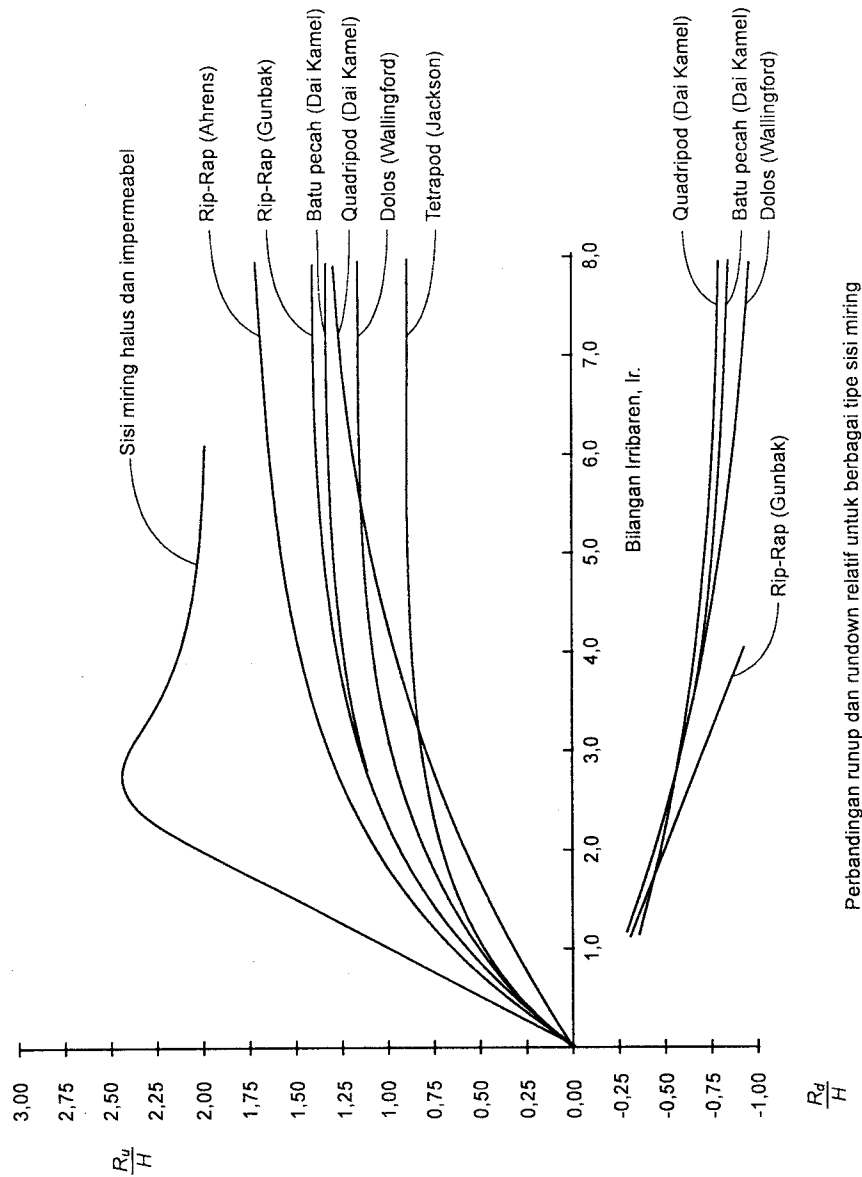
$$d_{HWL} = 1,85 - (-8) = 9,85 \text{ m}$$

$$d_{LWL} = 0,3 - (-8) = 8,3 \text{ m}$$

$$d_{MWL} = 1,05 - (-8) = 9,05 \text{ m}$$

1. Penentuan kondisi gelombang di rencana lokasi pemecah gelombang.

Diselidiki kondisi gelombang pada kedalaman air di rencana lokasi pemecah gelombang, yaitu apakah gelombang pecah atau tidak. Dihitung tinggi dan kedalaman gelombang pecah dengan menggunakan Gambar 3.22. dan 3.23. untuk kemiringan dasar laut 1:50.



Gambar 5.11. Grafik runup gelombang

Tinggi gelombang ekuivalen :

$$H'_0 = K_r H_0 = 0,95 \times 3 = 2,85 \text{ m}$$

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{2,85}{9,81 \times 10^2} = 0,00291$$

Dari Gambar 3.22. didapat :

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,22 \rightarrow H_b = 1,22 \times 2,85 = 3,5 \text{ m}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{3,5}{9,81 \times 10^2} = 0,0036$$

Dari Gambar 3.23. didapat :

$$\frac{d_b}{H_0} = 1,14 \rightarrow d_b = 1,14 \times 3,5 = 4,0 \text{ m}$$

Jadi gelombang pecah akan terjadi pada kedalaman 4,0 m. Karena $d_b < d_{LWL}$ dan $d_b < d_{HWL}$, berarti di lokasi bangunan pada kedalaman -8 m gelombang tidak pecah.

1. Penentuan elevasi puncak pemecah gelombang

Elevasi puncak pemecah gelombang dihitung berdasarkan tinggi runup. Kemiringan sisi pemecah gelombang ditetapkan 1:2.

Tinggi gelombang di laut dalam :

$$L_0 = 1,56T^2 = 156 \times 10^2 = 156 \text{ m}$$

Bilangan Iribaren :

$$I_r = \frac{tg\theta}{(H/L_0)^{0,5}} = \frac{1/2}{(3/156)^{0,5}} = 3,6$$

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 5.10. dihitung nilai runup.

Untuk lapis lindung dari batu pecah (*quarry stone*) :

$$\frac{R_u}{H} = 1,25 \rightarrow R_u = 1,25 \times 3 = 3,75 \text{ m}$$

Elevasi puncak pemecah gelombang dengan memperhitungkan tinggi kebebasan 0,5 m :

$$\begin{aligned} El_{Pem.Gel} &= HWL + R_u + \text{tinggi kebebasan} \\ &= 1,85 + 3,75 + 0,5 = 6,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk lapis lindung dari tetrapod :

$$\frac{R_u}{H} = 0,9 \rightarrow R_u = 0,9 \times 3 = 2,7 \text{ m}$$

$$El_{Pem.Gel} = 1,85 + 2,7 + 0,5 = 5,0 \text{ m}$$

Tinggi pemecah gelombang :

$$H_{Pem.Gel} = El_{Pem.Gel} - El_{Dsr.Laut}$$

$$H_{Pem.Gel} = 6,1 - (-8) = 14 \text{ m (batu)}$$

$$H_{Pem.Gel} = 5 - (-8) = 13 \text{ m (tetrapod)}$$

3. Berat butir lapis lindung

Berat batu lapis lindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini.

Untuk lapis lindung dari batu ($K_D=4$):

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} = \frac{2,65 \times 3,0^3}{4 \left(\frac{2,65}{1,03} - 1 \right)^3 \cdot 2} = 2,5 \text{ ton}$$

Untuk lapis lindung dari tetrapod ($K_D=8$):

$$W = \frac{2,65 \times 3,0^3}{8 \left(\frac{2,65}{1,03} - 1 \right)^3 \cdot 2} = 1,24 \text{ ton}$$

Apabila di dekat lokasi pekerjaan terdapat persediaan batu dengan ukuran (berat) seperti dalam hitungan di atas dalam jumlah banyak, maka digunakan lapis lindung dari batu pecah. Penyusunan ukuran batu dalam beberapa lapis dapat mengikuti gambar 5.6. atau 5.7. Untuk selanjutnya digunakan lapis lindung dari batu pecah dengan berat 2,5 ton.

4. Lebar puncak pemecah gelombang

Lebar puncak pemecah gelombang untuk $n=3$ (minimum) :

$$B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 3 \times 1,15 \left[\frac{2,5}{2,65} \right]^{1/3} = 3,5 \text{ m}$$

5. Tebal lapis lindung

Tebal lapis lindung dihitung dengan rumus berikut :

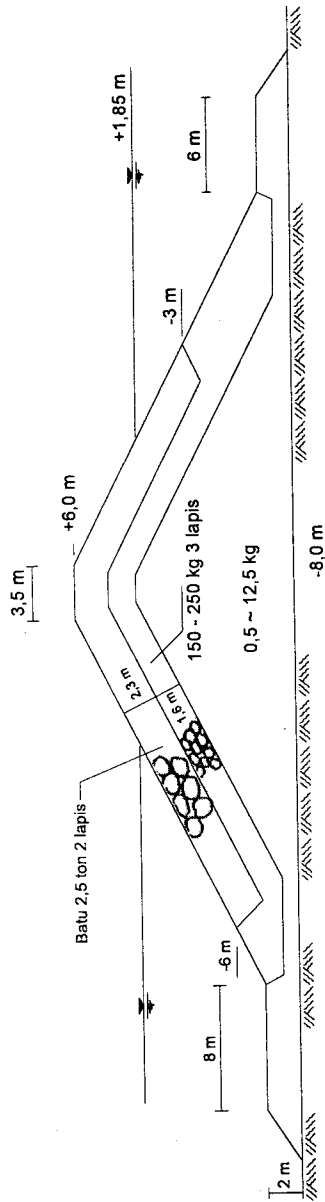
$$t = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} = 2 \times 1,15 \left[\frac{2,5}{2,65} \right]^{1/3} = 2,3 \text{ m}$$

6. Jumlah batu pelindung

Jumlah butir batu pelindung tiap satuan luas (10 m^2) dihitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} N &= Ank_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3} \\ &= 10 \times 2 \times 1,15 \left[1 - \frac{37}{100} \right] \left[\frac{2,65}{2,5} \right]^{2/3} = 15 \end{aligned}$$

Gambar 5.12 adalah tampang lintang pemecah gelombang hasil hitungan tersebut.



Gambar 5.12. Tampang lintang pemecah gelombang hasil hitungan

5.4. Pemecah Gelombang Sisi Tegak

Pada pemecah gelombang sisi miring energi gelombang dapat dihancurkan melalui runup pada permukaan sisi miring, gesekan dan turbulensi yang disebabkan oleh ketidak-teraturan permukaan. Pada pemecah gelombang sisi tegak, yang biasanya ditempatkan di laut dengan kedalaman lebih besar dari tinggi gelombang, akan memantulkan gelombang tersebut. Superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul akan menyebabkan terjadinya gelombang stasioner yang disebut dengan klapotis. Tinggi gelombang klapotis ini bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang. Oleh karena itu tinggi pemecah gelombang di atas muka air pasang tertinggi tidak boleh kurang dari $1 \frac{1}{3}$ sampai $1 \frac{1}{2}$ kali tinggi gelombang maksimum, dan kedalaman di bawah muka air terendah ke dasar bangunan tidak kurang dari $1 \frac{1}{4}$ sampai $1 \frac{1}{2}$ kali atau lebih baik sekitar 2 kali tinggi gelombang. Kedalaman maksimum di mana pemecah gelombang sisi tegak masih bisa dibangun adalah antara 15 dan 20 m. Apabila lebih besar dari kedalaman tersebut maka pemecah gelombang menjadi sangat lebar, hal ini mengingat lebar bangunan tidak boleh kurang dari $\frac{3}{4}$ tinggi-nya. Di laut dengan kedalaman yang lebih besar maka pemecah gelombang sisi tegak dibangun di atas pemecah gelombang tumpukan batu (pemecah gelombang campuran) Pemecah gelombang ini dapat dibangun di laut sampai pada kedalaman 40 m.

Pemecah gelombang sisi tegak dibuat apabila tanah dasar mempunyai daya dukung besar dan tahan terhadap erosi. Apabila tanah dasar mempunyai lapis atas berupa lumpur atau pasir halus, maka lapis tersebut harus dikeruk dulu. Pada tanah dasar dengan daya dukung kecil, dibuat dasar dari tumpukan batu untuk menyebarkan beban pada luasan yang lebih besar. Dasar tumpukan batu ini dibuat agak lebar sehingga kaki bangunan dapat lebih aman terhadap penggerusan. Supaya benar-benar aman terhadap peng-gerusan, panjang dasar dari bangunan adalah $\frac{1}{4}$ kali panjang gelombang terbesar. Kegagalan yang sering terjadi bukan karena kelemahan konstruksinya, tetapi karena terjadinya erosi pada kaki bangunan, tekanan yang terlalu besar dan tergesernya tanah fondasi.

Pemecah gelombang sisi tegak bisa dibuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal, kaisan beton, turap beton atau baja

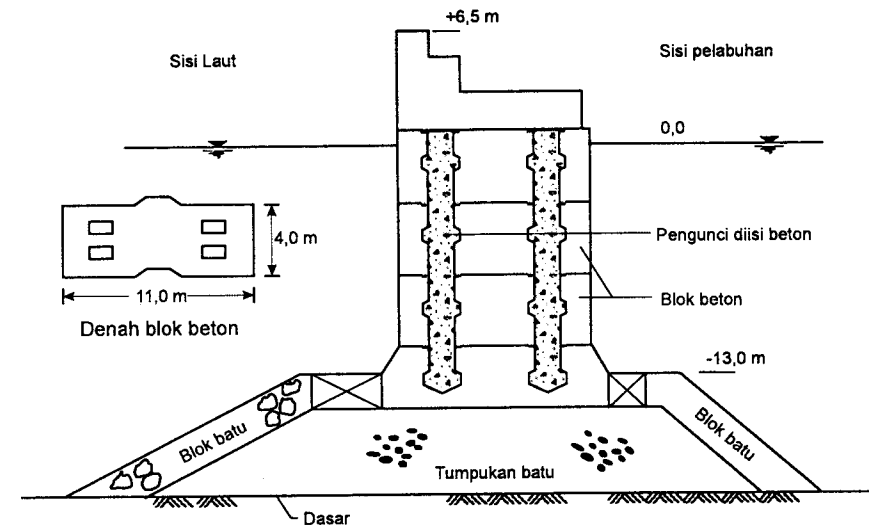
yang dipancang dan sebagainya. Suatu blok beton mempunyai berat 10 sampai 50 ton. Kaison adalah konstruksi yang berupa kotak dari beton bertulang yang dapat terapung di laut. Pengangkutan ke lokasi dilakukan dengan pengapungan dan menariknya. Setelah sampai ditempat yang dikehendaki kotak ini diturunkan ke dasar laut dan kemudian diisi dengan beton atau batu. Pemecah gelombang turap bisa berupa satu jalur turap yang diperkuat dengan tiang-tiang pancang dan blok beton di atasnya; atau berupa dua jalur turap yang dipancang vertikal dan satu dengan yang lain dihubungkan dengan batang-batang angker dan kemudian diisi dengan pasir dan batu.

Di dalam perencanaan pemecah gelombang sisi tegak perlu diperhatikan hal-hal berikut ini.

1. Tinggi gelombang maksimum rencana harus ditentukan dengan baik, karena tak seperti pada pemecah gelombang sisi miring, stabilitas terhadap penggulingan merupakan faktor penting.
2. Tinggi dinding harus cukup untuk memungkinkan terjadinya klapotis.
3. Fondasi bangunan harus dibuat sedemikian rupa sehingga tak terjadi erosi pada kaki bangunan yang dapat membahayakan stabilitas bangunan.

Gambar 5.13. adalah contoh pemecah gelombang yang terbuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal. Masing-masing blok dikunci dengan beton bertulang yang dicor ditempat setelah blok-blok tersebut disusun. Puncak pemecah gelombang dibuat dinding beton yang dicor ditempat. Fondasi terbuat dari tumpukan batu yang diberi lapis pelindung dari blok beton.

Contoh pemecah gelombang sisi tegak dari kaison diberikan oleh Gambar 5.14. Pemecah gelombang ini dibuat di daratan dan kemudian dibawa ke lokasi yang telah ditentukan dengan ditarik oleh kapal. Pengangkutan ke lokasi dilakukan pada waktu air tenang. Setelah sampai di lokasi kaison tersebut ditenggelamkan ke dasar laut dengan mengisikan air ke dalamnya dan kemudian diisi dengan pasir. Bagian atasnya kemudian dibuat lantai dan dinding beton. Gambar 5.15. adalah sket penempatan kaison ke lokasi yang ditentukan.



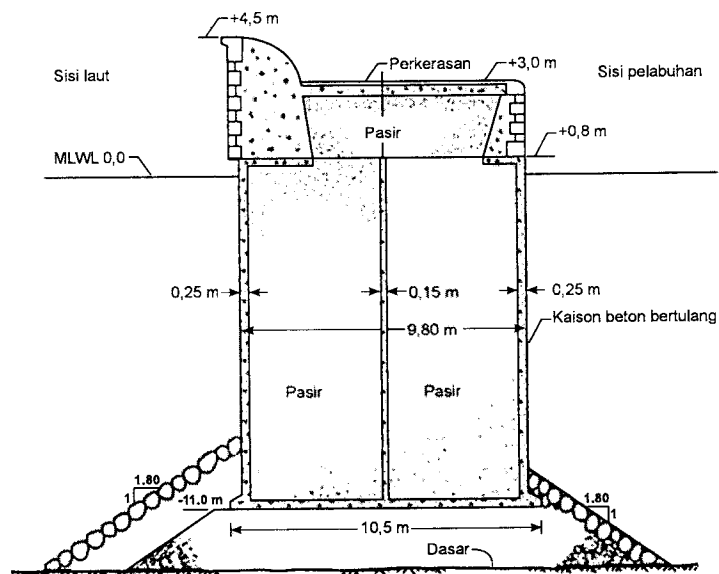
Gambar 5.13. Pemecah gelombang sisi tegak dari blok beton

Gambar 5.16. menunjukkan contoh pemecah gelombang dari turap. Pemecah gelombang ini terdiri dari turap beton dan tiang beton yang dipancang melalui tanah lunak sampai mencapai tanah keras. Bagian atas dari turap dan tiang tersebut dibuat blok beton. Pemecah gelombang ini dibuat apabila dasar laut terdiri dari tanah lunak yang sangat tebal, sehingga penggantian tanah lunak dengan pasir menjadi mahal. Pelabuhan Tanjung Mas Semarang menggunakan pemecah gelombang tipe ini. Tiang pancang baja dipancang sampai mencapai tanah keras sedalam lebih kurang 30 m.

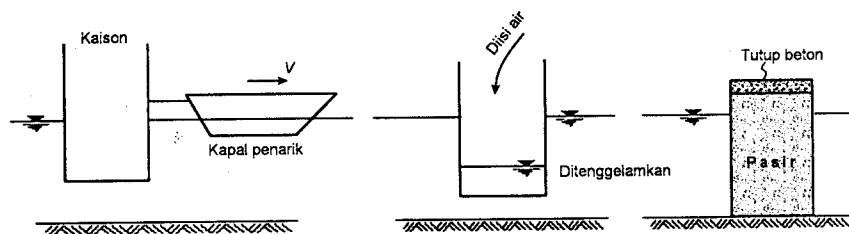
5.5. Pemecah Gelombang Campuran

Pemecah gelombang campuran terdiri dari pemecah gelombang sisi tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang tumpukan batu. Bangunan ini dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedang pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak. Secara umum, pemecah gelombang campuran harus

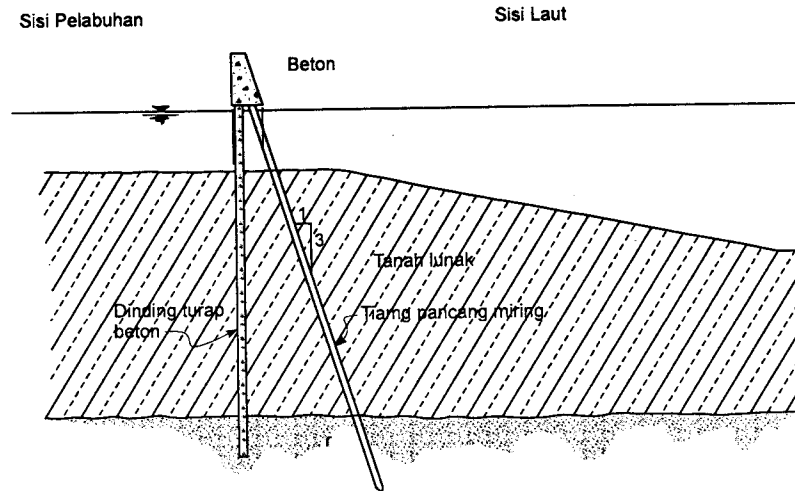
mampu menahan serangan gelombang pecah. Gambar 5.17. adalah contoh pemecah gelombang campuran dari pelabuhan Pohang - Korea (PCI).



Gambar 5.14. Pemecah gelombang sisi tegak dari kaisan



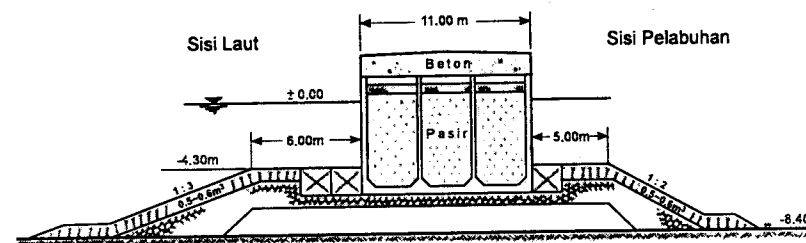
Gambar 5.15. Penempatan kaisan ke lokasi yang ditentukan.



Gambar 5.16. Pemecah gelombang dari turap.

Tipe campuran memerlukan pertimbangan lebih lanjut mengenai perbandingan tinggi sisi tegak dengan tumpukan batunya. Pada dasarnya ada tiga macam, yaitu :

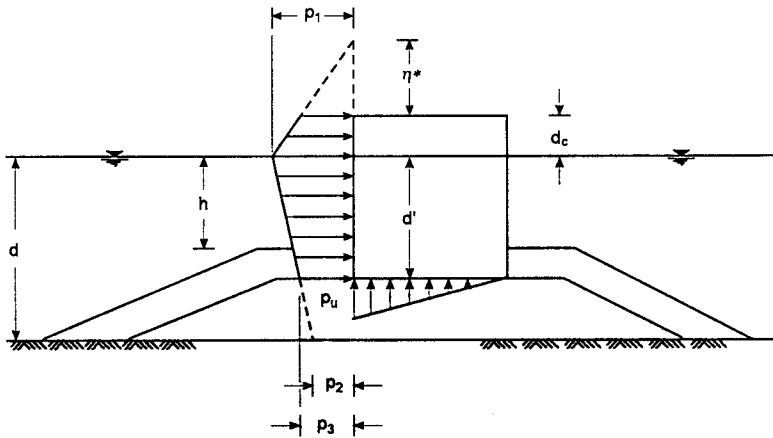
1. Tumpukan batu dibuat setinggi air yang tertinggi, sedang bangunan sisi tegak hanya sebagai penutup bagian atas.
2. Tumpukan batu setinggi air terendah sedang bangunan sisi tegak harus menahan air tertinggi (pasang).
3. Tumpukan batu hanya merupakan tambahan pondasi dari bangunan sisi tegak.



Gambar 5.17. Pemecah gelombang campuran

5.6. Gaya Gelombang Pada Dinding Vertikal

Gelombang yang menghantam pemecah gelombang sisi tegak akan memberikan tekanan pada bangunan tersebut. Tekanan gelombang dapat dihitung dengan rumus Goda (1985), yang memberikan distribusi tekanan berbentuk trapesium seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.18. Rumus ini dapat dipakai untuk kondisi gelombang pecah ataupun tidak pecah.



Gambar 5.18. Tekanan gelombang pada dinding vertikal

Beberapa notasi dalam gambar tersebut adalah :

- d : kedalaman air di depan pemecah gelombang
- h : kedalaman di atas lapis pelindung dari fondasi tumpukan batu
- d' : jarak dari elevasi muka air rencana ke dasar tampang sisi tegak.
- d_c : jarak antara elevasi muka air rencana dan puncak bangunan.
- η^* : elevasi maksimum dari distribusi tekanan gelombang terhadap muka air
- p_1 : tekanan maksimum yang terjadi pada elevasi muka air rencana
- p_2 : tekanan yang terjadi pada tanah dasar
- p_3 : tekanan yang terjadi pada dasar dinding vertikal
- p_u : tekanan ke atas pada dasar dinding vertikal

Tekanan gelombang pada permukaan dinding vertikal diberikan oleh rumus-rumus berikut ini.

$$p_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta)\gamma_0 H_{\max} \quad (5.6)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi d / L)} \quad (5.7)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (5.8)$$

dengan :

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right\}^2 \quad (5.9)$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{\max}}{h} \right)^2, \frac{2d}{H_{\max}} \right\} \quad (5.10)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{d'}{d} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi d / L)} \right\} \quad (5.11)$$

di mana :

$\min\{a,b\}$: nilai yang lebih kecil antara a dan b

d_{bw} : kedalaman air di lokasi yang berjarak $5H_s$ ke arah laut dari pemecah gelombang

β : sudut antara arah gelombang datang dan garis tegak lurus pemecah gelombang, yang biasanya diambil 15° .

Nilai $\frac{1}{\cosh(2\pi d / L)}$ adalah parameter K dalam tabel Lampiran A.

Elevasi maksimum di mana tekanan gelombang bekerja diberikan oleh rumus berikut :

$$\eta^* = 0,75(1 + \cos \beta)H_{\max} \quad (5.12)$$

Di dalam rumus Goda tersebut digunakan tinggi gelombang rencana yang nilainya adalah $H_{\max}=1,8H_s$ dan periode gelombang maksimum adalah sama dengan periode gelombang signifikan.

Tekanan apung dihitung berdasarkan berat air laut yang dipindahkan oleh pemecah gelombang. Sedang tekanan ke atas yang bekerja pada dasar pemecah gelombang mempunyai bentuk (distribusi) segitiga, dengan tekanan p_u pada kaki depan bangunan dan nol pada kaki belakang bangunan. Tekanan ke atas dihitung dengan rumus berikut :

$$p_u = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)\alpha_1\alpha_3\gamma_0 H_{\max} \quad (5.13)$$

Dari tekanan gelombang yang telah dihitung dengan rumus-rumus di atas, selanjutnya dapat dihitung gaya gelombang dan momen yang ditimbulkan oleh gelombang terhadap kaki pemecah gelombang vertikal dengan menggunakan rumus berikut ini (Gambar 5.18).

$$P = \frac{1}{2}(p_1 + p_3)d' + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)d_c^* \quad (5.14)$$

$$M_p = \frac{1}{6}(2p_1 + p_3)d'^2 + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)d'd_c^* + \frac{1}{6}(p_1 + 2p_4)d_c^{*2} \quad (5.15)$$

dengan :

$$p_4 = \begin{cases} p_1(1 - d_c/\eta^*) & : \eta^* > d_c \\ 0 & : \eta^* \leq d_c \end{cases}$$

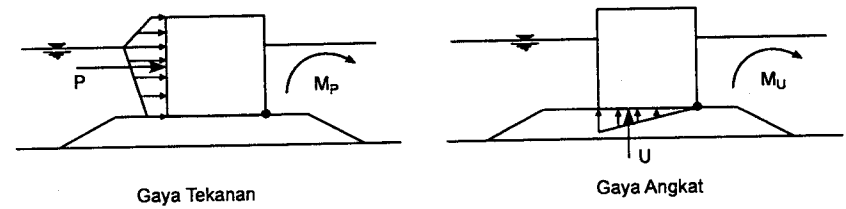
$$d_c^* = \min\{\eta^*, d_c\}$$

Gaya angkat dan momennya terhadap ujung belakang kaki bangunan :

$$U = \frac{1}{2} p_u B \quad (5.16)$$

$$M_U = \frac{2}{3} UB \quad (5.17)$$

Dengan B adalah lebar dasar bangunan vertikal.

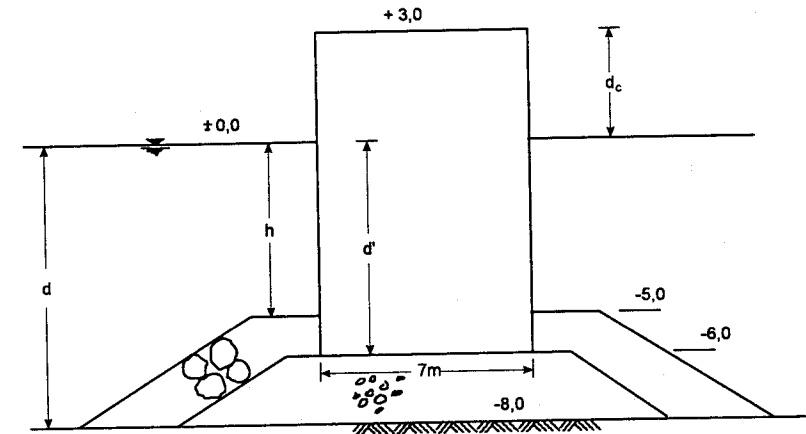


Gambar 5.19. Definisi gaya tekanan dan angkat serta momennya

Contoh 2

Hitung tekanan gelombang, tekanan ke atas dan momen yang ditimbulkan oleh gelombang yang menghantam bangunan dengan dinding vertikal seperti terlihat dalam gambar. Karakteristik gelombang adalah $H'_0 = 3\text{ m}$, $T_s = 10$ detik, $\beta = 15^\circ$. Kemiringan dasar laut $m = 1/100$.

Penyelesaian



Gambar 5.20. Beberapa parameter pemecah gelombang sisi tegak

1. Kedalaman air dan tinggi bangunan

$$D = 8\text{ m} \quad h = 5\text{ m}$$

$$d' = 6\text{ m} \quad d_c = 3\text{ m}$$

2. Panjang dan tinggi gelombang

$$L_0 = 1,56T^2 = 156 \text{ m}$$

$$\frac{H'_0}{L_0} = \frac{3}{156} = 0,0192$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{8}{156} = 0,0513$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$d_{bw} = d + 5 \text{ m } H_{1/3} = 8 + 5 \times \frac{1}{100} \times 3 = 8,15 \text{ m}$$

$$H_{\max} = 1,8H = 1,8 \times 3 = 5,4 \text{ m}$$

3. Tekanan gelombang

Dengan menggunakan grafik pada lampiran, untuk nilai $d/L_0 = 0,0513$; akan diperoleh beberapa nilai berikut ini.

$$\frac{d}{L} = 0,09551$$

$$\frac{4\pi d}{L} = 1,2002$$

$$\sinh(4\pi d/L) = 1,51$$

$$\cosh(4\pi d/L) = 1,1855$$

Dari beberapa nilai yang diperoleh tersebut dihitung koefisien tekanan gelombang.

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right\}^2 = 0,6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{1,2002}{1,51} \right\}^2 = 0,9159$$

$$\left\{ \frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{\max}}{h} \right)^2 \right\} = \frac{8,5 - 5}{3 \times 8,5} \left(\frac{5,4}{5} \right)^2 = 0,15027$$

$$\left\{ \frac{2d}{H_{\max}} \right\} = \frac{2 \times 8}{5,4} = 2,963$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{\max}}{h} \right)^2, \frac{2d}{H_{\max}} \right\}$$

$$\alpha_2 = \min \{ 0,15027 ; 2,963 \} \rightarrow \alpha_2 = 0,15027$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{d'}{d} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi d/L)} \right\} = 1 - \frac{6}{8} \left\{ 1 - \frac{1}{1,1855} \right\} = 0,88264$$

Tekanan gelombang dihitung dengan rumus (5.6), (5.7), dan (5.8).

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \gamma_0 H_{\max} \\ &= \frac{1}{2} (1 + \cos 15^\circ) (0,9159 + 0,15027 \cos^2 15^\circ) 1,03 \times 5,4 \\ &= 4,41077 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi d/L)} = \frac{5,77397}{1,1855} = 4,8705 \text{ t/m}^2$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 = 0,88264 \times 5,77397 = 5,0963 \text{ t/m}^2$$

Menghitung tekanan ke atas :

$$p_u = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \gamma_0 H_{\max}$$

$$p_u = \frac{1}{2} (1 + \cos 15^\circ) 0,9159 \times 0,88264 \times 1,03 \times 5,4 = 4,41977 \text{ t/m}^2$$

Gaya gelombang dan momen

$$\eta^* = 0,75(1 + \cos \beta)H_{\max}$$

$$= 0,75(1 + \cos 15^\circ)5,4 = 7,962$$

$$d_c^* = \min\{7,962; 3\} \rightarrow d_c^* = 3$$

$$d_c^* > 3 \rightarrow p_4 = p_1(1 - d_c / \eta^*)$$

$$= 5,77397(1 - \frac{3}{7,962}) = 3,5984$$

Gaya gelombang :

$$P = \frac{1}{2}(p_1 + p_3)d' + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)d_c^*$$

$$= \frac{1}{2}(5,77397 + 5,0963)6 + \frac{1}{2}(5,77397 + 3,5984)3 = 46,6694 \text{ t}$$

$$M_P = \frac{1}{6}(2p_1 + p_3)d'^2 + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)d'd_c^* + \frac{1}{6}(p_1 + 2p_4)d_c^{*2}$$

$$= \frac{1}{6}(2 \times 5,77397 + 5,0963)6^2 + \frac{1}{2}(5,77397 + 3,5984)6 \times 3$$

$$+ \frac{1}{6}(5,77397 + 2 \times 3,5984)3^2$$

Gaya angkat dan momennya :

$$U = \frac{1}{2}p_u B = \frac{1}{2} \times 4,41977 \times 7 = 15,4692 \text{ t}$$

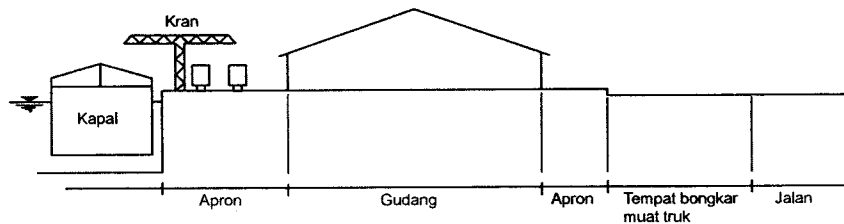
$$M_U = \frac{2}{3}UB = \frac{2}{3} \times 13,2593 \times 7 = 61,8767$$

BAB VI

DERMAGA

6.1. Pendahuluan

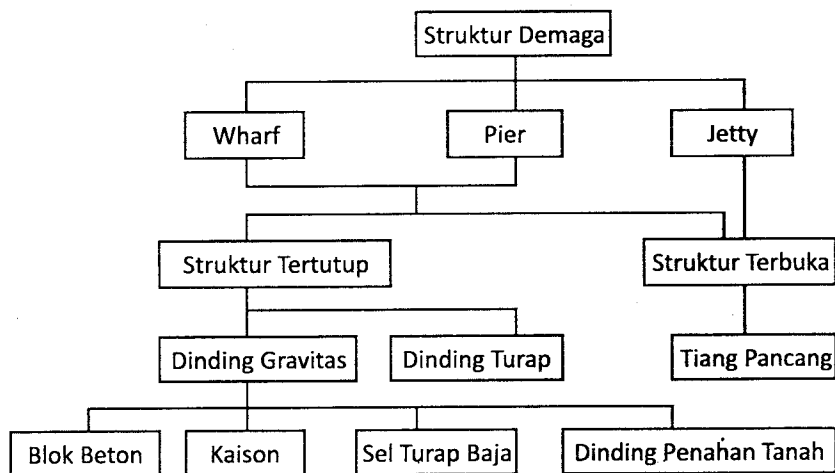
Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Bentuk dan dimensi dermaga tergantung pada jenis dan ukuran kapal yang bertambat pada dermaga tersebut. Dermaga harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kapal dapat merapat dan bertambat serta melakukan kegiatan di pelabuhan dengan aman, cepat dan lancar. Di belakang dermaga terdapat apron dan fasilitas jalan. Apron adalah daerah yang terletak antara sisi dermaga dan sisi depan gudang (pada terminal barang umum) atau *container yard* (pada terminal peti emas), di mana terdapat pengalihan kegiatan angkutan laut (kapal) ke kegiatan angkutan darat (kereta api, truk, dsb). Gudang transit atau *container yard* digunakan untuk menyimpan barang atau peti kemas sebelum bisa diangkut oleh kapal, atau setelah dibongkar dari kapal dan menunggu pengangkutan barang ke daerah yang dituju. Gambar 6.1. adalah contoh tampang dermaga dan halaman dermaga beserta fasilitas yang ada dari pelabuhan barang umum (*general cargo*).



Gambar 6.1. Tampang dermaga

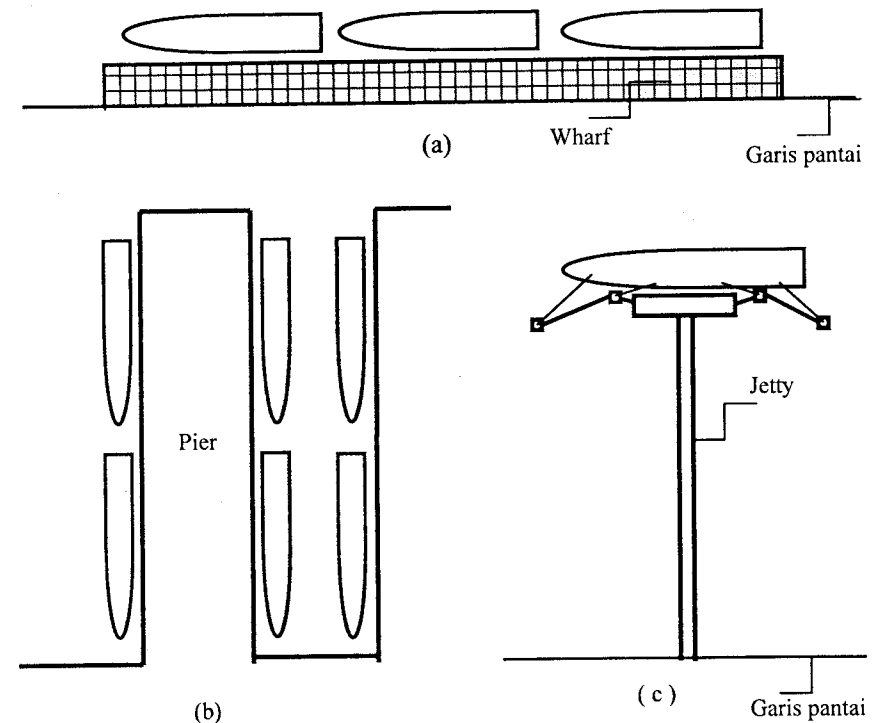
6.2. Tipe Dermaga

Dermaga dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *wharf*, *pier* dan *jetty*; seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.2. Struktur *wharf* dan *pier* bisa berupa struktur tertutup atau terbuka, sementara *jetty* pada umumnya berupa struktur terbuka. Struktur tertutup bisa berupa dinding gravitas dan dinding turap, sedang struktur terbuka berupa dermaga yang didukung oleh tiang pancang. Dinding gravitas bisa berupa blok beton, kaisan, sel turap baja atau dinding penahan tanah.



Gambar 6.2. Tipe dermaga

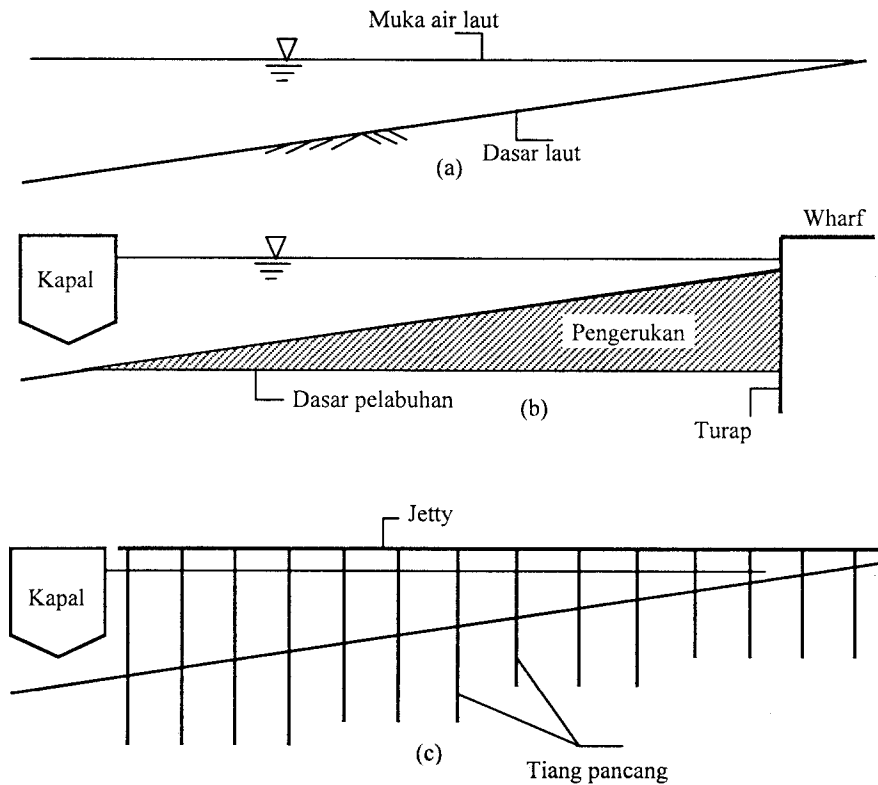
Wharf adalah dermaga yang paralel dengan pantai dan biasanya berimpit dengan garis pantai. *Wharf* juga dapat berfungsi sebagai penahan tanah yang ada dibelakangnya. *Pier* adalah dermaga yang berada pada garis pantai dan posisinya tegak lurus dengan garis pantai (berbentuk jari). Berbeda dengan *wharf* yang digunakan untuk merapat pada satu sisinya, *pier* bisa digunakan pada satu sisi atau dua sisinya; sehingga dapat digunakan untuk merapat lebih banyak kapal. *Jetty* adalah dermaga yang menjorok ke laut sedemikian sehingga sisi depannya berada pada kedalaman yang cukup untuk merapat kapal. *Jetty* digunakan untuk merapat kapal tanker atau kapal pengangkut gas alam, yang mempunyai ukuran sangat besar. Sisi muka *jetty* ini biasanya sejajar dengan pantai dan dihubungkan dengan daratan oleh jembatan yang membentuk sudut tegak lurus dengan *jetty*. Gambar 6.3, menunjukkan beberapa tipe dermaga.



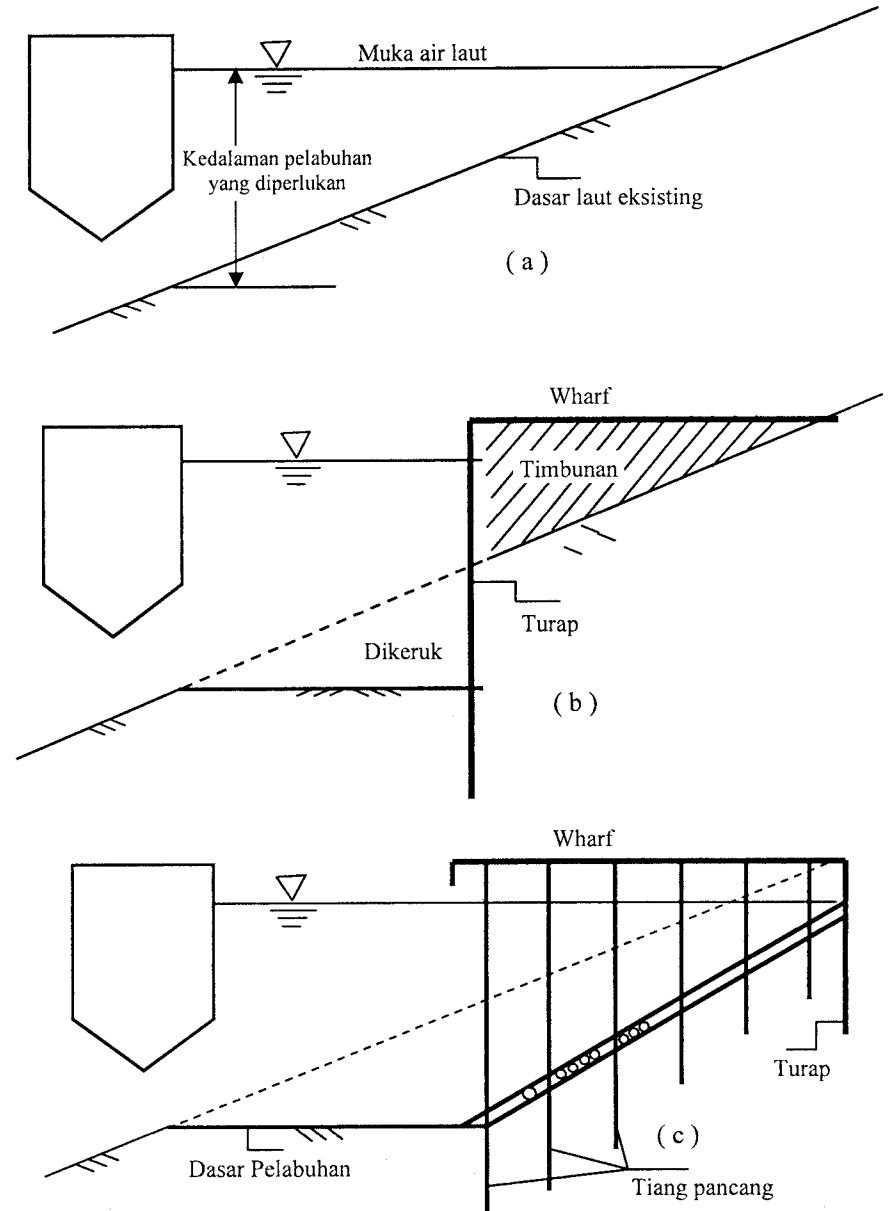
Gambar 6.3. Dermaga tipe a) wharf, b) pier, c) jetty

6.3. Pemilihan Tipe Dermaga

Pemilihan tipe dermaga tergantung pada jenis kapal yang dilayani (kapal penumpang atau barang yang bisa berupa barang satuan, peti kemas, barang curah padat maupun cair, kapal ikan, kapal militer, dsb), ukuran kapal, kondisi topografi dan tanah dasar laut, kondisi hidro oseanografi (gelombang dan pasang surut). Tipe dermaga dipilih yang paling sesuai sehingga biaya pembangunannya seekonomis mungkin. Gambar 6.4. dan 6.5. menunjukkan pertimbangan dalam menentukan tipe dermaga.



Gambar 6.4. Perbandingan pembuatan wharf dan jetty untuk kapal besar pada pantai landai



Gambar 6.5. Pertimbangan dalam menentukan pembuatan wharf tipe tertutup (turap) dan tipe terbuka (tiang pancang)

Dalam Gambar 6.4. pantai mempunyai kemiringan kecil (landai) dan pelabuhan akan digunakan untuk berlabuh kapal barang curah cair ataupun padat (kapal minyak, kapal LNG, kapal/tongkang batubara, dan semacamnya) dengan bobot cukup besar (draft kapal besar). Bongkar muat barang dapat dilakukan dengan menggunakan pompa untuk minyak dan LNG, sedang untuk batubara bisa menggunakan *belt conveyor*. Dengan demikian muatan tersebut tidak memberikan beban yang besar pada dermaga. Mengingat hal tersebut, apabila digunakan wharf diperlukan kedalaman pelabuhan yang dalam sehingga struktur dermaga sangat besar/berat dan pengerukan dasar laut dalam jumlah sangat besar. Dalam hal ini, penggunaan jetty akan lebih efisien dan murah. Pelabuhan Pertamina Cilacap adalah salah satu contoh jetty untuk kapal tanker, dan Pelabuhan Badak Kalimantan Timur adalah contoh jetty untuk kapal LNG, sedang contoh dermaga untuk membongkar muatan batubara adalah jetty PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Tanjungjati Jepara Jawa Tengah. Meskipun pada umumnya jetty digunakan untuk merapat kapal barang curah cair maupun padat, namun dermaga kapal peti kemas di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya menggunakan tipe jetty. Gambar 6.6. adalah contoh jetty sederhana dari kayu untuk menaik-turunkan penumpang pada terminal penyeberangan di Teluk Ambon.



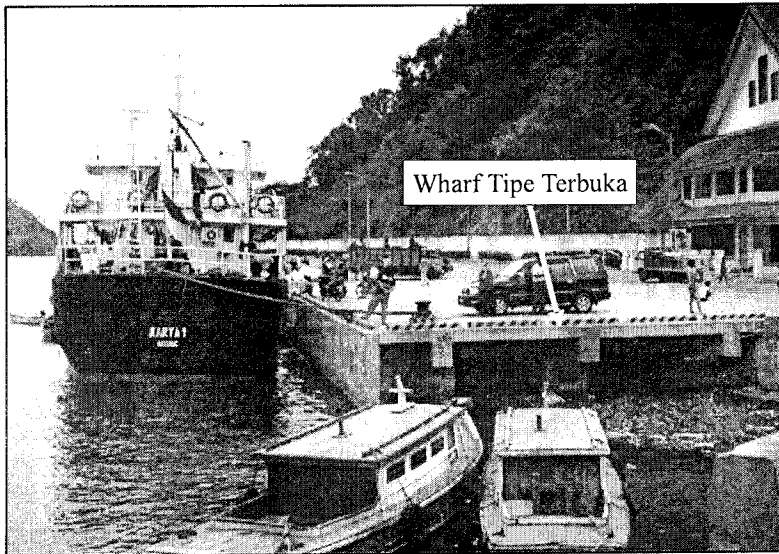
Gambar 6.6. Jetty sederhana untuk kapal penyeberangan di Ambon

Gambar 6.5. adalah pantai yang memungkinkan dibangun wharf untuk berlabuh kapal barang. Dermaga tersebut menerima beban yang besar di atasnya, seperti kran (*crane*), barang yang dibongkar-muat, peralatan untuk bongkar muat barang, prasarana transportasi (kereta api, truk). Kebanyakan dermaga kapal barang mempunyai bentuk tipe wharf yang mampu mendukung beban cukup besar. Dermaga bisa berbentuk tipe tertutup atau terbuka. Pada tipe tertutup digunakan turap untuk menahan beban dermaga dan tekanan tanah di belakangnya, sedang pada sistem terbuka beban dermaga didukung oleh tiang-tiang pancang. Gambar 6.7. adalah contoh dermaga tipe terbuka Pelabuhan Gorontalo.

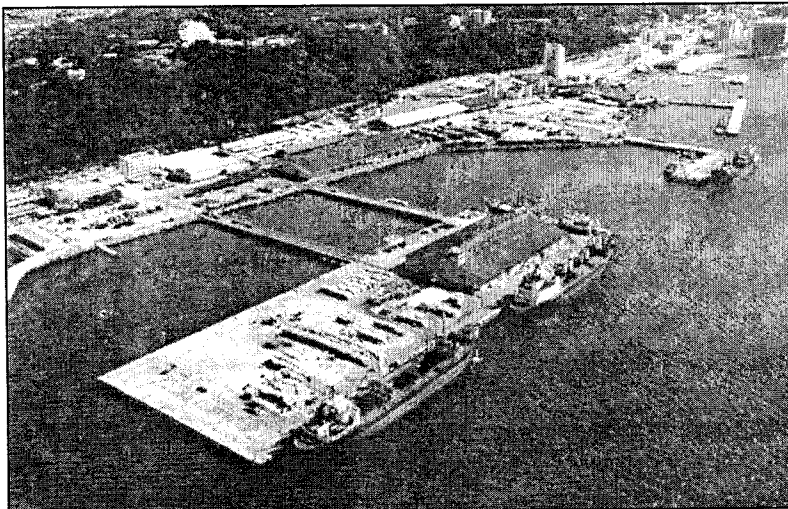
Pier adalah dermaga serupa dengan wharf yang disusun dalam bentuk seperti jari sehingga bisa digunakan untuk merapat lebih banyak kapal. Pada umumnya dermaga tipe ini digunakan untuk melayani kapal barang, dengan beban muatan di atas dermaga cukup besar. Pada pier juga dapat dibangun gudang transito untuk menyimpan barang yang baru dibongkar dari kapal ataupun barang yang akan dikapalkan.

Pada pelabuhan dengan luas lahan terbatas, pengembangan pelabuhan dapat dilakukan dengan membuat dermaga dan halaman dermaga di perairan. Dermaga dan fasilitas di atasnya seperti gudang dan lapangan penumpukan dibuat di atas tiang-tiang pancang atau dibuat pada tanah timbunan (reklamasi). Pada tipe kedua digunakan turap untuk menahan timbunan tanah. Dermaga dihubungkan dengan daratan menggunakan jembatan, seperti ditunjukkan oleh Gambar 6.8.

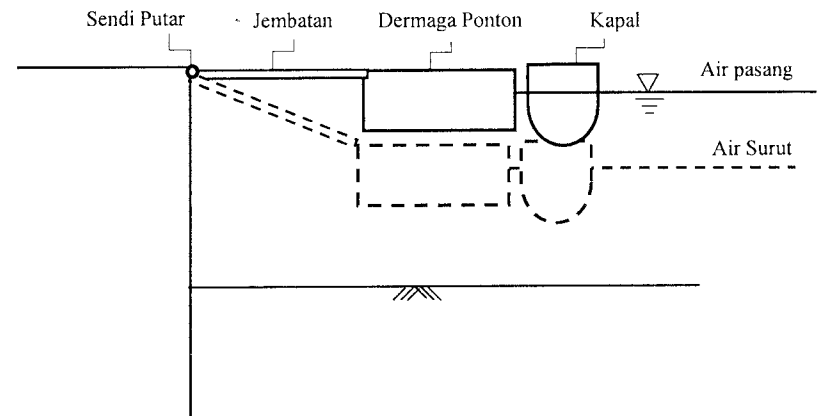
Pada perairan yang mempunyai pasang surut besar, seperti di perairan timur Sumatra (Riau, Jambi) dengan tinggi pasang surut bisa sekitar 4 sampai 5 m, dimungkinkan untuk memilih dermaga apung, yang bisa menyesuaikan perubahan elevasi muka air. Dermaga berupa ponton dari kotak baja atau beton yang bisa mengapung menyesuaikan perubahan elevasi muka air laut. Ponton dan daratan dihubungkan dengan jembatan yang kedua ujungnya ditumpu pada sendi putar sehingga bisa menyesuaikan dengan perubahan posisi dermaga. Gambar 6.9. adalah bentuk dermaga apung, sedang Gambar 6.10. adalah dermaga apung Pelabuhan Muara Sabak Jambi.



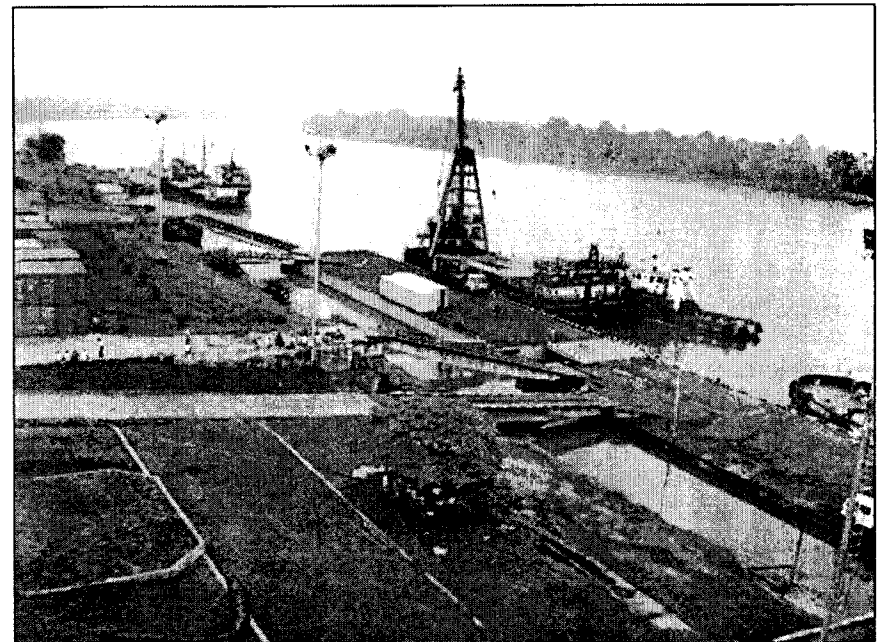
Gambar 6.7. Dermaga tipe wharf Pelabuhan Gorontalo



Gambar 6.8. Pengembangan dermaga di perairan



Gambar 6.9. Dermaga apung



Gambar 6.10. Dermaga apung Pelabuhan Muara Sabak Jambi

6.4. Struktur Dermaga

Dermaga merupakan batas muka antara daratan dan perairan di mana kapal dapat bertambat. Struktur dermaga dapat dikelompokkan menjadi dua macam berikut ini.

1. Dermaga konstruksi terbuka di mana lantai dermaga didukung oleh tiang-tiang pancang
2. Dermaga konstruksi tertutup atau *solid*, di mana batas antara darat dan perairan dipisahkan oleh suatu dinding yang berfungsi menahan tanah di belakangnya, yang dapat berupa dinding massa, kaisan, turap dan dinding penahan tanah.

Baik wharf, pier maupun jetty dapat dibangun dengan salah satu dari konstruksi tersebut.

Elevasi puncak dermaga ditentukan oleh beberapa faktor berikut :

1. elevasi muka air pasang tertinggi
2. kenaikan muka air karena pengaruh gelombang dan angin
3. tipe kapal yang menggunakan pelabuhan
4. fasilitas yang digunakan untuk kegiatan bongkar muat barang.

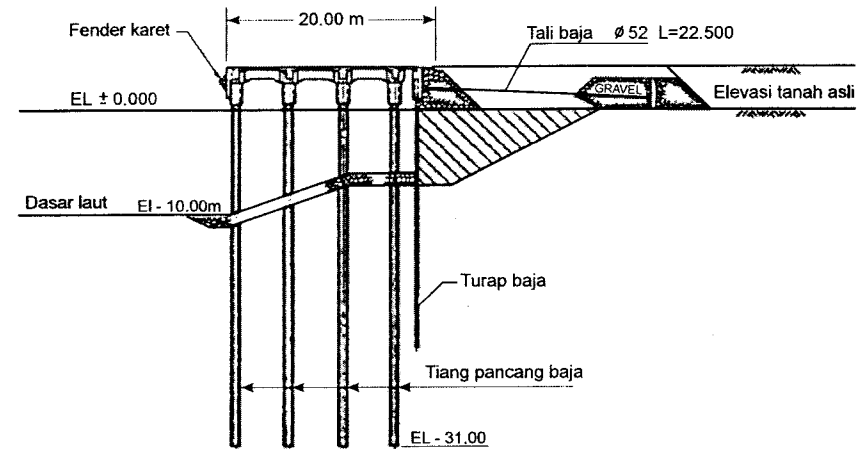
Pada umumnya, untuk terminal barang umum, elevasi permukaan dermaga paling tidak 1,5 m di atas muka air rencana. Elevasi dasar pelabuhan di depan dermaga ditentukan berdasar muka air surut terendah, dengan cara seperti diberikan dalam Bab IV.

6.4.1. Wharf

Wharf adalah dermaga yang dibuat sejajar pantai dan dapat dibuat berimpit dengan garis pantai atau agak menjorok ke laut. *Wharf* biasanya digunakan untuk pelabuhan barang potongan atau peti kemas di mana dibutuhkan suatu halaman terbuka yang cukup luas untuk menjamin kelancaran angkutan barang.

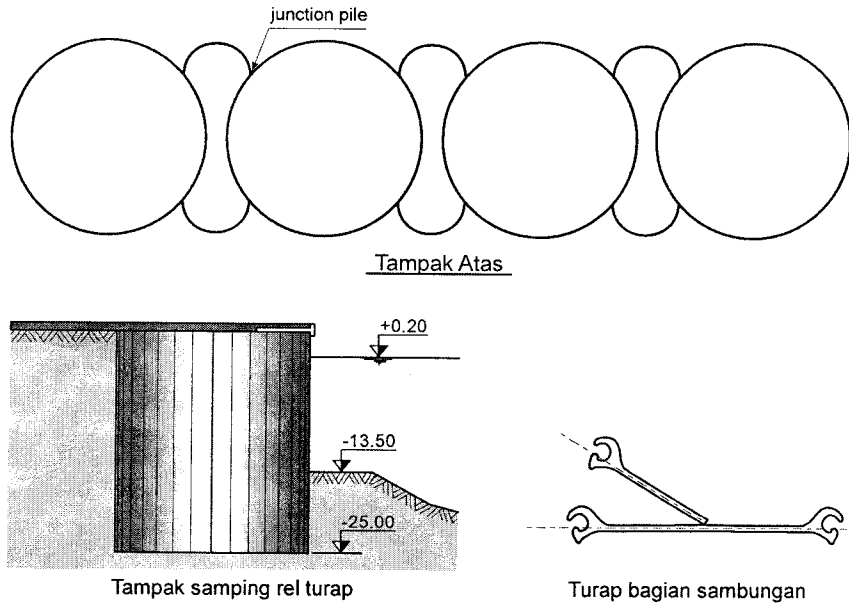
Perencanaan *wharf* harus memperhitungkan tambatan kapal, peralatan bongkar muat barang dan fasilitas transportasi darat. Karakteristik kapal yang akan berlabuh mempengaruhi panjang *wharf* dan kedalaman yang diperlukan untuk merapatnya kapal.

Gambar 6.11. adalah *wharf* konstruksi terbuka dari pelabuhan Tokyo yang digunakan untuk melayani kapal barang umum dan peti kemas dengan bobot sampai 30.000 dwt (PCI,1990). Kedalaman pelabuhan adalah 10,0 m terhadap muka air surut terendah (+0,0 m). Lebar dermaga adalah 20,0 m. Sisi muka dermaga dipasang fender karet. Dermaga tersebut terbuat dari balok dan slab beton bertulang yang didukung oleh tiang pancang baja, serta dilengkapi dengan turap baja untuk menahan tanah di belakangnya. Turap tersebut ditahan oleh angker. Tiang-tiang dipancang sampai kedalaman -31,0 m dari muka air laut rerata.



Gambar 6.11. *Wharf* pelabuhan Tokyo (PCI, 1980)

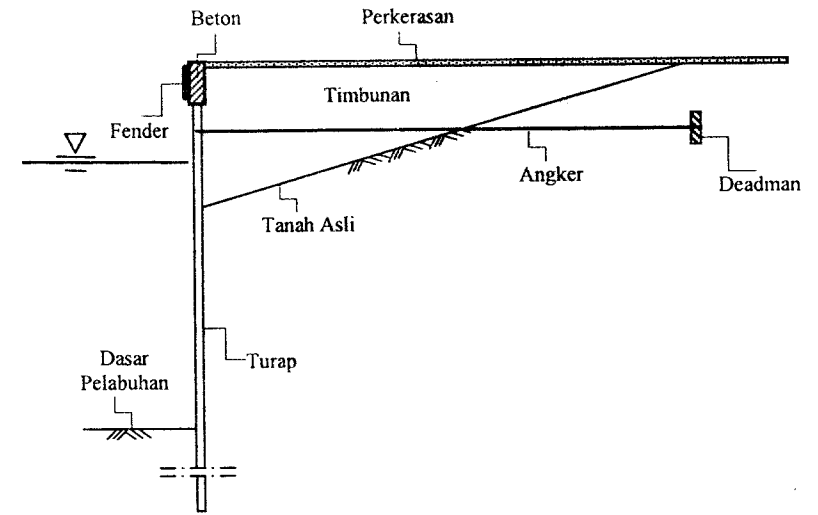
Wharf tipe tertutup biasanya berimpit dengan garis pantai dan juga berfungsi sebagai penahan tanah di belakangnya. Gambar 6.12. adalah *wharf* tipe tertutup yang terbuat dari sel turap baja dari Pelabuhan Voisey's bay, Labrador Kanada. Bangunan tipe ini digunakan apabila kedalaman air tidak lebih besar dari 15 m dan tanah dasar mampu mendukung bangunan massa di atasnya. Bagian atas dari sel tersebut biasanya dibuat slab beton. Sel terbuat dari turap baja yang dipancang melingkar dan mampu menahan gaya tarik untuk menahan bahan isian di dalamnya, sehingga membentuk dinding massa (gravitas) yang cukup berat dan mampu menahan penggulingan.



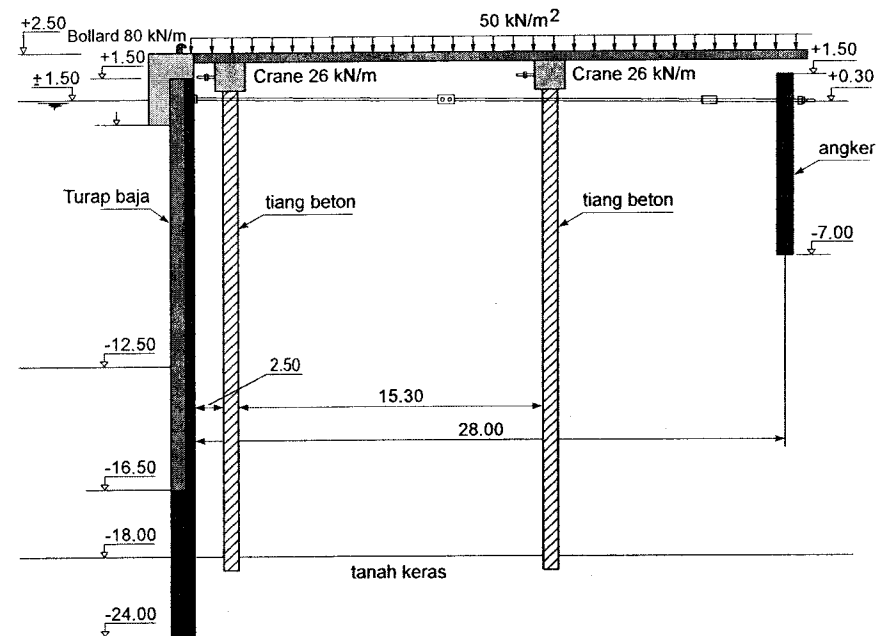
Gambar 6.12. Wharf tipe tertutup dari sel turap baja (Arcelor Mittal, 2007)

Gambar 6.13. adalah *wharf* dari turap yang dipancang ke dalam tanah. Turap bisa terbuat dari beton atau baja. Turap berfungsi sebagai penahan tanah yang ada di belakangnya. Dalam gambar tersebut bagian atas turap ditahan oleh angker yang ujungnya ditahan oleh plat beton (*deadman*) yang diletakkan pada jarak yang aman. Sedangkan turap bagian bawah ditanam ke dalam tanah dan terjepit.

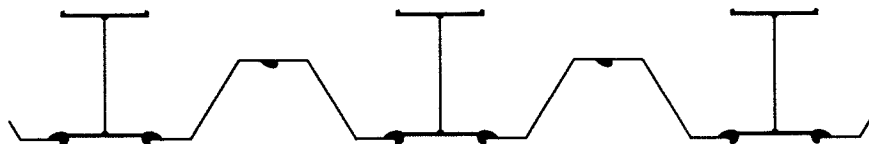
Gambar 6.14. adalah dermaga dari turap baja di Pelabuhan Peti Kemas Havana Kuba (Arcelor Mittal, 2007). Elevasi muka air pada +0,0 m dan kedalaman pelabuhan adalah 12,5 m. Beban hidup yang bekerja pada lantai dermaga adalah 50 kN/m^2 . Kran darat yang dapat berjalan di atas rel didukung oleh fondasi tiang pancang beton dengan beban 26 kN/m . Mengingat kedalaman pelabuhan cukup besar (elevasi dasar pelabuhan -12,5 m) atau tinggi dermaga adalah 15,0 m; maka turap tersebut juga didukung oleh tiang pancang baja yang dipancang sampai kedalaman 24,0 m. Hubungan antara tiang dan turap diberikan dalam Gambar 6.15.



Gambar 6.13. Wharf dari turap



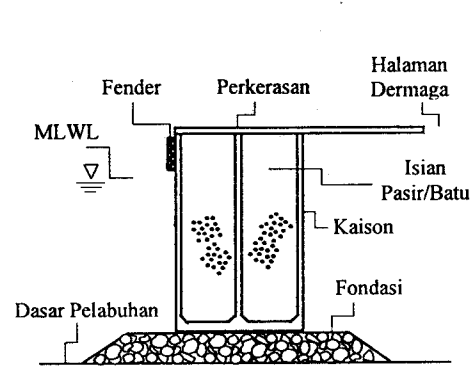
Gambar 6.14. Dermaga turap baja di Pelabuhan Havana Kuba (Arcelor Mittal, 2007).



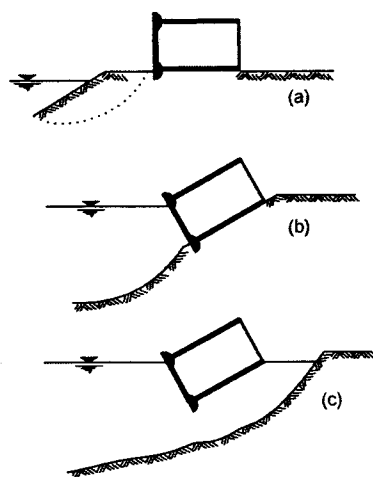
Gambar 6.15. Hubungan antara tiang dan turap

Kaison beton juga banyak digunakan sebagai wharf seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.14. Dalam gambar tersebut kaison diletakkan pada pondasi dari tumpukan batu. Bagian dalam kaison diisi dengan pasir atau batu untuk menambah berat bangunan sehingga lebih stabil terhadap tekanan tanah di belakangnya. Kaison bisa dibuat di tempat kering dan kemudian diturunkan dengan melakukan pengerukan tanah kolam pelabuhan di depannya, seperti terlihat dalam Gambar 6.15.

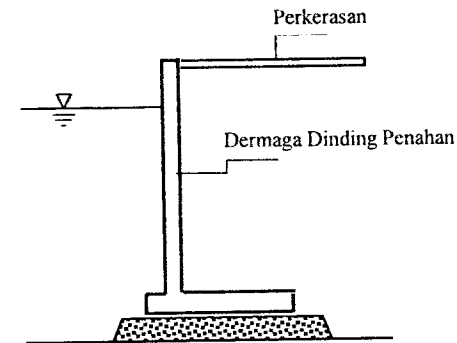
Gambar 6.18 adalah dermaga yang terbuat dari dinding kantilever yang dapat menahan tekanan tanah di belakangnya.



Gambar 6.16. Wharf kaison



Gambar 6.17. Metode pemasangan kaison



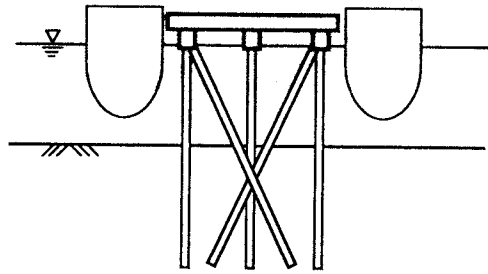
Gambar 6.18. Dermaga dari dinding penahan tanah (kantilever)

6.4.2. Pier

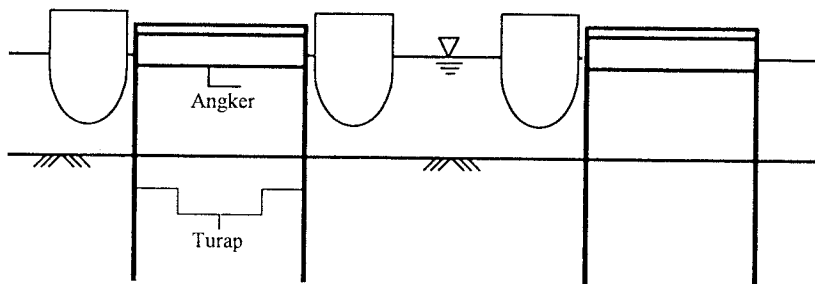
Pier adalah dermaga serupa *wharf* (berada di garis pantai) yang berbentuk seperti jari dan dapat untuk merapat kapal pada kedua sisinya, sehingga bisa digunakan bersandar kapal dalam jumlah lebih banyak untuk satu satuan panjang pantai. Perairan di antara dua *pier* yang berdampingan disebut *slip*.

Seperti halnya dengan *wharf*, struktur *pier* juga bisa berupa struktur terbuka dan struktur tertutup. Pada struktur terbuka *pier* berupa balok-balok dan plat yang didukung tiang-tiang pancang seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.19. Dalam gambar tersebut, pier dapat digunakan untuk bertambat kapal di kedua sisinya. Tiang pancang miring digunakan untuk menahan gaya horisontal yang ditimbulkan oleh benturan kapal pada waktu merapat dan gaya tarikan kapal akibat gelombang, arus dan angin.

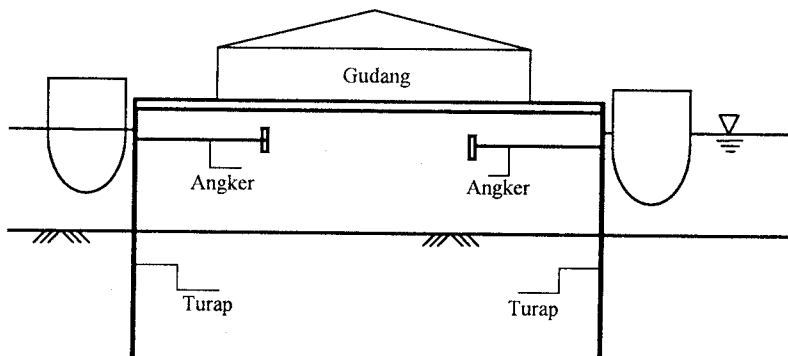
Pier struktur tertutup dibuat dari dua pasang turap baja atau beton yang dipancang secara berhadapan dan di antara kedua turap tersebut diisi pasir atau bahan timbunan lain, seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.20. sisi atasnya diperkeras dengan plat beton atau jenis perkerasan lainnya. Kedalaman pemancangan tergantung pada karakteristik tanah. Bagian atas turap ditahan oleh angker baja untuk mengurangi momen yang terjadi pada turap di bagian bawah (jepit pada tanah). Apabila jarak antara kedua turap tidak panjang, angker tersebut dibuat menerus menghubungkan kedua turap.



Gambar 6.19. Pier tipe terbuka



Gambar 6.20. Pier tipe tertutup



Gambar 6.21. Pier dengan lebar besar

Apabila jarak antara kedua turap cukup lebar, angker yang menahan turap bagian atas bisa dibuat terpisah yang ditahan oleh plat beton (*deadman*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.21. Di halaman dermaga dapat dibangun gudang dan lapangan penumpukan.

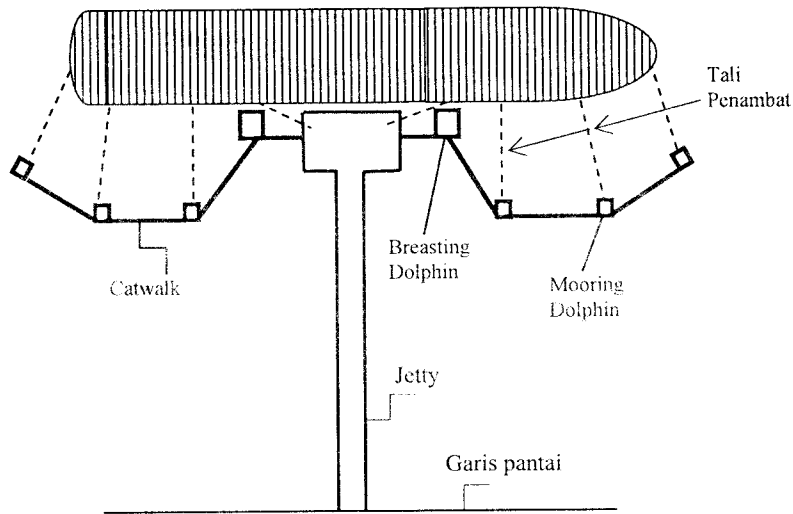
6.4.3. Jetty

Jetty adalah dermaga yang dibangun menjorok cukup jauh ke arah laut, dengan maksud agar ujung dermaga berada pada kedalaman yang cukup untuk merapat kapal. Pada umumnya jetty digunakan untuk merapat kapal tanker, kapal LNG, tongkang pengangkut batu bara. Gambar 6.22. adalah contoh jetty yang digunakan untuk merapat kapal tanker atau LNG. Untuk menahan benturan kapal yang merapat dipasang dolphin penahan benturan (*breasting dolphin*) di depan jetty. Sedang untuk mengikat kapal digunakan dolphin penambat (*mooring dolphin*). Dolphin-dolphin tersebut dihubungkan dengan *catwalk* (semacam jembatan kecil), yang berfungsi sebagai jalan petugas yang akan mengikat tali kapal ke dolphin. Gambar 6.23 adalah jetty yang bisa digunakan untuk bertambat tiga kapal dengan ukuran berbeda. Gambar 6.24 adalah penambatan kapal tanker pada jetty.

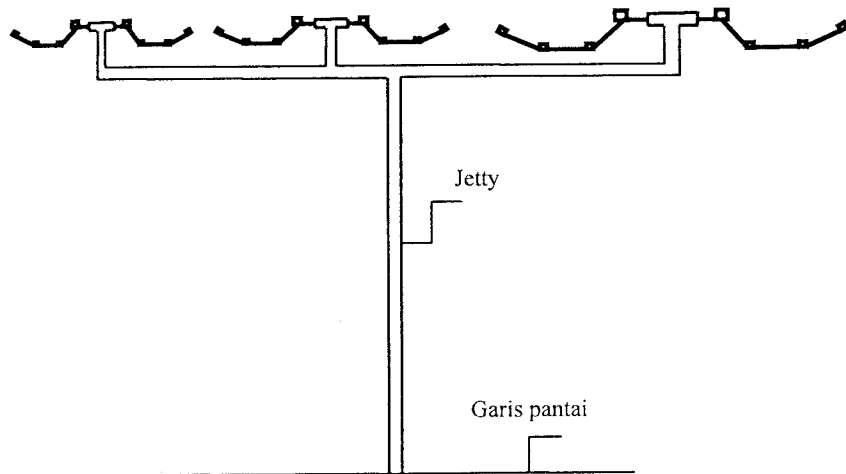
Gambar 6.25. adalah jetty untuk bertambatnya kapal tanker dari Pelabuhan Niigata-Jepang, yang dapat digunakan untuk merapat kapal pada kedua sisinya. Kapal merapat pada *breasting dolphin* dan pengikatan dilakukan dengan *mooring dolphin* (dolphin penambat).

6.5. Ukuran Dermaga

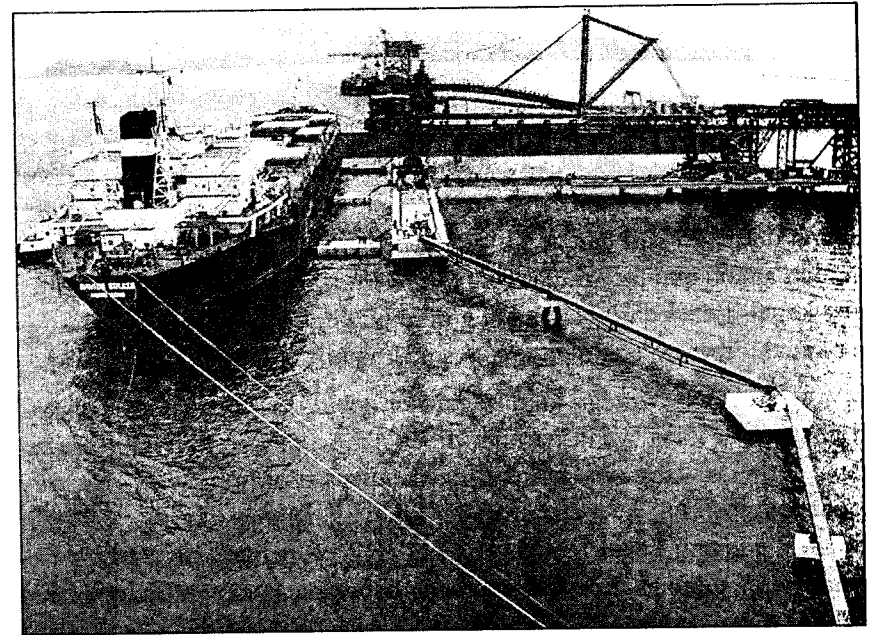
Ukuran dermaga dan perairan untuk bertambat tergantung pada dimensi kapal terbesar dan jumlah kapal yang menggunakan dermaga. Tata letak dermaga dipengaruhi oleh banyak faktor seperti ukuran perairan pelabuhan, kemudahan kapal yang merapat dan meninggalkan dermaga, ketersediaan/penggunaan kapal tunda untuk membantu kapal bertambat, arah dan besarnya angin, gelombang dan arus.



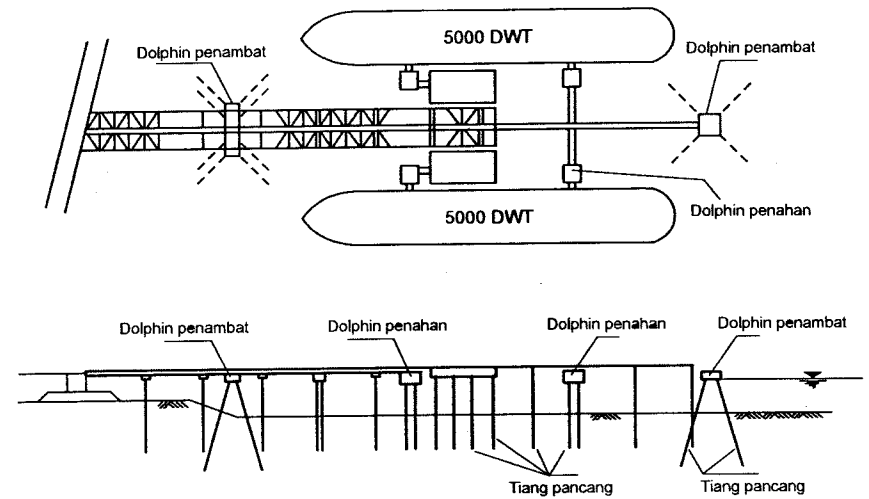
Gambar 6.22. Jetty untuk kapal tanker atau LNG



Gambar 6.23. Jetty untuk bertambat tiga kapal



Gambar 6.24. Penambatan kapal tanker pada jetty



Gambar 6.25. Jetty kapal tanker Pelabuhan Niigata-Jepang (PCI)

Gambar 6.26. menunjukkan panjang dermaga untuk satu tambatan, yaitu sama dengan panjang kapal terbesar yang menggunakan dermaga ditambah masing-masing 10% kali panjang kapal di ujung hulu dan buritan kapal. Apabila perairan di depan dermaga harus dikeruk, ukuran daerah yang dikeruk ditunjukkan dalam Gambar 6.27. Untuk kapal yang merapat dengan bantuan kapal tunda, panjang daerah yang dikeruk tidak kurang dari 1,25 kali panjang kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan, dan apabila tanpa bantuan kapal tunda tidak kurang dari 1,5 kali panjang kapal. Lebar dari daerah yang dikeruk tidak kurang dari 1,25 kali lebar kapal terbesar yang menggunakan dermaga (Thoresen, CA., 2003).

Apabila dermaga digunakan oleh lebih dari satu tambatan kapal, di antara dua kapal yang berjajar diberi jarak sebesar 10% kali panjang kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan (Gambar 6.28.). Biasanya kapal yang masuk ke pelabuhan terdiri dari banyak ukuran. Untuk itu dihitung panjang kapal rerata yang berlabuh di pelabuhan. Panjang dermaga yang digunakan untuk merapat beberapa kapal didasarkan pada panjang kapal rerata. IMO (*International Maritime Organization*) memberikan persamaan untuk menentukan panjang dermaga, seperti diberikan oleh bentuk berikut ini.

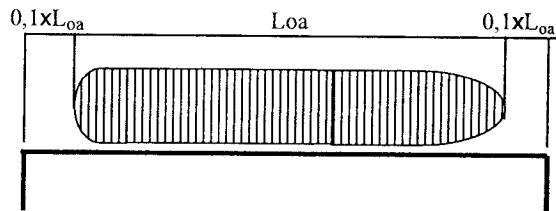
$$L_p = nL_{oa} + (n + 1) \times 10\% \times L_{oa} \quad (6.1)$$

dengan :

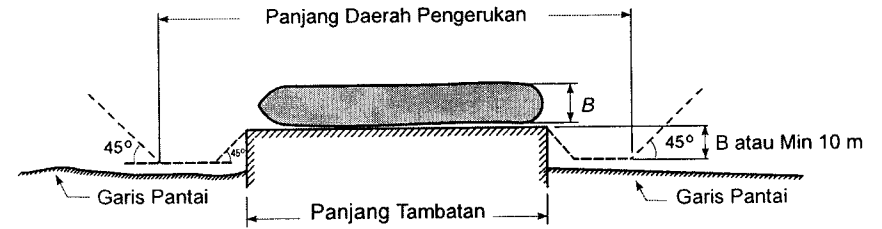
L_p : panjang dermaga

L_{oa} : panjang kapal yang ditambat

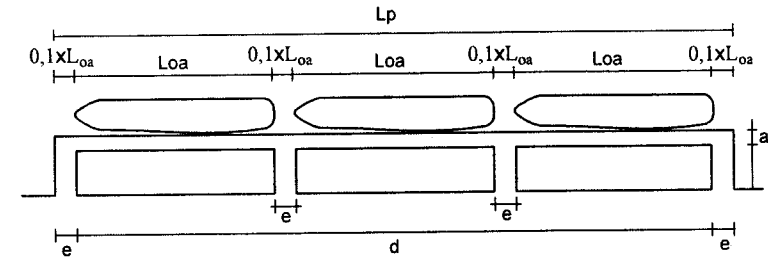
n : jumlah kapal yang ditambat



Gambar 6.26. Dimensi wharf



Gambar 6.27. Dimensi pengerukan di perairan di depan wharf



Gambar 6.28. Dimensi wharf

Di dalam Gambar 6.28. ditunjukkan pula fasilitas di dermaga seperti apron, gudang dan jalan. Lebar apron tergantung pada alat bongkar muat (*crane*) yang digunakan, jumlah jalur kereta api dan truk. Gambar 6.29. memberikan lebar apron untuk berbagai kondisi operasi yang berbeda. Apabila A adalah luas gudang yang melayani satu tambatan, maka beberapa ukuran yang lain adalah sebagai berikut ini.

$$d = L_p - 2e$$

$$b = 3A / (d - 2e)$$

dengan :

A : luas gudang

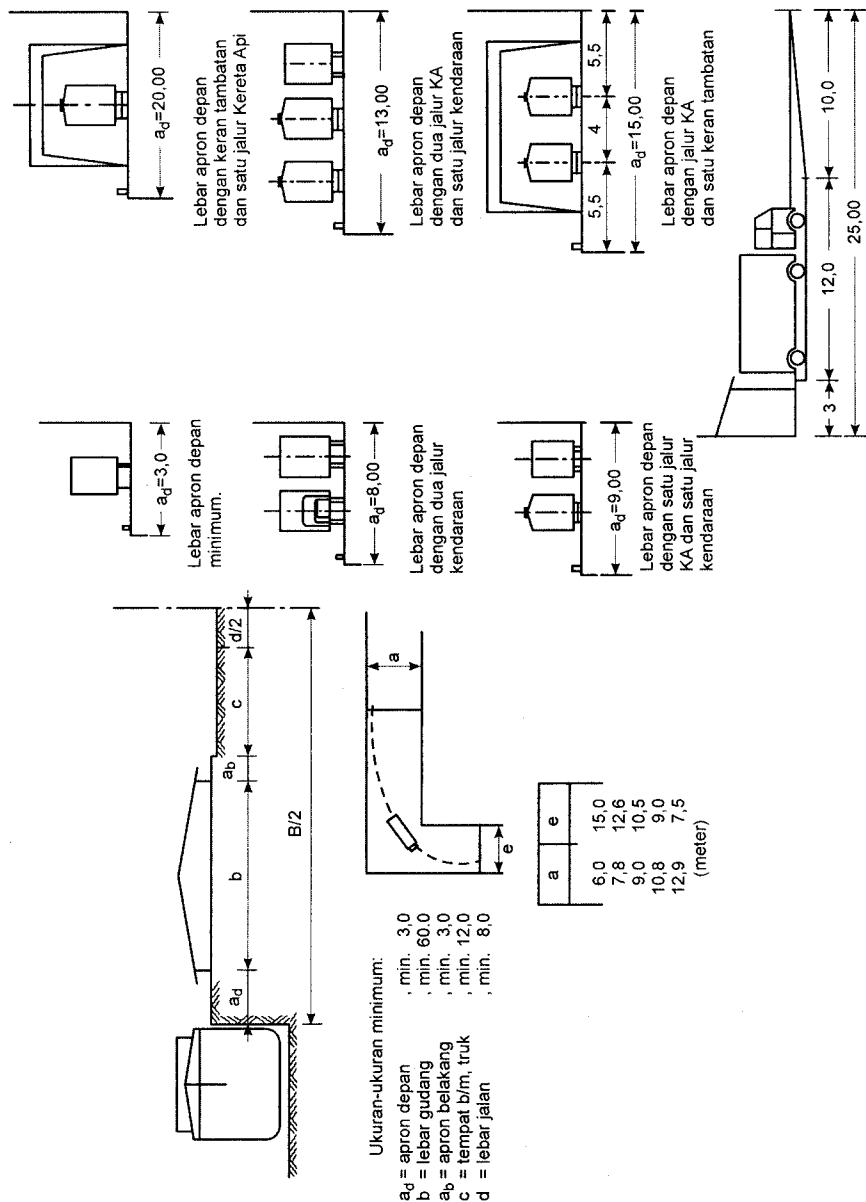
L : panjang kapal yang ditambat

b : lebar gudang

a : lebar apron

e : lebar jalan

Nilai a dan e dapat dilihat dalam Gambar 6.29 (Quinn A. Def., 1972).



Gambar 6.29. Penentuan lebar apron

Dimensi pier, yaitu dermaga berbentuk jari diberikan oleh Gambar 6.30. dan 6.31. yang digunakan untuk dua dan empat tambatan. Slip yang digunakan untuk empat tambatan harus cukup besar untuk gerakan kapal yang masuk dan keluar dengan bantuan kapal tunda. Ukuran dermaga diberikan oleh bentuk berikut ini.

1. Pier dua tambatan,

Panjang pier :

$$L_p = nL_{oa} + 50$$

Lebar pier :

$$B_p = 2a + b$$

Lebar slip :

$$S = 2B + 35$$

Panjang gudang :

$$d = L - (c + e)$$

Lebar gudang :

$$b = A/d$$

2. Pier empat tambatan

Panjang pier :

$$L_p = 2L_{oa} + 65$$

Lebar pier :

$$B_p = 2a + b$$

Lebar slip :

$$S = 2B + 50$$

Panjang gudang :

$$d = L - (c + e)$$

Lebar gudang :

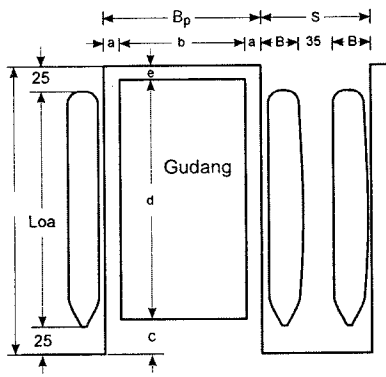
$$b = A/d$$

6.6. Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Dermaga

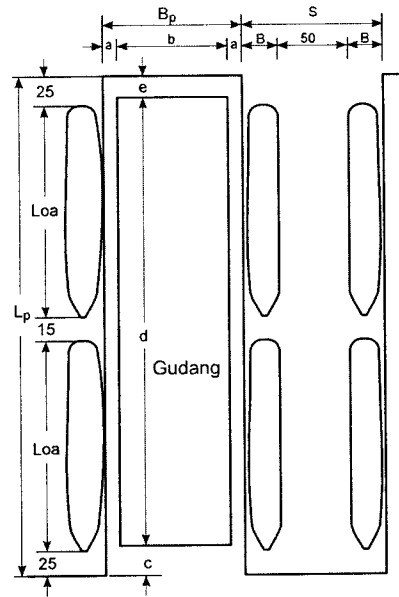
Gaya-gaya yang bekerja pada dermaga dapat dibedakan menjadi gaya vertikal dan horisontal. Gaya vertikal meliputi berat sendiri bangunan dermaga, beban hidup, beban peralatan bongkar muat (*crane*), dsb. Gaya horisontal dapat dibedakan menjadi meliputi gaya benturan kapal ketika kapal merapat ke dermaga (*gaya sandar, berthing forces*) dan gaya tambat (*mooring forces*), yaitu gaya yang ditimbulkan ketika kapal bertambat didermaga yang disebabkan oleh angin, arus dan gelombang.

6.6.1. Gaya sandar (*berthing forces*)

Pada waktu merapat ke dermaga kapal masih mempunyai kecepatan sehingga akan terjadi benturan antara kapal dan dermaga. Gaya yang ditimbulkan oleh benturan tersebut disebut gaya sandar (*berthing forces*). Dalam perencanaan dianggap bahwa benturan maksimum terjadi apabila kapal bermuatan penuh menghantam dermaga pada sudut 10° terhadap sisi depan dermaga.



Gambar 6.30. Dermaga bentuk jari untuk dua tambatan



Gambar 6.31. Dermaga bentuk jari untuk dua tambatan

Gaya benturan kapal yang harus ditahan dermaga tergantung pada energi benturan yang diserap oleh sistem fender yang dipasang pada dermaga. Gaya benturan bekerja secara horisontal dan dapat dihitung berdasarkan energi benturan. Hubungan antara gaya dan energi benturan tergantung pada tipe fender yang digunakan. Penjelasan mengenai fender akan diberikan dalam Bab VII. Besar energi benturan diberikan oleh rumus berikut ini.

$$E = \frac{WV^2}{2g} C_m C_e C_s C_c \quad (6.2)$$

dengan :

- E : energi benturan (*ton meter*)
- V : komponen tegak lurus sisi dermaga dari kecepatan kapal pada saat membentur dermaga (*m/d*)
- W : *displacement* (berat) kapal
- g : percepatan gravitasi (m/d^2)

- C_m : koefisien massa
- C_e : koefisien eksentrisitas
- C_s : koefisien kekerasan (diambil 1)
- C_c : koefisien bentuk dari tambatan (diambil 1)

Kecepatan merapat kapal merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan dermaga dan sistem fender, yang dapat ditentukan dari nilai pengukuran atau pengalaman. Secara umum kecepatan merapat kapal diberikan dalam tabel berikut ini.

Koefisien massa tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_m = 1 + \frac{\pi d}{2C_b B} \quad (6.3)$$

di mana :

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} B d \gamma_o} \quad (6.4)$$

Tabel 6.1 Kecepatan merapat kapal pada dermaga

Ukuran kapal (DWT)	Kecepatan Merapat	
	Pelabuhan (<i>m/d</i>)	Laut terbuka (<i>m/d</i>)
Sampai 500	0,25	0,30
500 - 10.000	0,15	0,20
10.000 - 30.000	0,15	0,15
di atas 30.000	0,12	0,15

dengan :

- C_b : koefisien blok kapal
- d : draft kapal (m)
- B : lebar kapal (m)
- L_{pp} : panjang garis air (m)
- γ_o : berat jenis air laut (t/m^3)

Kapal yang merapat ke dermaga membentuk sudut terhadap dermaga, sehingga pada waktu bagian kapal menyentuh dermaga, kapal akan berputar sehingga sejajar dengan dermaga. Sebagian energi benturan yang ditimbulkan oleh kapal akan hilang oleh perputaran tersebut. Sisa energi akan diserap oleh dermaga.

Koefisien eksentrisitas adalah perbandingan antara energi sisa dan energi kinetik kapal yang merapat, dan dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$C_e = \frac{1}{1 + (l/r)^2} \quad (6.5)$$

dengan :

l : jarak sepanjang permukaan air dermaga dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal seperti terlihat dalam Gambar 6.29.

r : jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal pada permukaan air, dan diberikan oleh Gambar 6.30.

Panjang garis air (L_{pp}) dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.

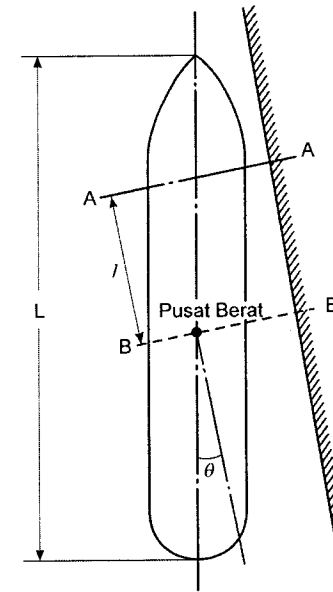
Kapal barang : $L_{pp} = 0,846L_{oa}^{1,0193}$

Kapal tangker: $L_{pp} = 0,852L_{oa}^{1,0201}$

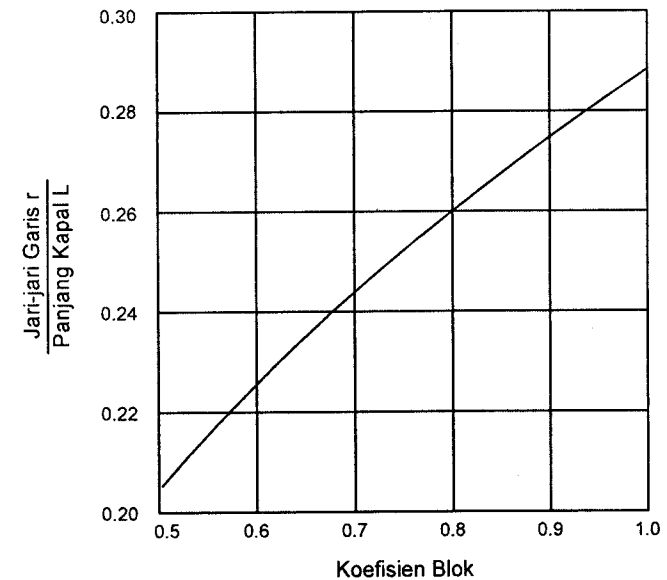
Titik kontak pertama antara kapal dan dermaga adalah suatu titik dari 1/4 panjang kapal pada dermaga dan 1/3 panjang kapal pada dolphin (penjelasan tentang dolphin diberikan dalam bab VII), dan nilai l adalah :

Dermaga: $l = 1/4L_{oa}$

Dolphin : $l = 1/6L_{oa}$



Gambar 6.29. Jarak pusat berat kapal sampai titik sandar kapal



Gambar 6.30. Jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal

6.6.2. Gaya tambat (*mooring forces*)

Kapal yang merapat di dermaga akan ditambatkan dengan menggunakan tali ke alat penambat yang disebut *bollard*. Pengikatan ini dimaksudkan untuk menahan gerakan kapal yang disebabkan oleh angin dan arus. Gaya tarikan kapal pada alat penambat yang disebabkan oleh tiupan angin dan arus pada badan kapal disebut dengan gaya tambat (*mooring forces*). *Bollard* ditanam/diangker pada dermaga dan harus mampu menahan gaya tarikan kapal. Berikut ini diberikan metode untuk menghitung gaya tarikan kapal yang ditimbulkan oleh angin dan arus.

1. Gaya akibat angin

Angin yang berhembus ke badan kapal yang ditambatkan akan menyebabkan gerakan kapal yang bisa menimbulkan gaya pada dermaga. Apabila arah angin menuju ke dermaga, maka gaya tersebut berupa gaya benturan ke dermaga; sedang jika arahnya meninggalkan dermaga akan menyebabkan gaya tarikan kapal pada alat penambat. Besar gaya angin tergantung pada arah dan kecepatan hembus angin, dan dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

a. Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ($\alpha = 0^\circ$)

$$R_w = 0,42 Q_a A_w \quad (6.6)$$

b. Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah buritan ($\alpha = 180^\circ$)

$$R_w = 0,5 Q_a A_w \quad (6.7)$$

c. Gaya lateral apabila angin datang dari arah lebar ($\alpha = 90^\circ$)

$$R_w = 1,1 Q_a A_w \quad (6.8)$$

dimana :

$$P_a = 0,063 V^2 \quad (6.9)$$

dengan :

R_w : gaya akibat angin (*kg*)

P_a : tekanan angin (kg/m^2)

V : kecepatan angin (*m/d*)

A_w : proyeksi bidang yang tertiuap angin (m^2)

2. Gaya akibat arus

Seperti halnya angin, arus yang bekerja pada bagian kapal yang terendam air juga akan menyebabkan terjadinya gaya pada kapal yang kemudian diteruskan pada alat penambat dan dermaga. Besar gaya yang ditimbulkan oleh arus diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$R_a = C_C \gamma_w A_c \left(\frac{V_c^2}{2g} \right) \quad (6.10)$$

dengan :

R : gaya akibat arus (*kgf*)

A_c : luas tampang kapal yang terendam air (m^2)

γ_w : rapat massa air laut ($1025 kg/m^3$)

V_c : kecepatan arus (*m/d*)

C_C : koefisien tekanan arus

Nilai C_C adalah faktor untuk menghitung gaya lateral dan memanjang. Nilai C_C tergantung pada bentuk kapal dan kedalaman air di depan tambatan, yang nilainya diberikan berikut ini.

Faktor untuk menghitung gaya arus melintang :

- Di air dalam, nilai $C_C = 1,0-1,5$
- Kedalaman air/draft kapal = 2, nilai $C_C = 2,0$
- Kedalaman air/draft kapal = 1,5, nilai $C_C = 3,0$
- Kedalaman air/draft kapal = 1,1, nilai $C_C = 5,0$
- Kedalaman air/draft kapal = 1, nilai $C_C = 6,0$

Faktor untuk menghitung gaya arus memanjang (longitudinal) bervariasi dari 0,2 untuk laut dalam dan 0,6 untuk perbandingan antara kedalaman air dan draft kapal mendekati 1.

3. Gaya pada *bollard*

Kapal yang merapat di sepanjang dermaga akan berhenti sebagian dengan menggunakan mesinnya sendiri dan sebagian ditahan oleh tali penambat yang dililitkan pada *bollard*. Dengan demikian, *bollard* harus

mampu menahan gaya tarikan, yang paling tidak sama dengan gaya yang bisa memutuskan tali penambat. Dimensi *bollard* dan pengangkerannya pada dermaga harus direncanakan sedemikian sehingga mampu menahan gaya. Tabel 6.2. memberikan gaya rencana *bollard* dan perkiraan jarak antara *bollard*.

Tabel 6.2. Gaya *bollard* dan jarak antara *bollard*

Displacement kapal (ton)	Gaya <i>Bollard</i> P (kN)	Jarak Antara <i>Bollard</i> (m)	Gaya <i>Bollard</i> tegal lurus tambatan (kN/m)	Gaya <i>Bollard</i> sepanjang tambatan (kN/m)
2.000	100	5-10	15	10
5.000	200	10-15	15	10
10.000	300	15	20	15
20.000	500	20	25	20
30.000	600	20	30	20
50.000	800	20-25	35	20
100.000	1.000	25	40	25
200.000	1.500	30	50	30

6.6.3. Contoh hitungan gaya standar dan tambat

Dolphin di Pelabuhan Palembang berada di tengah sungai Musi yang berjajar di sepanjang arah arus sungai. Dolphin tersebut digunakan untuk bertambat kapal dengan data sebagai berikut ini.

Bobot kapal = 10.000 DWT

Berat total : $W_t = 13.996$ ton

Panjang kapal : $L_{oa} = 137$ m

Lebar kapal : $B = 19,9$ m

Draft : $d = 8,2$ m

Kecepatan angin maksimum : $V_w = 25$ m/s²

Luas bidang kapal terkena angin : $A_w = 856$ m²

Luas bidang kapal terendam : $A_s = 238,8$ m²

Kecepatan arus : $V_c = 1,7$ m/s²

Kecepatan merapat kapal : $V = 0,15$ m/s²

Sudut merapat : $\phi = 10^\circ$

Berat jenis air : $\gamma = 1,025$ t/m³

1. Gaya Sandar

Energi benturan kapal dihitung dengan menggunakan Persamaan (6.2). Prosedur hitungan adalah sebagai berikut ini.

a. Dihitung panjang garis air dengan persamaan berikut (kapal tanker) :

$$L_{pp} = 0,852 L_{oa}^{1,0201} = 0,852 \times (137)^{1,0201} = 128,86 \text{ m}$$

b. Nilai C_b dihitung dengan Persamaan (6.4) :

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} B d \gamma_o} = \frac{13.996}{128,86 \times 19,9 \times 8,2 \times 1,025} = 0,6494$$

c. Koefisien massa dihitung dengan Persamaan (6.3) :

$$C_m = 1 + \frac{\pi d}{2 C_b B} = 1 + \frac{\pi}{2 \times 0,6494} \times \frac{8,2}{19,9} = 1,996$$

d. Koefisien eksentrisitas :

Dengan koefisien blok = 0,6494 maka dari Gambar 6.30 didapatkan rasio $r/L = 0,235$, sehingga $r = 0,235 \times 137 = 32,195$ m.

e. Untuk perencanaan dolphin : $l = 1/6 L_{oa} = 1/6 \times 137 = 28,83$ m

Koefisien eksentrisitas dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_e = \frac{1}{1 + (l/r)^2} = \frac{1}{1 + (28,83/32,195)^2} = 0,6653$$

f. Komponen kecepatan kapal merapat dalam arah tegal lurus dolphin:

$$V_x = V \sin \alpha = 0,15 \times \sin 10^\circ = 0,026 \text{ m/s}$$

g. Koefisien kekerasan : dan koefisien bentuk : $C_s = 1,0$ dan $C_c = 1,0$.

h. Energi sandar (*berthing energy*) :

$$E = \frac{WV_x^2}{2g} C_m C_e C_s C_c$$

$$= \frac{13996 \times 0,026^2}{2 \times 9,81} \times 1,996 \times 0,6653 \times 1 \times 1 = 0,6406 \text{ ton} - m$$

2. Gaya Mooring

Kapal yang bertambat di dolphin menerima tahanan angin dan arus air yang dapat menimbulkan tarikan kapal pada tambat. Hitungan gaya tarikan tersebut dilakukan dengan prosedur berikut ini.

a. Gaya *mooring* akibat angin :

Tekanan angin Persamaan (6.9) :

$$P_a = 0,063 V^2 = 0,063 \times 25^2 = 39 \text{ kg} / m^2$$

Misalnya proyeksi bidang kapal yang tertiuap angin adalah 70% dari luas bagian kapal yang berada di atas permukaan air, maka gaya pada kapal adalah :

$$R_w = 1,1 Q_a A_w = 1,1 \times 39 \times 70\% \times 856 = 25952 \text{ kg} = 25,95 \text{ ton}$$

b. Gaya *mooring* akibat arus (sejajar sumbu kapal) :

Besar gaya yang ditimbulkan oleh arus diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$R_a = C_C \gamma_w A_c \left(\frac{V_c^2}{2g} \right)$$

$$= 0,6 \times 1025 \times 238,8 \times \left(\frac{1,7^2}{2 \times 9,81} \right) = 21632 \text{ kg} = 21,632 \text{ ton}$$

6.7. Perencanaan Dermaga

Perencanaan pelabuhan melibatkan beberapa ahli dari berbagai disiplin ilmu, seperti ahli teknik pantai, ahli teknik pelabuhan, ahli pengelolaan/manajemen pelabuhan, ahli geoteknik, ahli analisis struktur, ahli struktur beton, ahli fondasi, ahli pengembangan wilayah, ahli ekonomi, ahli sosial, ahli lingkungan, dan lain sebagainya. Hal ini mengingat bahwa pembangunan pelabuhan adalah suatu pekerjaan besar yang melibatkan berbagai kepentingan. Jangan sampai pembangunan pelabuhan dengan biaya sangat besar akan menimbulkan masalah di kemudian hari.

Demikian juga, dalam perencanaan struktur dermaga juga diperlukan beberapa ilmu pendukung seperti mekanika tanah, fondasi, analisis struktur, struktur beton, teknik gempa dan sebagainya. Ilmu-ilmu pendukung tersebut merupakan bidang ilmu tersendiri yang dipelajari dalam pendidikan teknik sipil. Dalam buku ini hanya diberikan beberapa tinjauan dalam perencanaan dermaga yang terkait dengan ilmu teknik pelabuhan, seperti cara menghitung besarnya gaya-gaya yang ditimbulkan oleh benturan kapal dan tarikan kapal ke alat penambat yang ditimbulkan oleh angin, arus dan gelombang, perencanaan fender sebagai penahan benturan antara kapal dan dermaga yang dijelaskan secara lebih rinci dalam Bab VII. Setelah memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja pada dermaga, hitungan selanjutnya dilakukan oleh ahli teknik struktur, geoteknik, fondasi, beton untuk merencanakan dermaga.

6.7.1. Perencanaan dermaga dengan menggunakan software

Saat ini telah berkembang beberapa *software* yang dapat digunakan untuk analisis struktur dermaga, di antaranya adalah *software* SAP 2000 dan Plaxis. SAP 2000 banyak digunakan oleh para ahli teknik struktur untuk analisis struktur rangka dan portal. Dalam perencanaan dermaga, SAP 2000 dapat digunakan untuk analisis struktur dermaga tipe terbuka, yang berupa lantai dermaga yang didukung oleh tiang-tiang pancang. Struktur tersebut serupa dengan struktur portal. *Software* Plaxis banyak digunakan di bidang geoteknik, seperti analisis stabilitas lereng, penahan tanah; dan dalam perencanaan dermaga lebih sesuai untuk analisis dermaga tipe tertutup. Diperlukan keahlian tersendiri untuk memahami dan menggunakan *software* tersebut.

Dengan menggunakan *software*, analisis hitungan bisa dilakukan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan cara konvensional. Sebagai contoh, dalam hitungan konvensional, karena keterbatasan kemampuan hitungan, dianggap bahwa gaya yang bekerja di suatu titik pada dermaga (misalnya akibat benturan atau tarikan pada alat penambat) hanya didukung oleh tiang-tiang yang ada di dekat titik pusat gaya. Sementara dengan menggunakan *software* SAP 2000, semua tiang dapat ikut mendukung gaya tersebut.

Meskipun telah tersedia *software* yang dapat digunakan untuk melakukan hitungan dengan cepat dan lebih teliti, seorang perencana harus tetap memahami prosedur perencanaan dan faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan; seperti gaya-gaya apa saja yang harus diperhitungkan dan metode perencanaan. *Software* hanya merupakan alat bantu untuk melakukan analisis.

Berikut ini diberikan beberapa tampilan dalam analisis struktur dermaga dengan menggunakan SAP 2000 dan Plaxis. Hitungan secara rinci tidak diberikan dalam buku ini.

1. Perencanaan dermaga dengan SAP 2000

Suatu pangkalan angkatan laut seperti terlihat dalam Gambar 6.31. terdiri dari beberapa fasilitas yaitu 1) dermaga kapal pemukul kawal rudal (PKR), 2) dermaga kapal cepat rudal (KCR), 3) dermaga kapal selam (KS), 4) dermaga kapal *Landing Ship Tank* (LST), 5) dermaga pemeliharaan dan perbaikan kapal (Harkan), 6) kolam putar, dan 7) pemecah gelombang (Yosep Bahari, 2008). Dermaga kapal pemukul kawal rudal (PKR) seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.32. Akan direncanakan *pier* dermaga kapal PKR yang melayani dua kapal di kedua sisinya.

Dermaga kapal pemukul kawal rudal (PKR) adalah dermaga yang digunakan oleh kapal jenis *fregat* (Gambar 6.33) dan *korvet* (Gambar 6.34) untuk mengisi logistik cair, logistik padat, amonisi dan persenjataan. Standardisasi dermaga kapal PKR adalah sebagai berikut ini.

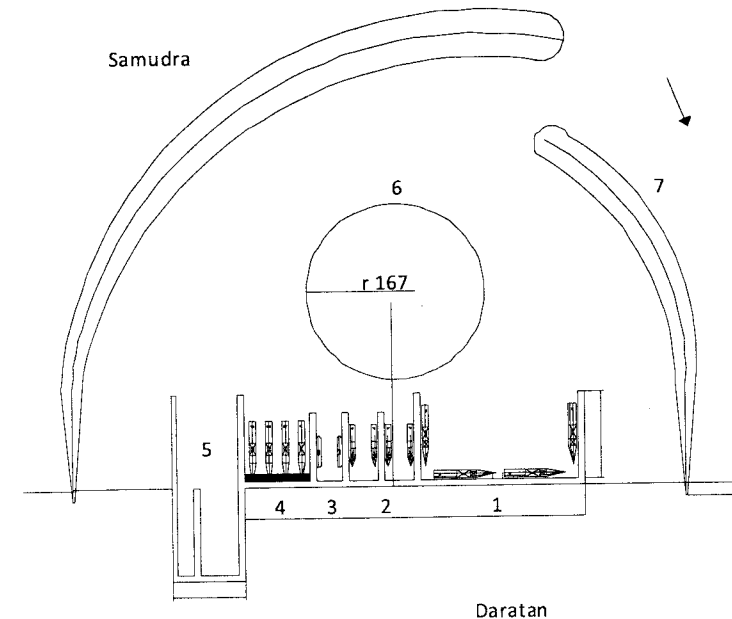
- a. Tipe : Satu sisi
- b. Konstruksi : Permanen, beton bertulang
- c. Daya Muat : Empat PK/ PKR berurutan
- d. Beban dermaga : 4000 kg/m^2
- e. Daya Bentur : 3000 kg.m

- f. Jumlah : 1 (satu) buah
- g. Kedalaman : Minimal 10 (sepuluh) meter
- h. Data kapal :

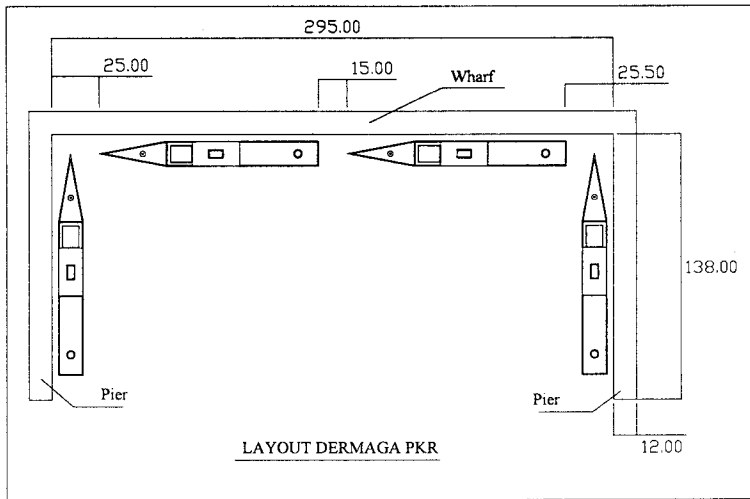
Pemukul Kawal Rudal (PKR)	Bobot (DWT)	Panjang (m)	Lebar (m)	Draft (m)
<i>Corvette</i>	1.450	85	11,10	3,30
<i>Frigates</i>	2.850	115	12,5	4,20

Dimensi pier :

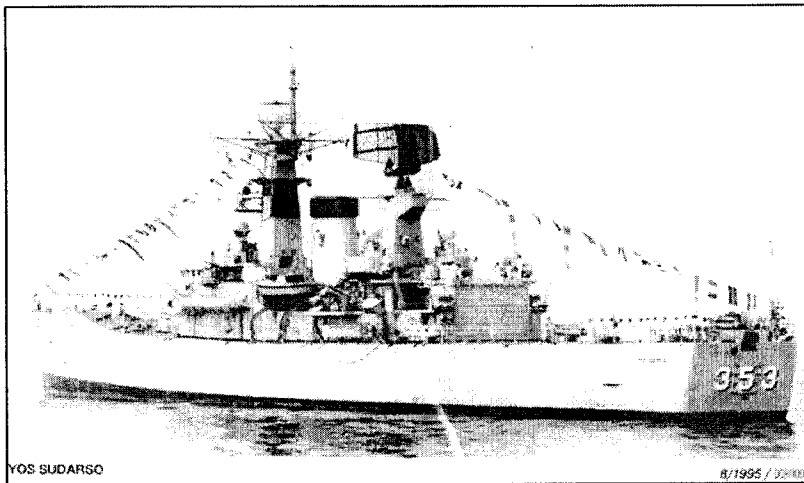
- a. Panjang *pier* : 138 m
- b. Lebar *pier* : 12 cm
- c. Tebal plat : 25 cm



Gambar 6.31. Rencana Pelabuhan Angkatan Laut



Gambar 6.32. Dermaga kapal pemukul kawal rudal (PKR)



Gambar. 6.33. Kapal jenis Fregat



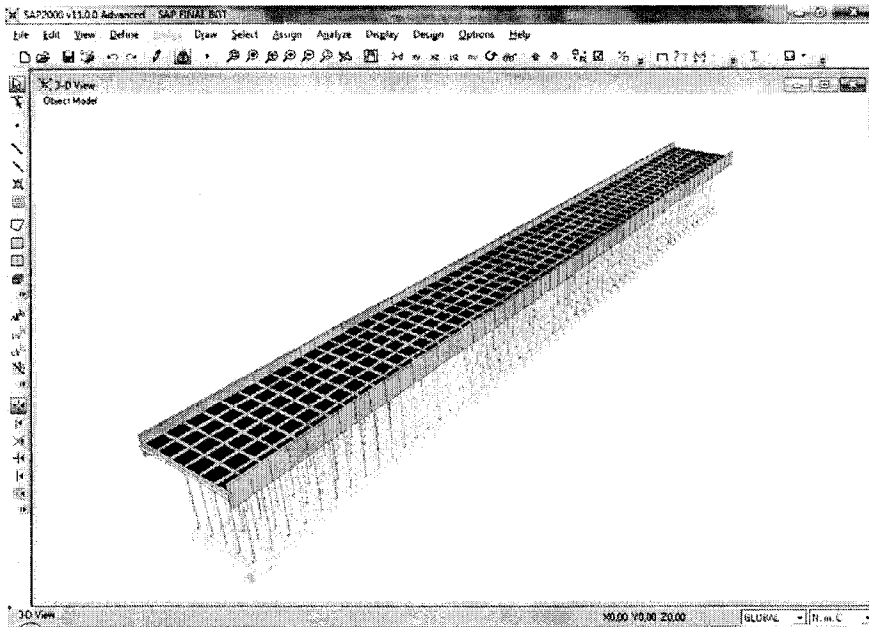
Gambar 6.34. Kapal jenis Corvette

Dalam perencanaan dermaga ini pertama kali dihitung gaya-gaya yang bekerja pada dermaga, di antaranya adalah gaya berat sendiri dermaga, beban di atas dermaga, gaya benturan kapal, gaya tarikan kapal karena angin, arus dan gelombang, dan gaya gempa. Gaya-gaya tersebut dihitung tersendiri dan kemudian dibebankan ke dermaga.

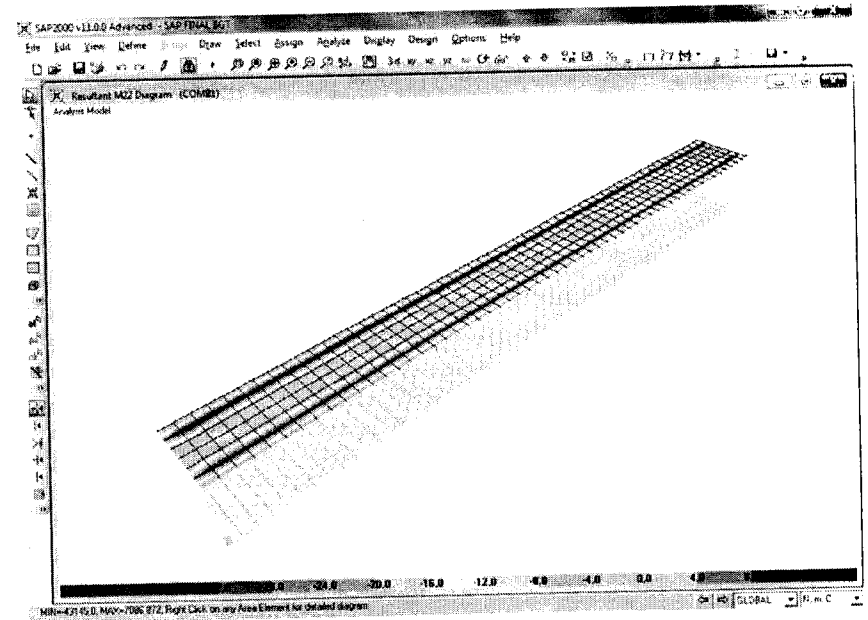
Gaya-gaya yang bekerja pada dermaga adalah kombinasi pembebanan berikut ini.

- 1) Beban mati + benturan kapal + tekan arus + angin
- 2) Beban mati + tarik *bollard*
- 3) Beban mati + beban hidup + tarik *bollard*
- 4) Beban mati + beban gempa I, searah memanjang dermaga
- 5) Beban mati + beban gempa II, searah melintang dermaga
- 6) Beban mati + beban gempa I + beban gempa II

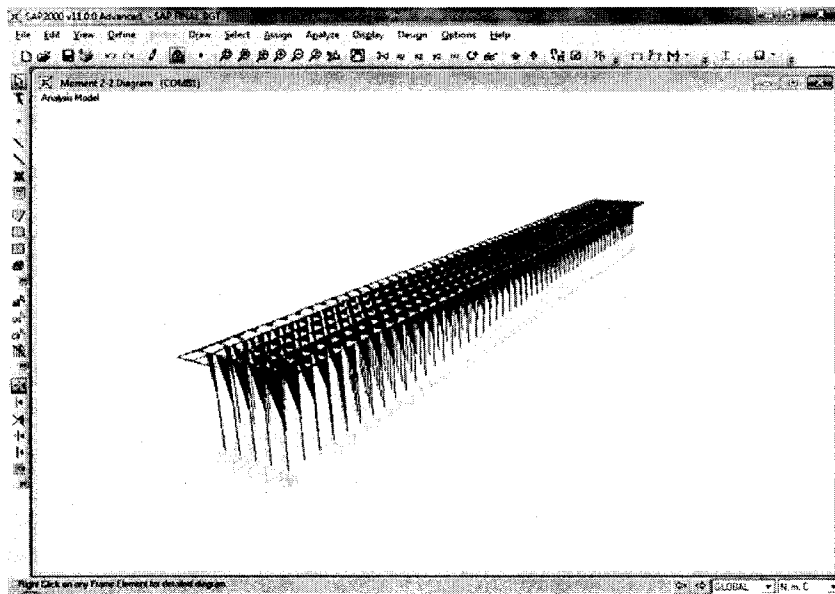
Kapasitas dukung tiang pancang dihitung secara statis dengan menggunakan Metode Terzaghi dan Meyerhof. Gaya-gaya yang terjadi pada struktur dihitung dengan menggunakan *software* SAP 2000, dan hasilnya dibandingkan dengan kapasitas dukung tiang pancang. Hasil hitungan SAP 2000 juga digunakan untuk merencanakan struktur dermaga. Gambar 6.35. sampai 6.39. menunjukkan hasil hitungan dengan menggunakan SAP 2000.



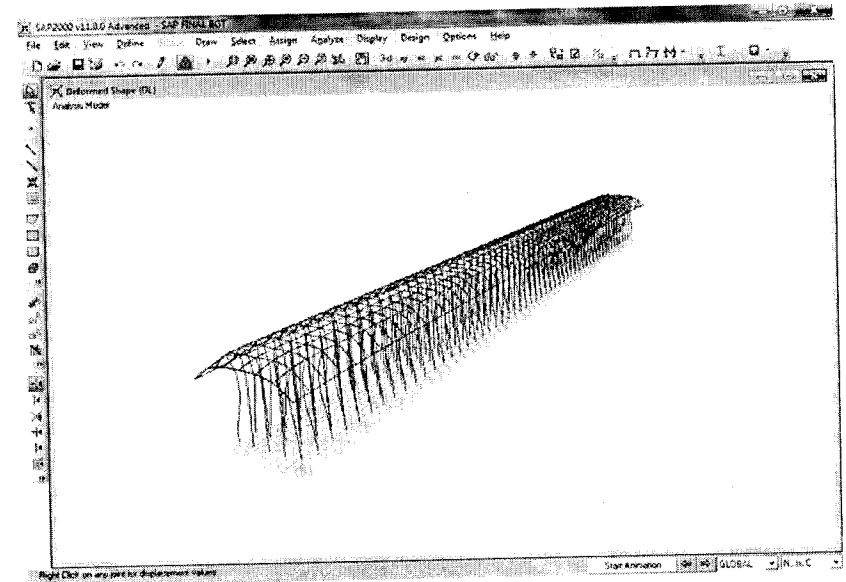
Gambar 6.35 Pemodelan 3D dermaga pada SAP 2000



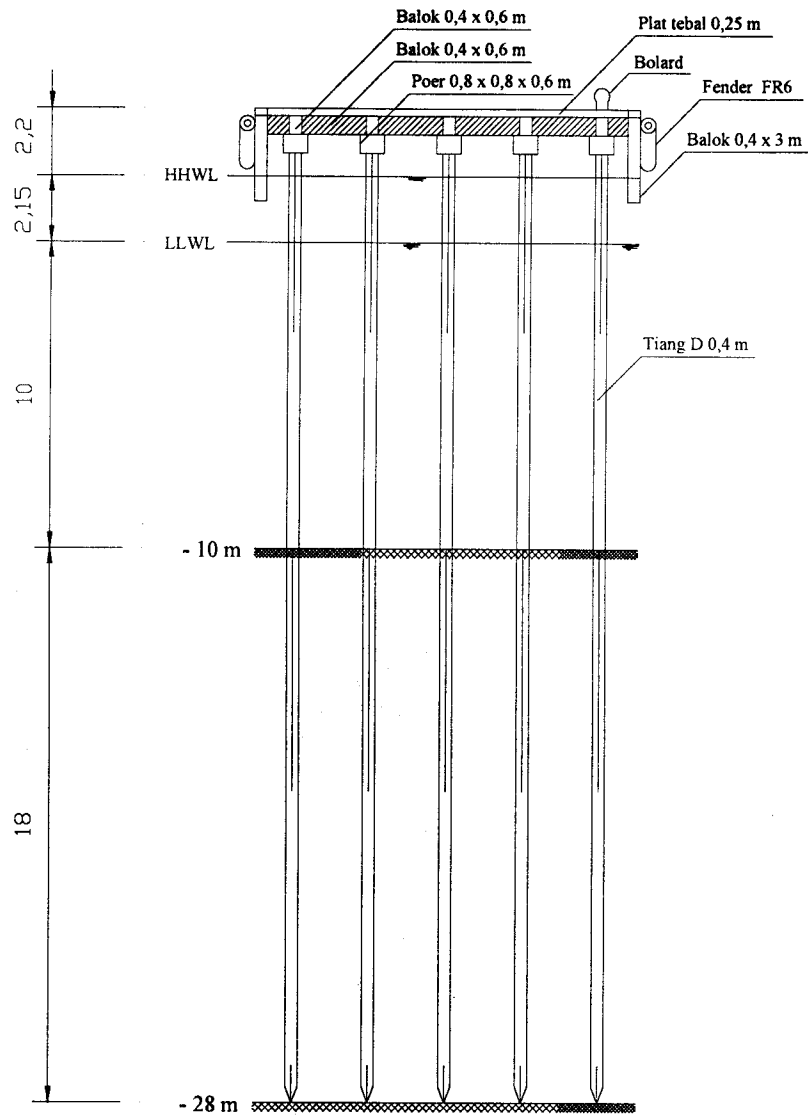
Gambar 6.37. Resultan M22 hasil SAP 2000



Gambar 6.36. Diagram momen hasil SAP 2000



Gambar 6.38. Defleksi dermaga hasil SAP 2000



Gambar 6.39. Hasil perencanaan dermaga

2. Perencanaan Turap dengan software Plaxis

Berikut ini diberikan contoh perencanaan dermaga sisi tertutup dengan menggunakan turap pada Dermaga Pelabuhan Ikan Glagah Kabupaten Kulon Progo Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (JTSL, 2007). Data dermaga diberikan berikut ini.

- Panjang dermaga : 800 m
- Lebar dermaga : 6 m
- Elevasi Pemancangan : +3.00
- Jenis turap : beton
- Jenis angkur : baja
- Panjang turap maksimum yang dapat dipancang : 11 m
- Kedalaman pelabuhan : 4,5 m
- Beban di atas dermaga : $0,5 \text{ t/m}^2$
- Kapal terbesar : 100 GT
- Karakteristik tanah adalah:
 - $\Phi = 38^\circ$
 - $\gamma_b = 1,94 \text{ t/m}^3$
 - $\gamma_{\text{sat}} = 2 \text{ t/m}^3$
 - $\gamma' = 1 \text{ t/m}^3$
 - $C = 0 \text{ kN/m}^2$

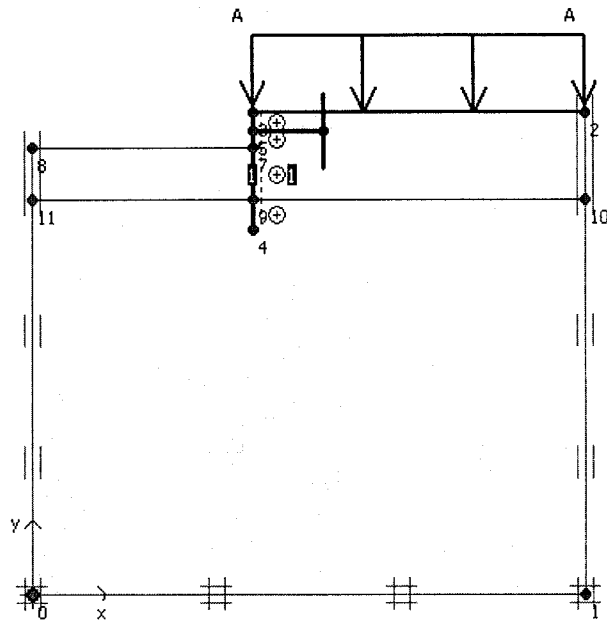
Simulasi model dengan membuat dan mendefinisikan geometri model pada plaxis input. Model geometri struktur yang harus dibuat dan didefinisikan terdiri dari dua macam, yaitu geometri tanah (*soil model*) dan model konstruksi turap (*beam model*).

a. Pemodelan struktur dan geometri tanah

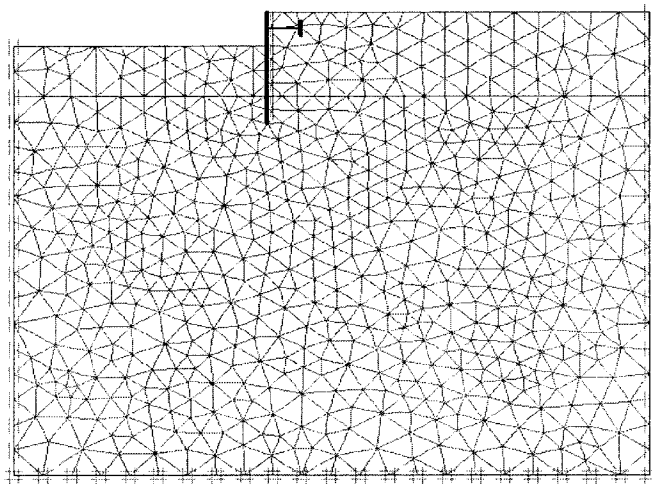
Pemodelan struktur dan geometri tanah adalah dengan menggunakan fungsi geometri line yang dapat dipilih pada geometri menu maupun dengan memilih geometri line icon pada general tool bar.

- 1) Pemodelan lapisan tanah
- 2) Pemodelan turap
- 3) Pemodelan angkur

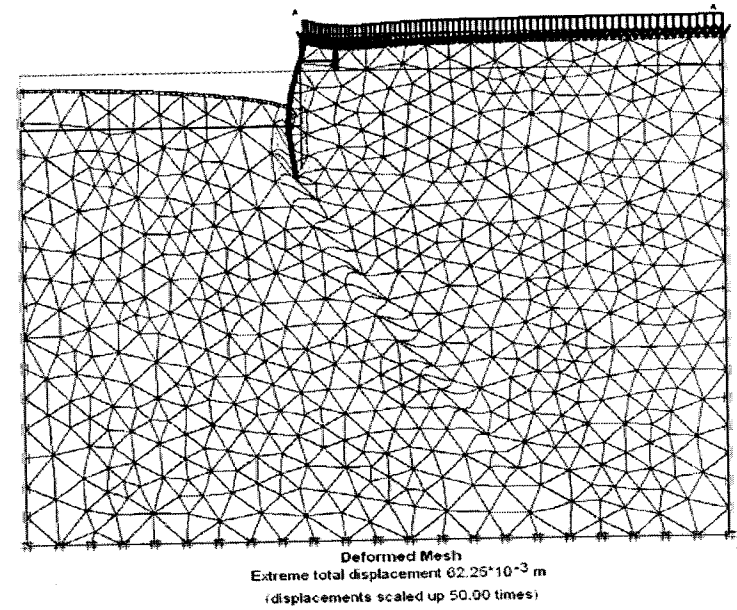
Gambar 6.40. sampai 6.44. menunjukkan hasil hitungan dengan menggunakan *software* Plaxis.



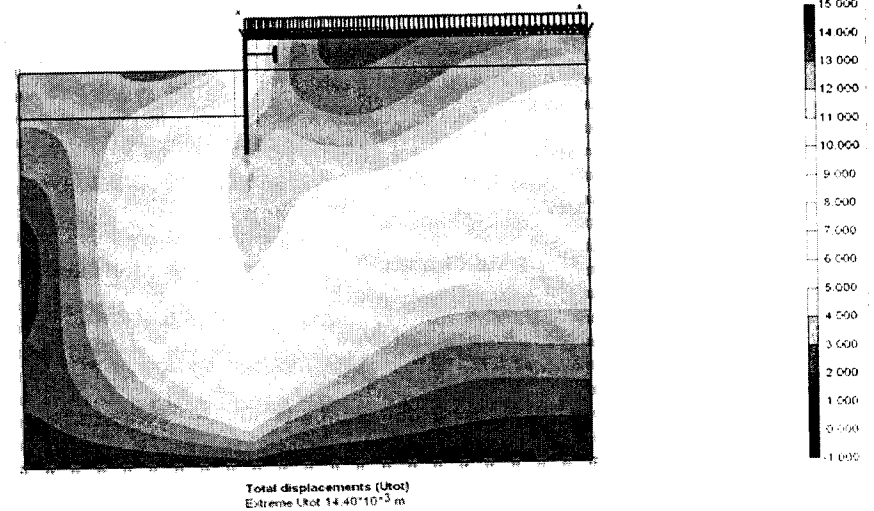
Gambar 6.40. Pemodelan struktur



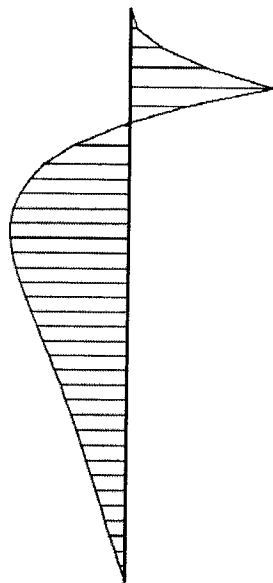
Gambar 6.41. Diskretisasi model (meshing model)



Gambar 6.42. Deformation mesh



Gambar 6.43. Total displacement model



Gambar 6.44. Bending momen

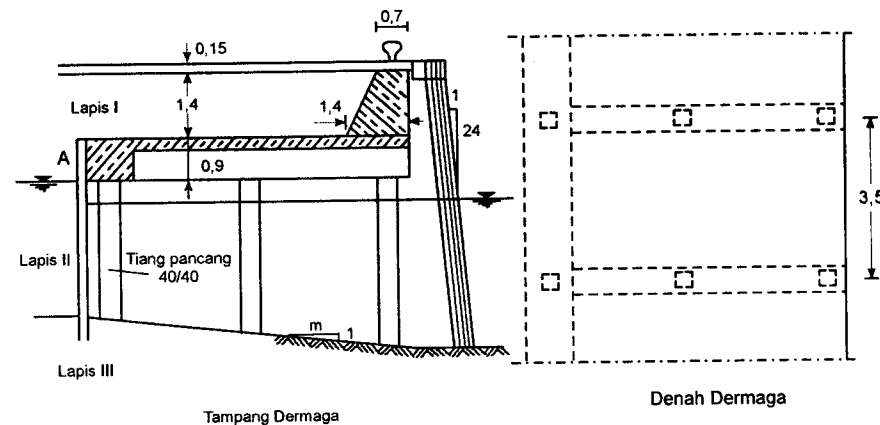
Hasil analisis model memberikan nilai *bending moment* sebesar $M = 69,27 \text{ kNm/m} \approx 7,0 \text{ tm}$. Digunakan turap beton produksi Wika dengan tipe W 350 B-1000 dengan panjang 11 m yang mempunyai kapasitas momen sebesar 17 tm. Jarak antar angker adalah 3 m dan diameter angker 30 mm dengan panjang 10 m.

6.7.2. Contoh Perencanaan Dermaga Secara Konvensional

Di dalam sub bab ini diberikan contoh perencanaan dermaga secara konvensional, yang dimaksudkan untuk memberi pemahaman tentang prosedur perencanaan. Diharapkan pembaca telah dibekali beberapa ilmu pendukung seperti mekanika tanah, fondasi dan analisis struktur. Ilmu-ilmu pendukung tersebut tidak di bahas dalam buku ini. Dalam perencanaan dermaga ini juga digunakan fender sebagai penahan benturan antara kapal dan dermaga, yang dijelaskan lebih rinci dalam Bab VII.

Direncanakan suatu dermaga untuk berlabuh kapal berukuran 4000 ton. Bentuk dermaga seperti terlihat dalam Gambar 6.45. Lebar der-

maga adalah 7 m dan jarak antara balok melintang adalah 3,5 m. Sifat tanah adalah sebagai berikut ini.



Gambar 6.45. Tampang lintang dan denah dermaga

Tanah lapis I

Berat jenis tanah timbunan : $\gamma = 1,7 \text{ gr/cm}^3$

Sudut gesek dalam : $\phi = 31^\circ$

Tanah lapis II

Berat jenis tanah timbunan : $\gamma' = 1,0 \text{ gr/cm}^3$

Sudut gesek dalam : $\phi = 28^\circ$

Perbedaan muka air di hulu dan hilir dermaga : $h_1 = 0,4 \text{ m}$

Kedalaman air dermaga : $h_2 = 2,7 \text{ m}$

Koefisien permeabilitas tanah : $k_1 = 1,1 \times 10^{-2}$

Tanah lapis III

Berat jenis tanah timbunan : $\gamma' = 1,0 \text{ gr/cm}^3$

Sudut gesek dalam : $\phi = 28^\circ$

Kemiringan dasar pelabuhan di depan dermaga : $m = 4$

Kohesi tanah : $C = 0,05 \text{ kg/cm}^2$

Koefisien permeabilitas tanah : $k_2 = 1,1 \times 10^{-3}$

Beberapa data lainnya

Ukuran tiang pancang : 40 cm x 40 cm

Berat jenis beton : $2,4 \text{ gr/cm}^3$

$\sigma_{Larsen} = 1800 \text{ kg/cm}^2$

Perencanaan

Di dalam perencanaan dermaga ini perlu dihitung gaya-gaya luar yang bekerja pada bangunan, yang terdiri dari :

1. Tekanan air pada turap
2. Tekanan tanah pada turap, yang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :
 - a. Tekanan tanah aktif di belakang turap
 - b. Tekanan tanah pasif di depan bagian turap yang dipancangkan ke dalam tanah.
3. Gaya tarikan kapal.
4. Gaya benturan kapal.

1. Perencanaan turap sebagai penahan tanah pada sisi belakang dermaga

Distribusi tekanan air yang bekerja pada turap dapat dilihat dalam Gambar 6.21.

a. Tekanan air

Karena adanya perbedaan elevasi muka air di hulu dan hilir turap maka akan terjadi aliran air dari hulu ke hilir turap. Aliran tersebut terjadi karena adanya gradien hidraulis pada tanah lapis II dan III. Karena adanya aliran tersebut maka terjadi pengurangan distribusi tekanan air, dari sebesar a pada elevasi muka air di hilir turap (pelabuhan) menjadi b pada batas antara lapis II dan III, dan akhirnya menjadi c pada ujung bawah turap.

Hitungan tekanan air a , b dan c diberikan berikut ini.

Koefisien permeabilitas lapisan II : k_1

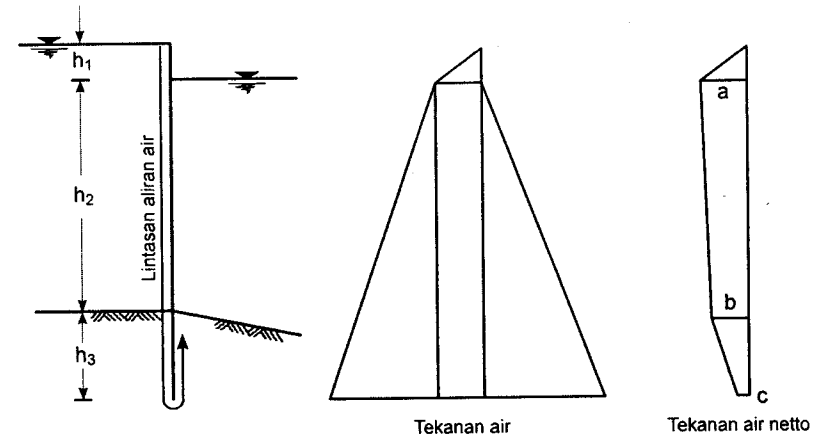
Koefisien permeabilitas lapisan III : k_2

Gradien hidraulis lapisan II = i_1

Gradien hidraulis lapisan III = i_2

Tekanan tanah pada elevasi muka air di hilir turap (pelabuhan) adalah :

$$a = h_1 \gamma_w = 0,4$$



Gambar 6.46. Distribusi tekanan air

Kecepatan aliran adalah :

$$v = k_1 i_1 = k_2 i_2 \rightarrow 1,1 \cdot 10^{-2} i_1 = 1,2 \cdot 10^{-3} i_2$$

$$i_1 = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{1,1 \cdot 10^{-2}} i_2 = \frac{0,12}{1,1} i_2$$

$$(h_1 + h_2) i_1 + 2 i_2 h_3 = a \rightarrow 3,1 \times \frac{0,12}{1,1} i_2 + 2 i_2 h_3 = 0,4$$

$$i_2 = \frac{0,4}{\frac{0,372}{1,1} + 2 h_3}$$

$$i_1 = \frac{0,12}{1,1} \times \frac{0,4}{\frac{0,372}{1,1} + 2h_3}$$

$$b = a - i_1 h_2$$

$$b = 0,4 - \frac{0,12}{1,1} \frac{0,4}{\frac{0,372}{1,1} + 2h_3} 2,7 = 0,4 - 0,324 \frac{0,4}{0,372 + 2,2h_3}$$

$$c = b - i_2 h_3$$

$$c = 0,4 - \frac{0,4}{\frac{0,372}{1,1} + 2h_3} 2,7 - \frac{0,4}{\frac{0,372}{1,1} + 2h_3} h_3$$

$$= 0,4 - \frac{0,1296 + 0,44h_3}{0,372 + 2,2h_3}$$

b. Tekanan Tanah

Rumus tekanan tanah dapat dilihat dalam buku mekanika tanah dan fondasi. Dalam buku ini langsung digunakan pemakaiannya. Gambar 6.47. menunjukkan distribusi tekanan tanah dan superposisinya dengan tekanan air. Tekanan tanah aktif dan pasif mempunyai bentuk :

$$p_a = \gamma K_a \quad \text{dengan} \quad K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

$$p_p = \gamma K_p \quad \text{dengan} \quad K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$$

atau

$$p_{p1} = \gamma K_{p1} \quad \text{dengan} \quad K_{p1} = \left\{ \frac{\cos \varphi}{1 - \sqrt{\sin \varphi (\sin \varphi - \cos \varphi \tan \theta)}} \right\}^2$$

di mana :

p_a : tekanan tanah aktif

p_p : tekanan tanah pasif

p_{p1} : tekanan tanah pasif untuk permukaan tanah miring

γ : berat jenis tanah

K_a : tekanan tanah aktif

K_p : tekanan tanah pasif

K_{p1} : koefisien tekanan tanah pasif dengan permukaan tanah miring

φ : sudut gesek dalam

θ : sudut kemiringan tanah dasar di depan turap

Tanah lapis I

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \tan^2(45^\circ - \frac{31^\circ}{2}) = 0,3201$$

Tanah lapis II

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \tan^2(45^\circ - \frac{28^\circ}{2}) = 0,361$$

Tanah lapis III

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \tan^2(45^\circ - \frac{28^\circ}{2}) = 0,361$$

Tekanan tanah pasif terjadi pada tanah lapis III :

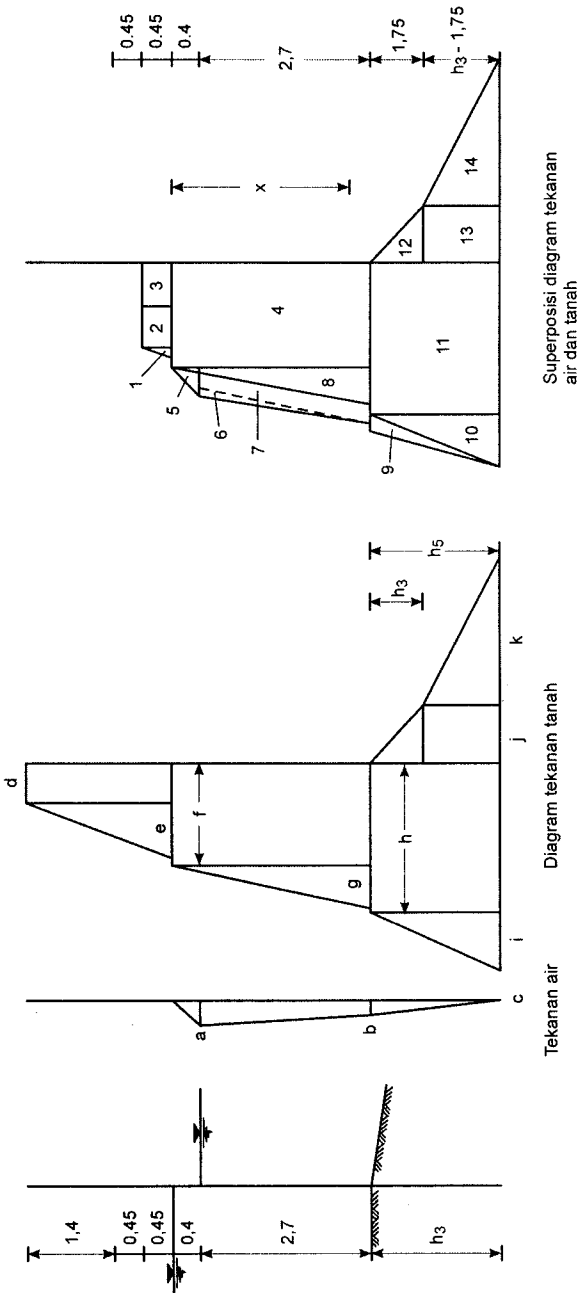
1. Bagian tanah dasar pelabuhan dengan kemiringan m (di depan turap) :

$$K_{p1} = \left\{ \frac{\cos \varphi \text{ III}}{1 - \sqrt{\sin \varphi \text{ III} (\sin \varphi \text{ III} - \cos \varphi \text{ III} \tan \theta)}} \right\}^2$$

$$K_{p1} = \left\{ \frac{\cos 28^\circ}{1 - \sqrt{\sin 28^\circ (\sin 28^\circ - \cos 28^\circ \times 0,25)}} \right\}^2$$

$$K_{p1} = \left\{ \frac{0,88295}{1 - \sqrt{0,46847(0,46947 - 0,88295 \times 0,25)}} \right\}^2$$

$$K_{p1} = 1,7991$$



Gambar 6.47. Distribusi tekanan tanah dan air

2. Bagian tanah dasar pelabuhan yang datar (di depan dermaga) :

$$K_{p2} = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) = \tan^2(45^\circ + \frac{28^\circ}{2}) = 2,7698$$

Beban merata di atas dermaga (berat jenis aspal adalah 2,2) :

$$q = 3 + 0,15 \times 1 \times 2,2 = 3,33 \text{ t/m'}$$

Tekanan tanah pada masing-masing elevasi dihitung di bawah ini (lihat Gambar 6.47.)

$$d = qK_{at} = 3,33 \times 0,3201 = 1,0659$$

$$e = h_1 \gamma_1 K_{at} = 2,3 \times 1,7 \times 0,3201 = 1,2516$$

$$f = (qK_{at} + h_1 \gamma_1 K_{at}) = 3,33 \times 0,361 + 2,3 \times 1,7 \times 0,3201 = 2,4537$$

$$g = (h_1 + h_2) \gamma'_{II} K_{at} = (0,4 + 2,7) \times 1 \times 0,361 = 1,1191$$

$$\begin{aligned} h &= (qK_{at} + h_1 \gamma_1 K_{at} + (h_1 + h_2) \gamma'_2 K_{at}) \\ &= (3,33 \times 0,361 + 2,3 \times 1,7 \times 0,361 + (0,4 + 2,7) \times 1 \times 0,361) \\ &= 3,7327 \end{aligned}$$

$$i = h_3 \gamma'_{III} K_{at} = h_3 \times 1 \times 0,361 = 0,361 h_3$$

$$j = h_3 \gamma'_{III} K_p = 1,75 \times 1 \times 1,7991 = 3,1484$$

$$\begin{aligned} k &= (h_3 - h_5) \gamma'_{III} K_{p2} = (h_3 - 1,75) \times 1 \times 2,7698 \\ &= 2,7698 h_3 - 4,8472 \end{aligned}$$

c. Kedalaman turap yang dipancang

Kedalaman pemancangan turap ditentukan berdasarkan momen tekanan tanah pasif terhadap titik tumpu pada sisi atas harus lebih besar dari momen tekanan tanah aktif. Perbandingan antara kedua nilai tersebut harus lebih besar dari satu, untuk memperhitungkan keamanan. Biasanya digunakan nilai keamanan antara 1,25 dan 1,50.

Berdasarkan nilai tekanan air dan tekanan tanah seperti tersebut di atas, dihitung gaya-gaya dan momen terhadap titik A (perletakan pada sisi atas turap). Hitungan selengkapnya dilakukan pada Tabel 6.3; dan hasilnya adalah persamaan berikut ini.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-0,803h_3^3 - 1,5597h_3^2 + 19,2817h_3 + 13,7179 + \frac{0,1467h_3^3 + 1,5652h_3^2}{2,2h_3 + 0,372} + \frac{5,3061h_3 + 0,4203}{2,2h_3 + 0,372} = 0$$

Persamaan di atas diselesaikan dengan cara coba banding untuk mendapatkan kedalaman turap yang dipancang :

$$h_3 = 4,5 \rightarrow 2,4806 > 0$$

$$h_3 = 4,6 \rightarrow -1,8662 < 0$$

$$h_3 = 4,55 \rightarrow 0,338 \approx 0$$

Didapat kedalaman turap yang dipancang adalah $h_3=4,55$ m. Dengan memberikan nilai keamanan 1,4 maka kedalaman turap yang dipancang : $h = 1,4 \times 4,55 = 6,37$ m .

d. Mencari reaksi gaya pada titik tumpu A, R_A .

Jumlah momen terhadap ujung bawah turap (kedalaman turap hasil hitungan yaitu $h_3=4,55$ m).

$$\Sigma M_{D_0} = 0$$

$$0,0551 \times 7,8 + 0,453 \times 7,875 + 0,4797 \times 7,875 + 7,6065 \times 5,9 + 0,08 \times 7,5167 + 0,0169 \times 6,35 + 1,0463 \times 5,9 + 1,7346 \times 5,45 + 0,8816 \times 3,0333 + 3,7368 \times 1,5167 + 16,9838 \times 2,275 - 2,7549 \times 3,9667 - 8,8155 \times 1,4 - 10,8574 \times 0,9333 = R_A \times 8,1$$

Didapat :

$$R_A = 10,1933 \text{ ton}$$

Tabel 6.3. Hitungan Gaya dan Momen

No.	GAYA	LENGAN KEA	MOMEN TERHADAP A
1	$0,5 \times 0,45 \times 0,2449 = 0,0551$	0,3	0,0165
2	$0,45 \times 1,0067 = 0,453$	0,225	0,1019
3	$0,45 \times 1,0659 = 0,4797$	0,225	0,1079
4	$3,1 \times 2,4537 = 7,6065$	2	15,213
5	$0,5 \times 0,4^2 = 0,08$	0,7167	0,0573
6	$0,5 \times 2,7 \times \frac{0,324 \times 0,4}{0,372 + 2,2h_3} = \frac{0,175}{2,2h_3 + 0,372}$	1,75	$\frac{0,3063}{2,2h_3 + 0,372}$
7	$2,7 \times \frac{0,88h_3 + 0,0192}{2,2h_3 + 0,372} = \frac{2,376h_3 + 0,0518}{2,2h_3 + 0,372}$	2,2	$\frac{5,2272h_3 + 0,114}{2,2h_3 + 0,372}$
8	$0,5 \times 3,1 \times 1,1191 = 1,7346$	2,5167	4,3655
9	$0,5 \times h_3 \times \frac{0,88h_3 + 0,0192}{2,2h_3 + 0,372} = \frac{0,44h_3^2 + 0,0096H_3}{2,2h_3 + 0,372}$	$0,333 h_3 + 3,55$	$\frac{0,1467h_3^3 + 1,5652h_3^2 + 0,0341h_3}{2,2h_3 + 0,372}$
10	$0,5 \times 0,361 \times h_3^2 = 0,1805h_3^2$	$0,666 \times h_3 + 3,55$	$0,1203h_3^3 + 0,6408h_3^2$
11	$3,7372 \times h_3 = 3,7372h_3$	$0,5 h_3 + 3,55$	$1,8664h_3^2 + 13,2511h_3$
12	$0,5 \times 1,75 \times 3,1484 = 2,7549$	-4,7167	-12,9940
13	$3,1484(h_3 - 1,75) = 3,1484h_3 - 5,5097$	$-(0,5 h_3 + 4,425)$	$-(1,5742h_3^2 + 11,1768h_3 - 24,3804)$
14	$0,5(2,7698h_3 - 4,8472)(h_3 - 1,75) = 1,3849h_3^2 - 4,8472h_3 + 4,2413$	$-(0,333 h_3 + 4,1333)$	$-(0,9233h_3^3 + 2,4927h_3^2 - 17,2074h_3 + 17,5306)$

e. Mencari momen maksimum

Momen maksimum terjadi pada titik di mana nilai $SF_x = 0$

$$10,1933 - 0,0551 - 0,453 - 0,4797 - 0,08 - 2,4537x - \frac{1}{2} \frac{1,1191}{3,1} x^2$$

$$-0,3875(x - 0,4) + 0,0023x^2 - 0,0143x + 0,0054 = 0$$

$$-0,1782x^2 - 2,8555x + 9,2859 = 0$$

$$x = \frac{-2,8555 \pm \sqrt{2,8555^2 + 4 \times 0,1782 \times 9,2859}}{2 \times 0,1782}$$

$$x = \frac{-2,8555 + 3,8435}{2 \times 0,1782} = 2,7722 \text{ m}$$

Momen maksimum adalah :

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 0,0551 \times 2,9222 + 0,9327 \times 2,9972 + 0,08 \times 2,5055 \\ &+ \frac{1}{2} \times 2,4537 \times 2,7722^2 + \frac{1}{2} \times 1,0008 \times 2,7722 \times \frac{1}{3} \times 2,7722 \\ &+ 0,3875 \times \frac{1}{2} \times 2,3722^2 + \frac{1}{2} \times 2,3722 \times 0,0125 \times \frac{2}{3} \times 2,3722 \\ &+ \frac{1}{2} \times 2,3722 \times 0,0015 \times \frac{1}{3} \times 2,3722 - 10,1933 \times 3,2222 \\ &= -17,86243 \text{ tm} = -1786243 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Tegangan lentur yang terjadi dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

dengan :

σ : tegangan lentur (untuk baja $\sigma = 1800 \text{ kg/cm}^2$)

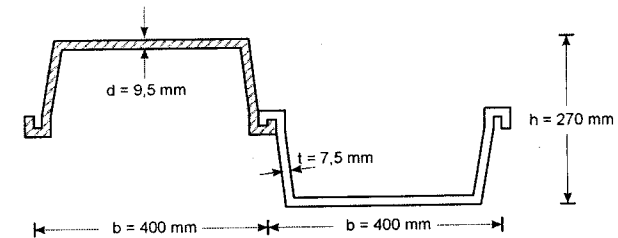
M : momen lentur

W : modulus tampang

$$W = \frac{M}{\sigma} = \frac{1896243}{1800} = 992,4 \text{ cm}^3$$

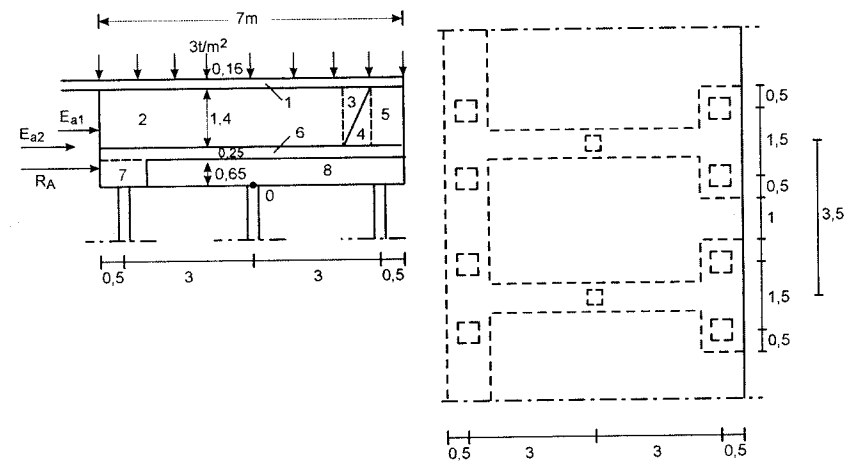
Dipakai turap baja profil dengan ukuran berikut ini.

$$\begin{aligned} W &= 1100 \text{ cm}^3 & h &= 270 \\ F &= 156 \text{ cm}^2 & d &= 9,5 \\ b &= 400 & t &= 7,5 \end{aligned}$$



2. Perencanaan tiang pancang

Gambar 6.48. adalah denah dan tampang lintang dermaga. Dalam gambar tersebut diberikan pula gaya horisontal yang berasal dari tekanan tanah aktif yang ditimbulkan oleh tanah timbunan di atas dermaga dan gaya reaksi RA yang telah dihitung sebelumnya. Daya dukung tiang terhadap gaya horisontal yang diijinkan adalah 0,7 ton.



Gambar 6.48. Perencanaan tiang pancang pendukung dermaga

Untuk merencanakan tiang pancang pendukung dermaga dihitung gaya-gaya vertikal dan horisontal serta momen gaya terhadap titik tengah pada sisi dasar dermaga (titik *O*). Hitungan gaya dan momen untuk tiap meter panjang diberikan dalam Tabel 6.4.a. dan 6.4.b.

Lebar balok melintang adalah 0,6m dan jarak balok lintang adalah $b=3,5m$. Untuk pias sepanjang 3,5m; gaya-gaya dan momen adalah:

$$V = 52,396 \times 3,5 + (2,5 - 0,6) \times 1 \times 0,65 \times 2,4 = 186,35 t$$

$$M = (1,2354 + 8,2917)3,5 + 2,964 \times 3 = 42,2369 t$$

$$H = 13,0964 \times 3,5 = 45,8374 t$$

Tabel 6.4.a. Hitungan gaya vertikal dan momen terhadap titik *O*

	Gaya Vertikal (t)		Lengan ke <i>O</i>	Momen ke <i>O</i>
1	$0,15 \times 6,3 \times 2,2 = 2,079$	=	-0,35	-0,7277
2	$1,4 (7 - 1,4) 1,7 = 13,328$	=	-0,70	-9,3296
3	$1/2 \times 0,7 \times 1,4 \times 1,7 = 0,833$	=	2,3333	1,9437
4	$1/2 \times 0,7 \times 1,4 \times 2,4 = 1,176$	=	2,5667	3,0184
5	$0,7 \times 1,55 \times 2,4 = 2,604$	=	3,15	8,2026
6	$0,25 \times 7 \times 2,4 = 4,200$	=	0,0	0
7	$1 \times 0,65 \times 2,4 = 1,560$	=	-3,0	-4,68
8	$0,6 \times 0,65 \times 6 \times 2,4 = 5,616$	=	0,5	2,808
9	$Q = 3 \times 7 = 21,000$	=	0,0	0
	$\Sigma V = 52,396$	=	$\Sigma M =$	1,2354

Tabel 6.4.b. Hitungan gaya horisontal dan momen terhadap titik *O*

	Gaya Horisontal (t)		Lengan ke <i>O</i>	Momen ke <i>O</i>
1	$(1,4 + 0,45) 1,0659 = 1,9719$	=	1,3750	2,7114
2	$1/2 \times 1,0067 (1,4 + 0,45) = 0,9312$	=	1,0667	0,9933
3	$R_A = 10,1933$	=	0,4500	4,5870
	$\Sigma H = 13,0964$	=	$\Sigma M =$	8,2917

Jumlah tiang yang mendukung dermaga adalah 5 buah untuk setiap 3,5 m panjang. Dengan penempatan tiang seperti terlihat dalam gambar, jarak tiang-tiang tersebut terhadap titik *O* adalah :

Absis tiang-tiang :

$$x_1 = x_2 = -3 m$$

$$x_3 = 0 m$$

$$x_4 = x_5 = 3 m$$

$$\Sigma x^2 = 2 \times 3^2 + 2 \times 3^2 = 36 m^2 \text{ tiang}$$

Gaya vertikal yang bekerja pada tiap tiang dihitung dengan rumus berikut ini.

$$p = \frac{V}{n} + \frac{\Sigma Mx}{\Sigma x^2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{186,35}{5} + \frac{42,2369(-3)}{36} = 33,7503 t$$

$$p_3 = \frac{186,35}{5} + \frac{42,2369(0)}{36} = 37,27 t$$

$$p_4 = p_5 = \frac{186,35}{5} + \frac{42,2369(3)}{36} = 40,7897 t$$

Gaya horisontal yang bekerja pada tiap tiang adalah:

$$T = \frac{H}{n} = \frac{45,8374}{5} = 9,1675 t > \bar{T} = 0,7 t$$

Gaya horisontal tersebut lebih besar dari gaya dukung yang diijinkan tiang. Untuk bisa menahan gaya horisontal tersebut maka tiang-tiang dipancang miring dengan kemiringan sebagai berikut :

Tiang 1, 2, 3 dibuat miring 3:1

Tiang 4 dan 5 dibuat miring 6:1

Proyeksi vertikal dan horisontal dari gaya dukung tiang diberikan dalam Tabel 6.5.

Tabel 6.5. Proyeksi vertikal dan horisontal dari gaya dukung tiang

Tiang	m:1	V (t)	h (t)	P(t)
1	3:1	33,7503	11,2501	35,5759
2	3:1	33,7503	11,2501	35,5759
3	3:1	37,2700	12,4233	39,2860
4	6:1	40,7897	6,7983	41,3523
5	6:1	40,7897	6,7983	41,3523
		$\Sigma h =$	48,5201	

Gaya horisontal yang bekerja pada tiap tiang adalah :

$$H - \Sigma h = 45,8374 - 48,5201 = -2,6827 \text{ ton}$$

$$T = \frac{-2,6827}{5} = -0,5365 t < \bar{T} = 0,7 t$$

Karena gaya yang bekerja pada tiang lebih kecil daripada gaya dukung ijin, berarti tiang tersebut aman.

a. Menentukan panjang tiang

Gaya dukung tiang dihitung terhadap gesekan dan lekatan tiang.

1) Tiang gesekan, dihitung dengan rumus berikut ini.

$$p = \frac{1}{3} k \frac{1}{2} z^2 \gamma k_0 \tan \varphi$$

dengan

$$k_0 = 1 + \tan^2 \varphi$$

dimana

k : keliling tiang

z : panjang tiang dalam tanah

Gaya dukung tiang terhadap gesekan adalah :

$$\bar{p} = \frac{1}{3} \times 4 \times 0,4 \times \frac{1}{2} \times z^2 \times 1(1 + \tan 28^\circ) \tan 28^\circ = 0,181875 z^2$$

2) Tiang lekatan, dihitung dengan rumus berikut ini.

$$p = \frac{1}{3} kzC$$

dengan C : kohesi tanah yang dalam contoh ini nilainya adalah $0,05 \text{ kg/cm}^2 = 0,5 \text{ t/m}^2$.

$$p = \frac{1}{3} \times 4 \times 0,4 \times z \times 0,5 = 0,266666 z$$

Gaya dukung tiang total (gesekan dan lekatan) :

$$\bar{p}_{total} = 0,181875 z^2 + 0,266666 z$$

Dengan menyamakan gaya dukung tiang total dengan gaya maksimum yang bekerja pada satu tiang, akan didapat panjang tiang yang harus dipancang.

$$\bar{p}_{total} = 0,181875 z^2 + 0,266666 z = 41,3523$$

$$0,181875 z^2 + 0,266666 z - 41,3523 = 0$$

$$z = \frac{-0,266666 + \sqrt{0,266666^2 + 4 \times 0,181875 \times 41,3523}}{2 \times 0,181875} = 14,36 \text{ m}$$

Panjang tiang total :

$$L = 14,36 + \frac{\sqrt{10}}{3} \times 4,85 = 19,47 \text{ m} \approx 20 \text{ m}$$

b. Tinjauan terhadap muatan darurat

Muatan darurat berasal dari:

1. Muatan normal + benturan kapal
2. Muatan normal + tarikan kapal

1. Muatan normal + benturan kapal

Akibat muatan normal dan benturan kapal tidak ditinjau karena gaya akibat benturan kapal mempunyai arah yang berlawanan dengan arah R_A dan E_a (akibat tekanan tanah aktif di atas turap). Dengan demikian nilai gaya horisontal (H) berkurang, sehingga dermaga lebih aman.

2. Muatan normal + tarikan kapal

Gaya tarik untuk tiap *bollard* (tambatan) adalah 35 ton

Jarak antara *bollard* = 21 m

Di antara *bollard* terdapat $21/3,5 = 6$ balok melintang.

Satu baris tiang menahan gaya sebesar $P = \frac{35}{6} = 5,8333 \text{ t}$.

Jarak vertikal antara gaya horisontal pada *bollard* dan titik O adalah :

$$h = 0,9 + 1,4 + 0,15 + 0,5 = 2,95 \text{ m}$$

Momen akibat tarikan kapal :

$$M = 5,8333 \times 2,95 = 17,2083 \text{ tm}$$

$$\Sigma M = 42,2369 + 17,2083 = 59,4452 \text{ tm}$$

$$\Sigma H = 45,8374 + 5,8333 = 51,6707 \text{ t}$$

Hitungan gaya dukung tiang miring diberikan dalam Tabel 6.6. sehingga :

$$H - \Sigma h = 51,6707 - 48,0421 = 3,6286 \text{ t}$$

$$T = \frac{3,6286}{5} = 0,7257 \text{ t} < \bar{T} = 1 \text{ t}$$

Tabel 6.6. Hitungan gaya dukung tiang miring

Tiang	m:l	V (t)	h (t)	P(t)
1	3:1	32,3162	10,7721	34,0643
2	3:1	32,3162	10,7721	34,0643
3	3:1	37,2700	12,4233	39,2860
4	6:1	42,2238	7,0373	42,8026
5	6:1	42,2238	7,0373	42,8026
$\Sigma h =$			48,0421	

c. Chek tiang bekerja satu kelompok

Tinjauan kelompok tiang dapat dilihat dalam Gambar 6.49. Pengecekan dilakukan pada kedudukan tiang vertikal. Digunakan dua kelompok tiang untuk mewakili tiang-tiang seluruhnya.

Berat tanah dalam blok : $6,4 \times 5,4 \times 15 \times 1 = 518,4 \text{ t}$

Berat air di atas tanah : $6,4 \times 5,4 \times 2,7 \times 1 = 93,312 \text{ t}$

Berat dermaga sepanjang 5,4 m : $52,396 \times 5,4 = 282,938 \text{ t}$

$$G = 894,65 \text{ t}$$

Gaya yang menahan kohesi antara permukaan kelompok dengan tanah ditambah daya dukung tanah di bawah kelompok tiang dengan mengabaikan gesekan :

$$\bar{p} = \frac{1}{3} KLc + A\bar{\sigma}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{3} \sigma_{ultimat}$$

$$\sigma_{ult} = 1,3 C N_c + D_f \gamma N_q + 0,4 B \gamma N_\gamma$$

$$\varphi = 28^\circ$$

$$N_c = 32,36$$

$$N_q = 18,58$$

$$N_\gamma = 15,7$$

$$\sigma_{ult} = 1,3 \times 0,5 \times 32,36 + 15 \times 1 \times 18,58 + 0,4 \times 5,4 \times 1 \times 15,7$$

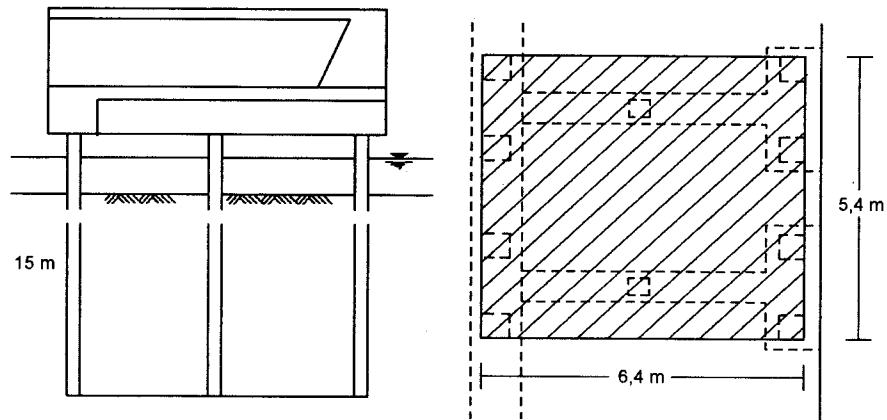
$$\sigma_{ult} = 333,646 t / m^2 = 33,36 kg / cm^2$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{3} \times 33,36 = 11,12 kg / cm^2$$

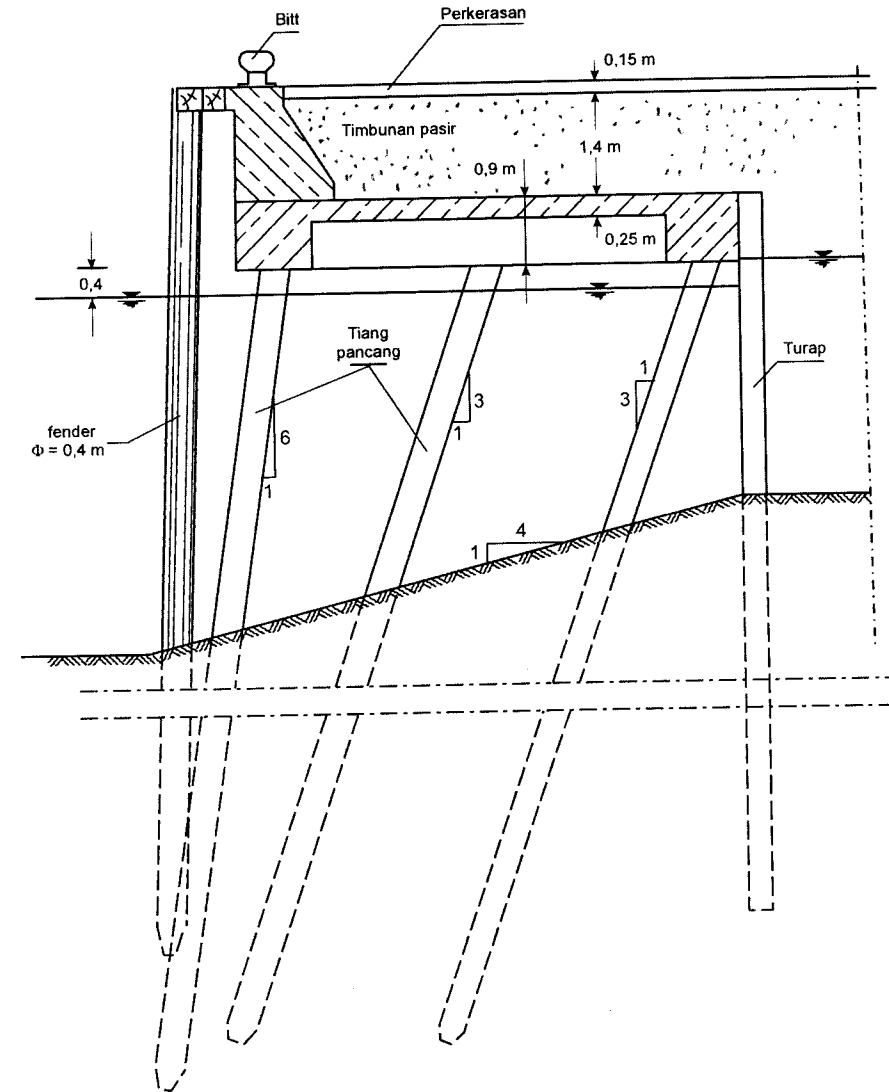
$$\bar{p} = \frac{1}{3} \times 23,6 \times 15 \times 0,5 + 6,4 \times 5,4 \times 11,2$$

$$= 446,07 t > 10 \times 41,3523 = 413,523 t$$

Dalam perencanaan dermaga ini juga dilakukan perencanaan fender. Penjelasan tentang fender akan diberikan dalam bab VII. Untuk itu contoh perencanaan fender yang digunakan dalam dermaga ini akan di berikan dalam bab tersebut.



Gambar 6.49. Kelompok tiang



Gambar 6.50. Tampang dermaga hasil perencanaan

BAB VII

FENDER DAN ALAT PENAMBAT

7.1. Pendahuluan

Kapal yang merapat ke dermaga masih mempunyai kecepatan baik yang digerakkan oleh mesinnya sendiri (kapal kecil) maupun ditarik oleh kapal tunda (untuk kapal besar). Pada waktu merapat tersebut akan terjadi benturan antara kapal dan dermaga. Walaupun kecepatan kapal kecil tetapi karena massanya sangat besar, maka energi yang terjadi karena benturan akan sangat besar. Untuk menghindari kerusakan pada kapal dan dermaga karena benturan tersebut maka di depan dermaga diberi bantalan yang berfungsi sebagai penyerap energi benturan. Bantalan yang ditempatkan di depan dermaga disebut dengan fender.

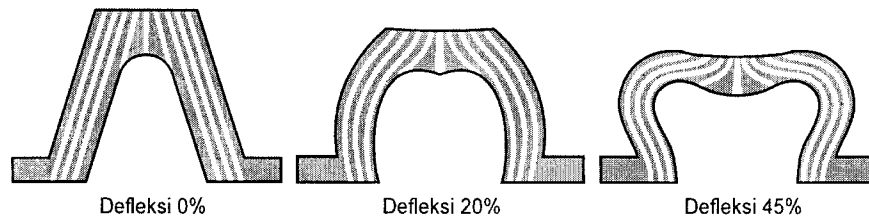
Pada waktu kapal melakukan bongkar muat barang atau selama menunggu di perairan pelabuhan, kapal harus tetap berada di tempatnya dengan tenang. Untuk itu kapal harus diikat pada alat penambat. Gerak kapal bisa disebabkan oleh gelombang, arus atau angin yang dapat menimbulkan gaya tarikan kapal ke alat penambat. Alat penambat harus mampu menahan gaya tarik yang ditimbulkan oleh kapal.

7.2. Fender

Fender berfungsi sebagai bantalan yang ditempatkan di depan dermaga. Fender akan menyerap energi benturan antara kapal dan dermaga dan meneruskan gaya ke struktur dermaga. Gaya yang diteruskan ke dermaga tergantung pada tipe fender dan defleksi fender yang diijinkan.

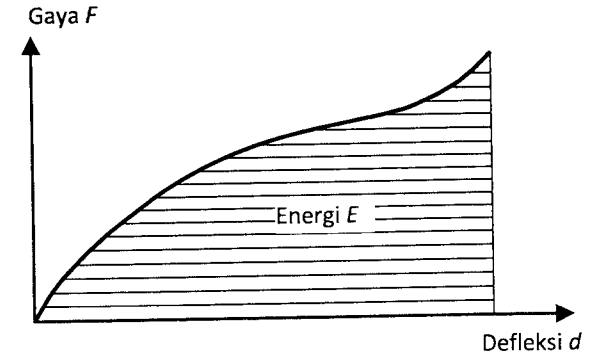
Fender juga dapat melindungi rusaknya cat badan kapal karena gesekan antara kapal dan dermaga yang disebabkan oleh gerak karena gelombang, arus dan angin. Fender harus dipasang di sepanjang dermaga dan letaknya harus sedemikian rupa sehingga dapat mengenai kapal. Oleh karena kapal mempunyai ukuran yang berlainan maka fender harus dibuat agak tinggi pada sisi dermaga.

Ketika kapal membentur fender, fender tersebut akan mengalami defleksi (pemampatan). Karena defleksi tersebut maka fender dapat menyerap energi benturan kapal, dan meneruskan gaya benturan ke struktur dermaga. Gambar 7.1. menunjukkan defleksi fender karet tipe V, yaitu pada kondisi awal sebelum dibentur kapal (defleksi 0%), kemudian mengalami defleksi 20% dan 45%. Dalam perencanaan fender, biasanya ditetapkan bahwa defleksi maksimum yang diijinkan adalah sebesar 45%.



Gambar 7.1. Defleksi fender karena benturan kapal

Terdapat hubungan antara defleksi fender dan gaya reaksi fender dan energi yang diserap. Setiap tipe fender mempunyai bentuk hubungan defleksi-gaya masing-masing, yang diberikan oleh pabrik pembuatnya. Gambar 7.2. adalah contoh bentuk kurva defleksi-gaya suatu fender, di mana absis adalah defleksi d (%) dan ordinat adalah gaya yang diteruskan ke dermaga F (ton). Luasan antara kurva dan sumbu defleksi (d) menunjukkan energi yang diserap untuk defleksi fender tertentu. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar defleksi, semakin besar gaya yang diteruskan ke struktur. Di atas suatu nilai defleksi tertentu ($d=45\%$), gaya naik sangat besar. Fender yang baik adalah yang bisa menyerap sejumlah besar energi benturan (kinetik) dan akan meneruskan gaya reaksi yang rendah ke struktur tambatan dan dinding kapal.



Gambar 7.2. Kurva defleksi-gaya suatu fender

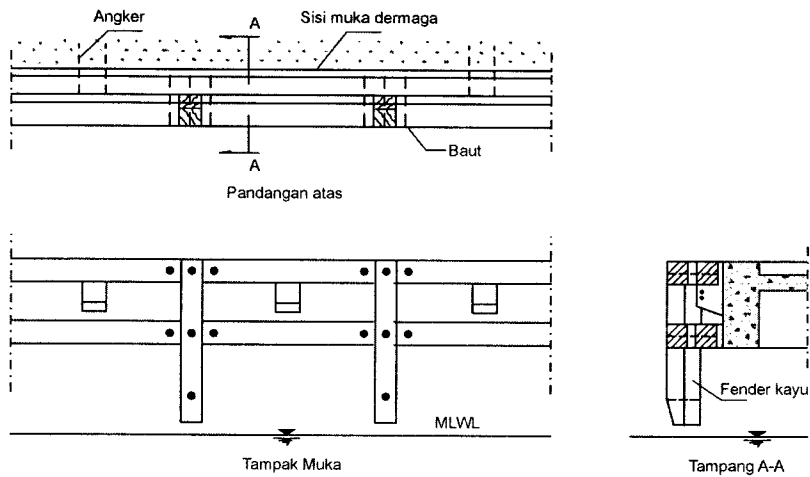
7.2. Tipe Fender

Fender dibuat dari bahan elastis, seperti kayu atau karet. Fender kayu bisa berupa batang kayu yang dipasang di depan muka dermaga atau tiang kayu yang dipancang. Saat ini fender kayu sudah tidak banyak digunakan, mengingat harga kayu tidak lagi murah dan masalah lingkungan yang muncul dengan penebangan pohon. Kecuali untuk pelabuhan kecil di daerah Sumatra, Kalimantan dan Papua di mana masih tersedia cukup banyak kayu. Fender karet merupakan produk pabrik semakin banyak digunakan karena kualitasnya lebih baik dan banyak tersedia di pasaran dengan berbagai tipe. Pelabuhan Perikanan Cilacap yang semula menggunakan fender kayu, saat ini telah diganti dengan fender karet.

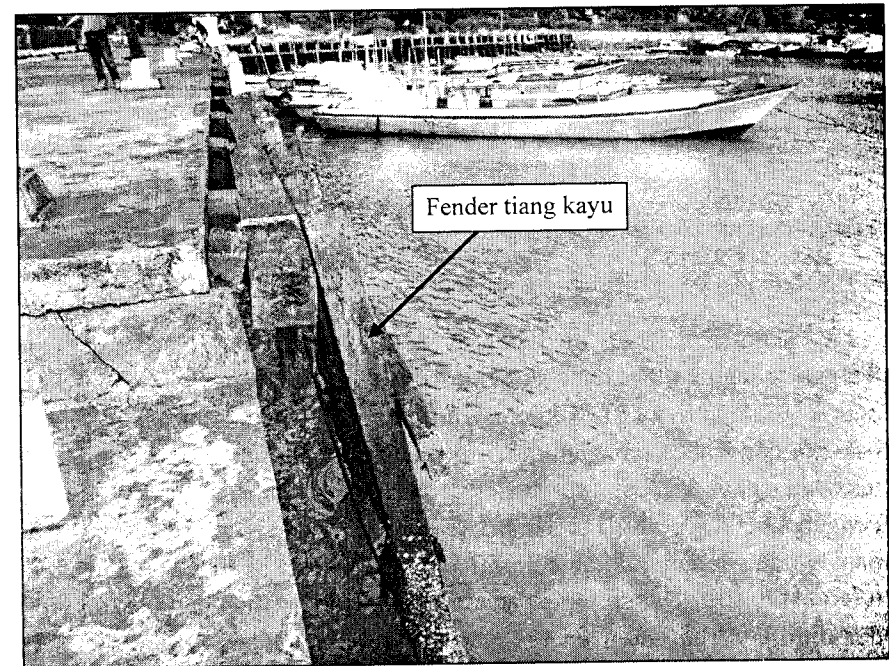
1. Fender kayu

Fender kayu bisa berupa batang-batang kayu yang dipasang horisontal atau vertikal di sisi depan dermaga. Gambar 7.1. adalah contoh fender dari kayu yang digantung pada sisi dermaga. Panjang fender sama dengan sisi atas dermaga sampai muka air. Fender kayu ini mempunyai sifat untuk menyerap energi.

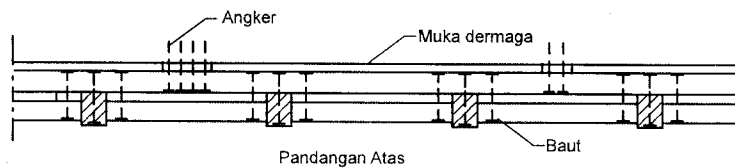
Gambar 7.2. adalah fender kayu yang berupa tiang pancang yang dilengkapi dengan balok memanjang (horisontal). Fender tersebut ditempatkan di depan dermaga dengan kemiringan 1 (horisontal) : 24 (vertikal) dan akan menyerap energi karena defleksi yang terjadi pada waktu dibentur kapal. Penyerapan energi tidak hanya diperoleh dari defleksi tiang kayu, tetapi juga dari balok kayu memanjang. Tiang kayu dipasang pada setiap seperempat bentang.



Gambar 7.1. Fender kayu gantung



Gambar 7.4. Fender kayu Pelabuhan Perikanan Sadeng



Gambar 7.2. Fender kayu tiang pancang

2. Fender karet

Saat ini fender karet banyak digunakan pada pelabuhan. Fender karet diproduksi oleh pabrik dengan bentuk dan ukuran berbeda yang tergantung pada fungsinya. Pabrik pembuat fender memberikan karakteristik fender yang diproduksi. Fender dengan tipe yang sama tetapi diproduksi oleh pabrik yang berbeda bisa mempunyai karakteristik yang berbeda.

Fender karet dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu :

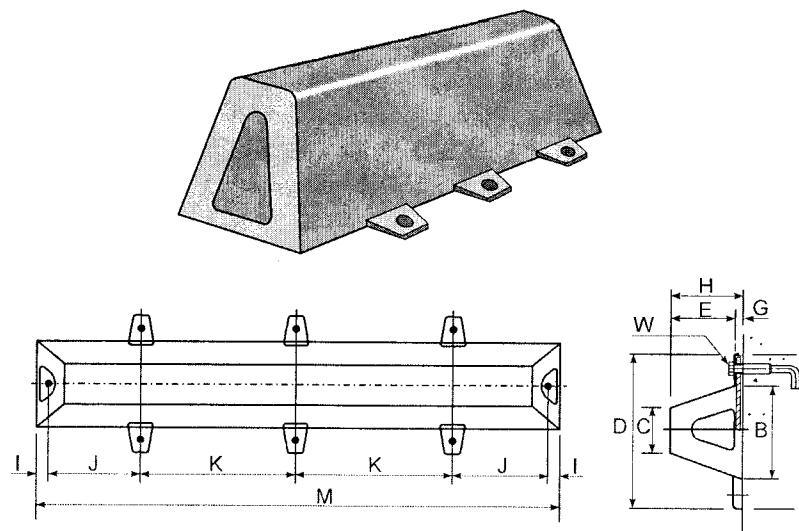
- Fender yang dipasang pada struktur dermaga, yang masih dapat dibedakan menjadi fender tekuk (*buckling fender*) yaitu fender yang mengalami tekuk jika menerima gaya tekan, seperti fender tipe V, fender tipe A, fender *cell*; dan fender tak tertekuk (*non-buckling fender*) seperti fender dari ban mobil bekas dan fender silinder.
- Fender terapung yang ditempatkan antara kapal dan struktur dermaga, seperti fender *pneumatic*.

a. Fender ban bekas mobil

Bentuk paling sederhana dari fender karet adalah ban-ban bekas mobil yang dipasang pada sisi depan di sepanjang dermaga. Fender ban mobil ini digunakan pada dermaga untuk merapat kapal-kapal kecil. Karena tekanan kapal pada waktu merapat, ban mobil akan mengalami defleksi dan menyerap energi benturan.

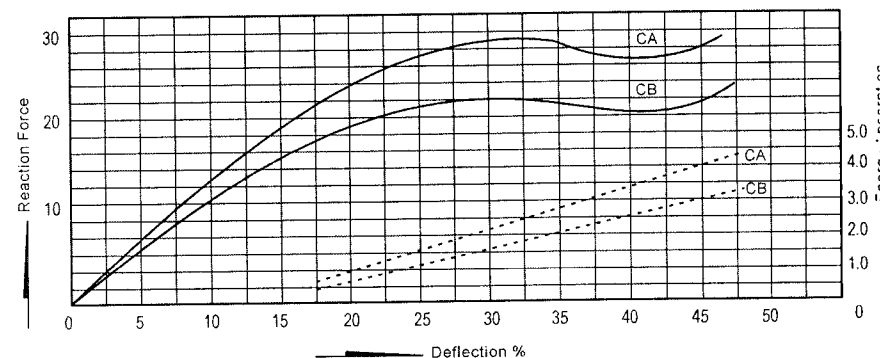
b. Fender tipe A

Gambar 7.5. adalah fender tipe A yang dipasang pada dermaga dengan menggunakan baut. Karakteristik fender tersebut diberikan oleh pabrik pembuatnya (PT Kemenangan) seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.6. dan Tabel 7.1. Gambar 7.6. menunjukkan hubungan antara defleksi dan gaya reaksi serta defleksi dan energi yang diserap fender A dengan tipe KAF 400H x 1000L. Terdapat dua macam grafik yaitu A dan B yang menunjukkan nilai-nilai pada batas atas dan bawah untuk toleransi $\pm 10\%$. Dalam perencanaan system fender, tipe dan ukuran fender dipilih berdasarkan energy yang ditimbulkan oleh benturan kapal. Nilai-nilai tersebut berada di antara kedua nilai batas atas dan bawah tersebut. Sedang Tabel 7.1. adalah gaya dan energy yang diserap untuk berbagai ukuran fender tipe A pada defleksi 45%



Gambar 7.5. Fender tipe A (PT. Kemenangan Jakarta)

PERFORMANCE KAF 400H X 1000L



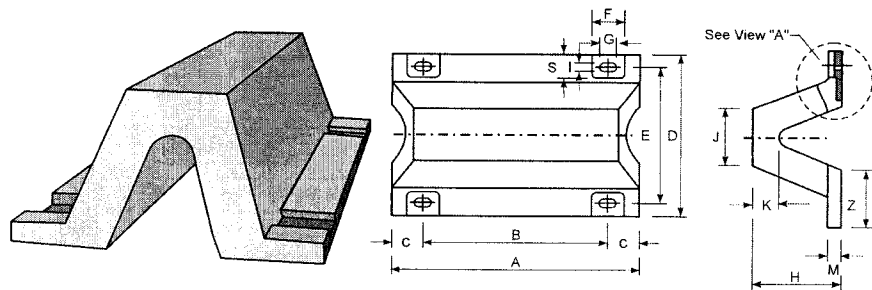
Gambar 7.6. Grafik hubungan defleksi-reaksi (PT Kemenangan)

Tabel 7.1. Gaya reaksi dan energy fender tipe A per panjang satu meter dan pada defleksi 45%

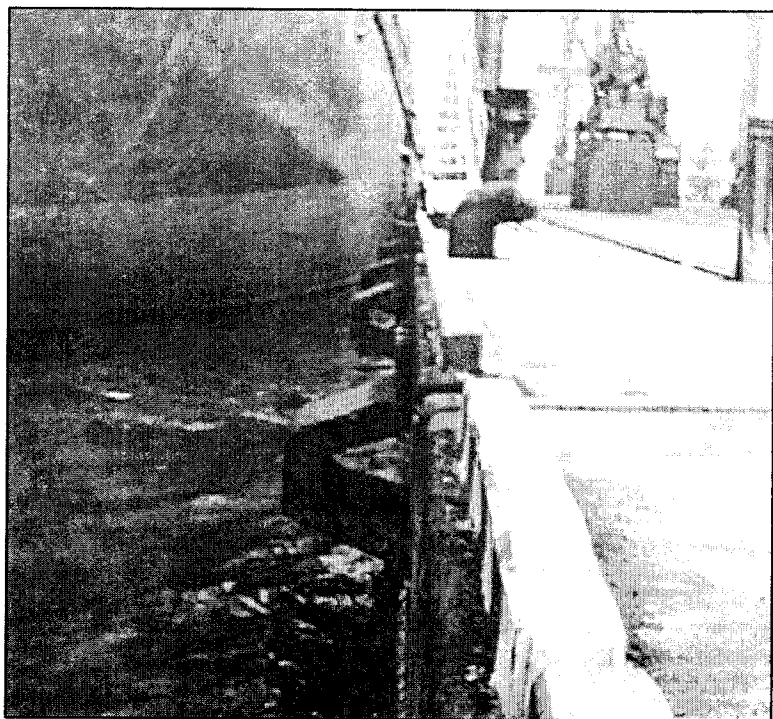
Tipe Fender	CA		CB	
	R.F(ton)	E.A(ton-m)	R.F(ton)	E.A(ton-m)
KAF 200 H	15.28	1.0	12.30	0.75
KAF 300 H	23.60	2.2	17.34	1.60
KAF 400 H	30.92	4.0	24.25	3.00
KAF 500 H	38.56	6.2	30.10	4.60
KAF 600 H	45.08	9.0	34.15	6.50
KAF 800 H	60.50	16.0	48.33	12.00
KAF 1000 H	75.31	25.0	60.10	18.00

c. Fender tipe V

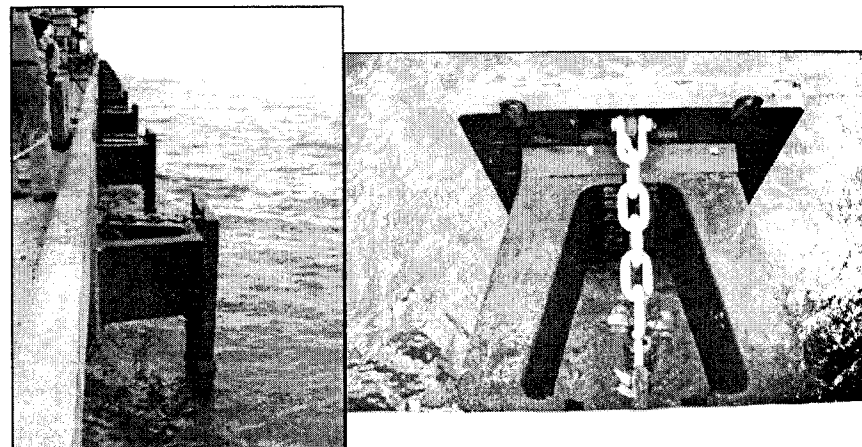
Fender V mempunyai bentuk serupa dengan fender A, seperti terlihat dalam Gambar 7.7. Gambar 7.8. adalah fender V yang dipasang secara horisontal pada sisi depan dermaga, sedang pada Gambar 7.9. fender dipasang secara vertikal dan di depannya dipasang panel contact. Karakteristik fender tersebut diberikan oleh pabrik pembuatnya (PT Kemenangan) seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.10. dan Tabel 7.2.



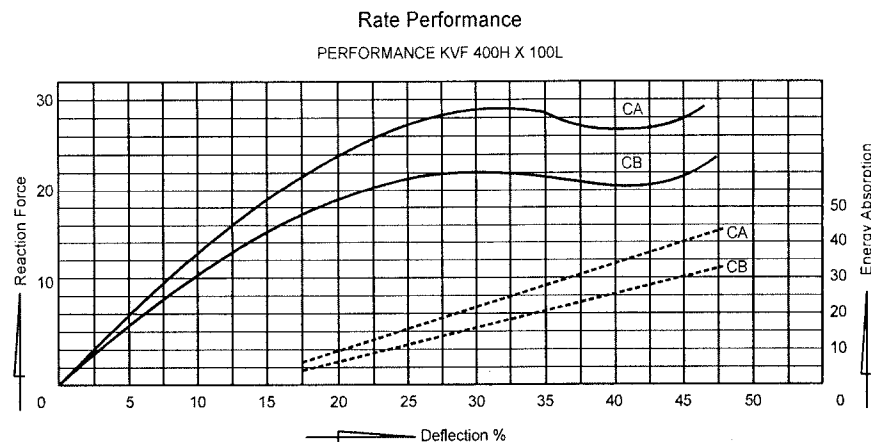
Gambar 7.7. Fender tipe V



Gambar 7.8. Fender tipe V dipasang horisontal



Gambar 7.9. Fender V dipasang dengan panel kontak



Gambar 7.10. Grafik defleksi-reaksi fender V (PT Kemenangan)

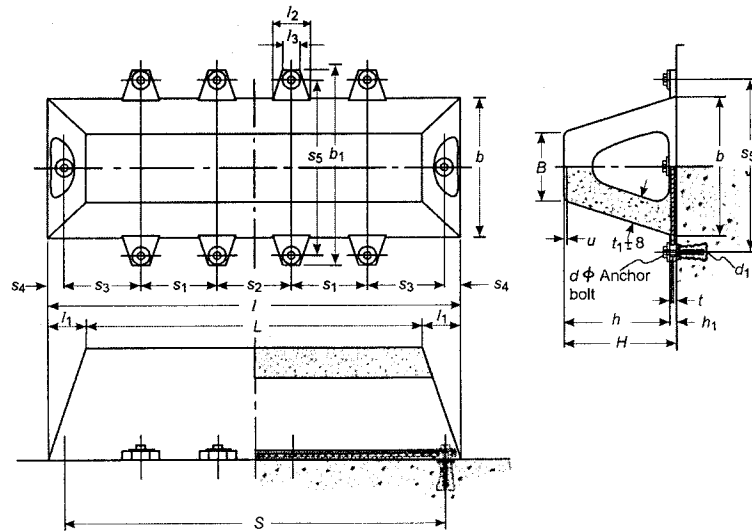
Produk lain dari fender tipe V adalah fender Seibu, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.11. Kapasitas fender tersebut diberikan dalam Tabel 7.3.

Untuk bisa menahan energi yang lebih besar dapat dilakukan dengan memasang dua fender Seibu menjadi satu seperti terlihat dalam Gambar 7.12. Dengan cara seperti itu penyerapan energi dapat menjadi dua kalinya tanpa terjadinya peningkatan gaya reaksi.

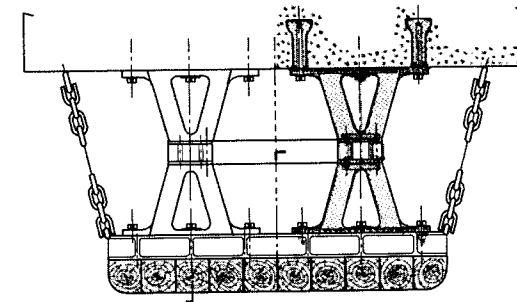
Tabel 7.2. Gaya reaksi dan energi diserap per meter panjang dan defleksi 45% dari fender V (PT Kemenangan)

Tipe Fender	CA		CB	
	R.F. (ton)	E.A. (ton-m).	R.F. (ton)	E.A. (ton-m).
KVF 200 H	15.35	1.0	12.60	0.75
KVF 250 H	19.52	1.6	15.30	1.18
KVF 300 H	23.07	2.2	17.48	1.60
KVF 400 H	30.37	4.0	24.12	3.00
KVF 500 H	38.40	6.2	30.01	4.60
KVF 600 H	45.59	9.0	34.30	6.50
KVF 800 H	60.74	16.0	48.17	12.00
KVF 1000 H	75.96	25.0	60.29	18.00

Toleransi ± 10%



Gambar 7.11. Fender Seibu V



Gambar 7.12. Sistem fender ganda Seibu tipe V

Tabel 7.3. Kapasitas fender karet Seibu tipe V

Tipe	Energi (ton-meter)	Reaksi (ton)	Defleksi (mm)
Sistem fender tunggal (standar per meter, defleksi 45 %)			
300H	2,25	22,5	135,0
400H	4,00	30,0	180,0
500H	6,25	37,5	225,0
600H	9,00	45,0	270,0
800H	16,00	60,0	360,0
1000H	25,00	75,0	450,0
1300H	42,25	97,5	585,0
Sistem fender ganda (standar pada defleksi 45%)			
300H	4,5	19,5	270
400H	8,0	26,0	360
500H	12,5	32,5	450
600H	18,0	39,0	540
800H	32,0	52,0	720
1000H	50,0	65,0	900
1300H	84,5	84,5	1170

Sumber : Seibu Rubber Chemical Co, Ltd (dalam AF Quinn)

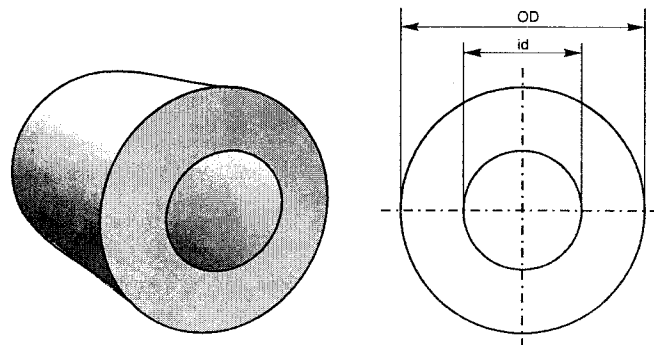
d. Fender tipe silinder

Gambar 7.13. adalah fender karet tipe silinder yang digantung pada sisi depan dermaga dengan menggunakan rantai. Ukuran fender ditunjukkan dengan diameter luar (OD) dan diameter dalam (ID). Kapasitas fender diberikan dalam Tabel 7.4.



www.mslrubber.com

Gambar 7.13. Fender silinder



Gambar 7.14. Dimensi fender silinder

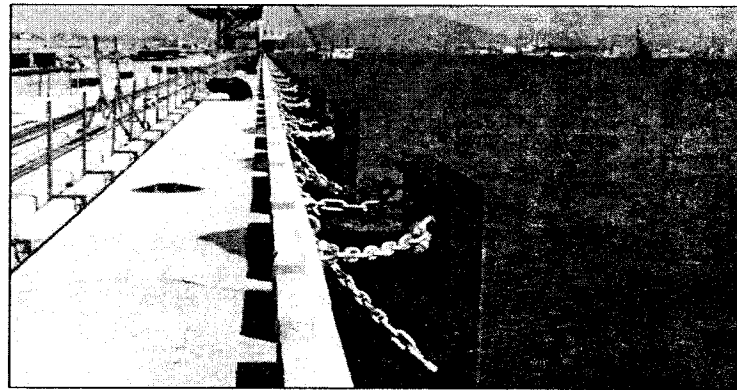
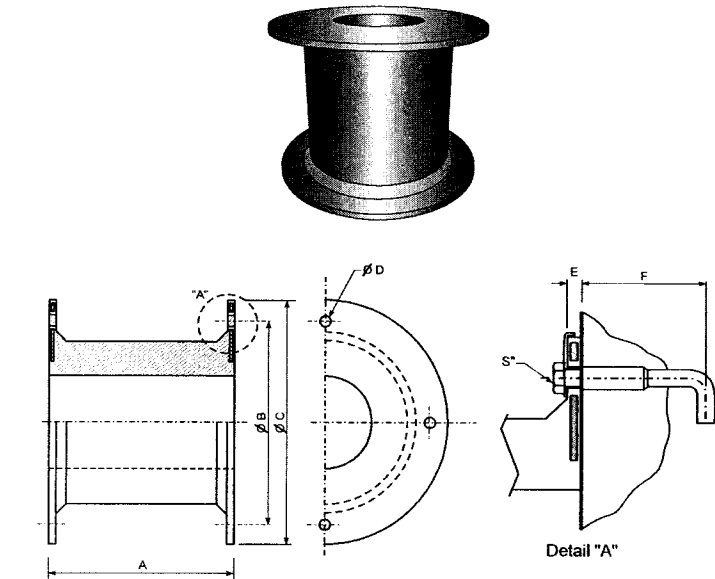
Tabel 7.4. Dimensi dan kapasitas fender silinder

Dimensi OD x ID (mm)	Gaya R (ton)	Energi diserap E (ton-m)	Dimensi OD x ID (mm)	Gaya R (ton)	Energi diserap E (ton-m)
100x50	4.38	0.08	1200x600	67.28	16.51
125 x 65	5.20	0.13	1200x700	55.25	15.39
150 x 75	6.63	0.18	1300x700	66.26	18.76
175 x 75	9.38	0.28	1300x750	60.65	18.14
200 x 90	9.99	0.36	1400x700	78.49	22.43
200 x 100	8.77	0.34	1400x750	71.78	21.81
250 x 125	11.01	0.52	1400x800	66.16	21.20
300 x 150	13.15	0.75	1500x750	84.10	25.79
380 x 190	16.72	1.20	1500x800	77.47	25.08
400 x 200	17.53	1.34	1600x800	89.70	29.36
450 x 225	19.78	1.69	1600x900	77.17	27.83
500 x 250	28.03	2.85	1650x900	72.58	30.07
600 x 300	33.64	4.08	1750x900	94.70	34.66
700 x 400	33.13	5.30	1750x1000	82.67	33.13
750 x 400	38.74	6.22	1800 x 900	100.92	37.10
800 x 400	44.85	7.34	1850 x 1000	93.88	37.92
875 x 500	41.39	8.26	2000 x 1000	112.23	45.87
925 x 500	47.07	9.48	2000 x 1200	88.79	42.30
1000x500	46.99	11.42	2100 x 1200	99.29	47.60
1050x600	56.07	11.93	2200 x 1200	110.40	53.41
1100x600	49.64	13.35	2400 x 1200	134.66	65.95

Nilai energi yang diserap (E_A) dan gaya reaksi (R_F) adalah pada defleksi sama dengan diameter dalam ID dan untuk panjang fender 1000 mm. Toleransi $\pm 10\%$

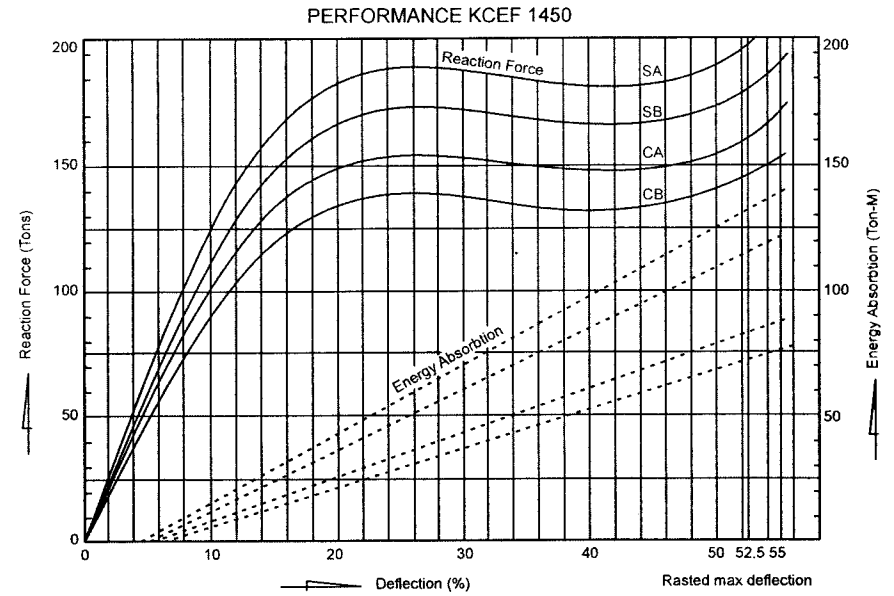
e. Fender tipe sel (cell fender)

Bentuk lain dari fender karet adalah fender sel seperti ditunjukkan pada Gambar 7.15. yang dipasang pada sisi depan dermaga dengan menggunakan baut. Sisi depan fender dipasang panel contact. Karakteristik fender tersebut diberikan oleh pabrik pembuatnya (PT Kemenangan) seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.16. dan Tabel 7.5.



www.ecplaza.net/super_spoolcell_fender.html#none

Gambar 7.15. Fender Sel



Gambar 7.16. Karakteristik fender

Tabel 7.5. Kapasitas fender sel

Compound Grade Size	CA		CB		SA		SB	
	R.F. (ton)	E.A. (ton-m)	R.F. (ton)	E.A. (ton-m)	R.F. (ton)	E.A. (ton-m)	R.F. (ton)	E.A. (ton-m)
KCEF 400 H	11.00	1.70	9.80	1.50	14,99	2,42	13,37	2,18
KCEF 500 H	31.80	4.20	16.50	3.20	23,41	4,73	20,90	4,26
KCEF 630 H	34.40	7.10	26.30	6.30	36,53	10,18	32,69	9,03
KCEF 800 H	47.30	14.40	42.00	12.80	60,35	21,70	54,11	19,46
KCEF 1000 H	75.20	33.50	66.80	28.30	94,37	42,35	84,48	37,80
KCEF 1150 H	99.50	50.20	88.30	44.60	125,14	64,75	112,02	57,93
KCEF 1250 H	117.60	64.50	104.30	57.30	147,82	83,12	132,27	74,31
KCEF 1450 H	158.20	108.56	140.40	89.40	199,15	130,55	178,26	116,62
KCEF 1600 H	192.60	135.30	171.00	120.10	241,38	173,60	216,11	155,05
KCEF 1700 H	217.40	162.30	193.00	144.10	273,58	210,35	244,86	187,88
KCEF 2000 H	300.00	264.30	267.10	234.60	377,46	338,80	337,77	302,40
KCEF 2250 H	422.80	417.70	375.20	370.00	449,15	430,50	401,92	384,09
KCEF 2500 H	522.00	573.00	463.30	508.60	522,22	520,83	466,07	465,78

Toleransi ± 10%

f. Fender tipe *pneumatic*

Fender *pneumatic* adalah fender tipe terapung yang ditempatkan antara kapal dan struktur dermaga, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.17.



<http://img.alibaba.com>

Gambar 7.17. Fender *pneumatic*

7.3. Perencanaan Fender

Fungsi utama dari sistem fender adalah untuk mencegah kerusakan pada kapal dan dermaga pada waktu kapal merapat ke dermaga. Pada waktu kapal merapat dan bertambat di dermaga terjadi benturan, gesekan dan tekanan antara kapal dan dermaga. Gaya-gaya yang timbul pada waktu penambatan kapal adalah benturan kapal, gesekan antara kapal dan dermaga dan tekanan kapal pada dermaga. Gaya-gaya tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada kapal dan struktur dermaga. Untuk mencegah kerusakan tersebut di depan sisi dermaga dipasang fender yang dapat menyerap energi benturan. Jumlah energi yang diserap dan gaya maksimum

yang diteruskan pada struktur dermaga digunakan untuk menentukan jenis dan ukuran fender.

Beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan tipe fender adalah kondisi gelombang, arus dan angin, ukuran kapal, kecepatan dan arah kapal pada waktu merapat ke dermaga, keberadaan kapal tunda untuk membantu penambatan, tipe dermaga, dan juga ketrampilan nahkoda kapal.

7.3.1. Prosedur perencanaan fender

Perencanaan sistem fender didasarkan pada hukum kekekalan energi. Energi benturan kapal dengan dermaga sebagian diserap oleh sistem fender sedang sisanya diserap oleh struktur dermaga. Struktur dermaga yang sangat kaku dianggap tidak menyerap energi benturan, sehingga energi ditahan oleh sistem fender. Prosedur perencanaan fender diberikan berikut ini.

- Menentukan energi benturan kapal, yang didasarkan pada kapal terbesar yang merapat di dermaga.
- Menentukan energi yang dapat diserap oleh dermaga. Energi tersebut sama dengan setengah gaya reaksi fender (F) dikalikan dengan defleksinya (d), $E=Fd/2$.
- Energi yang akan diserap oleh fender adalah energi yang ditimbulkan oleh benturan kapal dikurangi energi yang diserap dermaga.
- Pilih fender yang mampu menyerap energi yang sudah dihitung di atas berdasar karakteristik fender yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya.

7.3.2. Hubungan Energi dan Gaya

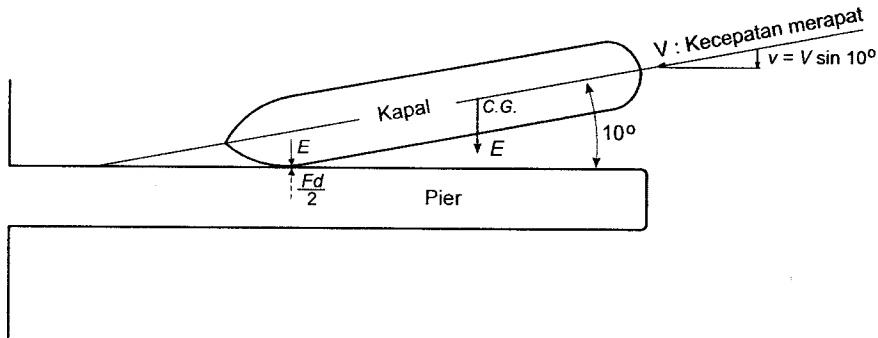
Kapal yang merapat ke dermaga membentuk sudut terhadap sisi dermaga dan mempunyai kecepatan tertentu. Dalam perencanaan fender dianggap bahwa kapal bermuatan penuh dan merapat dengan sudut 10° terhadap sisi depan dermaga, seperti terlihat dalam Gambar 7.18. Pada saat merapat tersebut sisi depan kapal membentur fender, dan menimbulkan energi benturan yang diserap oleh fender dan dermaga. Kecepatan merapat kapal diproyeksikan dalam arah tegak lurus dan memanjang

dermaga. Komponen dalam arah tegak lurus sisi dermaga diperhitungkan untuk merencanakan fender.

Ketika kapal membentur fender, fender mengalami defleksi, dari nilai nol sampai nilai maksimum yang diijinkan. Gaya reaksi fender meningkat dengan pertambahan nilai defleksi. Kerja yang dilakukan oleh dermaga adalah :

$$K = \frac{1}{2} Fd$$

Gambar 7.18. menunjukkan kapal yang membentur dermaga pada saat merapat. Karena benturan tersebut fender memberikan gaya reaksi F . Apabila d adalah defleksi fender, maka terdapat hubungan berikut ini.



Gambar 7.18. Benturan kapal pada dermaga

$$E = \frac{1}{2} Fd$$

$$\frac{1}{2} \frac{W}{g} V^2 = \frac{1}{2} Fd$$

$$F = \frac{W}{gd} V^2$$

dengan :

F : gaya bentur yang diserap sistem fender

d : defleksi fender

V : komponen kecepatan dalam arah tegak lurus sisi dermaga

W : bobot kapal bermuatan penuh

Pada umumnya nilai defleksi d yang diijinkan adalah sebesar 45%. Untuk fender kayu d adalah tebal kayu dibagi 20. Sistem fender direncanakan untuk menyerap energi tersebut dan gaya yang ditahan oleh dermaga tergantung pada tipe fender.

Pabrik pembuat fender memberikan karakteristik fender yang diproduksinya dalam bentuk grafik dan tabel yang memberikan hubungan antara energi yang diserap, reaksi dan defleksi fender. Setelah energi benturan kapal dihitung, kemudian ditentukan tipe fender yang digunakan. Dari tabel, untuk tipe fender yang dipilih dapat diketahui gaya reaksi fender yang selanjutnya digunakan untuk merencanakan struktur dermaga.

7.3.3. Posisi daerah yang dilindungi

Tipe fender yang digunakan dan penempatannya pada sisi depan dermaga harus dapat melindungi dan menyerap energi benturan dari semua jenis dan ukuran kapal untuk berbagai elevasi muka air laut. Gambar 7.19. menunjukkan posisi penempatan fender terhadap beberapa ukuran kapal.

Pada gambar 7.19.a. fender dapat melindungi dermaga benturan kapal besar, tetapi untuk ukuran kapal yang lebih kecil fender tersebut tidak berfungsi dengan baik. Untuk dapat melindungi dermaga terhadap benturan kapal dari berbagai ukuran maka digunakan fender yang lebih panjang dengan penempatan seperti terlihat dalam gambar 7.19.b dan c.

Dalam arah horisontal jarak antara fender harus ditentukan sedemikian rupa sehingga dapat menghindari kontak langsung antara kapal dan dinding dermaga. Gambar 7.20. adalah posisi kapal yang membentur fender pada waktu bergerak merapat ke dermaga.

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan jarak maksimum antara fender.

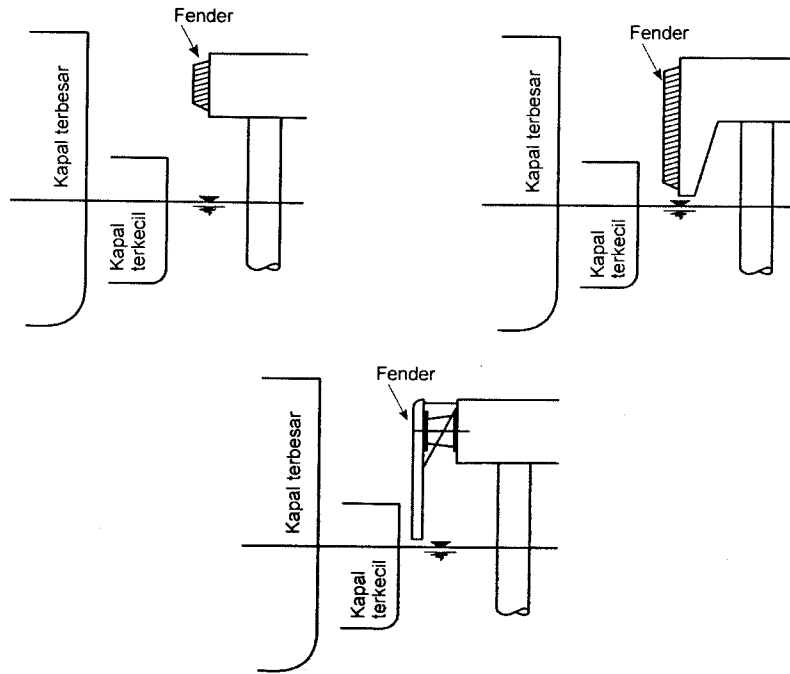
$$L = 2\sqrt{r^2 - (r-h)^2}$$

dengan :

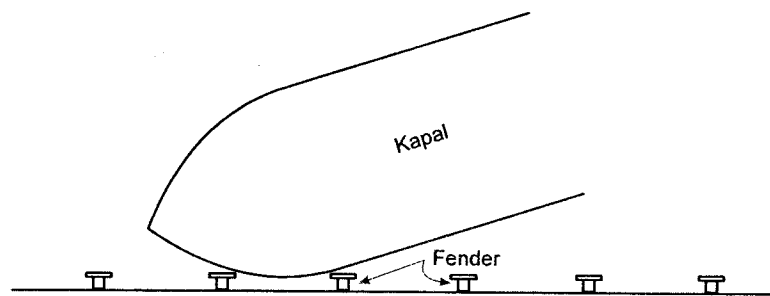
L : jarak maksimum antara fender (m)

r : jari-jari kelengkungan sisi haluan kapal (m)

h : tinggi fender

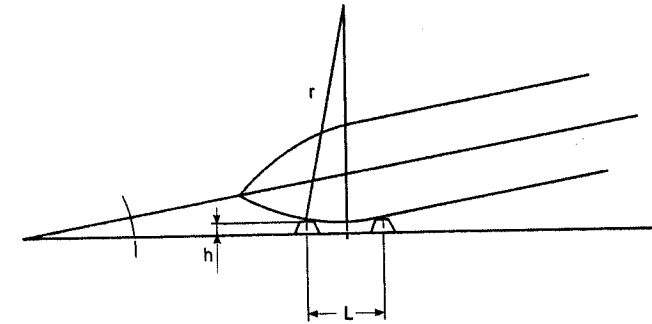


Gambar 7.19. posisi kapal terhadap fender



Gambar 7.20. Posisi kapal pada waktu membentur fender

Apabila data jari-jari kelengkungan sisi haluan kapal tidak diketahui, maka persamaan berikut dapat digunakan sebagai pedoman untuk menghitungnya.



Tabel 7.21. Jarak antara fender

Kapal barang dengan bobot 500 - 50000 DWT

$$\log r = -1,055 + 0,650 \log (DWT)$$

Kapal tanker dengan bobot 5.000 - 200.000 DWT

$$\log r = -0,113 + 0,440 \log (DWT)$$

OCDI (1991) memberikan jarak interval antara fender sebagai fungsi kedalaman air seperti diberikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 7.4. Jarak antara fender

Kedalaman Air (m)	Jarak Antara Fender (m)
4 ~ 6	4 ~ 7
6 ~ 8	7 ~ 10
8 ~ 10	10 ~ 15

7.3.4. Contoh Perencanaan Fender

Diketahui kapal dengan berat (*displacement*) $W=4000$ ton merapat di dermaga yang dilindungi sistem fender. Parameter kapal tersebut adalah $L_{oa}=100$ m, $L_{pp}=92,5$ m, $B=15,3$ m dan $d=6,3$ m. Akan direncanakan sistem fender.

Langkah pertama dalam perencanaan adalah menghitung energi benturan antara kapal dan dermaga. Energi benturan dihitung dengan menggunakan Persamaan 6.3. (Bab VI) untuk nilai $C_s=1$ dan $C_c=1$.

$$E = \frac{WV^2}{2G} C_m C_e$$

Menghitung C_m

Nilai C_m dihitung dengan menggunakan Persamaan (6.5) dan (6.4).

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} B d \gamma_0}$$

$$= \frac{4000}{92,5 \times 15,3 \times 6,3 \times 1,025} = 0,44$$

$$C_m = 1 + \frac{\pi d}{2C_b B}$$

$$= 1 + \frac{\pi \cdot 6,3}{2 \times 0,44 \cdot 15,3} = 2,47$$

Menghitung C_e

Dengan menggunakan Gambar 6.19 untuk $C_b=0,44$ (diambil nilai C_b minimum dalam grafik yaitu 0,5) didapat:

$$\frac{r}{L_{oa}} = 0,205$$

Untuk kapal yang bersandar di dermaga:

$$l = 1/4 L_{oa} = 100/4 = 25m$$

sehingga didapat :

$$r = 0,205 \times 100 = 20,5m$$

Koefisien C_e dihitung dengan Persamaan (6.6) :

$$C_e = \frac{1}{1 + (l/r)^2} = \frac{1}{1 + (25/20,5)^2} = 0,402$$

Kecepatan merapat kapal dapat dilihat dalam Tabel 6.1., yaitu sebesar 0,15 m/d. Komponen kecepatan merapat dalam arah tegak lurus kapal :

$$V = v \sin 10^\circ = 0,15 \sin 10^\circ = 0,026 \text{ m/d}$$

Energi benturan :

$$E = \frac{4000 \times 0,026^2}{2 \times 9,81} \times 2,47 \times 0,402 = 0,13685 \text{ tm}$$

Jadi energi benturan yang disebabkan oleh kapal merapat ke dermaga adalah $E = 0,13685 \text{ tm}$. Tipe fender ditentukan berdasar nilai tersebut dan karakteristik fender seperti diberikan dalam Tabel 7.4. Dipilih fender silinder dengan dimensi OD \times ID = 150 \times 75 yang mempunyai nilai energi diserap $E = 0,18 \text{ ton-m}$ ($>0,13685 \text{ ton-m}$). Gaya yang diteruskan ke struktur adalah $F = 6,63 \text{ ton}$.

Apabila digunakan fender tipe lain, misalnya fender V yang lebih mudah pemasangannya, maka dapat digunakan tipe KVF 200 H yang mempunyai nilai batas bawah dan atas untuk energi diserap sebesar 0,75-1,0 ton-m dan gaya diteruskan 12,6-15,35 ton untuk defleksi sebesar 45%. Sebenarnya penggunaan fender tipe V terlalu besar (boros) karena energi yang diserap jauh lebih tinggi daripada energi benturan yang terjadi, tetapi fender ini lebih banyak digunakan dan mudah pemasangannya. Energi sebesar 0,13685 ton-m dapat diserap fender pada defleksi yang lebih kecil dari 45%. Besarnya defleksi yang terjadi apabila fender menerima energi benturan sebesar 0,13685 ton-m dapat diketahui dari grafik yang serupa dengan Gambar 7.10., tetapi yang berlaku untuk tipe KVF 200 H (Gambar 7.10 adalah untuk tipe KVF 400 H \times 1000 L.

7.4. Alat Penambat

Alat penambat adalah suatu konstruksi yang digunakan untuk keperluan berikut ini.

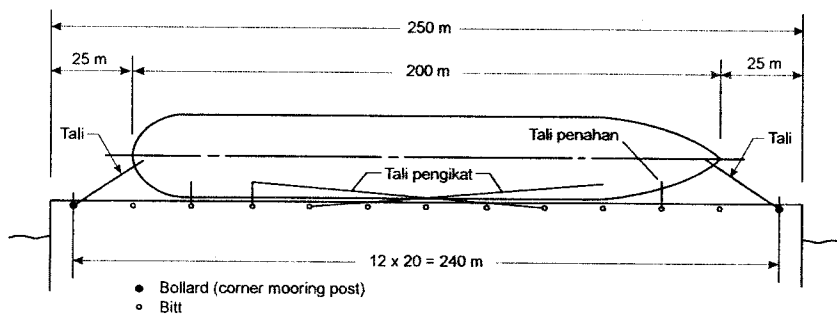
1. Mengikat kapal pada waktu berlabuh agar tidak terjadi pergeseran atau gerak kapal yang disebabkan oleh gelombang, arus dan angin.
2. Menolong berputarnya kapal.

Alat penambat ini bisa diletakkan di darat (dermaga) dan di dalam air. Menurut macam konstruksinya alat penambat dapat dibedakan menjadi tiga macam berikut ini.

1. Bolder pengikat
2. Pelampung penambat
3. Dolphin

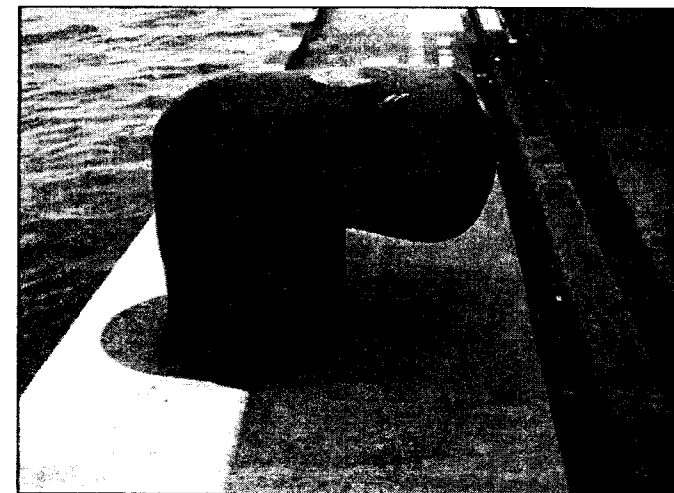
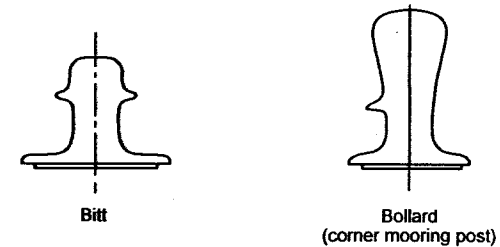
7.4.1. Bolder / alat pengikat

Kapal yang berlabuh ditambatkan ke dermaga dengan mengikat tali-tali penambat ke bagian haluan, buritan dan badan kapal. Gambar 7.22. menunjukkan metode pengikatan kapal ke dermaga. Tali-tali penambat tersebut diikatkan pada alat penambat yang dikenal dengan *bitt* yang dipasang di sepanjang sisi dermaga. *Bitt* dengan ukuran yang lebih besar disebut dengan *bollard (corner mooring post)* yang diletakkan pada kedua ujung dermaga atau di tempat yang agak jauh dari sisi muka dermaga.



Gambar 7.22. Metode pengikatan kapal ke dermaga.

Bitt digunakan untuk mengikat kapal pada kondisi cuaca normal. Sedang bollard selain untuk mengikat pada kondisi normal dan pada kondisi badai, juga dapat digunakan untuk mengarahkan kapal merapat ke dermaga atau untuk membelok/memutar terhadap ujung dermaga atau dolphin. Alat penambat ini ditanam pada dermaga dengan menggunakan baut yang dipasang melalui pipa yang ditempatkan di dalam beton. Dengan cara tersebut memungkinkan mengganti baut jika rusak. Alat pengikat ini biasanya terbuat dari besi cor berbentuk silinder yang pada ujung atasnya dibuat tertutup dan lebih besar sehingga dapat menghalangi keluarnya tali kapal yang diikatkan. Supaya tidak mengganggu kelancaran kegiatan di dermaga (bongkar muat barang) maka tinggi bolder dibuat tidak boleh lebih dari 50 cm di atas lantai dermaga. Gambar 7.23. menunjukkan contoh kedua tipe alat pengikat. Jarak dan jumlah minimum bitt untuk beberapa ukuran kapal diberikan dalam Tabel 7.5.



Gambar 7.23. Bentuk alat pengikat

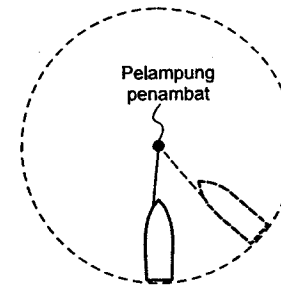
Tabel 7.6. Penempatan Bitt

Ukuran Kapal (GRT)	Jarak Maksimum (m)	Jumlah Min./tambatan
~ 2.000	10 - 15	4
2.001 - 5.000	20	6
5001 - 20.000	25	6
20.001 - 50.000	35	8
50.001 - 100.000	45	8

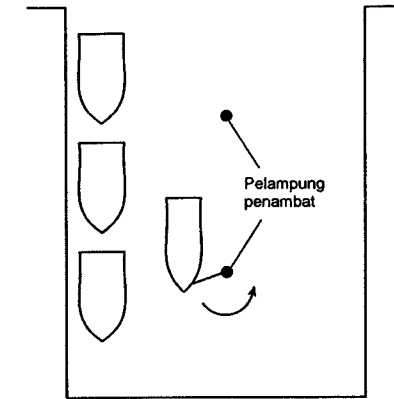
7.4.2. Pelampung penambat (*mooring buoy*)

Pelampung penambat berada di dalam kolam pelabuhan atau di tengah laut. Kapal-kapal yang akan bongkar muat tidak selalu dapat langsung merapat pada dermaga karena dermaga sedang dipakai, diperbaiki atau lainnya. Dengan demikian kapal harus menunggu di luar dermaga dan berhenti. Bila kapal berada di luar lindungan pemecah gelombang, kapal dapat berlabuh dengan cara membuang jangkarnya sendiri. Tetapi di luar lindungan pemecah gelombang tidak selalu tenang, sehingga dianjurkan untuk berlabuh di dalam lindungan pemecah gelombang. Mengingat luas daerah lindungan pemecah gelombang adalah terbatas, maka kapal yang berlabuh dengan menggunakan jangkarnya sendiri dapat mengganggu kapal-kapal yang lain, karena kapal dapat berputar 360° (Gambar 7.24.), sehingga memerlukan tempat yang luas. Untuk mengurangi gerakan berputar ini perlu diadakan beberapa pelampung penambat.

Selain sebagai pengikat kapal, pelampung penambat dapat juga dipakai sebagai penolong untuk berputarnya kapal. Di tempat-tempat yang agak sempit, berputarnya kapal dapat membahayakan kapal lainnya yang sedang berlabuh. Untuk mengurangi resiko ini maka kadang-kadang ditengah antara dua pier dipasang pelampung yang dapat dipakai sebagai pembantu untuk berputar (Gambar 7.25). Pelampung penambat ini juga dapat dipakai sebagai pembantu pengereman.



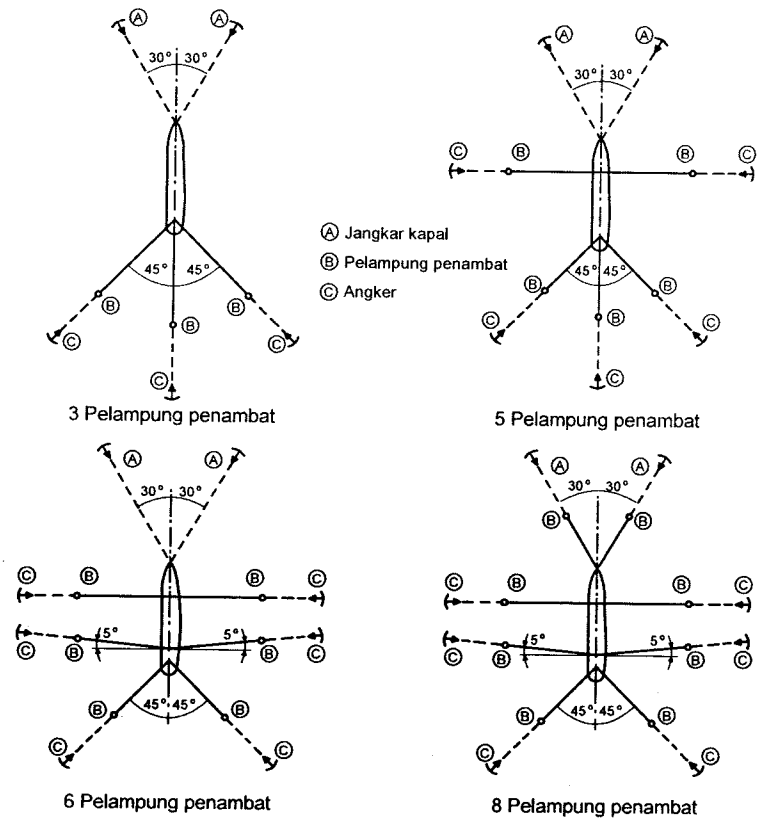
Gambar 7.24. Putaran kapal Terhadap pelampung



Gambar 7.25. Pelampung untuk membelok

Pelampung penambat juga bisa digunakan untuk penambatan lepas pantai. Apabila kapal yang akan berlabuh berbobot sangat besar yang mempunyai draft (sarat) besar, misalnya kapal tangker bisa mencapai 500.000 DWT dengan sarat lebih dari 27 m. Biasanya pelabuhan tidak direncanakan untuk bisa melayani kapal tersebut; karena perairan pelabuhan dan alur pelayaran harus sangat dalam, yang berarti diperlukan pengerukan dalam jumlah sangat banyak. Untuk itu maka muatan dari kapal raksasa tersebut dipindahkan ke kapal lebih kecil yang membawanya ke dermaga. Cara seperti ini memerlukan biaya operasi yang lebih besar, tetapi masih lebih baik dibanding jika harus membuat pelabuhan yang sangat dalam atau membuat jetty yang sangat panjang. Untuk keadaan seperti ini, dan terutama apabila muatan berbentuk barang curah cair (seperti minyak), dapat digunakan tambatan lepas pantai (*single point mooring*, SPM), sedang bongkar atau muat minyak dapat dilakukan dengan menggunakan pipa di dasar laut.

Penambatan kapal bisa dilakukan dengan jangkarnya sendiri atau dengan sebuah atau sekelompok pelampung atau kombinasi antara jangkar dan pelampung. Jumlah pelampung penambat tergantung pada ukuran kapal, angin, arus, gelombang, keadaan dasar laut, dan pertimbangan ekonomis. Gambar 7.26. menunjukkan beberapa cara penambatan yang terdiri dari tiga sampai delapan pelampung ditambah dengan jangkarnya sendiri yang diletakkan dengan membentuk sudut 30° atau 45°.



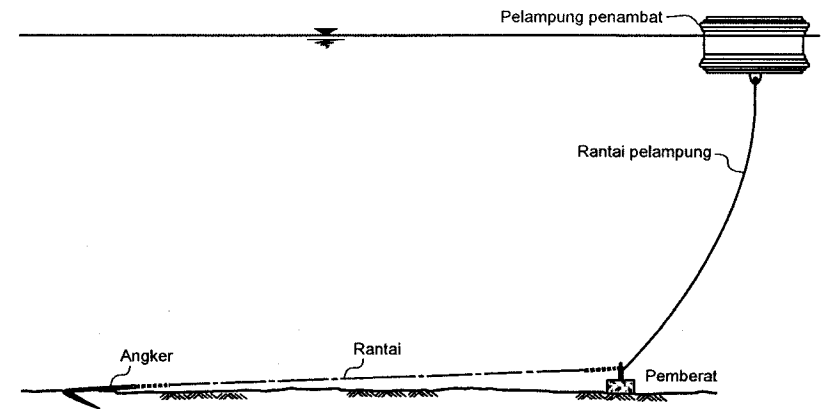
Gambar 7.26. Cara penambatan kapal (Quinn A. Def., 1972)

Pelampung penambat terdiri dari beberapa komponen yaitu pelampung penambat, beton pemberat, jangkar, dan rantai antara jangkar dan pelampung seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.27. Pelampung terbuat dari drum besar di mana terdapat pengait pada sisi atas untuk mengikat kapal dan pada sisi bawah yang dihubungkan dengan rantai jangkar.

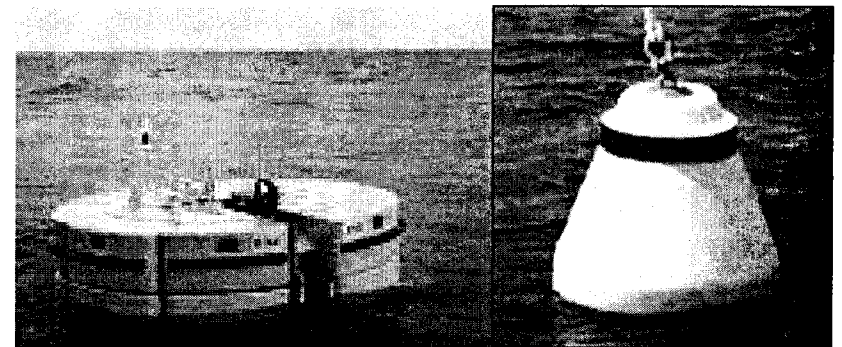
Pelampung penambat tidak boleh hanyut atau berubah banyak dari tempat yang telah ditentukan. Untuk itu pelampung penambat harus diikat dengan rantai dan dihubungkan dengan dasar laut. Cara pengikatannya dilakukan dengan angker ulir atau jangkar dan blok pemberat atau hanya dengan blok pemberat. Dalam hal ini yang perlu diperhatikan adalah panjang rantai pengikat dan kekuatannya, dan pengangkeran dalam tanah atau berat blok pemberat.

Panjang rantai pengikat harus sama dengan kedalaman air pada waktu pasang tertinggi ditambah dengan sedikit kelonggaran. Biasanya panjang rantai dari blok pemberat ke pelampung adalah 1,5 kali kedalaman air terbesar.

Rantai pelampung dihubungkan dengan sekrup ulir atau jangkar yang ditanam di dalam tanah. Tetapi bila tanah terdiri dari lumpur tebal, pemakaian sekrup ulir dan jangkar tidak kuat. Untuk itu dibuat blok dari besi atau beton yang berat agar tak tergeser. Berat blok ini bisa mencapai 75 ton dan tergantung pada besarnya kapal yang menambat.



Gambar 7.27. Pelampung penambat(Quinn A. Def., 1972)



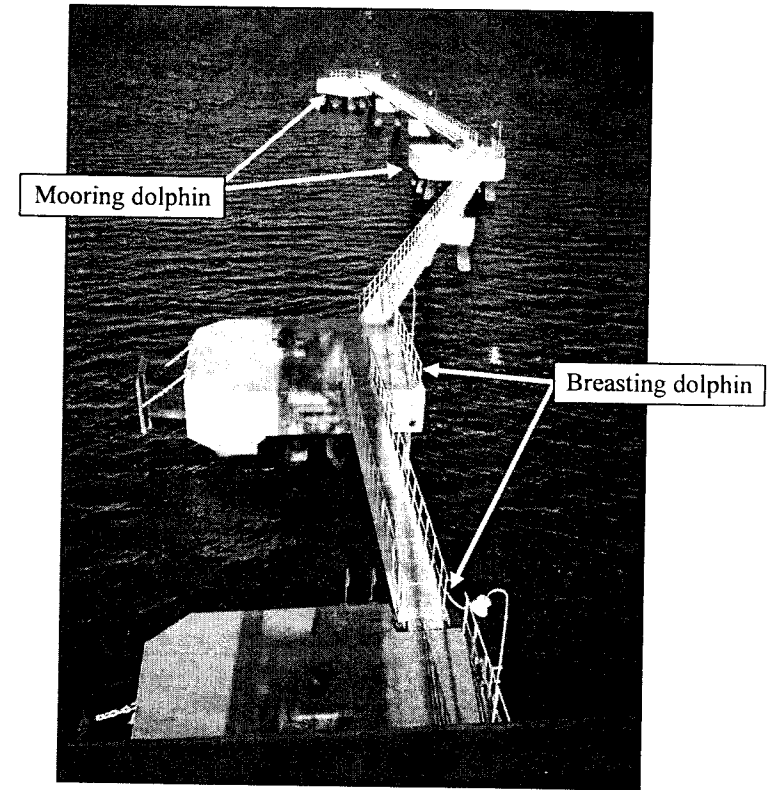
www.globalsecurity.org/military/intro/images/buoy-mooring-image1.gif

Gambar 7.28. Beberapa jenis pelampung penambat

3. Dolphin

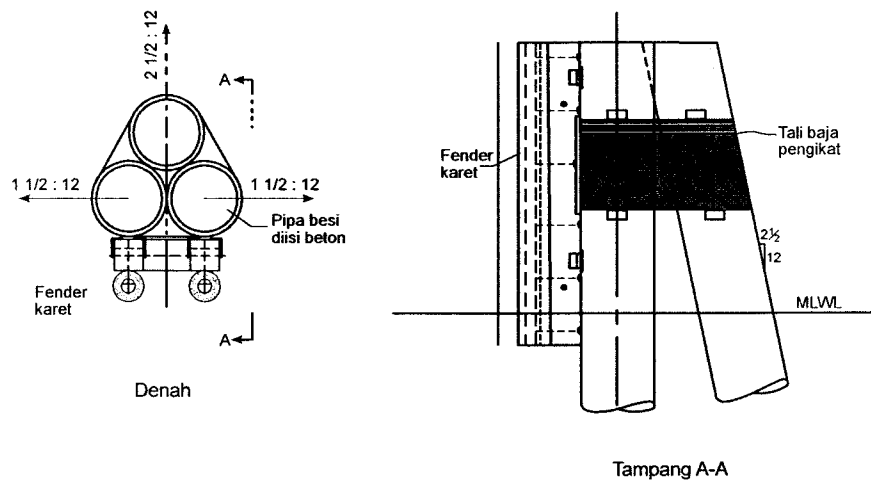
Dolphin adalah konstruksi yang digunakan untuk menahan benturan dan menambatkan kapal. Jetty menjorok ke laut yang digunakan untuk bertambat kapal tanker atau tongkang pengangkut batu bara dilengkapi dengan dolphin yang berfungsi menahan benturan kapal, sehingga kapal tidak membentur jetty. Setelah bersandar, kapal atau tongkang tersebut diikatkan pada dolphin. Dolphin ini banyak digunakan pada pelayanan bongkar muat barang curah. Dolphin direncanakan untuk bisa menahan gaya horisontal yang ditimbulkan oleh benturan kapal, tiupan angin dan dorongan arus yang mengenai badan kapal pada waktu ditambatkan. Gaya-gaya tersebut dapat dihitung dengan cara yang sama seperti dalam perencanaan dermaga.

Dolphin dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu dolphin penahan (*breasting dolphin*) dan dolphin penambat (*mooring dolphin*). Dolphin penahan mempunyai ukuran lebih besar, karena dia direncanakan untuk menahan benturan kapal ketika berlabuh dan menahan tarikan kapal karena pengaruh tiupan angin, arus dan gelombang. Alat penambat ini dilengkapi dengan fender untuk menahan benturan kapal, dan bolder untuk menempatkan tali kapal, guna menggerakkan kapal di sepanjang dermaga dan menahan tarikan kapal. Dolphin penambat tidak digunakan untuk menahan benturan, tetapi hanya sebagai penambat. Pelampung penambat diletakkan di belakang dermaga dan membentuk sudut sekitar 45° terhadap haluan dan buritan kapal. Pelampung penambat juga dilengkapi dengan bolder. Gambar 7.29. menunjukkan dolphin penahan (*breasting dolphin*) dan dolphin penambat (*mooring dolphin*).

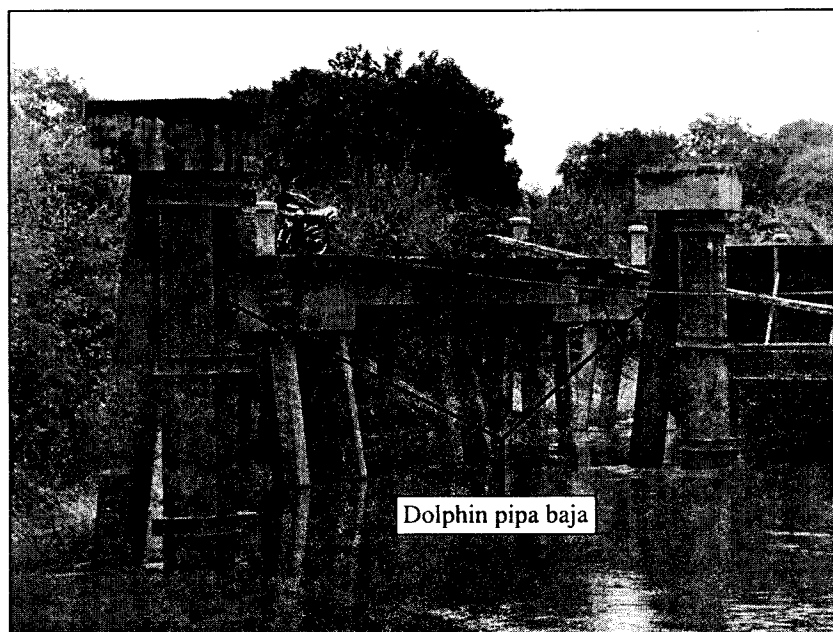


Gambar 7.29. *Breasting dolphin* dan *mooring dolphin*

Menurut konstruksinya dolphin dapat dibedakan menjadi dolphin lentur dan kaku. Dolphin lentur dapat terdiri dari sekelompok tiang pancang pipa baja, seperti terlihat dalam Gambar 7.30. dan 7.31. Biasanya dolphin lentur digunakan untuk menambat kapal-kapal kecil yang tidak lebih dari 5.000 DWT, atau sebagai penahan benturan untuk perlindungan dermaga atau untuk menahan kapal-kapal yang lebih besar agar tidak membebani dermaga dan struktur-struktur yang tidak dirancang untuk menahan beban benturan kapal. Kondisi tanah dasar laut harus cukup baik sehingga bisa menahan tiang. Apabila tanah terlalu lembek, maka tambatan kapal atau ikatan tiang pancang tidak akan kembali ke posisi semula setelah dibentur oleh kapal dan kemampuan untuk meredam energi melalui defleksi akan berkurang.

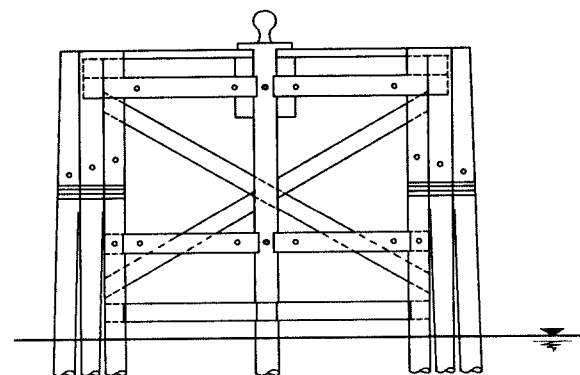


Gambar 7.30. Dolphin lentur dari kelompok tiang baja

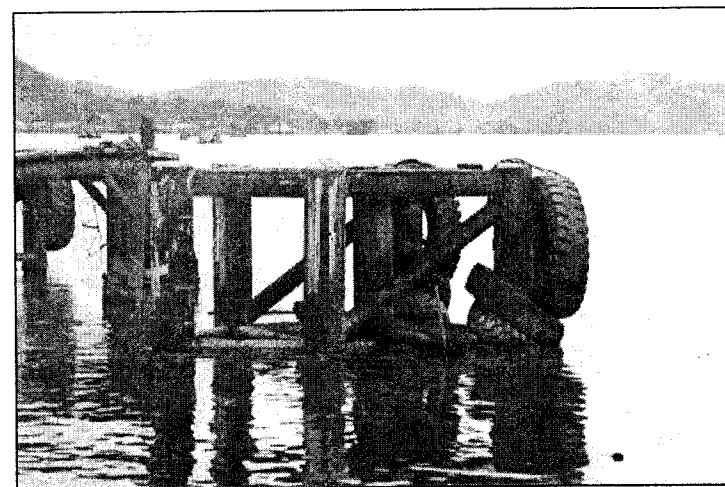


Gambar 7.31. Dolphin pipa baja di Pelabuhan Muara Sabak Jambi

Untuk kapal-kapal besar (9.000 - 17.000 DWT) maka digunakan dolphin kaku dengan platform yang berfungsi untuk mengikat dan menahan kapal. Dolphin kaku dapat terbuat dari tiang-tiang pancang baja, beton atau sel turap. Biasanya tambatan ini dilengkapi dengan fender. Gambar 7.32. adalah dolphin kaku sedang Gambar 7.33. adalah dolphin dari tiang pancang baja untuk bersandar tongkang pengangkut batu bara di Sungai Mahakam Kalimantan Timur. Dolphin dilengkapi dengan ban traktor yang berfungsi sebagai fender.

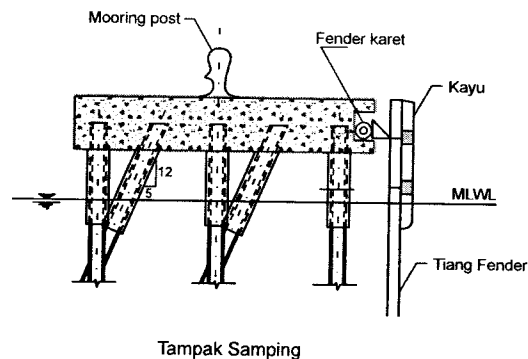


Gambar 7.32. Dolphin kaku

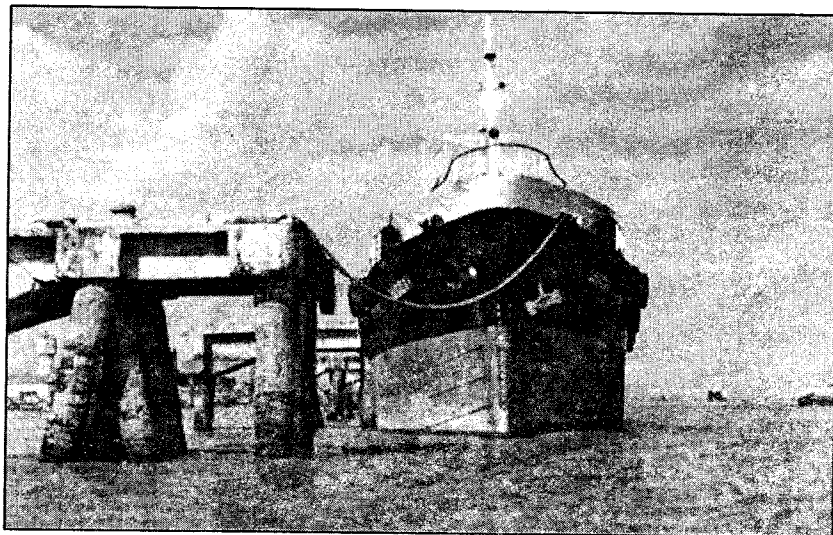


Gambar 7.33. Dolphin tiang pancang baja

Apabila kapal yang ditambatkan lebih besar lagi maka digunakan tambatan kapal yang dibuat dari plat beton tebal yang didukung oleh tiang-tiang baja yang dipancang secara vertikal dan miring, seperti terlihat dalam Gambar 7.34. Tiang-tiang pancang dapat terbuat dari pipa atau besi profil. Tambatan ini dapat digunakan untuk menambatkan kapal berukuran sampai 70.000 ton. Gambar 7.35. menunjukkan kapal yang sedang ditambatkan pada dolphin di Pelabuhan Palembang. Dolphin tersebut terbuat dari tiang pancang baja yang dirangkai oleh plat beton.

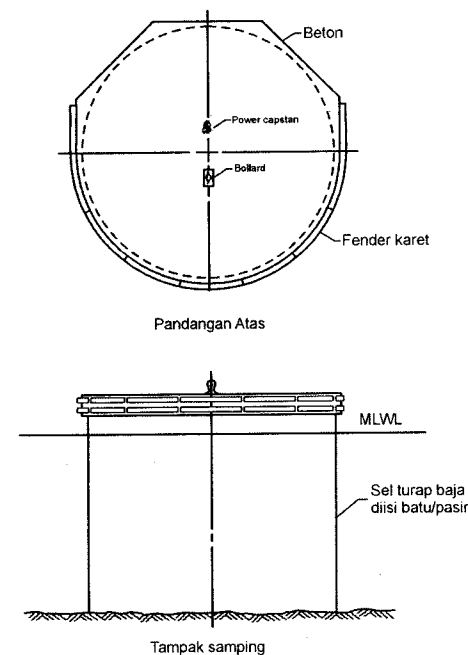


Tampak Samping
Gambar 7.34. Dolphin kaku dari beton



Gambar 7.35. Kapal bertambat pada dolphin

Sel turap yang dipancang juga dapat digunakan sebagai tambatan kapal. Bagian atas dari sel turap ini diberi plat beton, di mana alat penambat ditempatkan. Tipe ini dapat digunakan untuk menambatkan kapal dengan ukuran 35.000 ton. Karena turap-turap dipancang secara melingkar, maka tambatan ini dapat digunakan untuk membelokkan atau memutar kapal. Bentuk tambatan ini dapat dilihat pada Gambar 7.36.



Gambar 7.36. Dolphin kaku dari sel turap baja

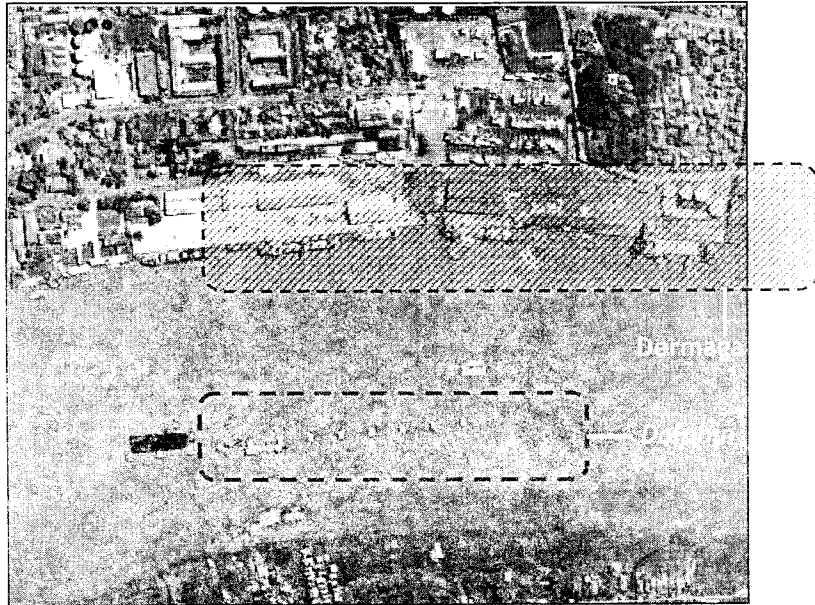
7.4.2. Perencanaan Dolphin dengan Software SAP2000

Serupa dengan contoh perencanaan dermaga yang diberikan dalam Bab VI, berikut ini diberikan contoh perencanaan dolphin dengan menggunakan *software* SAP 2000.

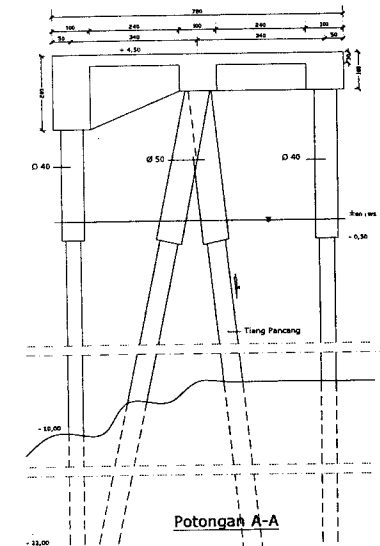
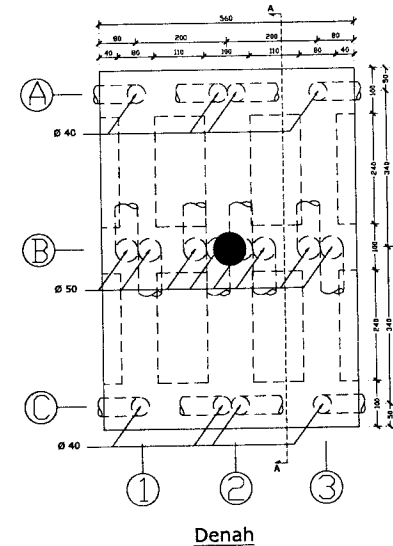
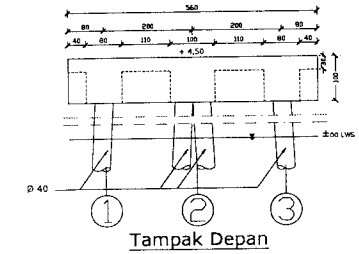
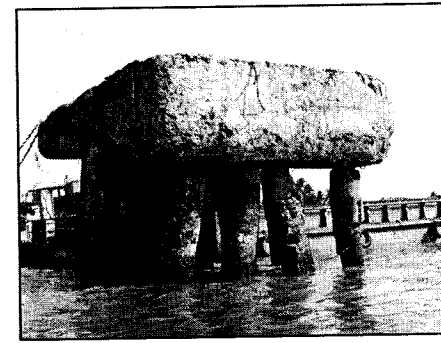
Breasting dolphin di Pelabuhan Palembang yang terdiri dari 12 unit, dibangun pada tahun 1979 dan pernah diperbaiki tahun 2004, saat ini

mengalami banyak kerusakan struktur. Perlu dilakukan perbaikan untuk mengembalikan fungsi dolphin minimal sesuai dengan desain semula. Struktur *breasting dolphin* memiliki panjang 5,60 m dan lebar 7,80 m dengan struktur atas dari balok dan pelat beton bertulang. Elevasi pelat beton paling atas pada sekitar 4,50 m dari elevasi muka air surut (LWS). Struktur bawah dan fondasi dari tiang baja dengan kedalaman sampai dasar sungai sekitar 10 m, dan sampai dasar tiang pada kedalaman 12 m. Pada bagian atas pelat terdapat *bollard* untuk penambatan tali kapal saat berlabuh (Priyosulistyo, Hrc., dkk, 2009). Data kapal dan kondisi perairan telah diberikan dalam Contoh hitungan gaya sandar dan gaya tambat pada Sub Bab 6.6.3.

Lokasi *dolphin* pada Pelabuhan Palembang dapat dilihat pada Gambar 7.37, sedangkan bentuk dan dimensi struktur asli *breasting Dolphin* dapat dilihat pada Gambar 7.38.



Gambar 7.37. Lokasi Breasting Dolphin



Gambar 7.38. Struktur Asli *Breasting Dolphin* (Priyosulistyo, dkk, 2009).

Dalam perencanaan dolphin ini pertama kali dihitung gaya-gaya yang bekerja pada struktur dolphin, di antaranya adalah gaya berat sendiri dolphin, gaya-gaya yang bekerja seperti gaya sandar (gaya benturan kapal pada dolphin), gaya tambat (tarikan kapal karena angin dan arus), serta gaya gempa. Gaya sandar dan tambat telah dihitung dalam contoh hitungan di Bab VI. Gaya-gaya tersebut dihitung tersendiri dan kemudian dibebankan ke dolphin, untuk selanjutnya dilakukan analisis struktur dengan menggunakan software SAP 2000.

Beban-belan yang diberikan pada model struktur *dolphin* meliputi beban sebagai berikut ini.

- Beban berat sendiri struktur (D)
- Gaya *berthing* kapal saat merapat (B)
- Gaya *mooring* tambatan kapal akibat arus dan angin (M)
- Gaya arus sungai (A)
- Gaya gempa statik ekuivalen (E)

Sedangkan untuk analisis struktur dimasukkan juga kombinasi pembebanan untuk menentukan gaya ultimitnya. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis secara garis besar adalah sebagai berikut ini.

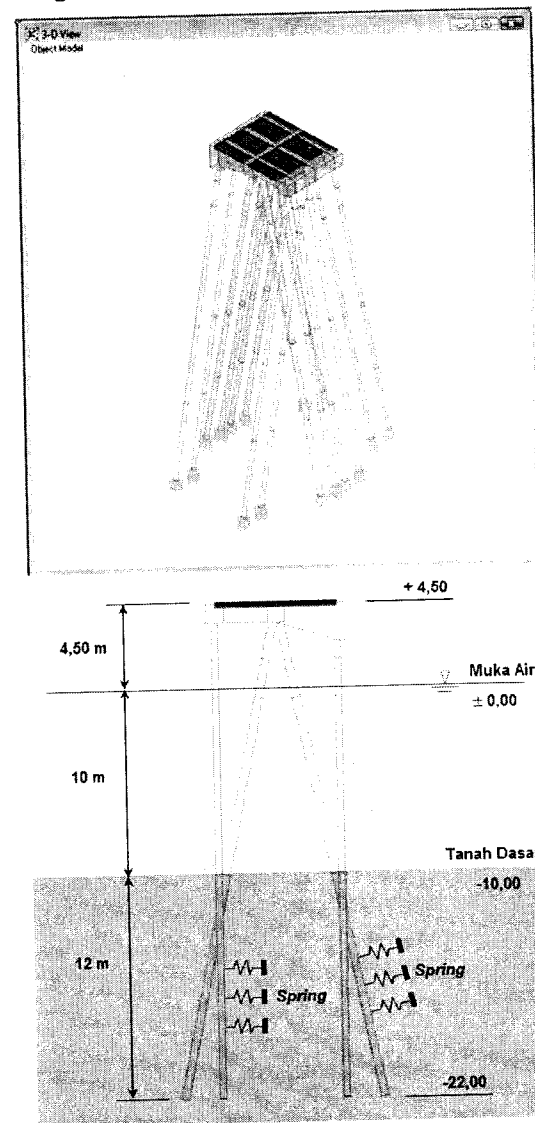
- $1,4 D + 1,4 A$
- $1,2 D + 0,3 E$
- $1,2 D + 1,2 A + 1,2 B + 1,2 M$

Untuk pemodelan tumpuan tanah dasar, dalam model SAP2000 ini digunakan elemen *spring* dengan nilai kekakuan tanah sesuai dengan data tanah yang ada. Elemen *spring* ini ditempatkan pada arah horizontal arah membujur dan melintang (X dan Y) di sekitar tiang pipa pada kedalaman -10m sampai dengan -22 m (Gambar 7.39).

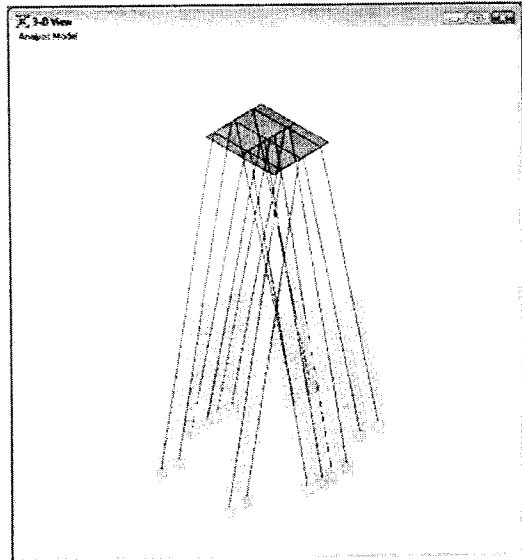
Beban gempa dibebankan secara statik ekuivalen, mengacu pada SNI 03-1726-2002. Sebelumnya dihitung terlebih dahulu berat struktur atas yang meliputi elemen balok dan pelat beton serta tiang baja yang tidak terendam sungai.

Dalam Sub Bab 6.6.3 telah dihitung energi sandar kapal ke *dolphin* dan diperoleh $E = 0,6406 \text{ ton} - m$. Berdasar energi tersebut direncanakan sistem fender. Dimensi fender ditentukan dengan anggapan pada kondisi paling kritis yang mungkin terjadi bahwa sekurang-kurangnya hanya satu fender yang menerima tumbukan kapal pada waktu merapat, sehingga energi benturan hanya diterima oleh satu fender. Dengan energi sandar $E=0,6406 \text{ ton-m}$ maka dipilih fender V tipe KVF 200 H; yang nilainya lebih kecil dari energi diserap pada batas bawah dan atas, yaitu $EA=0,75-1,0 \text{ ton-m}$. Gaya yang diteruskan adalah $RF=12,60-15,35 \text{ ton}$; diambil $RF=15,35 \text{ ton}$ untuk analisis perencanaan. Gaya tambat yang berupa tarikan kapal karena arus dan angin juga sudah dihitung dalam Sub Bab 6.6.3 yang hasilnya adalah $Rw=25,95 \text{ ton}$ dan $Ra=21,632 \text{ ton}$.

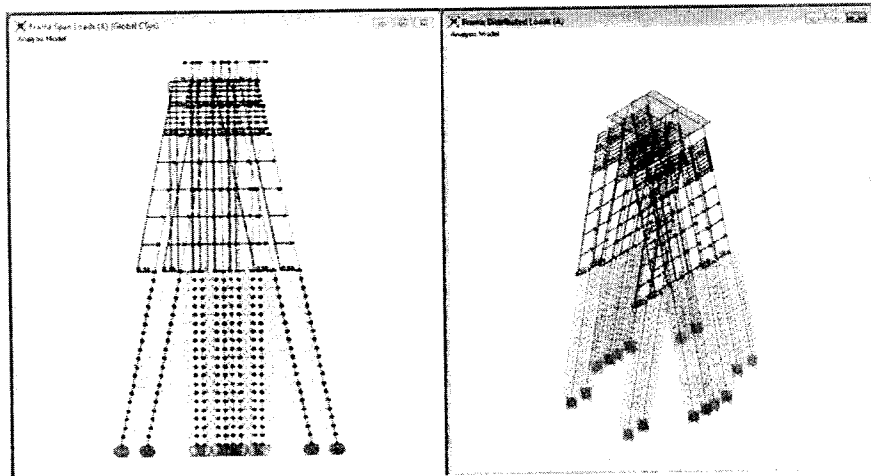
Gaya-gaya yang terjadi pada struktur dihitung dengan menggunakan *software* SAP 2000, dan hasilnya digunakan untuk merencanakan perbaikan struktur *dolphin*. Gambar 6.39. sampai 6.39. menunjukkan hasil hitungan dengan menggunakan SAP 2000.



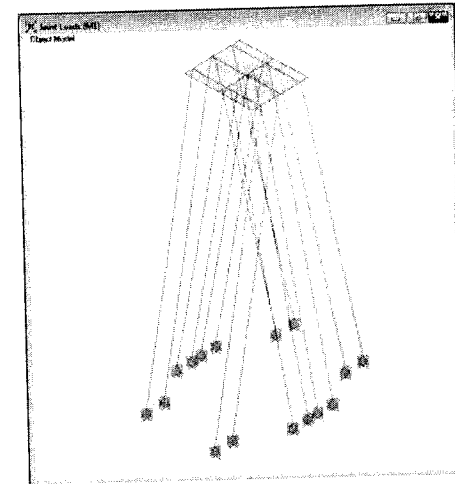
Gambar 7.39. Model Struktur *Breasting Dolphin* dengan SAP2000



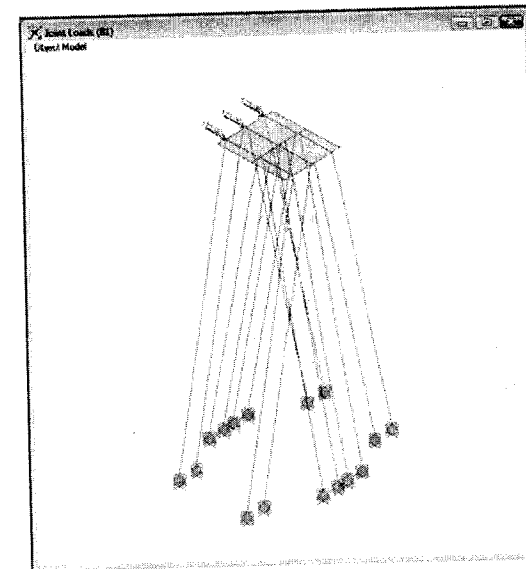
Gambar 7.40. Peletakan *Line Spring* Tanah pada Model Struktur



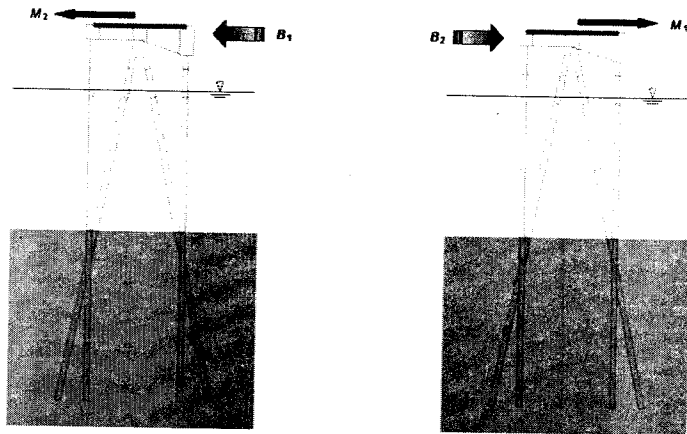
Gambar 7.41. Pembebanan Arus pada Model Struktur



Gambar 7.42. Penempatan Beban *Mooring* (10000DWT)

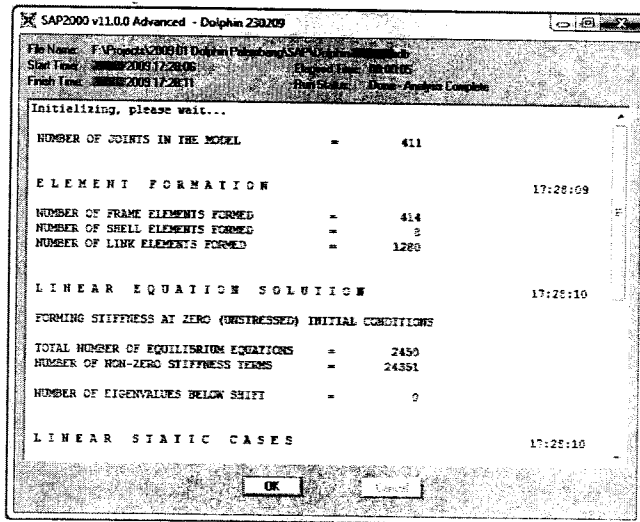


Gambar 7.43. Pembebanan Gaya *Berthing* (10000DWT)



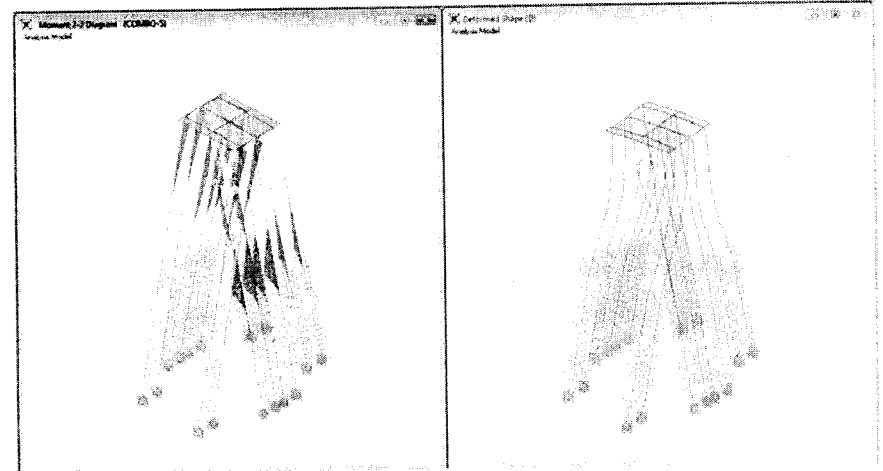
Gambar 7.44. Kombinasi Beban Mooring dan Berthing

Setelah pemodelan struktur selesai termasuk pembebanan dan kombinasinya, selanjutnya dilakukan analisis (*running*). Selama proses analisis, SAP2000 akan menyajikan layar *Analysis Monitor* (Gambar 7.45) yang berguna untuk memantau perkembangan proses analisis, dan untuk mengetahui apabila terjadi kesalahan (*error/warning*).



Gambar 7.45. Tampilan SAP2000 Analysis Monitor

Hasil analisis dapat disajikan baik dalam bentuk grafik langsung maupun bentuk tabel data output. Contoh output tampilan grafik dapat dilihat pada Gambar 7.46, sedangkan contoh tabel data output pada Gambar 7.47. Tabel data output tersebut selanjutnya dapat diolah dengan bantuan MS Excel untuk keperluan analisis lebih lanjut.



Gambar 7.46. Contoh Output Grafik SAP2000

Element Forces - Frames

File View Format Filter Sort Options

Units: As Noted

Frame Test	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame Elem	Elem Station
	m	Test	Test	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Test	m
16	0	COMBO-2	Combination	1.98	75.998	0.51	12.6729	1.1887	-109.8865	16-1	0
16	0.48571	COMBO-2	Combination	1.98	68.008	0.51	12.6729	0.9411	-73.8775	16-1	0.48571
16	0.97143	COMBO-2	Combination	1.98	54.419	0.51	12.6729	0.6535	-44.8926	16-1	0.97143
16	1.45714	COMBO-2	Combination	1.98	39.231	0.51	12.6729	0.4459	-21.2722	16-1	1.45714
16	1.94286	COMBO-2	Combination	1.98	22.445	0.51	12.6729	0.1962	-5.229	16-1	1.94286
15	2.42857	COMBO-2	Combination	1.98	4.06	0.51	12.6729	0.0494	0.2727	16-1	2.42857
16	2.91429	COMBO-2	Combination	1.98	15.924	0.51	12.6729	-0.297	2.5437	16-1	2.91429
16	3.4	COMBO-2	Combination	1.98	37.506	0.51	12.6729	-0.5446	-15.4547	16-1	3.4
16	0	COMBO-1	Combination	49.149	367.961	6.871	36.1259	-11.8242	-749.7761	16-1	0
16	0.48571	COMBO-1	Combination	49.149	363.973	6.871	36.1259	-8.4989	-699.8024	16-1	0.48571
16	0.97143	COMBO-1	Combination	49.149	360.119	6.871	36.1259	-5.1498	-377.076	16-1	0.97143
16	1.45714	COMBO-1	Combination	49.149	350.4	6.871	36.1259	-1.8122	-202.503	16-1	1.45714
16	1.94286	COMBO-1	Combination	49.149	330.816	6.871	36.1259	1.5251	-36.9862	16-1	1.94286
16	2.42857	COMBO-1	Combination	49.149	308.367	6.871	36.1259	4.9624	118.5594	16-1	2.42857
16	2.91429	COMBO-1	Combination	49.149	286.053	6.871	36.1259	8.1998	263.2368	16-1	2.91429
16	3.4	COMBO-1	Combination	49.149	260.873	6.871	36.1259	11.5371	396.1372	16-1	3.4
16	0	COMBO-3	Combination	4.033	85.124	0.447	5.1442	0.9029	-127.8968	16-1	0
16	0.48571	COMBO-3	Combination	4.033	77.134	0.447	5.1442	0.586	-87.4552	16-1	0.48571
16	0.97143	COMBO-3	Combination	4.033	63.945	0.447	5.1442	0.3691	-53.2257	16-1	0.97143
16	1.45714	COMBO-3	Combination	4.033	48.957	0.447	5.1442	0.1522	-25.9847	16-1	1.45714
16	1.94286	COMBO-3	Combination	4.033	31.571	0.447	5.1442	-0.0647	-6.5089	16-1	1.94286
16	2.42857	COMBO-3	Combination	4.033	13.186	0.447	5.1442	-0.2816	-4.6264	16-1	2.42857

Record: 1 | 1 | 436

Add Tables Done

Gambar 7.47. Contoh Output Tabel SAP2000

BAB VIII

FASILITAS PELABUHAN DI DARAT

8.1. Pendahuluan

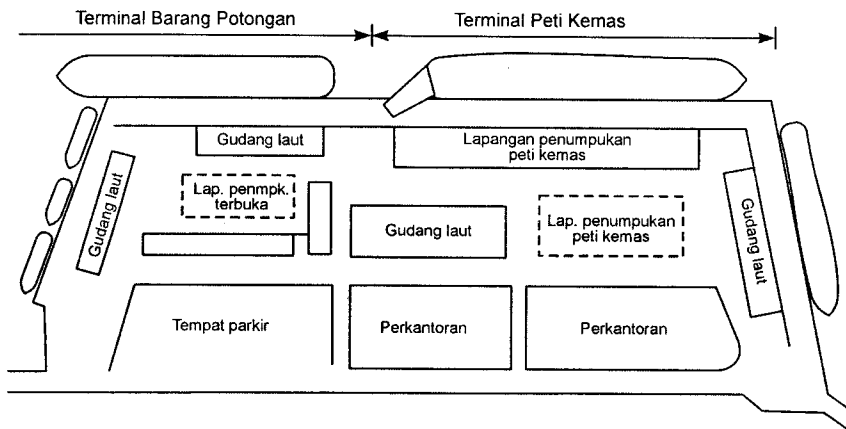
Muatan yang diangkut kapal dapat dibedakan menjadi barang umum (*general cargo*), barang curah (*bulk cargo*), dan peti kemas (*container*). Barang umum terdiri dari barang satuan seperti mobil, mesin-mesin, material yang ditempatkan dalam bungkus, koper, karung atau peti. Barang-barang ini memerlukan perlakuan khusus dalam pengangkutannya untuk menghindari kerusakan. Barang curah terdiri dari barang lepas dan tidak dibungkus/dikemas, yang dapat dituangkan atau dipompa ke dalam/dari kapal. Barang ini dapat berupa biji-bijian (beras, jagung, gandum, dsb), butiran atau batu bara; atau bisa juga berbentuk cairan seperti minyak. Karena angkutan barang curah dapat dilakukan dengan lebih cepat dan biaya lebih murah daripada barang dalam bentuk kemasan, maka beberapa barang yang dulunya diangkut dalam bentuk kemasan sekarang diangkut dalam bentuk lepas. Sebagai contoh adalah pengangkutan semen, gula, beras, jagung, dan sebagainya. Peti kemas adalah peti besar yang di dalamnya diisi barang. Biasanya peti kemas diangkut dengan kapal khusus yang disebut dengan kapal peti kemas, sedang di darat diangkut dengan truk triler dan kereta api.

Penanganan muatan di pelabuhan dilakukan di terminal pengapalan yang disesuaikan dengan jenis muatan yang diangkut. Terminal meru-

pakan tempat untuk pemindahan muatan di antara sistem pengangkutan yang berbeda yaitu dari angkutan darat ke angkutan laut dan sebaliknya. Masing-masing terminal mempunyai bentuk dan fasilitas berbeda. Terminal barang umum (*general cargo terminal*) harus mempunyai perlengkapan bongkar muat berbagai bentuk barang yang berbeda. Terminal barang curah biasanya direncanakan untuk tunggal guna, dan mempunyai peralatan bongkar muat untuk muatan curah. Demikian juga terminal peti kemas yang khusus menangani muatan yang dimasukkan dalam peti kemas, mempunyai peralatan untuk bongkar muat peti kemas.

Tidak semua pelabuhan mempunyai peralatan bongkar muat yang berada di dermaga. Beberapa pelabuhan yang relatif kecil, seperti Pelabuhan Gorontalo, Tanjung Intan (Cilacap), Tarakan, dan beberapa pelabuhan lainnya, bongkar muat barang dari kapal ke dermaga dan sebaliknya dilakukan dengan menggunakan kran (*crane*) kapal.

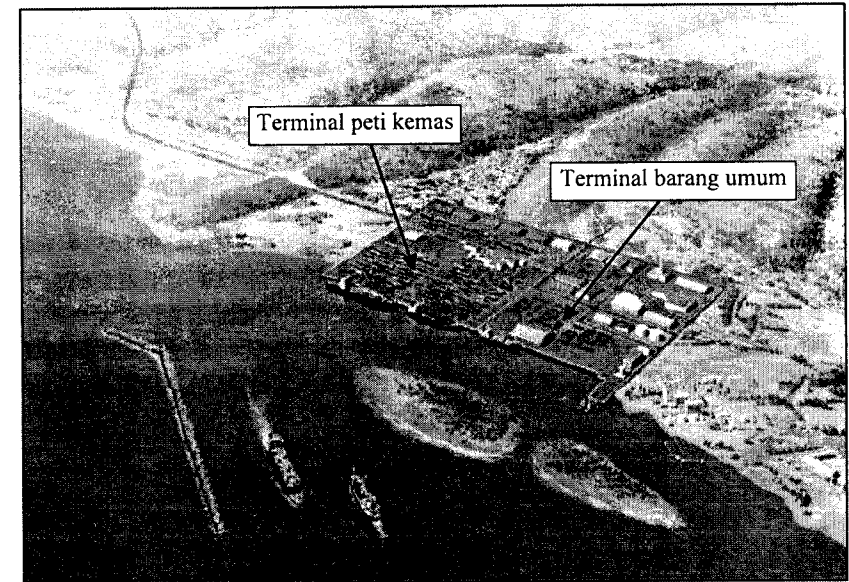
Berbagai jenis terminal tersebut dapat berada dalam satu pelabuhan, dan letak antara terminal satu dengan lainnya dapat berdampingan, seperti terlihat dalam Gambar 8.1. di mana terdapat penggabungan antara terminal peti kemas dan barang umum. Gambar 8.2. adalah dermaga terminal barang umum dan peti kemas Pelabuhan Bojanegara Jawa Barat.



Gambar 8.1. Terminal peti kemas dan barang umum.

Untuk mendukung penanganan muatan di pelabuhan, selain fasilitas pelabuhan yang berada di perairan seperti alur pelayaran, pemecah gelombang, dermaga, alat penambat dan sebagainya; diperlukan pula fas-

litas yang ada di darat seperti gudang laut, gudang, bangunan pendingin, gedung administrasi, gedung pabean, kantor polisi, kantor keamanan, ruang untuk buruh/pekerja pelabuhan, bengkel reparasi, garasi, rumah pemadam kebakaran, dan rumah tenaga. Sebagai tambahan untuk terminal pengiriman barang curah harus dilengkapi dengan elevator, silo, tangki penyimpanan, gudang-gudang untuk gula, pupuk dan sebagainya. Sedangkan untuk terminal peti kemas diperlukan lapangan penumpukan, gudang penyortiran, garasi perawatan, menara kontrol.



Gambar 8.2. Terminal barang umum dan peti kemas Pelabuhan Bojanegara Jawa Barat

Beberapa dari fasilitas di atas dapat berada dalam satu bangunan, misalnya gudang laut dapat menjadi satu dengan kantor pabean, kantor administrasi dan perusahaan pelayaran, ruang tenaga kerja, kamar kecil. Hal ini mengingat di gudang laut terdapat kegiatan yang memerlukan fasilitas-fasilitas tersebut. Selain itu, pada pelabuhan-pelabuhan besar diperlukan kantor-kantor pusat dari berbagai fasilitas tersebut yang berada dalam satu bangunan. Kantor/bangunan pusat ini merupakan tempat kedudukan kepala pelabuhan, kepala pemeriksa pabean, kepala polisi, ke-

pala pergudangan, departemen akutanasi, dsb. Semua kegiatan yang ada di pelabuhan dikendalikan dari kantor pusat ini.

8.2. Terminal Barang Umum (*General Cargo Terminal*)

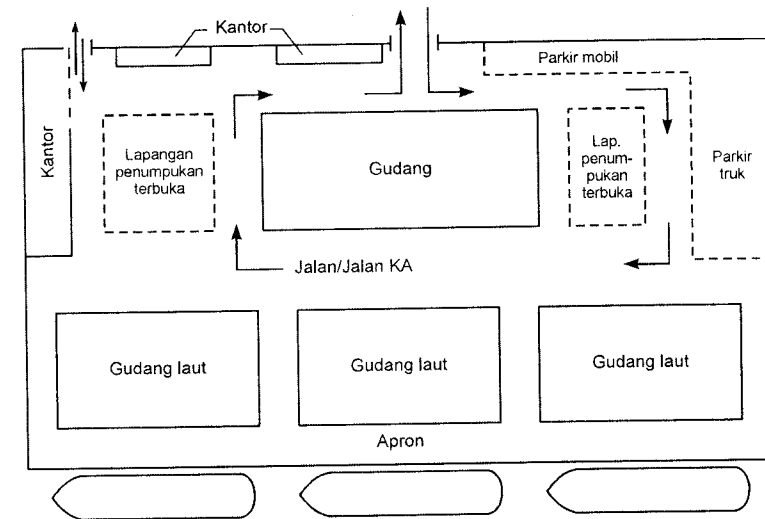
Fasilitas-fasilitas yang ada dalam terminal barang potongan dapat dilihat dalam Gambar 8.3. Gambar 8.4. adalah terminal barang umum di Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta. Penjelasan dari beberapa fasilitas tersebut diberikan berikut ini.

1. Apron

Apron adalah halaman di atas dermaga yang terbentang dari sisi muka dermaga sampai gudang laut atau lapangan penumpukan terbuka. Apron digunakan untuk menempatkan barang yang akan dinaikkan ke kapal atau barang yang baru saja diturunkan dari kapal. Bentuk apron tergantung pada jenis muatan, apakah barang umum, curah atau peti kemas. Lebar apron tergantung pada fasilitas yang ditempatkan di atasnya, seperti jalan untuk truk dan/atau kereta api, kran, alat pengangkut lainnya seperti forklift, kran mobil, gerobak yang ditarik traktor, dan sebagainya. Di dalam Bab VI tentang dermaga telah diberikan cara untuk menghitung lebar apron. Biasanya lebar apron adalah antara 15 dan 25 meter. Sebagai contoh, terminal barang umum di Pelabuhan Tanjung Mas dan Tanjung Priok mempunyai lebar 25 m.

2. Gudang Laut dan Lapangan Penumpukan Terbuka

Gudang laut (disebut juga gudang pabean, gudang linie ke I, gudang transit) adalah gudang yang berada di tepi perairan pelabuhan dan hanya dipisahkan dari air laut oleh dermaga pelabuhan. Gudang ini menyimpan barang-barang yang baru saja diturunkan dari kapal dan yang akan dimuat ke kapal, sehingga barang terlindung dari hujan dan terik matahari. Untuk barang yang tidak memerlukan perlindungan, seperti mobil, truk, besi beton, dan sebagainya dapat ditempatkan pada lapangan penumpukan terbuka. Barang-barang tersebut harus diselesaikan urusan administrasinya, seperti pengecekan untuk menyesuaikan antara barang dan *packing list*, pembayaran bea masuk (import) atau bea ekspor dan biaya-biaya lainnya.



Gambar 8.3. Terminal barang umum



(Atas ijin PT Pelindo II)

Gambar 8.4. Terminal barang umum Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta

Gudang laut hanya menyimpan barang-barang untuk sementara waktu sambil menunggu pengangkutan lebih lanjut ke tempat tujuan terakhir. Masa penyimpanan barang-barang dalam gudang laut adalah maksimum 15 hari untuk barang-barang yang akan dimasukkan ke dalam peredaran bebas setempat (dengan angkutan darat) dan maksimum 30 hari untuk barang-barang yang akan diteruskan ke pelabuhan lain (dengan kapal lain). Apabila sampai batas waktu tersebut barang belum bisa dikirim ke tempat tujuan akhir maka barang harus dipindahkan ke gudang lini ke II (*warehouse*). Fasilitas yang ada di gudang laut biasanya tidak dipungut biaya untuk waktu pemakaian antara 3 sampai 5 hari. Tetapi apabila lebih dari waktu tersebut akan dikenakan biaya.

Tidak semua barang yang dibongkar dari kapal disimpan di gudang dan lapangan penumpukan. Sebagian barang dikirim langsung ke tempat tujuan, sedang sisanya tertahan di pelabuhan dan disimpan di gudang dan lapangan penumpukan

Luas gudang dan lapangan penumpukan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A = \frac{T TrT Sf}{365 Sth(1 - BS)} \quad (8.1)$$

dengan :

- A : luas gudang (m^2)
- T : *throughput* per tahun (muatan yang lewat tiap tahun, ton)
- TrT : *transit time/dwelling time* (waktu transit, hari)
- Sf : *storage factor* (rata-rata volume untuk setiap satuan berat komoditi, m^3 /ton; misalkan tiap $1 m^3$ muatan mempunyai berat 1,5 ton; berarti $Sf = 1/1,5 = 0,6667$)
- Sth : *stacking height* (tinggi tumpukan muatan, m)
- BS : *broken stwage of cargo* (volume ruang yang hilang di antara tumpukan muatan dan ruangan yang diperlukan untuk lalu lintas alat pengangkut seperti forklift atau peralatan lain untuk menyortir, menumpuk dan memindahkan muatan, %)
- 365 : jumlah hari dalam satu tahun

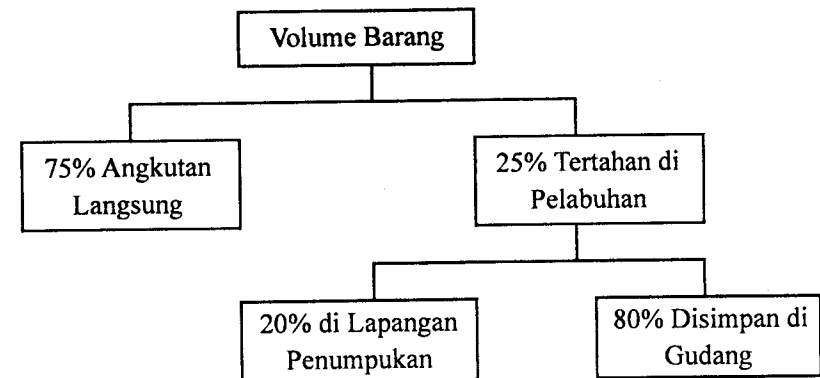
Contoh 1

Pelabuhan umum Gorontalo melayani bongkar muat barang yang dikemas dalam kantong (*bag cargo*) dengan volume 300.000 ton per tahun. Arus barang yang melalui dermaga sebesar 75% diangkut langsung ke tempat tujuan dan 25% tertahan di pelabuhan. Sebanyak 25% barang yang tertahan tersebut 80% disimpan di gudang sedang 20% disimpan di lapangan penumpukan. Hitung kebutuhan luas gudang dan lapangan penumpukan.

Penyelesaian

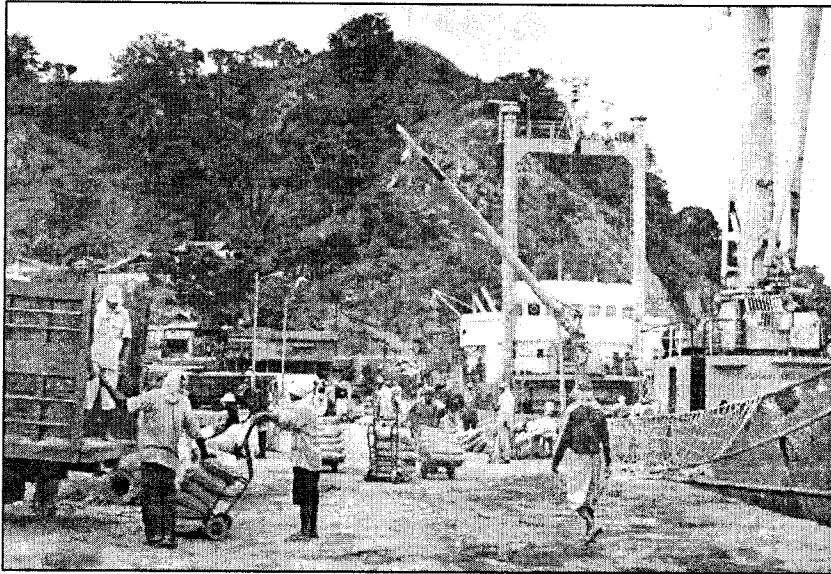
Gambar 8.5. adalah arus angkutan barang di Pelabuhan Gorontalo. Sebanyak 75% barang yang dibongkar dari kapal langsung diangkut ke tempat tujuan, dan hanya 25% barang yang tertinggal di dermaga. Barang yang tertinggal di dermaga sebanyak 80% disimpan di gudang dan 20% di lapangan penumpukan terbuka.

Gambar 8.6. menunjukkan muatan semen yang dibongkar dari kapal langsung diangkut dengan menggunakan truk ke lokasi tujuan. Sebagian besar barang yang dibongkar di Pelabuhan Gorontalo langsung dikirim ke pemilik barang.



Gambar 8.5. Arus barang di Pelabuhan Gorontalo

Dalam hitungan luas gudang dan lapangan penumpukan, parameter yang ada pada Persamaan (8.1) disesuaikan dengan kondisi di lapangan.



Gambar 8.6. Muatan dibongkar dari kapal langsung dikirim ke tujuan

a. *Throughput* :

- 1) Dikirim langsung : $T_0 = 0.75 \times 300000 = 225.000$ ton
- 2) tertahan di dermaga : $T_1 = 0.25 \times 300000 = 75.000$ ton
- 3) disimpan di gudang : $T_2 = 0.80 \times 75.000 = 60.000$ ton
- 4) disimpan di lapangan : $T_3 = 0.20 \times 75.000 = 15.000$ ton

- b. Nilai TrT sesuai dengan kondisi yang ada adalah 7 hari,
- c. Sf untuk jenis barang yang disimpan di gudang (semen, jagung, beras) diperkirakan sebesar $0,6667 \text{ m}^3/\text{ton}$ untuk penyimpanan di gudang dan $1,0 \text{ m}^3/\text{ton}$ untuk penyimpanan di lapangan penumpukan.
- d. Nilai Sth adalah 3 m untuk penyimpanan di gudang dan $1,8 \text{ m}$ untuk penyimpanan di lapangan penumpukan.

Dengan menggunakan nilai-nilai seperti tersebut di atas maka kebutuhan gudang dan lapangan penumpukan dihitung sebagai berikut ini.

Luas gudang :

$$A = \frac{T_2 TrT Sf}{365 Sth(1-BS)} = \frac{60000 \times 7 \times 0.6667}{365 \times 3 \times (1-0,5)} = 511 \text{ m}^2$$

Luas lapangan penumpukan :

$$A = \frac{T_3 TrT Sf}{365 Sth(1-BS)} = \frac{15000 \times 7 \times 0.5}{365 \times 1,8 \times (1-0,5)} = 320 \text{ m}^2$$

Dengan demikian kebutuhan luas gudang dan lapangan penumpukan berturut-turut adalah 600 m^2 (pembulatan ke atas dari 511 m^2) dan 400 m^2 (pembulatan ke atas dari 320 m^2). Pembulatan ke atas untuk mengantisipasi peningkatan kebutuhan di masa datang.

3. Gudang

Gudang (*warehouse*) digunakan untuk menyimpan barang dalam waktu lama. Gudang ini dibuat agak jauh dari dermaga. Hal ini mengingat beberapa hal berikut ini.

- a. Ruang yang tersedia di dermaga biasanya terbatas dan hanya digunakan untuk keperluan bongkar muat dari dan/atau ke kapal.
- b. Pengoperasian gudang laut sangat berbeda dengan gudang. Gudang laut memerlukan gang yang lebih besar untuk penanganan secara cepat barang-barang dengan menggunakan peralatan pengangkut (*fork lift*, dsb.).
- c. Dari tinjauan ekonomis pembuatan gudang di dermaga tidak menguntungkan, mengingat konstruksi gudang lebih berat dari gudang laut, sementara kondisi tanah di daerah tersebut kurang baik sehingga diperlukan fondasi tiang pancang yang mahal.

4. Bangunan Pendingin (*Cold Storage*)

Apabila barang yang memerlukan pendinginan dikapalkan oleh kapal dengan pendingin dan didistribusikan ke daerah tujuan dengan kereta api atau truk, maka diperlukan bangunan pendingin (*cold storage building*) di dermaga sedemikian sehingga barang-barang beku tersebut dapat dipindahkan dari kapal ke tempat di bangunan *cold storage* dalam waktu yang sesingkat mungkin sehingga perubahan temperatur yang terjadi sekecil mungkin. Dengan demikian kerusakan makanan yang

terjadi dapat ditekan. Bahan makanan yang memerlukan pendinginan adalah daging, ikan, buah-buahan, sayur-sayuran.

5. Fasilitas penanganan barang umum

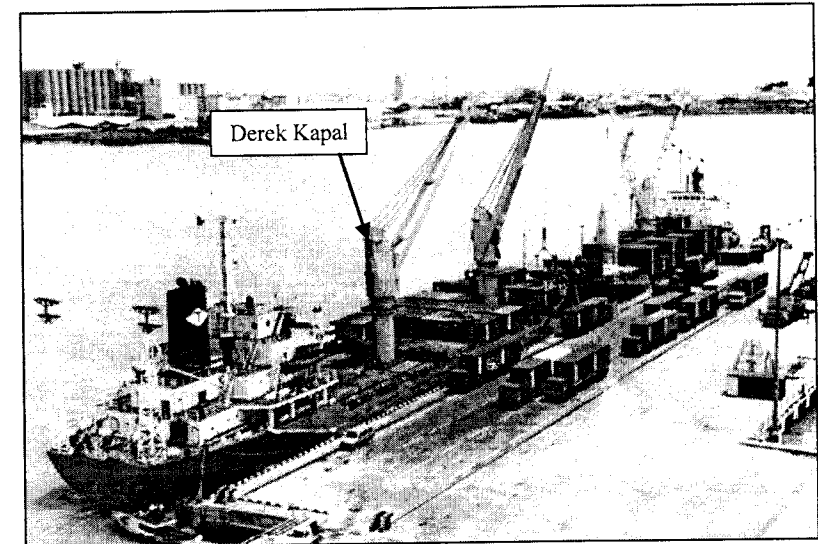
Ada beberapa macam alat yang dipergunakan untuk melakukan bongkar muat barang potongan, seperti yang akan dijelaskan berikut ini.

a. Derek kapal (*ship's derricks*)

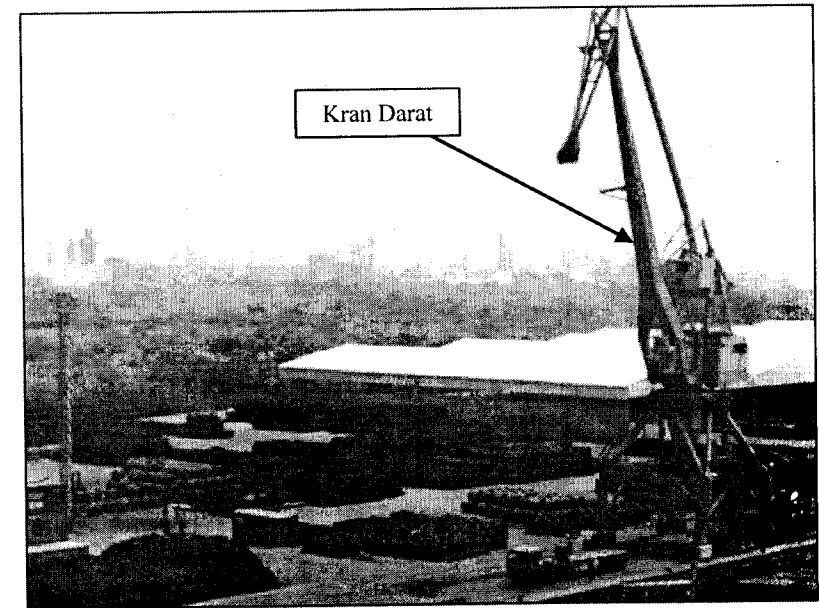
Alat ini digunakan untuk mengangkat muatan yang tidak terlalu berat dan pengangkatan berlaku untuk radius kecil, yaitu sekitar 6 meter dari lambung kapal. Derek kapal ini terdiri lengan, kerekan dan kabel baja yang digerakkan (dilepas dan ditarik) dengan bantuan pesawat lain yang disebut *winch*. Pada sebuah kapal biasanya terdapat beberapa buah derek yang bisa berkapasitas 0,5 ton; 2,5 ton atau 5 ton; yang tergantung pada besar kecilnya kapal. Untuk kapal-kapal besar biasanya mempunyai satu atau beberapa buah derek berat (*heavy derrick*) yang berkapasitas 10 ton, 20 ton dan bahkan ada yang 50 ton sampai 70 ton. Radius pengangkatan derek kapal ini biasanya kecil, sebab apabila terlalu panjang bisa mengganggu stabilitas kapal. Gambar 8.7. menunjukkan bongkar muat kapal dengan menggunakan derek/kran kapal.

b. Kran darat (*shore crane*)

Kran darat adalah pesawat untuk bongkar muat dengan lengan cukup panjang yang ditempatkan di atas dermaga pelabuhan, dipinggir permukaan perairan pelabuhan. Kran ini mempunyai roda dan dapat berpindah sepanjang rel kereta api. Daya angkat kran darat bermacam-macam, bisa 2,5 ton, 5 ton, 10 ton, 20 ton atau lebih. Sesuai dengan besar kecilnya daya angkat, jangkauan lengan kran juga dapat diatur. Jarak jangkauan lengan cukup panjang sehingga dapat meletakkan muatan pada lantai kedua dari gudang yang bertingkat, atau meletakkan muatan pada radius 20 m dari lambung kapal. Selain kran darat yang bertumpu pada rel kereta api, ada juga kran yang bertumpu pada roda truk. Mengingat besarnya beban yang ditimbulkan oleh kran ini, maka di dalam perencanaan dermaga harus diperhitungkan beban dari kran tersebut. Gambar 8.8. adalah kran darat.



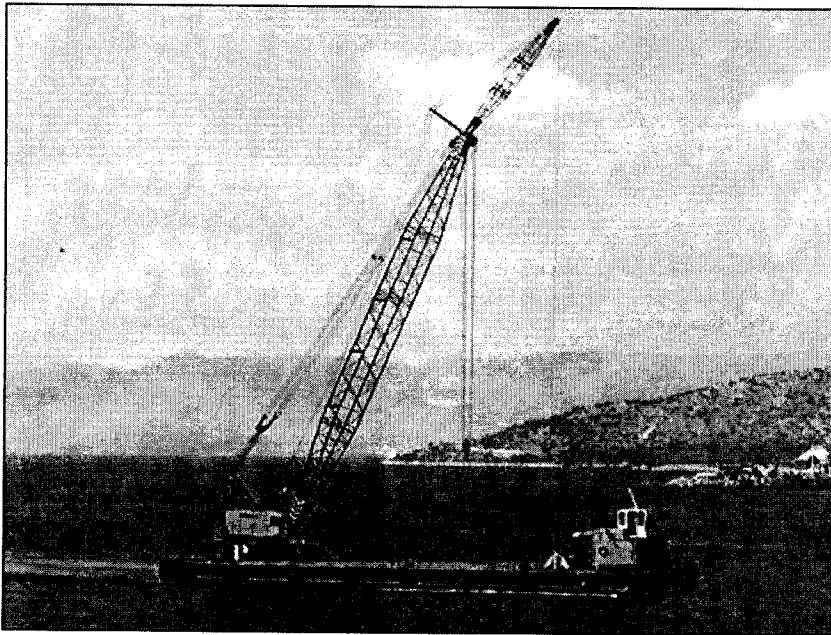
Gambar 8.7. Derek/kran kapal



Gambar 8.8. Kran darat

c. Kran terapung (floating crane)

Kran terapung adalah pesawat bongkar muat yang mempunyai mesin sendiri untuk bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya. Tetapi ada juga pesawat jenis ini yang tidak dilengkapi dengan mesin sendiri, dan perpindahan tempat dilakukan dengan ditarik oleh kapal tunda. Lengannya dipasang mati dan tidak dapat diatur panjang jangkauannya seperti pada kran darat. Kran terapung biasanya digunakan untuk bongkar muat barang dengan ukuran besar, seperti lokomotif, gerbong kereta api, mesin-mesin pembangkit tenaga listrik, dan muatan berat lainnya (10 ton, 25 ton, 50 ton, 200 ton atau lebih). Meskipun bisa mengangkat beban sangat berat, kran terapung tidak meneruskan beban tersebut ke dermaga. Apabila pengangkatan muatan berat tersebut dilakukan dengan menggunakan kran darat dapat menimbulkan tekanan terlalu besar pada lantai dermaga. Gambar 8.9. menunjukkan kran terapung.



<http://www.spanopoulos-group.com>

Gambar 8.9. Kran Apung (floating crane)

d. Alat pengangkat muatan di atas dermaga

Ada beberapa macam alat untuk mengangkat dan mengangkut barang di atas dermaga, di antaranya adalah *fork lift*, kran mobil, gerobag yang ditarik traktor, dsb.

Fork lift banyak digunakan untuk mengangkat barang dari apron dan membawanya ke gudang laut, dan bisa menumpuknya sampai pada ketinggian mencapai 6 m. Penumpukan barang ini memungkinkan penggunaan ruangan lebih efisien. Selain *fork lift*, kran mobil dengan roda dari ban mobil/truk yang dilengkapi dengan derek yang bisa diatur panjang lengannya secara hidrolik juga banyak digunakan di atas dermaga. Alat ini dapat beroperasi di ruang sempit. Traktor yang menarik gerobag dengan dasar rendah dan beroda truk juga dapat digunakan apabila jarak antara sisi kapal dan tempat penumpukan barang cukup jauh untuk dilayani *fork lift* secara efisien. Gerobag ini juga berguna untuk mengangkut barang campuran yang terdiri dari bungkusan-bungkusan kecil yang dikirim ke alamat berbeda. Barang dalam bentuk satuan juga dapat diangkat secara horisontal untuk jarak yang pendek dengan menggunakan sabuk berjalan (*belt conveyor*). Gambar 8.10. menunjukkan *fork lift* yang sedang mengangkut semen dari peti kemas di Pelabuhan Tanjung Mas Semarang.



Gambar 8.10. Forklift mengangkut semen dari peti kemas

8.3. Terminal Barang Curah (*Bulk Cargo Terminal*)

Muatan curah dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

1. muatan lepas yang berupa hasil tambang seperti batu bara, biji besi, bauxit dan hasil pertanian seperti beras, gula, jagung dan sebagainya;
2. muatan cair yang diangkut dalam kapal tangki seperti minyak bumi, minyak kelapa sawit, bahan kimia cair dan sebagainya.

Terminal muatan curah harus dilengkapi dengan fasilitas penyimpanan muatan. Tipe fasilitas penyimpanan tergantung pada jenis muatan, yang bisa berupa lapangan untuk mengangkut muatan, tangki-tangki untuk minyak, silo atau gudang untuk material yang memerlukan perlindungan terhadap cuaca, atau lapangan terbuka untuk menimbun batu bara, biji besi dan bauxit.

Barang curah dapat ditangani secara ekonomis dengan menggunakan *belt conveyor* atau *bucket elevator* atau kombinasi dari keduanya. Barang cair dapat diangkut dengan pompa. Sedang barang berupa bubuk, material berbutir halus seperti semen dan butiran atau material yang ringan dapat diangkut dengan alat penghisap (alat *pneumatis*).

Belt conveyor adalah alat yang paling serbaguna untuk mengangkut berbagai macam barang berbentuk bubuk, butiran dan kental. Alat tersebut dapat untuk mengangkut material dalam jumlah besar untuk jarak jauh, baik secara horisontal maupun naik atau turun dengan kemiringan dari 15° sampai 20°. Alat ini digunakan untuk memindahkan material dari tempat penimbunan ke dalam kapal, dan sebaliknya.

Bucket elevator mengangkut material secara vertikal atau yang mempunyai kemiringan besar. Kapasitasnya lebih rendah daripada kapasitas *belt conveyor*. Alat ini digunakan untuk mengisi silo.

Kran yang dapat bergerak di sepanjang dermaga dengan menggunakan rel juga banyak digunakan untuk bongkar muat barang curah. Pada kran ini digantungkan ember yang dapat digerakkan naik-turun dan ke depan/ke belakang. Apabila diperlukan penanganan muatan dengan kecepatan tinggi, dapat digunakan dua atau lebih kran yang dikerjakan pada satu kapal.

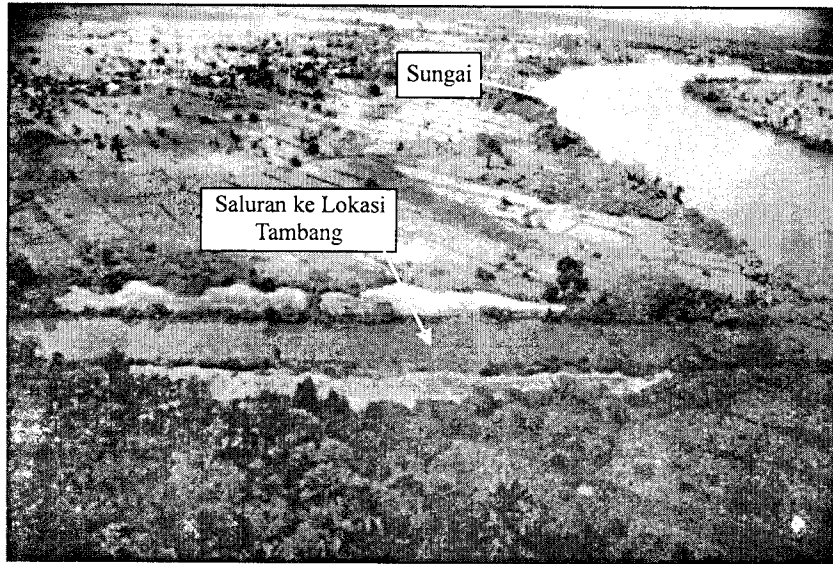
1. Terminal barang tambang (*batu bara, biji besi, bauxit*)

Barang curah padat bisa berupa barang tambang seperti batubara, pasir besi, bauxit; material konstruksi seperti semen, pasir, batu, kerikil; atau produk pertanian seperti beras, jagung, gandum, dsb. Terminal untuk barang curah hasil tambang dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu terminal untuk pemuatan dan pembongkaran. Operasi pemuatan muatan curah ke kapal (ekspor) berbeda dengan pembongkaran muatan dari kapal (import). Terminal pemuatan berada di daerah penghasil barang tambang yang mengirim muatan ke daerah yang membutuhkan.

Saat ini penambangan batubara sedang marak di Indonesia. Di antara beberapa jenis barang curah padat, batu bara merupakan bahan yang banyak ditambang. Batubara merupakan bahan bakar yang digunakan pada banyak industri dan pembangkit listrik tenaga uap. Potensi sumberdaya batubara di Indonesia melimpah, terutama di Pulau Kalimantan dan Sumatera. Pada umumnya lokasi tambang berada di daerah pedalaman yang jauh dari daerah industri atau PLTU yang membutuhkannya. Diperlukan angkutan batubara dari lokasi penambangan ke daerah industri. Pengangkutan bisa dilakukan dengan menggunakan truk menuju ke pelabuhan atau tongkang yang ditarik kapal tunda melalui saluran dan sungai. Penggunaan truk untuk angkutan batubara banyak ditentang karena mengganggu lalu lintas umum dan dapat mempercepat kerusakan jalan karena beban yang berat. Oleh karena itu pengusaha penambangan banyak yang menggunakan tongkang untuk angkutan batubara. Pada umumnya tongkang mampu mengangkut muatan antara 5.000 ton sampai 10.000 ton, yang jauh lebih efisien dibanding truk yang kapasitasnya kecil. Tongkang dapat mengangkut batubara langsung ke tempat tujuan (lokasi industri atau PLTU yang membutuhkan) atau menuju ke pelabuhan dan memindahkan muatan ke kapal yang lebih besar.

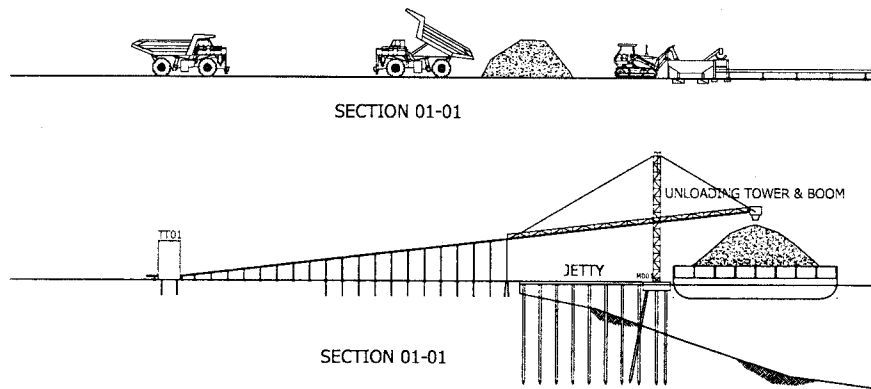
Gambar 8.11. menunjukkan Sungai Negara dan Saluran Puting di Kalimantan Tengah yang digunakan untuk alur angkutan batubara dengan menggunakan tongkang. Saluran Puting menuju ke lokasi tambang batubara Tapin (Hutama Karya, 2007). Batubara dari lokasi tambang diangkut dengan menggunakan *dumptruck* ke tempat penimbunan yang berada di terminal pemuatan. Dengan menggunakan alat berat batubara dituangkan ke *hopper*, yang selanjutnya *hopper* tersebut mengeluarkan secara kontinyu batubara ke *belt conveyor*, yang kemudian membawanya dan menuangkannya ke dalam tongkang yang berada di dermaga (Gambar

8.12). Gambar 8.13. adalah foto *belt conveyor* yang membawa batubara menuju tongkang, dan Gambar 8.14. adalah pemuatan ke tongkang.



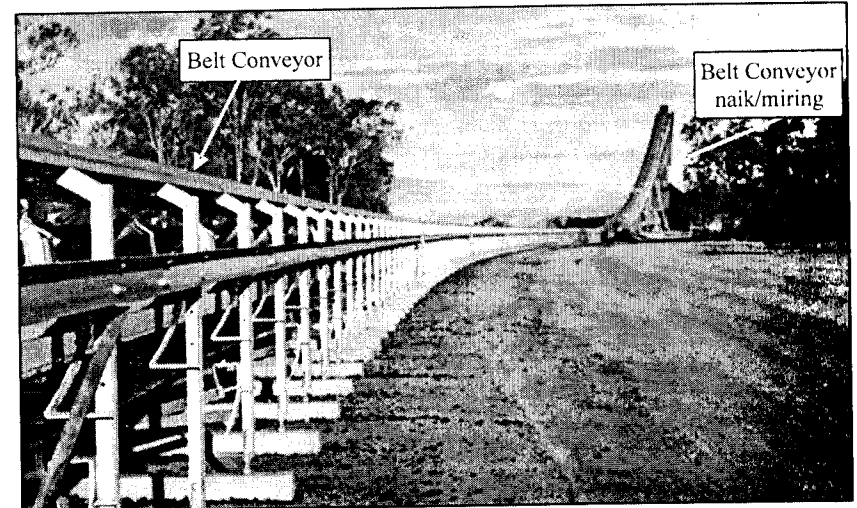
(Atas izin PT Hutama Karya, 2007)

Gambar 8.11. Sungai dan saluran untuk angkutan batubara



(Sumber : Hutama Karya, 2008)

Gambar 8.12. Pemuatan batubara dari tempat penimbunan ke tongkang



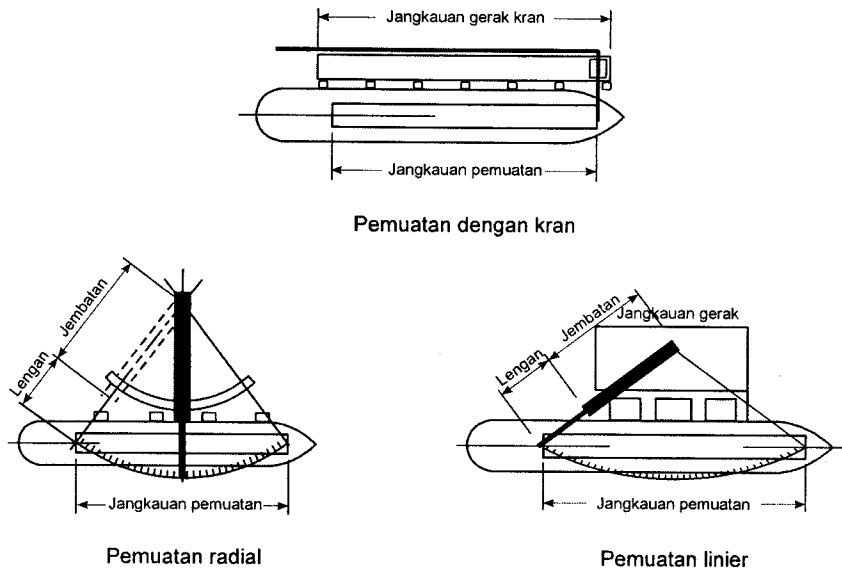
(Sumber : Hutama Karya, 2008)

Gambar 8.13. *Belt conveyor*



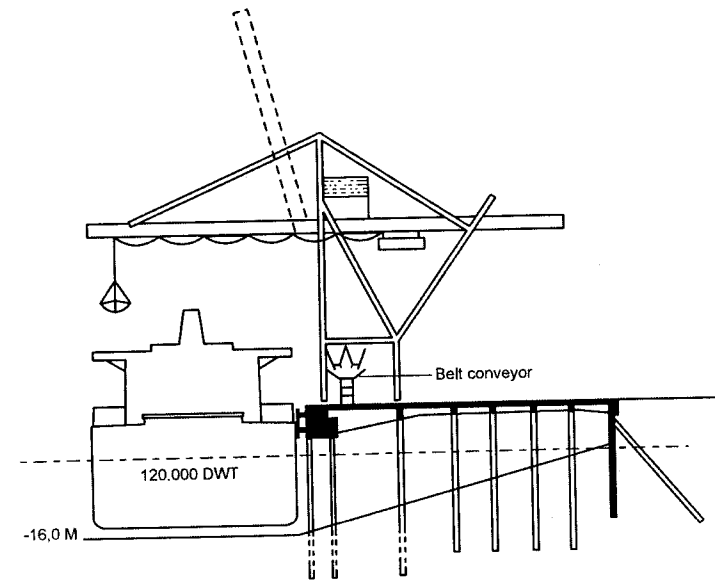
Gambar 8.14. Pemuatan batubara ke tongkang

Terminal pemuatan besar biasanya dilengkapi dengan alat pemuat yang bisa bergerak secara radial atau linier di atas badan kapal untuk menuangkan muatan yang dibawanya dengan *belt conveyor* (Gambar 8.15). Terminal ini mempunyai lapangan penimbunan muatan yang luas dengan jaringan distribusi menuju ke alat pemuat.

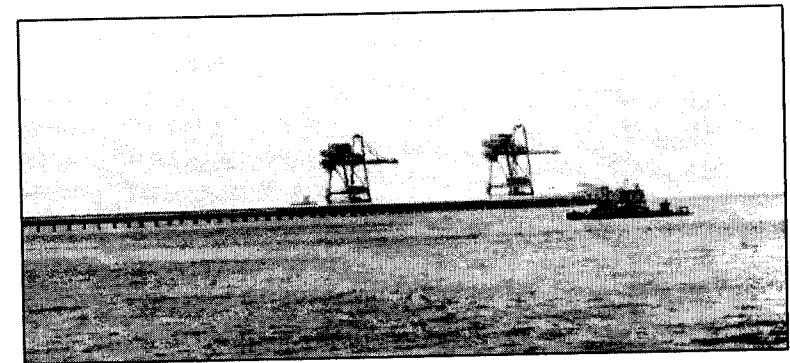


Gambar 8.15. Pemuatan barang curah

Terminal pembongkaran dilengkapi dengan kran yang dapat bergerak di sepanjang dermaga dengan menggunakan rel. Pada kran tersebut digantungkan ember (*bucket*) yang dapat diturunkan di kapal untuk mengeruk muatan. Kemudian ember dan isinya bergerak untuk menuangkan isinya di lapangan penimbunan, atau langsung ke alat pengangkut di darat seperti truk, kereta api atau *belt conveyor*. Seperti terlihat dalam Gambar 8.16. Meskipun muatan bisa langsung dipindah dari kapal ke alat pengangkut di darat, namun sebaiknya juga tetap disediakan lapangan penimbunan sementara di belakang dermaga supaya pembongkaran di kapal tidak terganggu apabila terjadi keterlambatan/ kerusakan alat tersebut. Gambar 8.17 adalah jetty di PLTU Tanjungjati Jepara Jawa Tengah yang dilengkapi kran untuk membongkar muatan batubara.



Gambar 8.16. Bongkar muat dengan kran

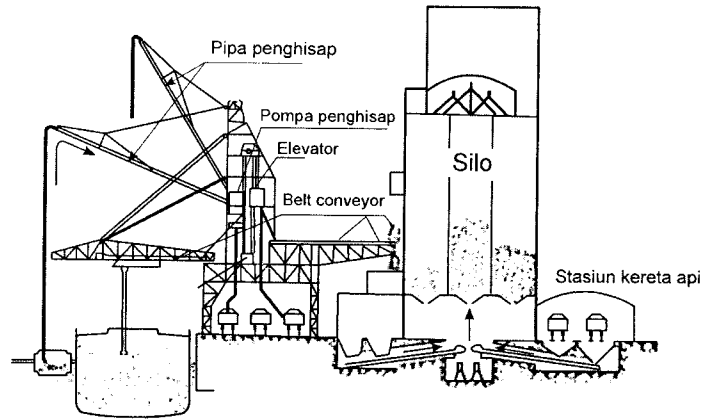


Gambar 8.17. Jetty untuk membongkar muatan batubara

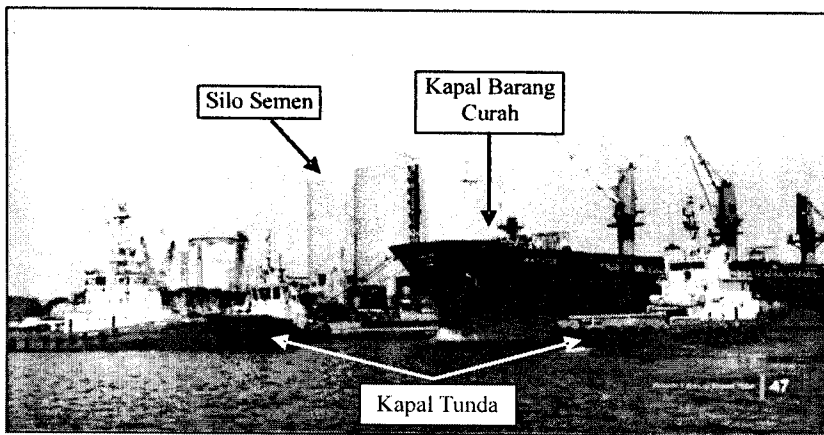
2. Terminal muatan biji-bijian

Untuk biji-bijian seperti beras, tepung, gula dan sebagainya; bongkar muat barang dapat dilakukan dengan alat khusus yang berupa alat penghisap atau dengan elevator. Muatan tersebut kemudian disimpan dalam silo, yaitu suatu tabung besar dan tinggi yang terbuat dari beton. Silo ini dihubungkan dengan peralatan yang ada di dermaga dengan

menggunakan belt conveyor atau bucket elevator. Dari silo ini muatan dipindahkan ke truk atau gerbong kereta api. Gambar 8.18. dan 8.19 adalah contoh terminal muatan curah dengan menggunakan silo.



Gambar 8.18. Terminal muatan curah dengan menggunakan silo



Gambar 8.19. Silo semen di Pelabuhan Tanjung Priok (Ijin PT Pelindo II)

3. Terminal minyak

Prinsip pelabuhan minyak telah dijelaskan dalam bab I. Pada umumnya fasilitas penambatan berupa jetty menjorok ke laut yang dilengkapi dengan dolphin penahan dan dolphin penambat. Bongkar muat minyak dilakukan dengan tenaga pompa melalui pipa-pipa yang dipasang

pada jetty (jembatan) dan menghubungkan kapal dengan tangki penyimpanan. Tangki ini terbuat dari baja yang dibangun di atas tanah atau di bawah tanah.

Untuk kapal tangker raksasa yang mempunyai draft besar sehingga tidak bisa masuk ke pelabuhan yang ada, maka penambatan dilakukan di lepas pantai. Bongkar muat muatan dilakukan dengan menggunakan pipa bawah laut, atau dengan memindahkan muatan ke dalam kapal yang lebih kecil dan kemudian membawanya ke pelabuhan.

8.4. Terminal Peti Kemas (*Container Terminal*)

Pengiriman barang dengan menggunakan peti kemas (*container*) telah banyak dilakukan, dan volumenya terus meningkat dari tahun ke tahun. Beberapa pelabuhan terkemuka telah mempunyai fasilitas-fasilitas pendukungnya yang berupa terminal peti kemas seperti Pelabuhan Tanjung Priok, Tanjung Mas, Tanjung Perak, Belawan dan Ujung Pandang.

Pengangkutan dengan menggunakan peti kemas memungkinkan barang-barang digabung menjadi satu dalam peti kemas sehingga aktivitas bongkar muat dapat dimekanisasikan. Hal ini dapat meningkatkan jumlah muatan yang bisa ditangani sehingga waktu bongkar muat menjadi lebih cepat.

Ada beberapa jenis peti kemas yang tergantung pada tipe muatan yang diangkat. *Dry cargo container* digunakan untuk mengangkut barang umum kering yang tidak memerlukan perlakuan khusus. *Reefer container* digunakan untuk mengangkut barang yang dikapalkan dalam keadaan dingin atau beku seperti daging/ikan segar, udang dan komoditi lainnya yang memerlukan pendinginan selama pengapalan. Untuk itu peti kemas dilengkapi dengan mesin pendingin. Selama pengangkutan di dalam kapal, di darat (truk trailer atau kereta api) dan penyimpanan di *container yard*, peti kemas dihubungkan dengan aliran listrik. *Bulk container* digunakan untuk mengangkut muatan curah seperti beras, gandum dan lain-lainnya.

Pengiriman barang dengan menggunakan peti kemas dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *full container load (CFL)* dan *less than container load (LCL)*. Pada *FCL* seluruh isi peti kemas milik seorang pengirim atau penerima muatan, sedang dalam *LCL* peti kemas berisi beberapa pengiriman yang masing-masing pengiriman terdiri dari sejumlah muatan yang volumenya kurang dari satu peti kemas.

Pengangkutan dengan peti kemas ini memungkinkan diterapkan pengangkutan intermodal dari pintu ke pintu (*door to door*), yaitu pengangkutan yang berlangsung dari pintu gudang eksportir ke pintu gudang importir diselenggarakan oleh satu tangan. Eksportir dan importir hanya berhubungan dengan satu perusahaan saja tanpa mengingat bahwa pengangkutan barang dilakukan oleh lebih dari satu perusahaan pelayaran.

Dalam pengiriman *door to door* tersebut digunakan berbagai macam alat transportasi seperti truk/kereta api - kapal laut - truk/kereta api sehingga sistem ini disebut intermodal. Pada pengiriman *door to door* ini muatan dimasukkan ke peti kemas di gudang eksportir dan peti kemas tersebut tidak dibuka sampai menyelesaikan seluruh rangkaian perjalanannya sampai di gudang importir untuk kemudian dibongkar isinya. Di negara-negara maju pemeriksaan pabean dilakukan pada waktu barang dimasukkan di peti kemas di gudang eksportir dan pada waktu pembongkaran barang di gudang importir, sehingga proses pengangkutan peti kemas menjadi lancar dan cepat. Di Indonesia hal seperti itu belum bisa dilaksanakan karena berbagai hambatan administratif, psikologis dan mental. Oleh karena itu pengiriman *door to door* ke dan dari Indonesia tetap mengalami pemeriksaan pabean di pelabuhan.

8.4.1. Penanganan peti kemas

Penanganan bongkar muat di terminal peti kemas dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *lift on/lift off (Lo/Lo)* dan *roll on/roll off (Ro/Ro)*. Pemakaian kedua metode tergantung pada cara kapal bongkar muat muatannya. Pada metode *Lo/Lo*, bongkar muat dilakukan secara vertikal dengan menggunakan kran, baik kran kapal, kran mobil dan/atau kran tetap yang ada di dermaga (*quai gantry crane*). Beberapa pelabuhan di Indonesia, seperti Pelabuhan Tanjung Intan, Gorontalo, Tarakan, dan pelabuhan lainnya belum dilengkapi dengan *quai gantry crane*, dan bongkar muat peti kemas dilakukan dengan menggunakan kran/derek kapal (Gambar 8.7). Pada metode *Ro/Ro*, bongkar muat dilakukan secara horisontal dengan menggunakan truk/trailer.

Pada pelabuhan besar seperti Tanjung Priok-Jakarta, Tanjung Mas-Semarang, Tanjung Perak - Surabaya, Belawan-Medan, Panjang - Bandar Lampung, dan Makasar, penanganan peti kemas menggunakan kran yang ditempatkan di dermaga (*quai gantry crane*). Peralatan ini berupa kran raksasa yang dipasang di atas rel di sepanjang dermaga untuk

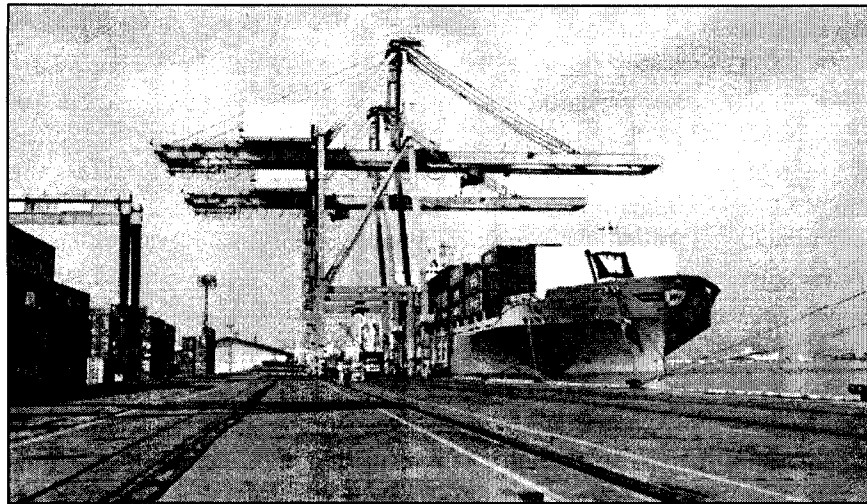
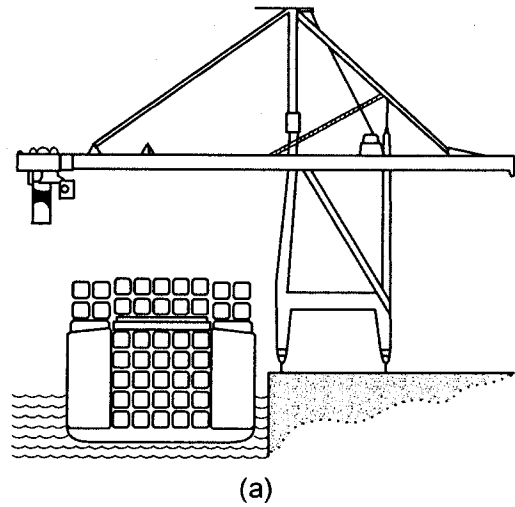
bongkar muat peti kemas dari dan ke kapal (Gambar 8.20). Alat ini dapat menjangkau jarak yang cukup jauh di daratan maupun di atas kapal.

Pada umumnya penanganan peti kemas di lapangan penumpukan (*container yard*) dapat dilakukan dengan menggunakan sistem berikut ini.

- 1) *Forklift truck, reach stacker* dan *side loader* (Gambar 8.21.a, b, c) yang dapat mengangkat peti kemas dan menumpuknya sampai enam tingkat;
- 2) *Straddle carrier* (Gambar 8.22) yang dapat menumpuk peti kemas dalam dua atau tiga tingkat;
- 3) *Rubber tyre gantry (RTG)* atau *transtainer* yaitu kran peti kemas yang berbentuk portal beroda karet atau yang dapat berjalan pada rel (Gambar 8.23), yang dapat menumpuk peti kemas sampai empat atau enam tingkat dan dapat mengambil peti tersebut dan menempatkannya di atas gerbong kereta api atau *truck trailer* (Gambar 8.24); atau
- 4) gabungan dari beberapa sistem tersebut di atas.

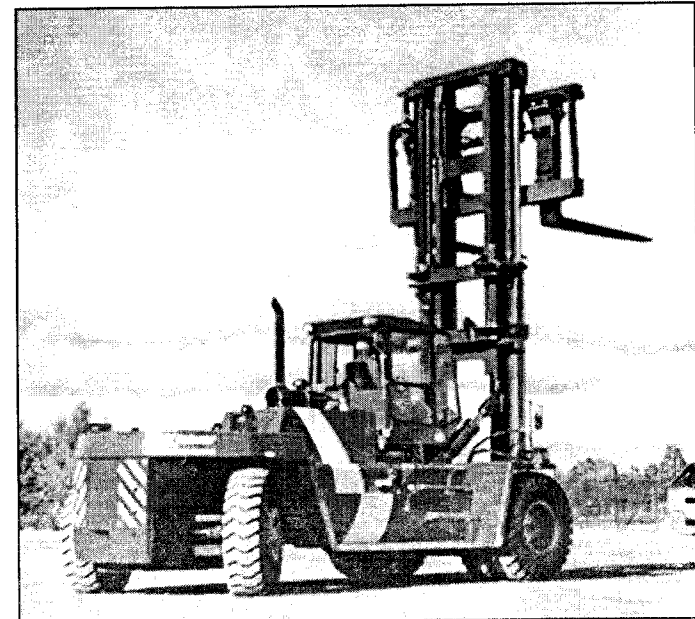
Pada metode *Ro/Ro* peti kemas berada di atas *chasis* atau *trailer* yang ditarik traktor masuk ke kapal. *Trailer* dan peti kemas tersebut kemudian dilepaskan dari traktor dan ditempatkan di geladak kapal. Selanjutnya traktor tersebut kembali ke darat untuk mengambil *trailer* yang lain. Operasi bongkar muat ini dilakukan secara simultan. Kapal tipe *Ro/Ro* mempunyai geladak yang bertingkat. Keluar-masuknya truk ke kapal melalui semacam jembatan yang disebut rampa yang biasanya berada di buritan, haluan atau samping kapal. Peti kemas ditempatkan di tingkat bawah, tengah atau atas sesuai dengan tujuan pengirimannya.

Kelebihan dari pengoperasian *Ro/Ro* adalah dapat memuat jenis muatan lain seperti pipa dan baja dengan ukuran panjang, tangki-tangki besar, mobil, truk, dan sebagainya. Selain itu juga mempunyai tingkat pembongkaran dan pemuatan yang tinggi, serta tidak diperlukan kran-kran darat yang mahal. Kekurangan dari metode *Ro/Ro* adalah banyaknya ruang kosong yang tidak dimanfaatkan, mengingat peti kemas berada di atas *chasis*, sehingga mengurangi kapasitas kapal.



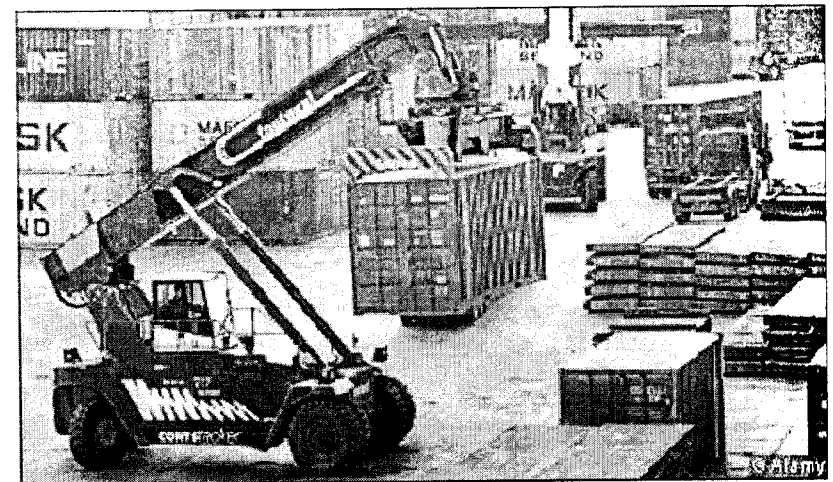
(Atas ijin TPKS)

Gambar 8.20. Gantry crane Terminal Peti Kemas Semarang



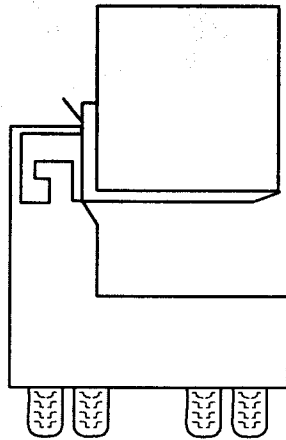
(Atas ijin TPKS)

Gambar 8.21.a. Forklift truck

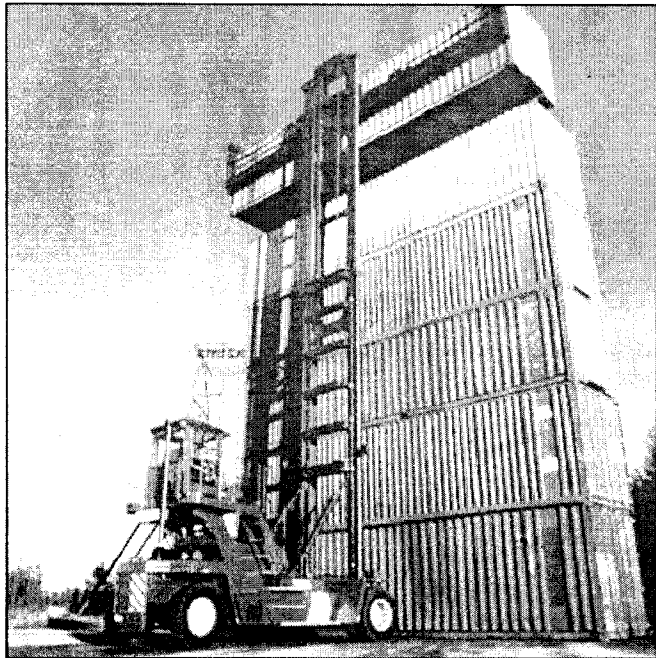


(Atas ijin TPKS)

Gambar 8.21.b. Reach Stacker

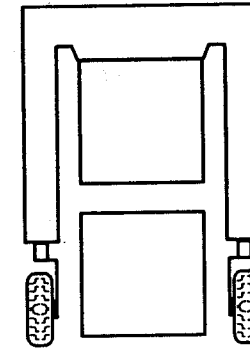


(c)

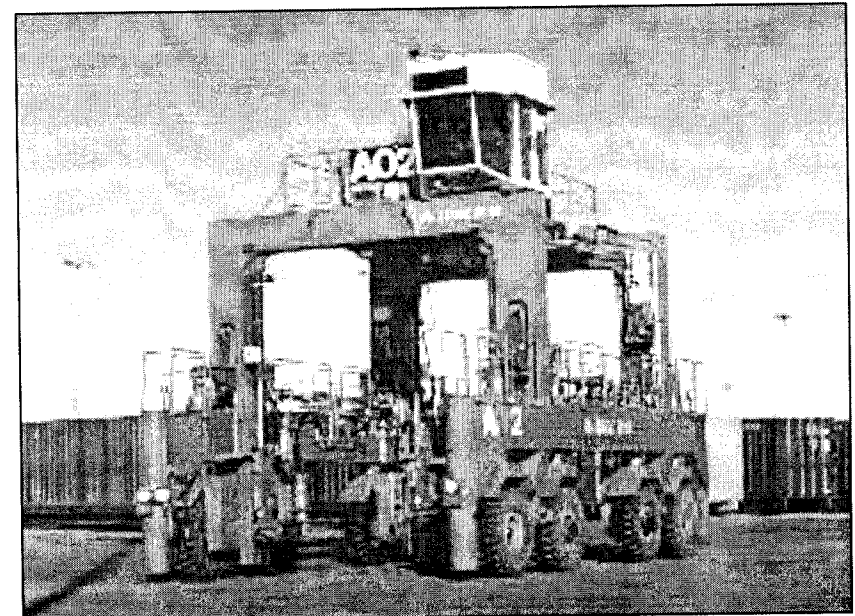


(Atas ijin TPKS)

Gambar 8.21.c. Side loader

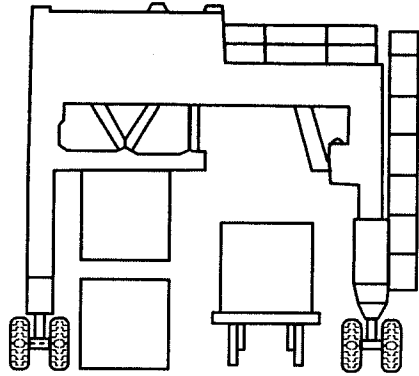


(b)



(Atas ijin TPKS)

Gambar 8.22. Straddle carrier

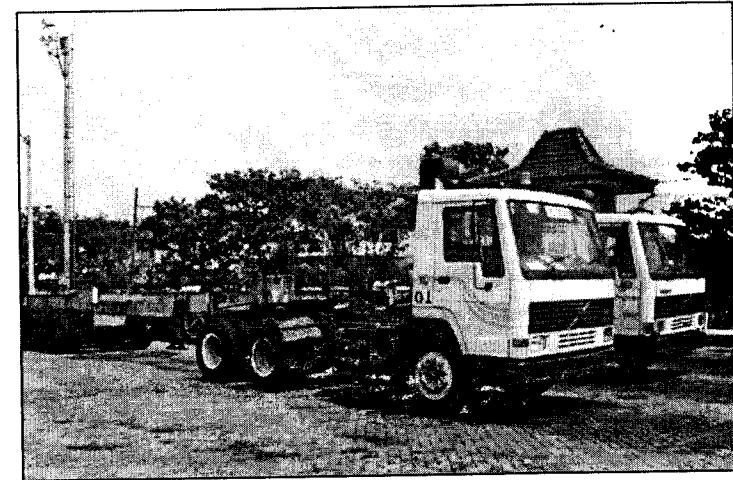


(d)



(Atas ijin TPKS)

Gambar 8.23. Rubber tyre gantry (RTG) atau transtainer



Gambar 8.24. Truck trailer

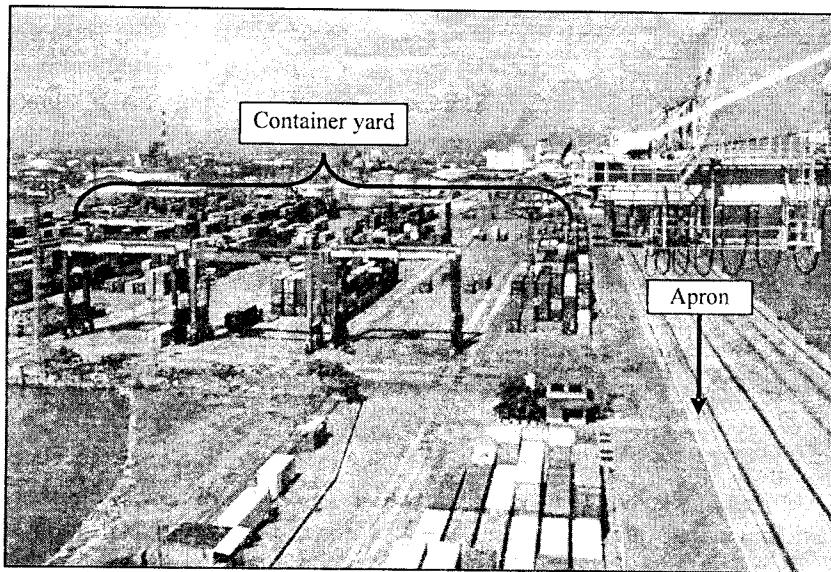
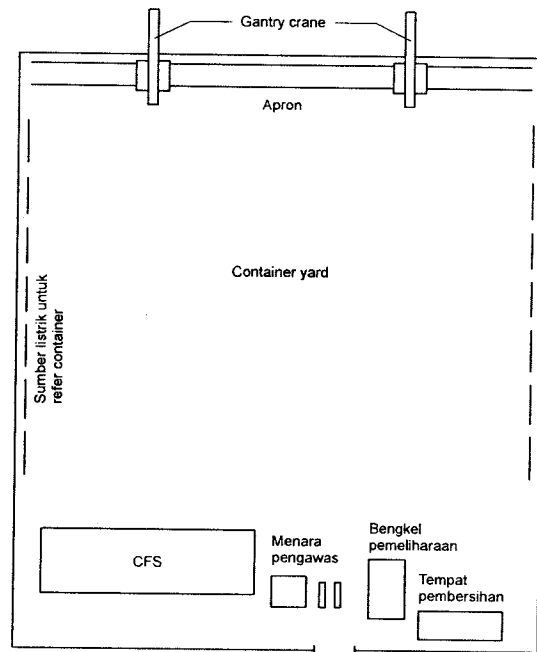
8.4.2. Fasilitas pada terminal peti kemas

Pelabuhan terkemuka di Indonesia telah dilengkapi terminal yang khusus menangani angkutan peti kemas. Beberapa fasilitas di terminal peti kemas adalah dermaga, apron, *container yard* (lapangan penumpukan peti kemas), *container freight station (CFS)*, menara pengawas, bengkel pemeliharaan, dan fasilitas lain seperti jalan masuk, gedung perkantoran, tempat parkir, dsb; ditunjukkan dalam Gambar 8.26.

1. Dermaga

Pada umumnya dermaga peti kemas berbentuk wharf, hal ini mengingat beberapa hal berikut ini.

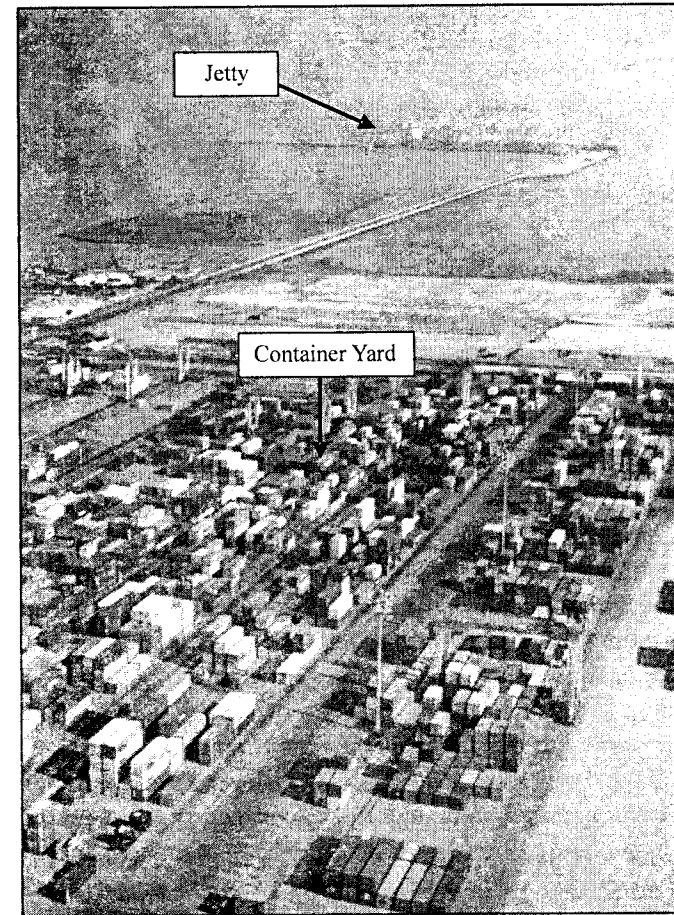
- Dermaga menerima beban cukup besar, baik beban peti kemas maupun beban peralatan untuk bongkar muat dan alat pengangkutan. Tanah di pinggir pantai mempunyai daya dukung yang lebih besar dibanding tanah di perairan (apabila dermaga berbentuk jetty atau pier).
- Terminal peti kemas memerlukan halaman luas untuk menampung peti kemas dalam jumlah banyak, yang bisa mencapai 10 ha atau lebih untuk tiap satu tambatan. Di belakang wharf bisa diperoleh lahan yang cukup luas dibanding dengan apabila dermaga bertipe jetty atau pier.



(Atas ijin TPKS)

Gambar 8.26. Terminal peti kemas Semarang

Namun demikian, ada juga dermaga terminal peti kemas yang berupa jetty, yaitu terminal peti kemas Tanjung Perak Surabaya (Gambar 8.27). Dermaga berupa jetty yang menjorok ke laut untuk memperoleh kedalaman yang cukup bagi kapal peti kemas. Dengan menggunakan *gantry crane* peti kemas dibongkar dari kapal dan dibawa oleh truk trailer menuju ke lapangan penumpukan peti kemas yang berada di darat. Pembuatan jetty dimaksudkan untuk menghindari pengerukan pelabuhan dengan volume yang sangat besar.



Gambar 8.27. Terminal peti kemas Tanjung Perak Surabaya

Panjang dermaga tergantung pada panjang dan jumlah kapal yang bersandar di dermaga. Mengingat kapal-kapal peti kemas berukuran besar maka dermaga harus cukup panjang dan dalam. Panjang dermaga antara 250 m dan 350 m, sedang kedalamannya dari 12 m sampai 15 m; yang tergantung pada ukuran kapal.

2. Apron

Apron terminal peti kemas lebih lebar dibanding dengan apron untuk terminal lain, yang biasanya berukuran dari 20 m sampai 50 m. Pada apron ini ditempatkan peralatan bongkar muat peti kemas seperti *gantry crane*, rel-rel kereta api dan jalan truk trailer, serta pengoperasian peralatan bongkar muat peti kemas lainnya. Fasilitas-fasilitas tersebut memberikan beban yang sangat besar pada dermaga dan harus diperhitungkan dengan teliti di dalam perencanaan.

3. Container yard (lapangan penumpukan peti kemas)

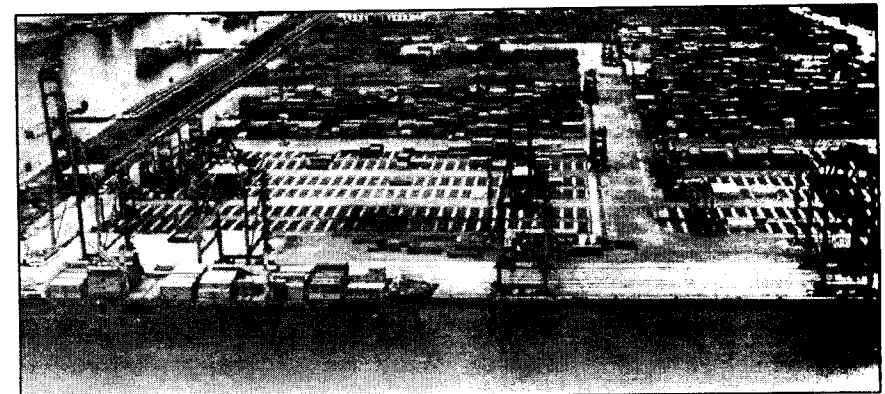
Container yard adalah lapangan untuk mengumpulkan, menyimpan dan menumpuk peti kemas; di mana peti kemas yang berisi muatan diserahkan ke penerima barang dan peti kemas kosong diambil oleh pengirim barang. Pada terminal peti kemas modern/besar *container yard* dibagi menjadi beberapa bagian yaitu *container yard* untuk peti kemas export, *container yard* untuk peti kemas import, *container yard* untuk peti kemas dengan pendingin (*refrigerated container*), dan *container yard* untuk peti kemas kosong.

Lapangan ini berada di daratan dan permukaannya harus diberi perkerasan untuk bisa mendukung peralatan pengangkat/pengangkut dan beban peti kemas. Beban peti kemas tertumpu pada ke empat sudutnya. Beban tersebut bisa cukup besar, terutama bila peti kemas ditumpuk. Penumpukan dapat dilakukan sampai tiga atau empat tingkat. Dengan cara penumpukan dapat mengurangi luas *container yard*, tetapi berakibat bertambahnya waktu penanganan muatan karena peti kemas paling atas harus dipindahkan pada saat peti kemas di bawahnya akan dikirim lebih dahulu. *Container yard* harus memiliki gang-gang baik memanjang maupun melintang untuk beroperasinya peralatan penanganan peti kemas. Gambar 8.28 menunjukkan terminal peti kemas Tanjung priok.

Beberapa pelabuhan yang relatif kecil digunakan untuk bongkar muat barang campuran, seperti barang umum dengan kemasan karung

dan drum; peti kemas, kayu gelondongan, dsb. Bongkar muat dilakukan pada satu dermaga. Angkutan peti kemas di dermaga dilakukan dengan menggunakan *forklift*.

Gambar 8.29 adalah tempat penumpukan peti kemas dari Pelabuhan Gorontalo. Pelabuhan Gorontalo berada di muara sungai Bone, dan mempunyai lahan yang sempit karena di sekelilingnya berupa perbukitan. Karena tempat penumpukan peti kemas relatif sempit, maka dibuat lapangan penumpukan yang berada di lokasi yang agak jauh dari pelabuhan. Angkutan peti kemas dengan menggunakan truk trailer. Lapangan penumpukan berupa lahan kosong dengan tanah dipadatkan (tidak diperkeras seperti terminal peti kemas besar/modern).

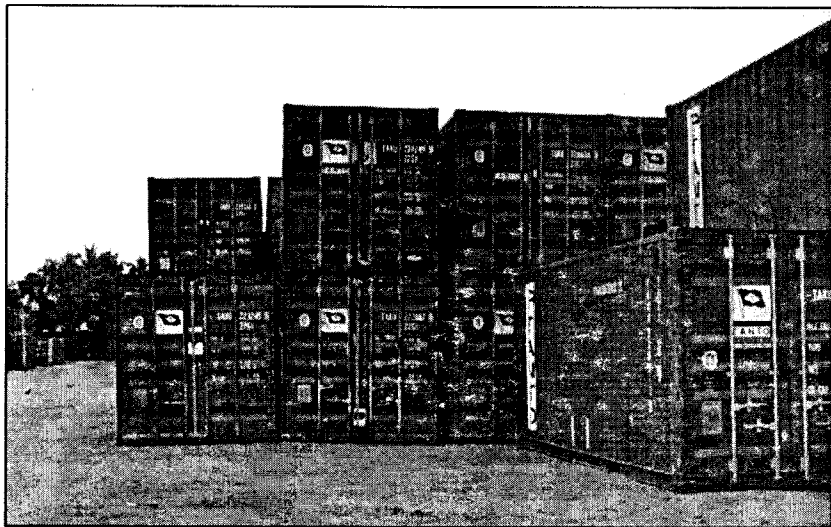


(Atas ijin PT Pelindo II)

Gambar 8.28. Terminal peti kemas Tanjung Priok Jakarta

4. Container freight station (CFS)

Container freight station adalah gudang yang disediakan untuk barang-barang yang diangkut secara *LCL*. Di *CFS* pada pelabuhan pemuatan, barang-barang dari beberapa pengirim dimasukkan menjadi satu dalam peti kemas. Di pelabuhan tujuan/pembongkaran, peti kemas yang bermuatan *LCL* diangkut ke *CFS* dan kemudian muatan tersebut dikeluarkan dan ditimbun dalam gudang perusahaan pelayaran yang bersangkutan dan peti kemasnya ditempatkan di *container yard* untuk peti kemas kosong (*empty container depot*, *ECD*) untuk sewaktu-waktu digunakan lagi dalam kegiatan ekspor.



Gambar 8.29. Lapangan penumpukan peti kemas Pelabuhan Gorontalo

5. Menara pengawas

Menara pengawas digunakan untuk melakukan pengawasan di semua tempat dan mengatur serta mengarahkan semua kegiatan di terminal, seperti pengoperasian peralatan dan pemberitahuan arah penyimpanan dan penempatan peti kemas.

6. Bengkel pemeliharaan

Mekanisasi kegiatan bongkar muat muatan di terminal peti kemas menyebabkan dibutuhkannya perawatan dan reparasi peralatan yang digunakan dan juga untuk memperbaiki peti kemas kosong yang akan digunakan lagi. Kegiatan tersebut dilakukan di bengkel perawatan. Sebelum peti kemas kosong dimasukkan ke *container yard* untuk peti kemas kosong, biasanya dilakukan pemeriksaan apakah ada kerusakan. Apabila ada kerusakan maka dilakukan perbaikan sehingga peti kemas siap dipakai sewaktu-waktu. Bengkel pemeliharaan ini ditempatkan dekat dengan *container yard* untuk peti kemas kosong.

7. Fasilitas lain

Di dalam terminal peti kemas diperlukan pula beberapa fasilitas umum lainnya seperti jalan masuk, bangunan perkantoran, tempat parkir, sumber tenaga listrik untuk peti kemas khusus berpendingin, suplai bahan bakar, suplai air tawar, penerangan untuk pekerjaan pada malam hari dan keamanan, peralatan untuk membersihkan peti kemas kosong dan peralatan bongkar muat, listrik tegangan tinggi untuk mengoperasikan kran.

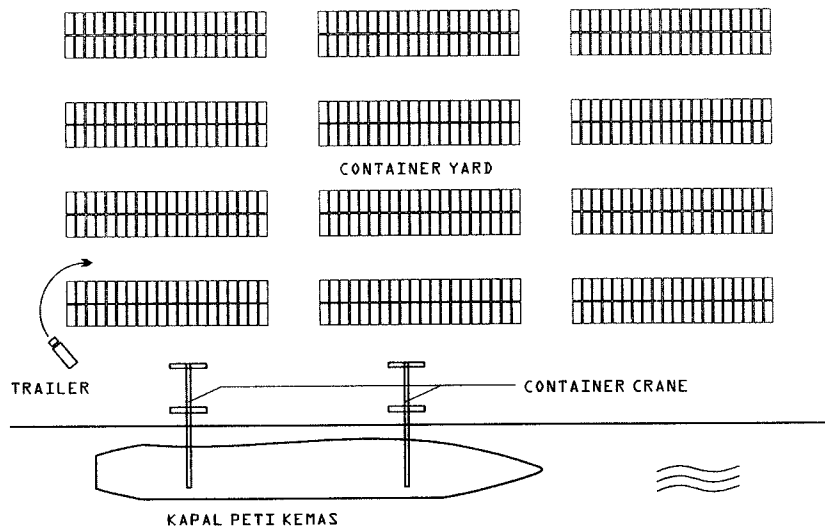
8.4.3. Sistem penanganan peti kemas di *container yard*

Pemindahan peti kemas dari kapal ke lapangan penumpukan peti kemas atau *container yard* dan sebaliknya dari lapangan penumpukan ke kapal dilakukan dengan menggunakan berbagai peralatan. Tata letak peti kemas di lapangan penumpukan tergantung pada sistem penanganan peti kemas yang digunakan. Selain itu, setiap alat memiliki ukuran yang berbeda sehingga memerlukan lebar jalur yang berbeda dalam beroperasi.

Berdasarkan pada peralatan yang digunakan di *container yard*, sistem penanganan peti kemas dapat dibedakan menjadi empat tipe berikut ini.

1. Sistem chassis

Pada sistem ini peti kemas ekspor ditaruh di atas chassis dan ditempatkan di lapangan penumpukan (*container yard*). Peti kemas dan chassisnya ditarik oleh traktor menuju ke dermaga dan kemudian *quai gantry crane* mengangkat peti kemas dari chassis dan memasukkannya ke dalam kapal. Selanjutnya *quai gantry crane* mengambil peti kemas dari kapal dan menempatkannya di atas chassis yang masih berada di dermaga. Kemudian traktor membawanya kembali ke *container yard*. Sistem ini memungkinkan peti kemas dapat diambil setiap saat karena peti kemas tidak ditumpuk. Sistem chassis cocok untuk pengiriman *door to door*. Selain itu jumlah muatan yang rusak dapat dikurangi karena peti kemas tidak sering diangkat. Tetapi sistem ini mempunyai kekurangan yaitu diperlukan lapangan yang luas dan chassis dalam jumlah banyak. Gambar 8.30 menunjukkan tata letak peti kemas di lapangan penumpukan peti kemas dengan sistem *chassis* (Rudy Setiawan dkk, 2007).



Gambar 8.30. Tata letak peti kemas di lapangan penumpukan

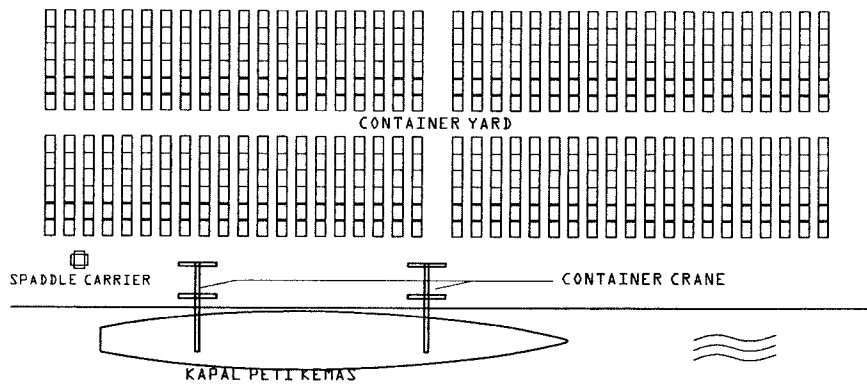
2. Sistem fork lift truck

Pada sistem ini peti kemas dari lapangan penumpukan dimuat ke atas *tractor-trailer* dan dibawa ke dermaga, yang kemudian diangkat oleh *quai gantry crane* dari *tractor-trailer* dan dimasukkan ke dalam kapal. Selanjutnya *quai gantry crane* mengambil peti kemas dari kapal dan menempatkannya di atas *tractor-trailer* yang masih berada di dermaga, dan membawanya ke *container yard*. Penanganan peti kemas di *container yard* dapat dilakukan dengan menggunakan *forklift truck*, *reach stacker* dan/atau *side loader*. Peralat tersebut dapat menumpuk peti kemas bermuatan penuh dengan ketinggian susun sampai dua atau tiga tumpukan. Peti kemas kosong bisa ditumpuk sampai empat susun. Untuk dapat menahan beban peti kemas dalam beberapa tumpukan, sehingga lapangan penumpukan perlu diperkeras untuk dapat menahan beban. Gambar 8.30 menunjukkan tata letak peti kemas di lapangan penumpukan peti kemas dengan alat penanganan *tractor-trailer* (Rudy Setiawan dkk, 2007). Pada system ini terdapat gang cukup lebar untuk memungkinkan peralatan dapat bergerak dengan lancar. Lapangan penumpukan untuk peti kemas ukuran 40 kaki diperlukan jalan dengan lebar 18 m, sedang untuk peti kemas 20 kaki diperlukan lebar jalan sebesar 12 m. Penanganan peti kemas dengan system *forklift* dan *reach stacker* ini adalah yang

paling ekonomis dan untuk terminal kecil. *Forklift* digunakan untuk terminal yang menangani sekitar 60.000-80.000 TEUs per tahun, sedang *reach stacker* untuk penanganan peti kemas pada terminal dengan kapasitas sekitar 200.000 TEUs sampai 300.000 TEUs. Biasanya satu *quai gantry crane* dilayani oleh 3-5 *tractor-trailer* dan 2 *reach stacker*. Jumlah *tractor-trailer* tergantung pada jarak antara dermaga dan *container yard*. Kapasitas penumpukan relative rendah yaitu sekitar 500 TEUs/ha dengan penyusunan sekitar empat tumpukan (Thoresen, CA., 2003).

3. Sistem straddle carrier

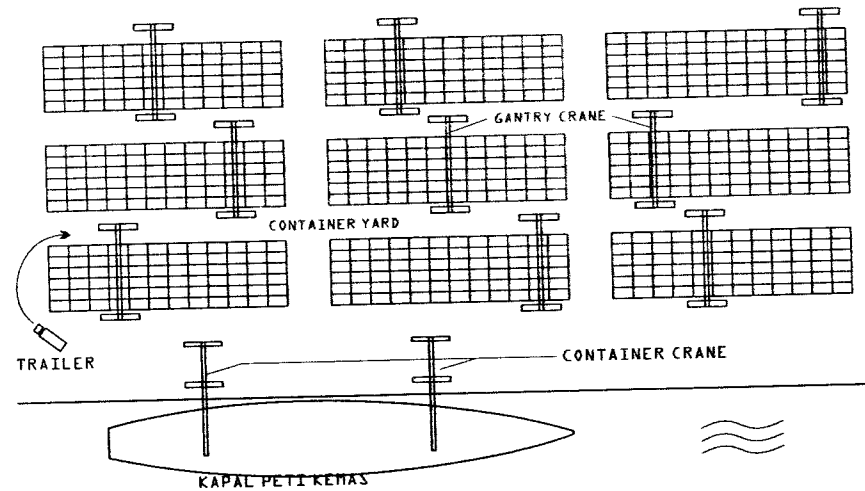
Penanganan peti kemas dengan sistem *straddle carrier* banyak digunakan pada lapangan penumpukan peti kemas (*container yard*). Peti kemas yang dibongkar dari kapal diletakkan di apron yang kemudian diangkat dengan menggunakan *straddle carrier* ke *container yard* untuk ditata dalam dua atau tiga tumpukan. Untuk meningkatkan efisiensi, penanganan peti kemas dapat dilakukan dengan membawa peti kemas dari dermaga ke lapangan penumpukan, kemudian *straddle carrier* mengangkat dan menyusun peti kemas di *container yard*. Pada saat peti kemas ekspor datang, peti kemas tersebut diterima di *container yard* dan *straddle carrier* memindahkannya dari chasisnya menuju ke tempat penyimpanan di atas tanah atau di atas peti kemas lainnya jika penyimpanan dilakukan dalam tumpukan. Apabila peti kemas akan dikapalkan, *straddle carrier* memindahkan peti kemas pada chasis yang ditarik traktor dan membawanya ke dermaga untuk dinaikkan ke kapal oleh *gantry crane*. Apabila peti kemas siap untuk dikirim ke penerima barang, *straddle carrier* menempatkannya pada truk trailer yang membawanya keluar pelabuhan. Kelebihan dari sistem *straddle carrier* ini adalah dimungkinkan menyimpan peti kemas dalam tumpukan sampai tiga tumpukan sehingga dapat mengurangi luas lapangan penumpukan. Sedang kekurangannya adalah pada setiap pemindahan peti kemas diperlukan kembali mengangkat peti kemas ke *truck trailer*. Sistem *straddle carrier* digunakan pada terminal yang melayani peti kemas sebanyak lebih dari 100.000 TEUs per tahun. Biasanya satu *gantry crane* dilayani oleh 3 sampai 5 *straddle carrier*. Produktifitas *straddle carrier* adalah sekitar 10 gerakan (*moves*)/jam. Gambar 8.31. adalah penyimpanan peti kemas di *container yard* dengan sistem *straddle carrier*. Kapasitas penumpukan sedang yaitu sekitar 750 TEUs/ha dengan penyusunan sekitar tiga tumpukan (Thoresen, CA., 2003).



Gambar 8.31. Penyimpanan peti kemas di *container yard* dengan sistem *straddle carrier*.

4. Sistem *rubber tyred gantry crane*

Pada sistem ini *quai gantry crane* menurunkan peti kemas dari kapal dan dimuat di atas tractor trailer yang kemudian membawanya ke salah satu blok pada lapangan penumpukan peti kemas. Selanjutnya *rubber tyred gantry crane (RTGC)* menyusun peti kemas dalam enam sampai sembilan baris dan penumpukan sampai lima atau enam tingkat. Pada sistem ini tidak diperlukan gang yang lebar, sehingga pemakaian lapangan dapat lebih efektif. Untuk suatu luas lapangan yang sama dapat ditumpuk peti kemas dalam jumlah yang lebih banyak daripada dengan tata letak pada sistem yang lain. Sistem ini digunakan pada terminal yang melayani lebih dari 200.000 TEUs per tahun. Satu *quai gantry crane* dilayani oleh 2-3 tractor trailer dan 2 RTGC, yang tergantung pada jarak antara dermaga dan lapangan penumpukan. Kebanyakan terminal peti kemas besar dan sibuk banyak menggunakan sistem ini. Kapasitas penumpukan tinggi yaitu sekitar 800 TEUs/ha dengan penyusunan sekitar empat tumpukan (Thoresen, CA., 2003). Gambar 8.32 menunjukkan susunan peti kemas yang ditangani oleh RTGC.



Gambar 8.32. Susunan peti kemas yang ditangani oleh RTGC.

8.4.4. Kebutuhan luas terminal peti kemas

Ukuran terminal dan kapasitas terminal peti kemas tergantung pada ketersediaan lahan dan kondisi tanah, peralatan penanganan peti kemas, sistem operasi, dan perkiraan jumlah peti kemas yang keluar dan masuk melalui terminal. Apabila ketersediaan lahan cukup dan harga lahan murah, sistem penyimpanan tanpa ditumpuk adalah ekonomis dan tidak diperlukan peralatan yang mampu menyusun peti kemas dalam tumpukan. Namun pada sistem ini jarak angkut menjadi lebih jauh sehingga diperlukan peralatan tambahan untuk transfer. Sistem penyusunan peti kemas tanpa ditumpuk juga sesuai untuk tanah reklamasi dengan kondisi tanah lunak, karena beban peti kemas satu susun adalah kecil. Sebaliknya, jika ketersediaan lahan terbatas dan harganya mahal, maka diperlukan sistem penumpukan, sehingga lapangan bisa menampung lebih banyak peti kemas. Luas terminal peti kemas adalah penjumlahan dari luasan berikut ini.

$$A_T = A_{PK} + A_{CFS} + A_{PKK} + A_{FPP}$$

dengan :

A_T : luas total terminal peti kemas

A_{PK} : luas lapangan penumpukan peti kemas, dengan luasan sekitar 50-75% dari luas total

A_{CFS} : luas *container freight station*, sekitar 10-30% luas total

A_{PKK} : luas lapangan penumpukan peti kemas kosong, sekitar 10-20% luas total

A_{FPP} : luas fasilitas jalan masuk, bangunan kantor, tempat parkir, dsb; sekitar 5-15% luas total

8.4.5. Luas lapangan penumpukan peti kemas (*container yard*)

Lapangan penumpukan digunakan untuk menempatkan peti kemas yang akan di muat ke kapal atau setelah dibongkar dari kapal, baik yang berisi muatan ataupun peti kemas kosong. Luas lapangan penumpukan peti kemas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A = \frac{T D A_{TEU}}{365 (1 - BS)} \quad (8.2)$$

dengan :

T : arus peti kemas per tahun (box, TEUs), 1 TEUS=29 m^3 , dan 1 box =1,7 TEUs.

A_T : luas lapangan penumpukan peti kemas yang diperlukan (m^2)

D : *dwelling time* atau jumlah hari rerata peti kemas tersimpan di lapangan penumpukan. Apabila tidak ada informasi, bisa digunakan 7 hari untuk peti kemas import dan 5 hari untuk peti kemas eksport. Untuk peti kemas kosong waktu penyimpanan adalah 20 hari.

A_{TEU} : luasan yang diperlukan untuk satu TEU yang tergantung pada sistem penanganan peti kemas dan jumlah tumpukan peti kemas di lapangan penumpukan, seperti diberikan dalam Tabel 8.1.

BS : *broken stwage* (luasan yang hilang karena adanya jalan atau jarak antara peti kemas di lapangan penumpukan, yang tergantung pada system penanganan peti kemas, nilainya sekitar 25-50 %

Tabel 8.1. Luasan diperlukan per TEU

Peralatan dan Metode Penanganan	Tinggi/Jumlah Penumpukan Peti Kemas	Luasan Diperlukan per TEU A_{TEU} (m^2/TEU)	
		PK 20 feet	PK 40 feet
<i>Trailer</i>	1	60	45
Truk fork lift	1	60	80
	2	30	40
	3	20	27
<i>Straddle carrier</i>	1	30	
	2	15	
	3	10	
<i>Rubber Tyred Gantry Crane/ transtainer</i>	2	15	
	3	10	
	4	7,5	

8.4.6. Kinerja peralatan penanganan peti kemas

Pengadaan peralatan untuk penanganan peti kemas perlu memperhatikan beberapa faktor, di antaranya adalah biaya operasi, sistem dalam penanganan bongkar muat, kehandalan alat, ketersediaan suku cadang serta teknologi yang digunakan.

Kegiatan bongkar muat di terminal peti kemas membutuhkan peralatan yang berbeda dengan dermaga barang umum. Peralatan yang digunakan seperti *quai gantry crane* (GC), *rubber tyred gantry crane* (RTG) atau *transteiner, straddle carrier, head truck* dan *chassis, top loader, fork lift, side loader*.

Kapasitas terpasang peralatan adalah kemampuan peralatan untuk menangani kegiatan bongkar muat peti kemas, baik dari/ke kapal maupun menyusun peti kemas di lapangan penumpukan.

1. *Quai gantry crane* (GC)

Variabel yang berpengaruh di dalam menentukan kapasitas *quai gantry crane* (GC) adalah :

- a. Jumlah *quai gantry crane* : n_1 unit
- b. Kecepatan pelayanan : V_1 box/GC/jam
- c. Waktu kerja dalam satu tahun : t_1 jam

Dari variabel di atas dapat dihitung *throughput* alat :

- a. *Throughput capacity* GC : $T_{cGC} = V_1 t_1$ box/GC/jam
- b. Kapasitas terpasang : $K_{TGC} = T_{cGC} n_1$ box/tahun

2. Rubber tyred gantry crane (RTG)

Variabel yang berpengaruh di dalam menentukan kapasitas *Rubber tyred gantry crane* (RTG) adalah :

- a. Jumlah RTG : n_2 unit
- b. Kecepatan pelayanan : V_2 box/GC/jam
- c. Waktu kerja dalam satu tahun : t_2 jam

Dari variabel di atas dapat dihitung *throughput* alat :

- a. *Throughput capacity* RTG : $T_{cRTG} = V_2 t_2$ box/RTG/jam
- b. Kapasitas terpasang : $K_{TRTG} = T_{cRTG} n_2$ box/tahun

Untuk mengetahui kinerja peralatan bongkar muat barang/peti kemas di pelabuhan dilakukan pencatatan waktu operasi peralatan tersebut. Rudy Setiawan, dkk (2007) telah melakukan pencatatan waktu pelayanan (*service time*) GC untuk menurunkan peti kemas dari kapal ke tractor trailer dan RTG menumpuk peti kemas di lapangan penumpukan peti kemas. Rincian waktu GC membongkar peti kemas adalah sebagai berikut :

- a. Mengunci peti kemas di kapal : 10 detik
- b. Mengangkat peti kemas dari kapal : 25 detik
- c. Menggeser peti kemas dari kapal ke *Tractor-Trailer* : 30 detik
- d. Menurunkan peti kemas ke atas *Tractor-Trailer* : 10 detik
- e. Melepaskan kunci di atas *Tractor-Trailer* : 10 detik
- Sub Total : 85 detik
- f. Mengembalikan posisi *spreader* ke atas peti kemas di dalam kapal : 60 detik

Jadi total waktu diperlukan untuk menurunkan peti kemas dari kapal ke *tractor trailer* adalah 145 detik.

Produktifitas GC : $V=3600/145=24$ box/GC/jam.

Peti kemas yang telah berada diatas *tractor-trailer* kemudian dibawa ke lapangan penumpukan peti kemas. Kecepatan *tractor-trailer* dibatasi pada 20 km/jam. Dengan mengetahui jarak rerata antara dermaga dan lapangan penumpukan peti kemas akan dapat dihitung waktu yang diperlukan untuk membawa peti kemas dari dermaga ke *container yard*. Setelah sampai di lokasi penumpukan, peti kemas tersebut ditumpuk oleh *Rubber-Tyred Gantry-Crane* (RTGC) dengan waktu pelayanan sebagai berikut ini (Rudy Setiawan, dkk, (2007).

- a. Mengunci peti kemas di atas *tractor-trailer* : 10 detik
- b. Mengangkat peti kemas dari *tractor-trailer* : 20 detik
- c. Membawa peti kemas ke lokasi penumpukan : 15 detik
- d. Menurunkan peti kemas di lokasi penumpukan : 10 detik
- e. Meletakkan peti kemas di lokasi penumpukan : 10 detik
- Sub Total : 65 detik
- f. Mengembalikan posisi *spreader* ke atas *tractor-trailer* : 40 detik.

Jadi total waktu diperlukan dari menurunkan peti kemas dari *tractor trailer* sampai menyusun di container yard adalah 105 detik.

Produktifitas RTG : $V=3600/105=34$ box/RTG/jam.

Produktifitas dari peralatan lain, seperti *straddle carrier, head truck* dan *chassis, top loader, fork lift, side loader* dapat dihitung dengan cara yang sama. Dengan demikian akan dapat diketahui kinerja dari terminal peti kemas dan selanjutnya apabila diketahui arus barang dan kapal yang dilayani akan dapat dihitung kebutuhan fasilitas yang diperlukan.

Contoh 2

Terminal Peti Kemas Semarang (TPKS) melayani bongkar muat peti kemas pada tahun 2008 dengan volume 373,644 TEUs per tahun. Luas lapangan penumpukan peti kemas (*container yard*) adalah 7,77 ha. Selidiki kemampuan lapangan penumpukan dan peralatan yang tersedia.

Fasilitas dan data yang tersedia adalah :

1. Lapangan penumpukan

Luas : 7,77 ha
 Kapasitas : 194.250 TEUs/tahun

2. Peralatan

a. *Quai gantry crane*

Jumlah Gantry crane (GC) : 4 unit
 Kecepatan pelayanan : 24 box/jam/GC
 Waktu kerja : 7200 jam/tahun

b. *Rubber Tired Gantry (RTG)*

Jumlah RTG : 8 unit
 Kecepatan Pelayanan : 7 box/jam/RTG
 Waktu kerja : 7.200 jam/tahun

3. Produktifitas

Hari kerja : 355 hari
 Jam kerja : 24 jam
 Jumlah gang kerja : 2 gang

Penyelesaian

1. *Lapangan penumpukan peti kemas (container yard)*

Luas lapangan penumpukan dihitung dengan Persamaan (8.2). Data arus peti kemas di TPKS pada tahun 2008 adalah $T=373.644$ TEUs, *dwelling time* $D=7$ hari, untuk peti kemas yang ditumpuk dalam 2 susun dan menggunakan RTG maka $A_{TEU} = 15 \text{ m}^2/\text{TEU}$, dan nilai $BS=25\%$, sehingga :

$$A = \frac{T D A_{TEU}}{365 (1 - BS)} = \frac{373.644 \times 7 \times 15}{365 \times (1 - 0,25)} = 143.316 \text{ m}^2 = 14,33 \text{ ha}$$

Jadi luas lapangan penumpukan yang ada saat ini seluas 7,77 ha tidak mencukupi kebutuhan tahun 2008 sebesar 14,33 ha.

Supaya luas lapangan penumpukan mampu menampung peti kemas, maka susunan peti kemas dilakukan dalam 4 tumpukan di mana untuk 1 TEU diperlukan luasan $7,5 \text{ m}^2$, dan hasilnya adalah :

$$A = \frac{373.644 \times 7 \times 7,5}{365 \times (1 - 0,25)} = 71.658 \text{ m}^2 = 7,17 \text{ ha} < 7,77 \text{ ha}$$

2. **Kapasitas peralatan**

a. *Quai Gantry crane (GC)*

Diketahui bahwa jumlah GC adalah 4 unit dengan kapasitas 24 box/jam/GC dan waktu kerja adalah 7200 jam/tahun. Meskipun jumlah hari kerja adalah 355 hari/tahun dan jam kerja adalah 24 jam/hari, namun ada waktu istirahat bagi operator untuk makan, shalat dan kegiatan lain sehingga waktu kerja tidak penuh $355 \times 24 = 8520$ jam.

Kapasitas GC :

$$\begin{aligned} T_c \text{ per GC} &= 24 \times 7200 = 172.800 \text{ box/GC/tahun} \\ &= 172.800 \times 1,7 = 293,760 \text{ TEUs/GC/tahun} \end{aligned}$$

Kapasitas terpasang GC :

$$T_c \text{ 4 GC} = 4 \times 293,760 = 1,175,040 \text{ TEUs/tahun}$$

b. *Rubber Tired Gantry (RTG)*

Diketahui bahwa jumlah *rubber tired gantry crane* adalah 8 unit dengan kapasitas 7 box/jam/RTG dan waktu kerja adalah 7200 jam/tahun.

Kapasitas gantry crane :

$$\begin{aligned} T_c \text{ per RTG} &= 7 \times 7200 = 50.400 \text{ box/RTG/tahun} \\ &= 50.400 \times 1,7 = 85.680 \text{ TEUs/RTG/tahun} \end{aligned}$$

Kapasitas terpasang RTG (8 unit) :

$$T_c \text{ 8 RTG} = 8 \times 85.680 = 685.440 \text{ TEUs/tahun}$$

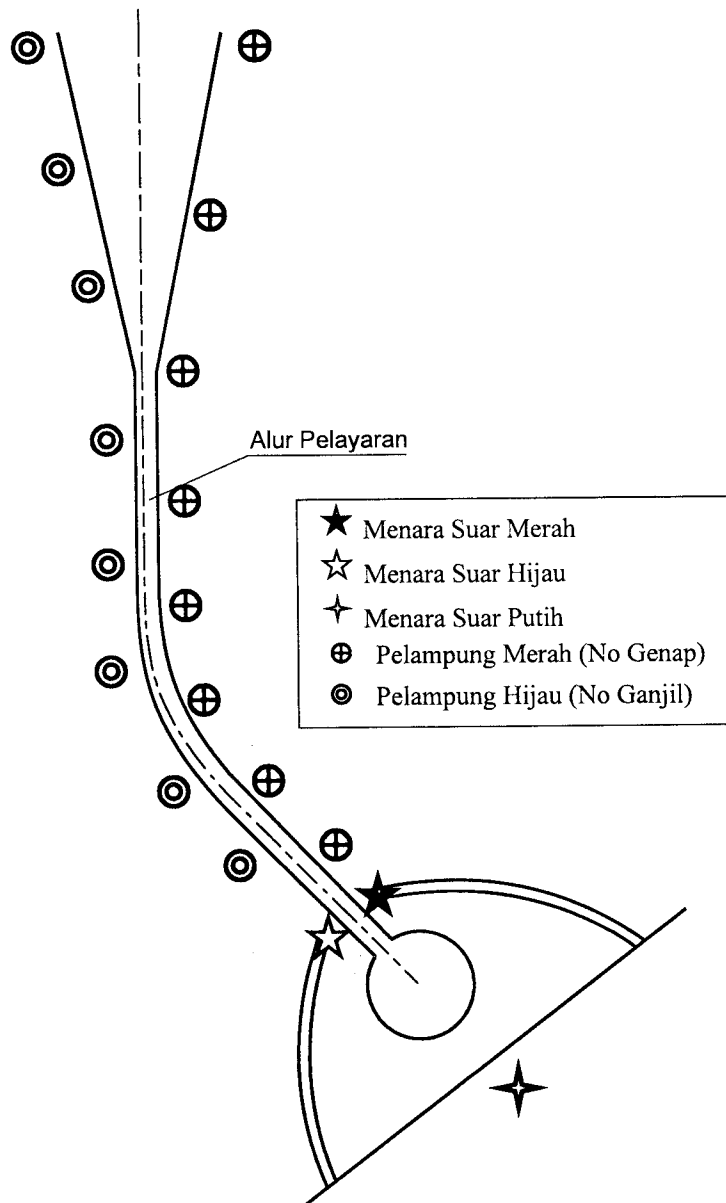
Hitungan kapasitas peralatan menunjukkan bahwa jumlah GC (4 unit) dan RTG (8 unit) masih mencukupi untuk melayani peti kemas sebanyak 373.644 TEUs pada tahun 2008.

**ALAT PEMANDU
PELAYARAN****9.1. Pendahuluan**

Alat pemandu pelayaran diperlukan untuk keselamatan, efisiensi dan kenyamanan pelayaran kapal. Alat ini dapat dipasang di sungai, saluran, pelabuhan dan di sepanjang pantai; sehingga pelayaran kapal tidak menyimpang dari jalurnya. Selain sebagai pemandu pelayaran, alat ini juga berfungsi sebagai peringatan pada kapal akan adanya bahaya, seperti karang, tempat-tempat dangkal, dan juga sebagai pemandu agar kapal dapat berlayar dengan aman di sepanjang pantai, sungai, saluran serta memandu kapal masuk ke pelabuhan. Alat pemandu pelayaran ini bisa berupa konstruksi tetap atau konstruksi terapung yang dilengkapi dengan menara api, bel, bunyi peringatan lain dan radar. Alat pemandu pelayaran tersebut telah distandarisasi.

9.2. Alat Pemandu Pelayaran di Pelabuhan

Alat bantu pelayaran ditempatkan di perairan menuju pelabuhan dan di daratan, yang berfungsi sebagai penuntun kapal untuk masuk dan keluar pelabuhan dengan aman. Dengan bantuan alat tersebut pelaut dapat mengetahui posisi kapal dan jalur yang harus dilalui agar kapal dapat dengan aman, cepat dan selamat sampai ke tujuan. Gambar 9.1. adalah contoh penempatan alat pemandu pelayaran untuk membantu kapal berlayar di alur pelayaran masuk ke pelabuhan.

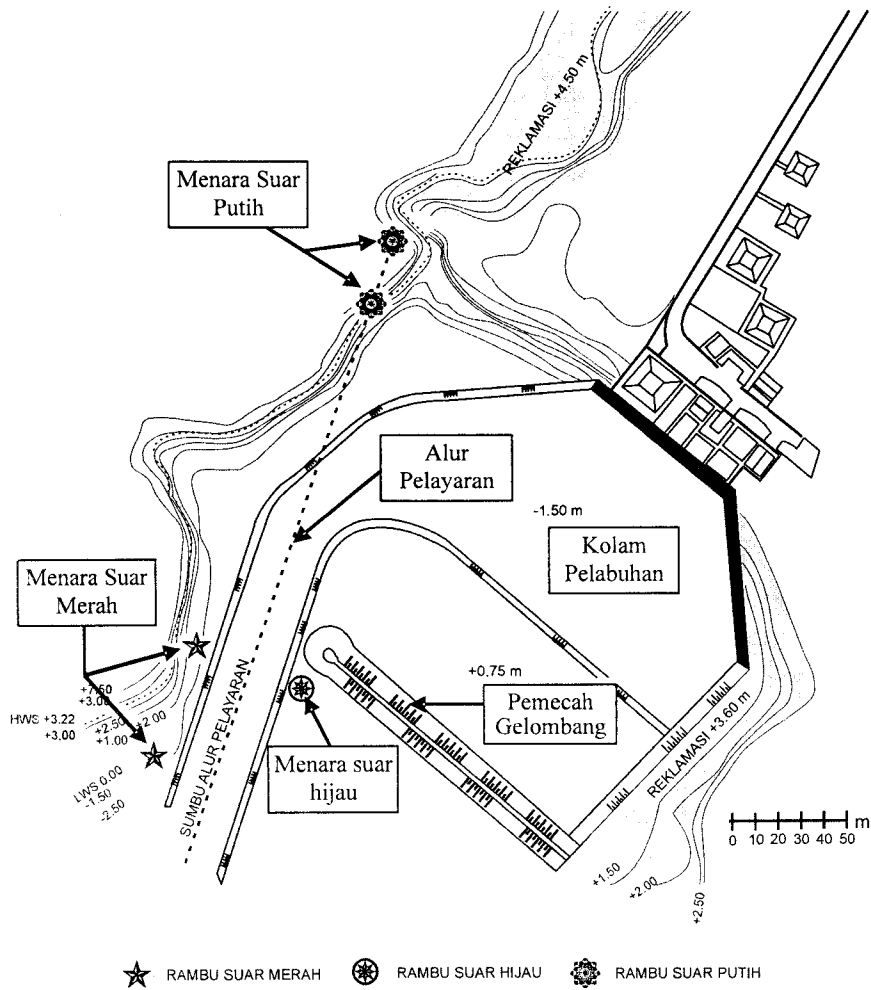


Gambar 9.1. Rambu pelayaran di pelabuhan

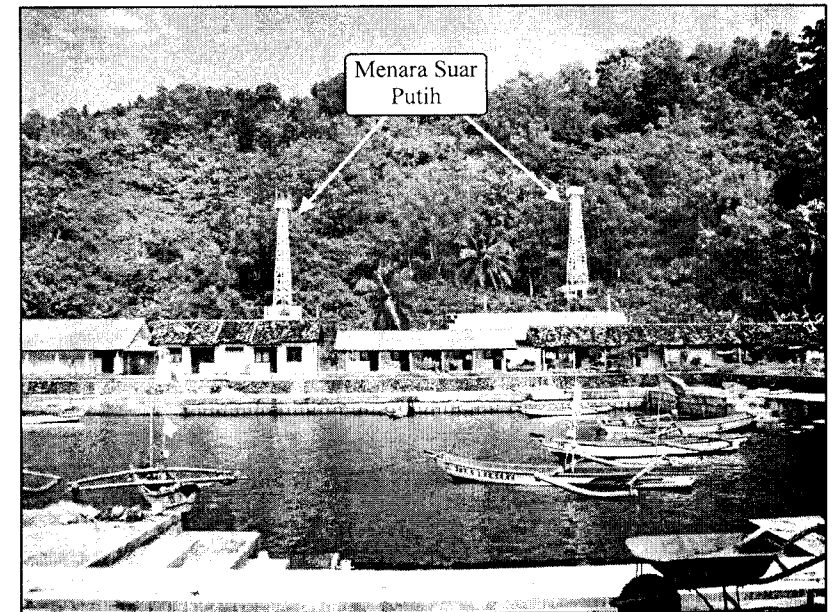
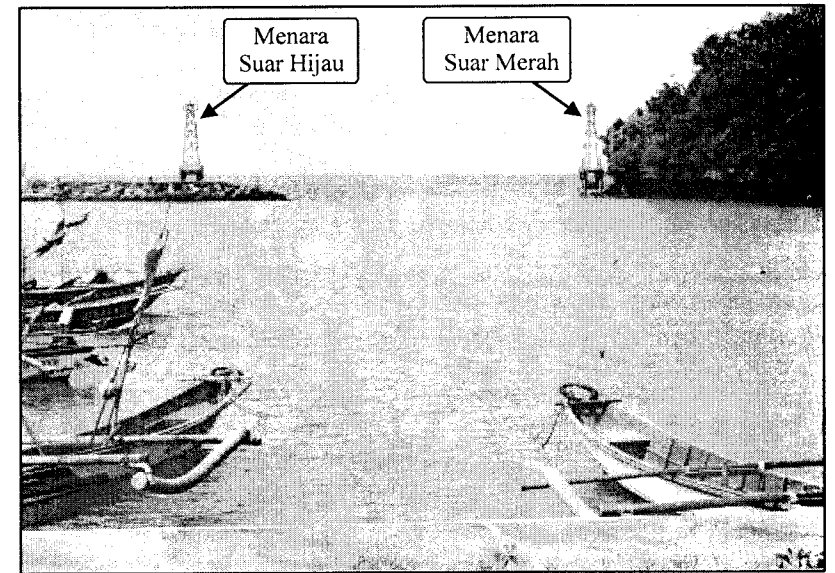
Menara suar dibangun di kedua ujung pemecah gelombang dan di darat, sedang di kanan dan kiri alur pelayaran ditempatkan pelampung. Bagi pengamat yang bergerak dari pelabuhan menuju ke arah laut, alat pemandu pelayaran yang berada di sebelah kanan berwarna merah dan diberi nomor genap; sedang yang di sebelah kiri berwarna hijau dan bernomor ganjil. Selain itu di darat juga terdapat menara suar berwarna putih. Menara suar tersebut juga dilengkapi dengan lampu yang

Menara suar berwarna merah berada di ujung pemecah gelombang sebelah kanan, di sebelah kiri berwarna hijau sedang menara suar di darat berwarna putih. Ketika bergerak menuju pelabuhan, nahkoda harus mengarahkan kapal pada posisi di mana menara warna putih berada di antara menara warna merah dan hijau. Demikian juga supaya kapal tetap berada di alur pelayaran, kapal harus bergerak di antara pelampung warna merah dan hijau. Gambar 4.3. dalam Bab IV menunjukkan posisi kapal di alur pelayaran.

Gambar 9.2. adalah Pelabuhan Perikanan Sadeng di Kabupaten Gunungkidul DIY, yang menunjukkan posisi menara suar merah, hijau dan putih. Menara suar dilengkapi dengan lampu yang sewarna dengan warna menara. Pelabuhan tersebut berada di teluk yang dikelilingi bukit karang. Untuk melindungi alur pelayaran dan kolam pelabuhan dibuat pemecah gelombang dari tebing sisi timur memanjang ke arah barat. Kedalaman pelabuhan adalah 1,5 m dari muka air surut terendah dan berada di pantai dengan kemiringan cukup besar, sehingga alur pelayaran tidak panjang. Dengan demikian tidak diperlukan pelampung yang menunjukkan posisi alur pelayaran. Menara suar yang berada di ujung pemecah gelombang dan tebing barat sudah bisa menunjukkan posisi alur pelayaran. Dari jarak cukup jauh di laut lepas, awak buah kapal bisa melihat menara suar warna merah, hijau dan putih yang dapat memandu kapal menuju ke pelabuhan. Nahkoda mengarahkan kapal pada posisi di mana menara warna putih berada di antara menara suar warna merah dan hijau. Gambar 9.3. menunjukkan foto menara suar warna merah dan hijau yang diambil dari dermaga ke arah laut, dan menara suar warna putih di darat, yang berjumlah dua buah.



Gambar 9.2. Menara suar di Pelabuhan Perikanan Sadeng



Gambar 9.3. Menara suar di Pelabuhan Perikanan Sadeng

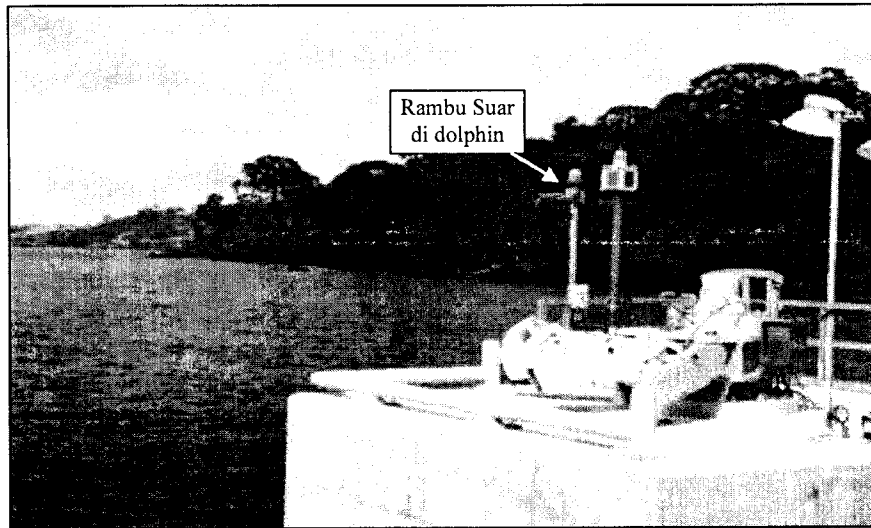
9.3. Alat Pemandu Konstruksi Tetap

Alat pemandu pelayaran dengan konstruksi tetap dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu :

1. rambu pelayaran pada pier, wharf, dolphin, dan sebagainya
2. rambu suar pada pemecah gelombang, pantai, dan sebagainya
3. mercu suar.

1. Rambu pelayaran pada pier, wharf, dolphin

Untuk mengetahui batas-batas dari pier, wharf, dolphin penambat dan bangunan-bangunan lainnya, maka rambu suar ditempatkan pada ujung-ujung bangunan fasilitas tersebut. Untuk dolphin atau bangunan yang kecil ditempatkan satu buah rambu. Biasanya rambu yang mengeluarkan cahaya (lampu) tersebut berwarna putih yang dipasang pada bangunan. Cahaya tersebut biasanya menggunakan sumber cahaya listrik.

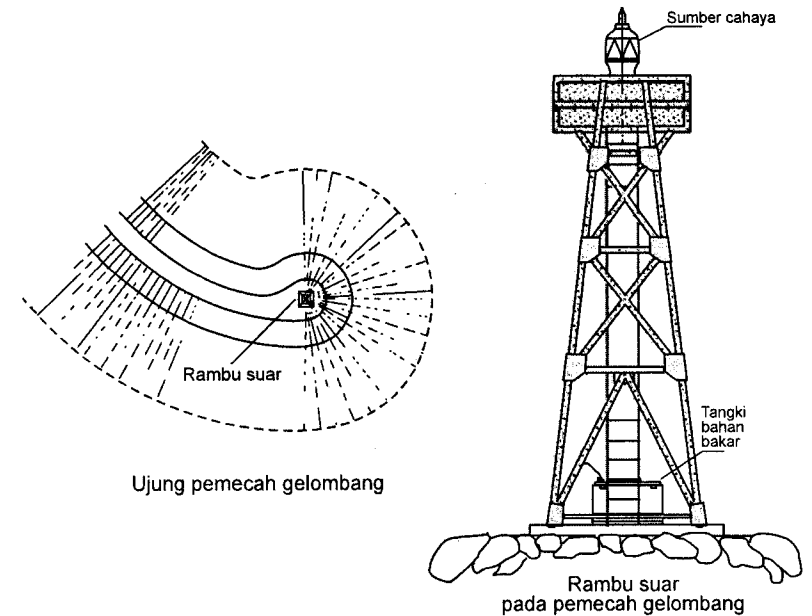


www.trelleborg.com/en/Media/The-...rminals/

Gambar 9.4. Rambu suar pada dolphin

2. Rambu suar pada pemecah gelombang dan pantai

Rambu (menara) suar ini merupakan konstruksi tetap yang ditempatkan di ujung pemecah gelombang pada mulut pelabuhan dan di tempat-tempat yang berbahaya bagi kapal. Bangunan ini dibuat dari konstruksi rangka baja berbentuk menara dengan sumber cahaya berada di puncak bangunan. Sumber cahaya bisa berupa tenaga listrik dari pantai, baterai atau gas acetyline. Apabila diperlukan pada puncak menara dipasang radar reflektor. Gambar 9.5. adalah bentuk konstruksi menara suar yang dibangun pada ujung pemecah gelombang.



Gambar 9.5. Struktur menara suar pada ujung pemecah gelombang

3. Mercu suar

Mercu suar adalah konstruksi menara yang tinggi dengan lampu suar ditempatkan di puncaknya. Bangunan ini biasanya didirikan di suatu titik di pantai guna memandu kapal yang akan menuju pelabuhan. Mercu suar juga dapat ditempatkan di karang, gosong atau di tempat yang berbahaya untuk pelayaran. Mercu suar bisa dibuat dari pasangan batu dan konstruksi baja, dan harus cukup kuat untuk bisa menahan serangan

gelombang. Gambar 9.7. adalah contoh bentuk mercu suar. Menara harus cukup tinggi sehingga lampu suar dapat dilihat oleh kapal yang sedang mendekat, paling tidak dari jarak 32 km, dengan memperhatikan bentuk bumi yang bulat. Gambar 9.8. menunjukkan suatu cara untuk menentukan tinggi mercu suar yang dapat dilihat dari jarak tertentu. Tinggi mercu suar agar dapat terlihat dari kapal yang berada pada suatu jarak tertentu dari mercu suar dapat dihitung dengan rumus berikut :

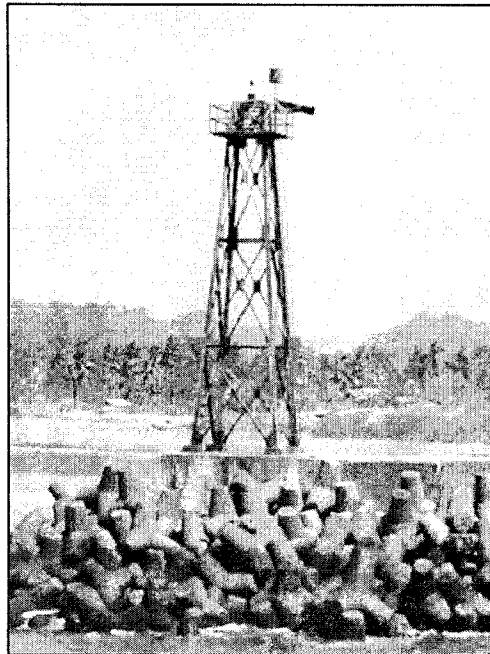
$$D = 3.86(\sqrt{H} + \sqrt{H_1}) \quad (9.1)$$

dengan :

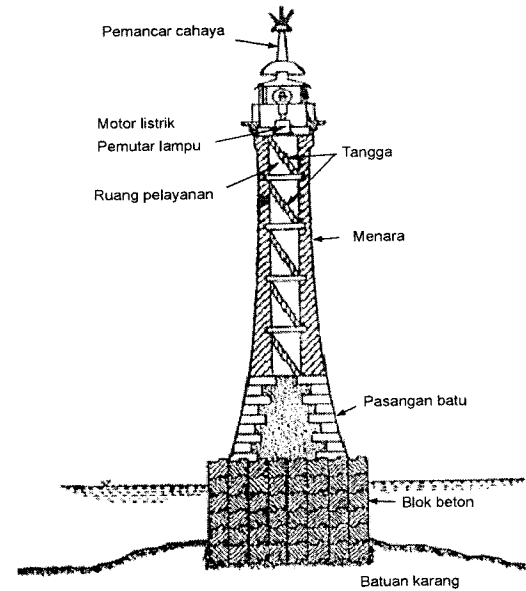
D : jarak horisontal antara kapal dan mercu suar (km)

H : tinggi mercu suar (m)

H_1 : tinggi mata yang memandang di atas permukaan laut (m)



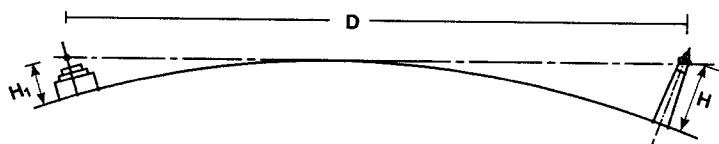
Gambar 9.6. Menara suar di pemecah gelombang Pelabuhan Ikan Cilacap



www.sharepic.net/content.php?id=12840073&owner=muis99

Gambar 9.7. Mercu suar

Cahaya lampu suar bisa putih atau berwarna dan berkelap-kelip, dan sumber tenaganya bisa berasal dari arus listrik, baterai atau gas acetyline. Berkelap-kelipnya cahaya dihasilkan oleh motor listrik yang memutar lampu. Ada juga mercu suar yang dilengkapi dengan sinyal yang memberikan berbagai macam suara. Sinyal ini digunakan apabila cuaca berkabut. Kadang-kadang mercu suar juga dilengkapi dengan stasiun radio yang dapat mengirimkan sinyal ke segala arah untuk menuntun kapal. Di Indonesia terdapat sekitar 110 mercu suar yang berada di sekitar pulau Sumatra (40 buah), pulau Jawa (21 buah), pulau Kalimantan (16 buah), Sulawesi (15 buah), kepulauan Nusa Tenggara (7 buah), kepulauan Maluku (4 buah) dan Irian (7 buah).



Gambar 9.8. Cara penentuan tinggi mercu suar

9.4. Alat Pemandu Pelayaran Konstruksi Terapung

Alat pemandu tipe ini berupa pelampung (*buoy*) yang diletakkan di suatu tempat tertentu. Pelampung ini diberi alat pemberi tanda peringatan yang bisa berupa lampu, pemantul gelombang radar (*radar reflector*), bel atau bunyi peringatan lainnya, yang tergantung pada penggunaannya. Sumber cahaya berasal dari baterai listrik atau gas. Gas ini dimasukkan dalam ruangan gas yang ada dalam pelampung dan cukup untuk menyalakan lampu siang dan malam sampai beberapa bulan. Saat ini penggunaan panel energi surya digunakan sebagai sumber listrik. Pada tipe ini alat pemandu pelayaran dapat berupa kapal rambu suar atau pelampung dengan bentuk yang telah distandarisasi.

1. Kapal rambu suar

Di suatu lokasi di mana sulit untuk dibangun mercu suar, maka kapal kecil dengan bobot 500 ton dapat digunakan untuk menggantikannya. Kapal ini bisa diawaki atau tidak yang dilengkapi dengan lampu otomatis dan sinyal kabut. Lampu biasanya ditempatkan pada ketinggian

9-12 m di atas muka air. Peralatan cahaya terdiri dari empat pasang cermin pemantul yang ditempatkan di sekeliling lampu dan dapat berputar pada kecepatan tertentu untuk memancarkan jumlah tertentu kilatan cahaya. Lambung kapal rambu suar biasanya dicat merah dan nama stasiun dicat putih pada kedua sisinya. Sumber tenaga kapal ini bisa berasal dari mesin uap atau disel. Untuk pengoperasian lampu biasanya digunakan generator. Kapal ini bertambat pada satu jangkar.

2. Pelampung

Pelampung (*buoy*) juga digunakan sebagai alat bantu pelayaran yang diangker pada suatu tempat yang dianggap tepat. Pelampung ini bisa diberi lampu atau tidak, atau bisa juga diberi radar pemantul, bel atau bunyi peringatan, yang disesuaikan dengan penggunaannya.

Lampu mercu suar diletakkan di bagian atas pelampung dan diberi lampu berwarna yang disesuaikan dengan penggunaannya. Sumber cahaya diperoleh dari baterai atau gas acetylene. Pelampung dicat menurut lokasi dan kegunaannya. Jenis pelampung rambu suar yang ada antara lain adalah pelampung berbentuk tiang (*spar buoy*), kaleng (*can buoy*), *nun buoy*, bola (*spherical buoy*), pelampung bercahaya (*lighted buoy*), pelampung dengan tanda suara (*saund warning buoy*), dan sebagainya. Pelampung berbentuk tiang, kaleng dan *nun buoy* tidak mempunyai cahaya, sedang pelampung berbentuk bola ada yang bercahaya atau tidak. Cahaya pada pelampung adalah cahaya lampu. Pelampung dengan peringatan suara juga bercahaya, yang dilengkapi dengan bel, peluit atau terompet. Pemberian warna dan penomoran pelampung adalah seragam di seluruh kawasan yang disesuaikan dengan posisinya, yaitu di sebelah kanan atau kiri kapal yang akan masuk dari arah laut mengikuti arah alur. Macam pelampung yang digunakan sebagai pemandu pelayaran dapat dilihat dalam Gambar 9.9. dan Gambar 9.10. Beberapa macam pelampung dijelaskan berikut ini.

a. Pelampung berbentuk tiang

Pelampung berbentuk tiang adalah pelampung yang tidak bercahaya dan berbentuk tiang panjang dan tipis terbuat dari kayu atau logam, panjangnya berkisar antara 6 m dan 15 m, dicat serta tampak di permukaan air dan diikat dengan rantai yang dihubungkan dengan beban yang diletakkan di dasar laut. Biasanya pelampung ini digunakan pada kanal

dengan arus yang cepat atau pasang surut yang besar. Juga sebagai tanda yang bersifat sementara.

b. Pelampung berbentuk kaleng (can buoy)

Can buoy adalah pelampung yang tidak bercahaya, bagian atas rata dan diletakkan di sebelah kiri pelabuhan atau di sebelah kiri alur bila mana kapal masuk dari arah laut. *Can buoy* dibuat dari logam, dicat hitam dan diberi nomor dengan nomor ganjil.

c. Nun buoy

Nun buoy adalah pelampung yang tidak bercahaya, bagian yang di atas air berbentuk kerucut, dan diletakkan di sebelah kanan kapal atau di sebelah kanan alur apabila kapal masuk dari arah laut. *Nun buoy* dibuat dari logam, dicat merah dan diberi nomor dengan nomor genap.

d. Pelampung berbentuk bola (Spherical buoy)

Spherical buoy mempunyai bentuk seperti bola dan biasanya diletakkan pada tempat khusus di kanal pada tempat yang dangkal. Pelampung jenis ini kadang-kadang diberi lampu dan kadang-kadang tidak. Dibuat dari logam dan dicat menurut posisinya dan digunakan pada kanal.

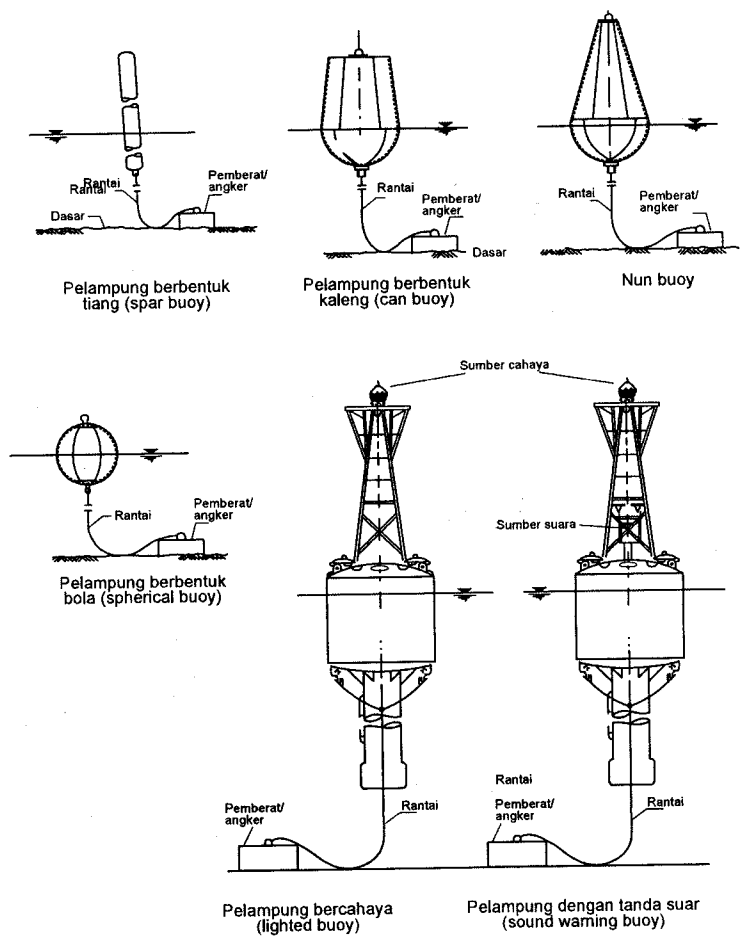
e. Pelampung bercahaya (Lighted buoy)

Lighted buoy adalah pelampung yang bercahaya dan mempunyai kerangka (menara baja) yang tinggi atau konstruksi menara yang terletak pada konstruksi dasar yang terapung yang dilengkapi dengan pelampung yang stabil dan mampu menahan angin. Dasar yang terapung tersebut juga direncanakan untuk menampung cadangan bahan bakar yang biasanya adalah gas acetylene atau baterai. Cahaya lampu diletakkan pada bagian atas konstruksi. Pelampung ini digunakan pada kedua sisi alur atau pada tempat yang khusus, sesuai dengan kebutuhan pelayaran. Pelampung ini dicat dan diberi nomor menurut posisinya sepanjang kanal atau tempat lainnya.

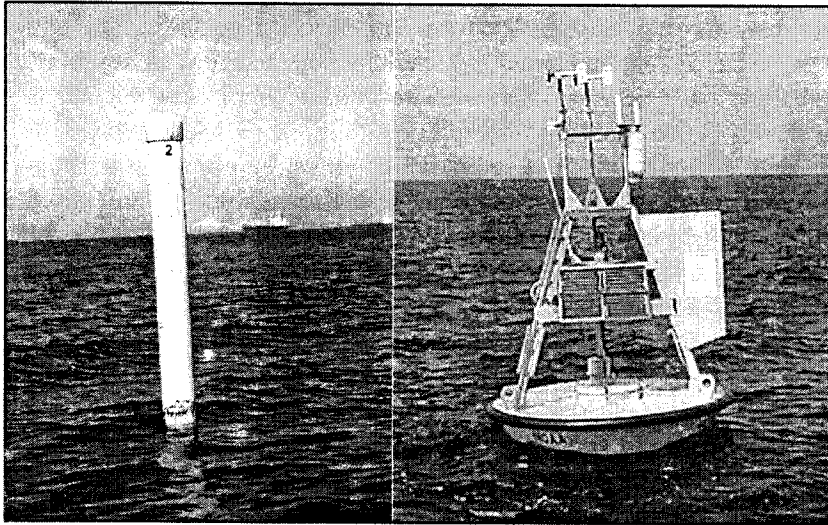
f. Pelampung dengan tanda suara (Sound warning buoy)

Sound warning buoy adalah pelampung yang dilengkapi dengan cahaya ataupun tidak, mempunyai kerangka logam yang tinggi dan terletak pada dasar yang terapung yang dilengkapi dengan pelampung yang stabil dan mampu menahan angin. Pelampung ini serupa dengan pelam-

pung bercahaya. Konstruksi dasar juga direncanakan sebagai tempat bahan bakar, apabila pelampung dilengkapi dengan cahaya. Lampu tersebut berada pada puncak konstruksi sedang sumber suara diletakkan di bawahnya. Tanda suara bisa berupa bel, gong, peluit atau terompet, yang dioperasikan sesuai gerakan pelampung atau secara otomatis. Pelampung ini digunakan pada tempat yang khusus atau tersembunyi untuk memberi peringatan pada kapal yang kena kabut pada siang atau malam hari. Pelampung dicat dan diberi nomor menurut lokasinya. Apabila perlu bisa dilengkapi dengan radar reflektor.

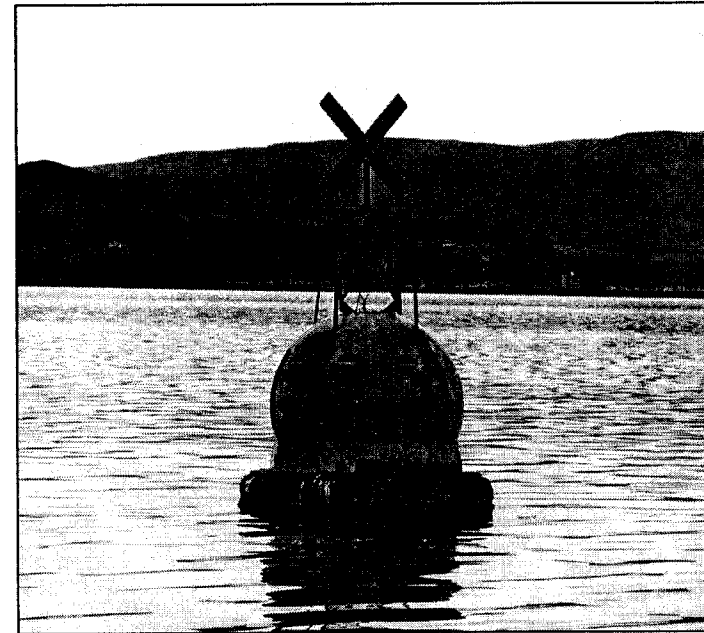


Gambar 9.9. Beberapa bentuk pelampung rambu suar



www.answers.com/topic/buoy
aspyc.scyaweab.org/marks/BuoyPict91009/Mark 2.jpg

Gambar 9.10.a. Spar buoy dan nun buoy



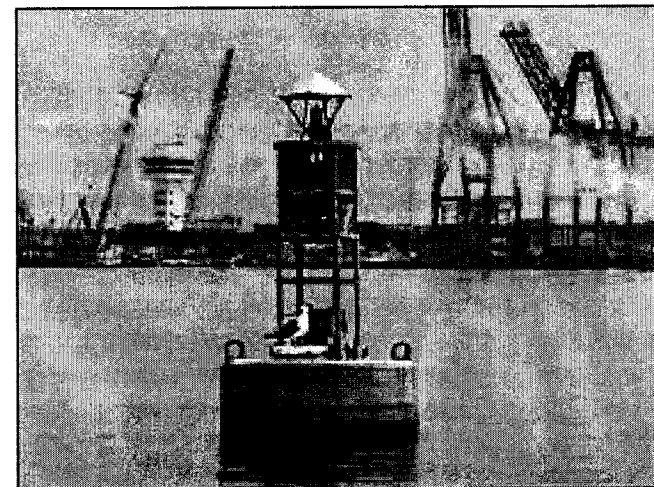
www.cruising.sailingcourse.com/l...arks.htm

Gambar 9.10.c. Spherical buoy



gosportmarine.com/chichester.asp

Gambar 9.10.b. Can buoy



www.cruising.sailingcourse.com/u...la-b.htm

Gambar 9.10.d. lighted buoy

PELAYANAN PELABUHAN**10.1. Pendahuluan**

Pelayanan yang baik, dalam arti aman dan efisien, terhadap pengguna pelabuhan (kapal, barang dan penumpang) adalah modal dasar bagi perkembangan suatu pelabuhan. Untuk itu pelabuhan harus bisa menyediakan beberapa kondisi berikut ini (Diagram, 2003).

1. Adanya kualitas infrastruktur pelabuhan yang memadai, modern, bersih dan terpelihara baik (dermaga dan terminal yang bersih, tidak ada waktu tunggu karena antrian atau kerusakan alat).
2. Penyediaan pelayanan yang aman, efektif dan efisien; seperti pemanduan, operasi penundaan, penambatan, *mooring* dan *unmooring*, komunikasi, prosedur *clearance* kapal, aktivitas bongkar muat yang berkualitas, pemeriksaan-pemeriksaan yang relevan dan penegakan peraturan dan prosedur keselamatan yang tegas.
3. Operasi peralatan penanganan barang yang aman dan efisien, manajemen bongkar muat yang profesional dan pekerja pelabuhan yang terlatih, manajemen pelabuhan yang efektif, operasi pengawasan dermaga dan terminal, optimasi keselamatan kapal dan *turn around time* di pelabuhan.
4. Prosedur dan komunikasi yang lancar dan efektif antara agen pelayaran, perusahaan bongkar muat dan organisasi manajemen pelabuhan.

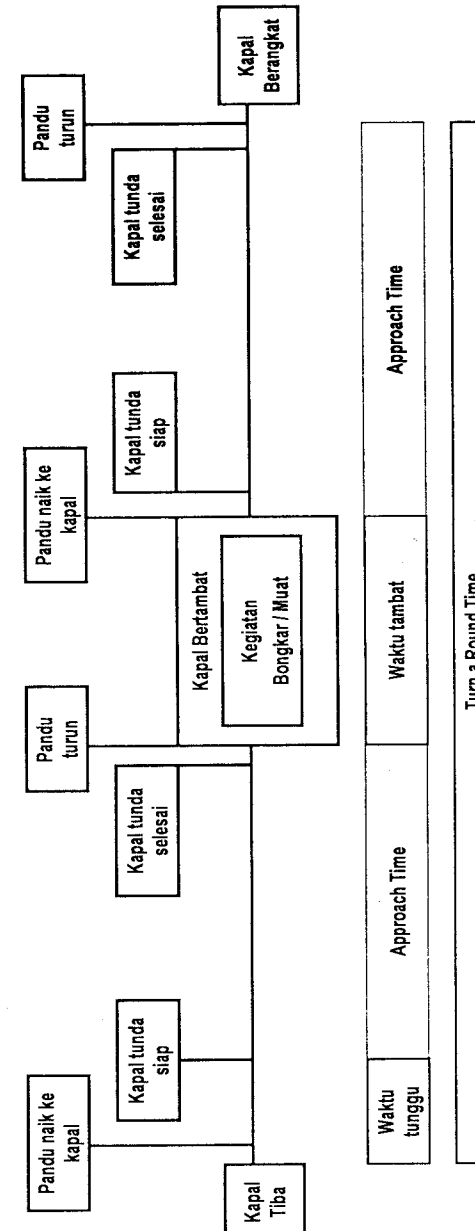
Penanganan, pengamanan dan pengelolaan lingkungan pelabuhan harus dilaksanakan bersama-sama oleh semua pihak yang terkait. Di samping menyediakan fasilitas pelabuhan yang memadai, pengelola pelabuhan

an juga harus membangun kesadaran akan keselamatan di pelabuhan. Pendidikan dan pelatihan kepada seluruh personil operasi terminal dan dermaga (pegawai gudang, sopir, tenaga kerja bongkar muat, petugas keamanan, dsb) yang memadai adalah prasyarat untuk menjamin operasi pelabuhan yang aman.

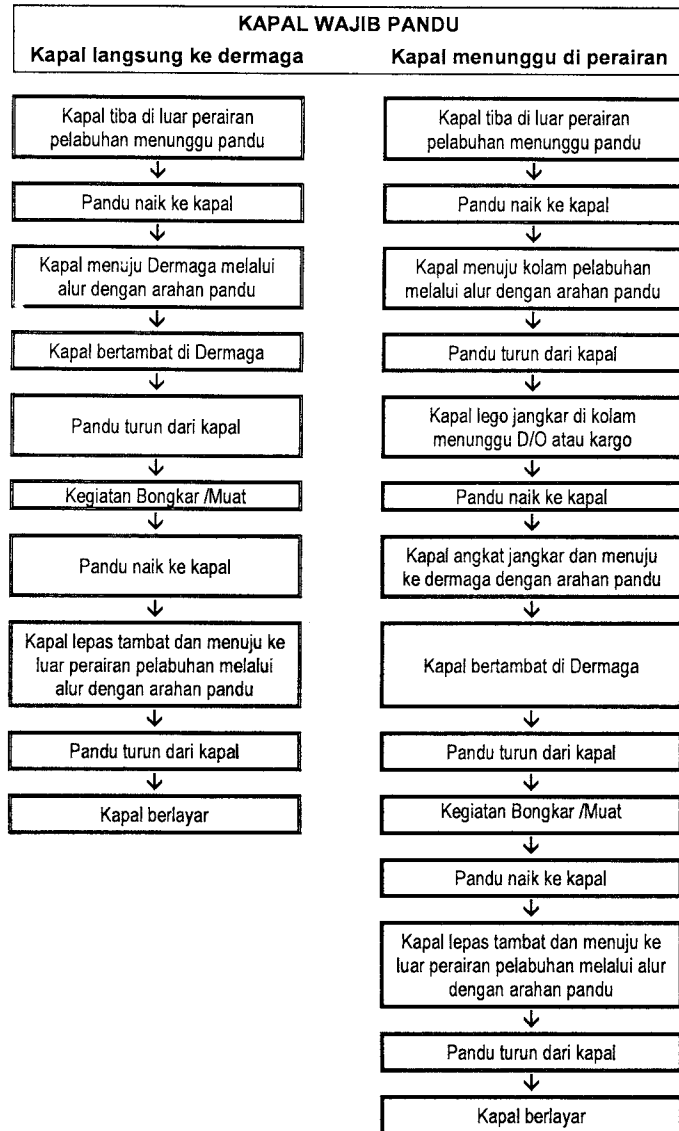
Kapal yang akan masuk ke pelabuhan melakukan beberapa kegiatan, yaitu menunggu datangnya bantuan pandu dan kapal tunda, menuju kolam pelabuhan melalui alur pelayaran, bertambat, bersandar di dermaga, melakukan bongkar muat barang atau menaik-turunkan penumpang, menyelesaikan urusan administrasi, melepas tambatan, keluar dari perairan pelabuhan, sampai pandu turun meninggalkan kapal dan kapal berlayar meninggalkan pelabuhan. Berbagai kegiatan kapal secara skematis ditunjukkan dalam Gambar 10.1, sedang Gambar 10.2. adalah pergerakan kapal wajib pandu menuju tambatan yang dikelompokkan menjadi dua macam yaitu yang langsung merapat ke dermaga dan menunggu di kolam pelabuhan sebelum merapat ke dermaga (Diagram Tripoporsi, 2003). Untuk kapal tidak wajib pandu, kapal bisa langsung masuk ke pelabuhan tanpa bantuan pandu dan kapal tunda. Dalam Gambar 10.1. diberikan pula waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan tersebut. Berikut ini dijelaskan lebih rinci berbagai kegiatan yang dilakukan kapal selama berada di pelabuhan.

10.2. Pemanduan dan penundaan

Sebelum tiba di pelabuhan, kapal harus memberitahukan kedatangannya kepada operator pelabuhan, Kepala Kantor Pelabuhan, pandu dan semua pihak terkait melalui agen. Kapal ini akan melaporkan pemberitahuan kesiapan kepada pihak terkait, bila kapal telah tiba di daerah di luar perairan pelabuhan, di mana kapal melepas jangkar dan/atau bertambat pada pelampung penambat dan siap untuk dilayani. Berdasarkan pemberitahuan ini, pandu dan kapal tunda akan menjemput kapal untuk memandu nahkoda melalui alur diiringi kapal tunda. Petugas pelabuhan akan memeriksa dokumen kapal sebelum memberikan ijin memasuki pelabuhan.



Gambar 10.1. Kegiatan kapal masuk ke pelabuhan



Gambar 10.2. Pergerakan kapal di pelabuhan dengan kapal tunda

1. Pemanduan

Dengan pertimbangan keselamatan bagi kapal dan muatannya, pada waktu kapal masuk ke alur pelayaran menuju ke kolam pelabuhan, nahkoda kapal memerlukan petunjuk dari seorang pandu. Pandu adalah seorang ahli yang sudah berpengalaman layar dan mempunyai sertifikat pemanduan. Pandu hanya bertugas sebagai penasehat/pengarah, sedang tanggung jawab keselamatan kapal tetap pada nahkoda. Jasa seorang pandu ini sangat penting terutama bagi kapal yang jarang masuk ke pelabuhan terkait. Nahkoda kapal tidak memahami kondisi alur masuk ke pelabuhan, sehingga dia membutuhkan petunjuk dari seorang pandu. Perairan wajib pandu, adalah perairan di mana kapal-kapal dengan ukuran tertentu (di atas 150 GRT) yang akan masuk dan keluar pelabuhan harus menggunakan bantuan jasa pandu.

Pada waktu kapal sampai di luar perairan pelabuhan, nahkoda memberitahu ke pengelola pelabuhan untuk meminta bantuan pandu dan kapal tunda. Selama menunggu datangnya bantuan tersebut kapal melepaskan jangkar dan/atau bertambat pada pelampung penambat, untuk menjaga agar kapal tidak bergerak/berpindah tempat karena terdorong oleh arus dan gelombang. Pandu dan kapal tunda datang ke lokasi kapal menunggu. Setelah itu pandu naik ke kapal dan kapal tunda siap membantu kapal masuk ke pelabuhan. Dengan arahan dari pandu, kapal tunda membantu kapal masuk ke pelabuhan.

Untuk dapat melaksanakan tugas pemanduan dengan baik diperlukan sarana penunjang, yaitu kapal untuk mengantar dan menjemput pandu di laut, kapal tunda untuk membantu gerak kapal di alur pelayaran dan menyandarkan kapal di dermaga, dan regu kepil (regu yang membantu kapal untuk bertambat atau melepas tambatan) untuk membantu mengikat dan melepas tali kapal.

Kapal-kapal yang menggunakan jasa pandu dikenai biaya pandu yang besarnya tergantung pada bobot kapal, jarak atau lama waktu pemanduan dan tingkat kesulitan alur pelayaran.

2. Penundaan kapal

Penundaan kapal adalah pekerjaan mendorong, menarik atau menggandeng kapal yang beroleh gerak untuk masuk ke kolam pelabuhan, bertambat dan bersandar di dermaga. Atau sebaliknya yaitu untuk

melepas dari tambatan dan bergerak keluar dari kolam pelabuhan menuju perairan di luar pelabuhan. Pada waktu masuk dan keluar pelabuhan, kapal dengan ukuran tertentu harus menggunakan kapal tunda sebagai sarana bantu pandu. Jumlah dan ukuran kapal tunda tergantung pada panjang kapal seperti diberikan Tabel 10.1. (Pelabuhan Indonesia, 2000).

Tabel 10.1. Kebutuhan kapal tunda

Panjang Kapal (m)	Kebutuhan Kapal Tunda Minimal	
	Jumlah	Daya (PK)
71 - 100	1	600 – 1.200
101 – 150	1	1.200 – 3.400
151 – 200	2	3.400 – 5.000
201 – 300	3	5.000 – 10.000
>300	4	>10.000

Dengan mempertimbangkan kekuatan arus, angin, cuaca, kedalaman kolam dan kondisi kapal yang ditunda, pandu dapat mempertimbangkan jumlah serta daya kapal tunda yang digunakan. Nahkoda kapal tunda merupakan penanggungjawab umum terhadap pengoperasian kapal tunda tersebut sesuai dengan perintah yang diberikan oleh pandu.

Kapal-kapal yang menggunakan jasa penundaan dikenai biaya tunda yang besarnya tergantung pada bobot kapal dan lama waktu penggunaan kapal tunda. Waktu penggunaan kapal tunda dihitung sejak kapal tunda berangkat dari pangkalan menuju ke lokasi kapal melepas jangkar di luar perairan pelabuhan sampai kembali lagi ke pangkalan setelah mengantar kapal keluar dari pelabuhan.

10.3. Labuh dan Tambat

Setelah masuk ke kolam pelabuhan, masih dengan bantuan pandu dan kapal tunda, kapal bertambat dan bersandar di dermaga. Pandu akan meninggalkan kapal setelah kapal tertambat dengan sempurna di dermaga, setelah itu surveyor akan datang untuk memeriksa tangki dan/atau palka untuk menyatakan apakah palka/tangki siap menerima muatan. Petugas imigrasi akan memeriksa dokumen awak kapal untuk memastikan

bahwa awak kapal memegang dokumen yang berlaku dan sah untuk masuk ke negara, bila tidak mereka tidak diijinkan meninggalkan kapal.

Perairan pelabuhan harus dapat digunakan untuk berlabuh kapal dengan aman sambil menunggu pelayanan berikutnya yaitu bertambat di dermaga pelabuhan untuk melakukan kegiatan bongkar muat barang. Kapal-kapal yang menggunakan perairan pelabuhan dipungut biaya labuh, yang besarnya tergantung pada bobot kapal dan lama waktu berada di perairan, yaitu mulai dari masuk sampai meninggalkan perairan pelabuhan.

Tambatan adalah fasilitas pelabuhan untuk merapatnya kapal, bisa berupa dermaga, pelampung, atau dolphin. Di tambatan ini kapal melakukan bongkar muat barang atau menaik-turunkan penumpang. Kapal yang bertambat dikenai biaya tambat yang besarnya tergantung pada bobot kapal, kapal pelayaran luar negeri atau dalam negeri, dan lama waktu bertambat.

Kapal yang bertambat diberi batas waktu, dan apabila melebihi batas waktu tersebut, akan dikenakan tarif tambat 200% dari tarif dasar. Batas waktu bertambat tergantung bobot kapal yang diberikan dalam Tabel 10.2. (Pelabuhan Indonesia, 2000).

Tabel 10.2. Waktu tambat kapal

Bobot Kapal (GT)	Waktu Tambat (etmal)
< 999	3
1000-2499	4
2500-4999	6
5000-9999	8
10.000-14.999	10
>15.000	14

(1 etmal=24 jam)

10.4. Penanganan Muatan

Di pelabuhan terjadi perpindahan moda transportasi, yaitu dari angkutan laut ke angkutan darat dan sebaliknya. Agar perpindahan tersebut dapat berjalan dengan lancar diperlukan kegiatan bongkar muat barang dari kapal ke dermaga dan sebaliknya. Perpindahan jenis angkutan tersebut harus dapat berjalan dengan lancar, aman dan efektif. Untuk itu, diperlukan penanganan muatan yang dilakukan oleh para pekerja dengan menggunakan peralatan yang tersedia di pelabuhan. Jenis peralatan tergantung pada jenis muatan yang ditangani. Jenis muatan dapat dikelompokkan dalam bentuk 1) muatan umum (*general cargo*), 2) muatan curah dan 3) muatan peti kemas.

Penanganan muatan setelah dibongkar dari kapal dapat dilakukan dengan cara berikut :

1. barang-barang dapat langsung diangkut ke tempat tujuan dengan menggunakan angkutan darat (truk, kereta api),
2. disimpan di gudang pelabuhan (gudang lini I dan II),
3. disimpan di lapangan penumpukan terbuka,
4. barang-barang disimpan sementara di pelabuhan untuk selanjutnya akan diangkut kembali dengan menggunakan kapal lain menuju lokasi tujuan akhir.

Bongkar muat barang di pelabuhan dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti diberikan berikut ini.

1. Bongkar muat barang umum (*general cargo*)

Pekerjaan bongkar muat dari dan ke kapal dilakukan oleh perusahaan yang khusus dibentuk untuk pekerjaan bongkar muat, yang bisa berupa perusahaan swasta atau BHMN milik PT. Pelindo. Kegiatan bongkar muat barang umum dilaksanakan di pelabuhan melalui kegiatan *stevedoring*, *cargodoring*, dan *receiving/delivery*. Pekerjaan *stevedoring* adalah pekerjaan membongkar barang dari dek atau palka kapal ke dermaga, tongkang, truk atau sebaliknya memuat barang dari dermaga, tongkang dan truk ke dek atau palka kapal dengan menggunakan kran (*crane*) kapal dan/atau kran darat. Pekerjaan *Cargodoring* adalah pekerjaan mengeluarkan barang dari *sling* (alat pengangkat barang) di atas dermaga, mengangkat dari lantai dermaga, mengangkut dan menyusun barang di dalam

gudang lini I atau di lapangan penumpukan terbuka atau pekerjaan sebaliknya. Kegiatan ini dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia (dipanggul) atau dibantu dengan gerobak dorong atau menggunakan *fork-lift*, yang tergantung pada berat barang dan jarak angkut. Pekerjaan *delivery* adalah pekerjaan mengambil barang/muatan dari gudang atau tempat penumpukan terbuka hingga menyusunnya di atas kendaraan pengangkut keluar pelabuhan atau sebaliknya. Sedang *receiving* adalah pekerjaan menerima barang dari atas truk untuk ditimbun di gudang atau lapangan penumpukan lini I. Alat-alat yang digunakan adalah sama dengan kegiatan *Cargodoring*.

Pelaksanaan bongkar muat dapat dibagi menjadi dua macam seperti dijelaskan berikut ini.

a. Bongkar muat secara langsung ke truk (*truck losing*)

Bongkar muat barang dengan cara *truck losing* dilakukan terhadap barang-barang tertentu seperti barang berbahaya yang tidak boleh ditimbun di gudang/lapangan penumpukan terbuka dan barang-barang strategis seperti beras, gula, semen, dll. Bagi pemilik barang, biaya bongkar muat barang dengan cara *truck losing* adalah lebih murah. Tetapi cara ini menyebabkan kapal bertambat lebih lama sehingga biaya yang dikeluarkan kapal di pelabuhan menjadi tinggi dan kinerja pelabuhan lebih rendah yang ditunjukkan oleh *berth time* (waktu tambat) lebih lama, *berth throughput* (daya lalu tambatan) lebih kecil, volume bongkar muat barang lebih kecil, dsb.

b. Bongkar muat barang dengan penimbunan

Barang-barang sebelum dimuat ke kapal, ditumpuk terlebih dahulu di gudang lini I atau lapangan penumpukan terbuka dan disusun sedemikian rupa sehingga sesuai dengan rencana urutan pemuatan. Urutan pemuatan diperlukan untuk memudahkan pembongkaran di pelabuhan tujuan. Untuk kepentingan stabilitas kapal, penyusunan berat muatan dalam palka harus seimbang. Bongkar muat barang dengan cara penimbunan lebih cepat dibandingkan dengan *truck losing* yang sering mendapat hambatan, misalnya jumlah truck kurang atau terlambat karena lalu lintas di jalan raya padat.

2. Bongkar Muat Barang Curah

Muatan curah dapat dibedakan menjadi muatan curah padat seperti batubara, semen, tepung, beras, jagung, kedelai, dsb dan muatan curah cair seperti air, minyak bumi, minyak nabati, dsb. Penanganan muatan curah cair dilakukan dengan menggunakan alat pompa di kapal yang mampu mendorong atau menghisap muatan curah cair dan disalurkan melalui selang atau pipa ke dan dari kapal langsung ke tangki penyimpanan atau ke tangki-tangki permanen di darat; atau sebaliknya yaitu dari tangki penyimpanan di darat dimuat ke dalam kapal. Penanganan muatan curah kering dilakukan dengan menggunakan kran kapal yang dilengkapi *clamshell* dan *belt conveyor*. *Belt conveyor* atau sabuk berjalan adalah peralatan yang memungkinkan gerakan meneruskan dan memindahkan muatan secara horizontal.

3. Bongkar Muat Peti Kemas di Terminal Peti Kemas

Angkutan barang dengan menggunakan peti kemas selalu meningkat tiap tahun. Kegiatan bongkar muat peti kemas dapat dilakukan di terminal konvensional maupun terminal khusus peti kemas. Dermaga pada terminal konvensional tidak dilengkapi dengan kran darat (*quai gantry crane*), dan bongkar muat dilakukan dengan menggunakan kran kapal. Pada terminal khusus peti kemas, dermaga dilengkapi dengan kran darat yang berdiri di atas rel dan dapat bergerak di sepanjang dermaga. Pada kegiatan pembongkaran muatan, dengan menggunakan kran darat, peti kemas dibongkar dari kapal dan diletakkan di atas truk trailer yang berada di apron, yang selanjutnya diangkut ke *container yard* (lapangan penumpukan). Pada kegiatan pemuatan, peti kemas dari *container yard* dibawa oleh truk trailer ke apron yang selanjutnya dimuat ke kapal dengan menggunakan *quai gantry crane*.

Bongkar muat peti kemas di terminal peti kemas dilakukan dengan menggunakan berbagai peralatan seperti *quai gantry crane*, *rubber tyred gantry crane* atau *transtrainer*, *forklift*, *top loader*, *head truck chasis trailer*, dsb.

10.5. Kinerja Pelabuhan

Kinerja pelabuhan dapat digunakan untuk mengetahui tingkat pelayanan pelabuhan kepada pengguna pelabuhan (kapal dan barang), yang tergantung pada waktu pelayanan kapal selama berada di pelabuhan. Kinerja pelabuhan yang tinggi menunjukkan bahwa pelabuhan dapat memberikan pelayanan yang baik. Waktu pelayanan kapal dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu pada waktu kapal berada di perairan dan ketika kapal bersandar di tambatan. Penjelasan waktu pelayanan kapal dapat dilihat dalam Gambar 10.1, yang terdiri dari *waiting time* atau waktu tunggu, *approach time*, *postpone time*. Komponen waktu pelayanan kapal di perairan diberikan berikut ini.

- a. *Waiting time* (WT) atau waktu tunggu. Kapal yang akan masuk ke pelabuhan harus menunggu bantuan pandu dan kapal tunda. Petugas pandu akan memandu nahkoda kapal untuk masuk ke pelabuhan sampai bertambat di dermaga. Gerakan kapal tersebut dibantu oleh kapal tunda. Waktu tunggu adalah waktu selama menunggu datangnya pandu dan kapal tunda.
- b. *Approach time* adalah waktu yang diperlukan kapal dari perairan di mana dia melepas jangkar menuju ke perairan pelabuhan sampai mengikat tali di dermaga, dan sebaliknya yaitu dari kapal melepas tali tambatan setelah bongkar muat sampai tiba kembali di luar perairan pelabuhan.
- c. *Postpone time* atau waktu tertunda yang tidak bermanfaat selama kapal berada di perairan pelabuhan antara lokasi lego jangkar, dihitung dari sebelum sampai sesudah melakukan kegiatan di pelabuhan.
- d. *Service time* atau waktu pelayanan di tambatan adalah waktu yang dihitung sejak kapal ikat tali di tambatan sampai lepas tali atau waktu selama kapal berada di tambatan. Komponen waktu pelayanan kapal di tambatan adalah sebagai berikut ini.
 - 2) *Not Operating Time* atau waktu tidak kerja adalah waktu yang direncanakan kapal tidak bekerja selama berada di tambatan, termasuk waktu istirahat dan waktu menunggu buruh, serta waktu menunggu untuk lepas tambat kapal, yang dinyatakan dalam satuan jam.

- 3) *Effective time* atau *Operating Time* (OT) atau waktu efektif adalah jumlah waktu yang dipergunakan untuk melakukan kegiatan bongkar muat yang dinyatakan dalam jam. *Idle Time* (IT) atau waktu terbuang adalah jumlah jam kerja yang tidak terpakai (terbuang) selama waktu kerja bongkar muat di tambatan tidak termasuk jam istirahat, dinyatakan dalam satuan jam. *Berth Working Time* (BWT) adalah jam kerja bongkar muat yang tersedia selama kapal berada di tambatan. Jumlah jam kerja tiap hari untuk tiap kapal berpedoman pada jumlah jam tertinggi dari kerja gang buruh tiap gilir kerja (*shift*) tersebut, tidak termasuk waktu istirahat.
 - 4) *Bert Time* (BT) atau waktu tambat adalah jumlah waktu selama kapal berada di tambatan, sejak kapal ikat tali sampai lepas tali di tambatan.
- e. *Turn Round Time* (TRT) atau waktu pelayanan kapal di pelabuhan adalah jumlah waktu selama kapal berada di pelabuhan yang dihitung sejak kapal tiba di lokasi lego jangkar di luar perairan pelabuhan ketika menunggu bantuan pandu dan kapal tunda sampai kapal berangkat meninggalkan lokasi lego jangkar, yang dinyatakan dalam satuan jam.

10.6. Indikator Kinerja Pelabuhan

Kinerja pelabuhan ditunjukkan oleh *Berth Occupancy Ratio* (BOR) atau tingkat pemakaian dermaga, yaitu perbandingan antara jumlah waktu pemakaian tiap dermaga yang tersedia dengan jumlah waktu yang tersedia selama satu periode (bulan/tahun) yang dinyatakan dalam persentase. Indikator kinerja pelabuhan digunakan untuk mengukur sejauh mana fasilitas dermaga dan sarana penunjang dimanfaatkan secara intensif. BOR dihitung untuk masing-masing dermaga, dan nilainya tergantung pada beberapa parameter berikut ini.

1. Jenis barang yang ditangani di dermaga

Pelabuhan melayani berbagai jenis muatan/barang yang diangkut melalui laut, yang bisa berupa muatan barang potongan (*general cargo*), muatan peti kemas, muatan curah dan muatan cair. Pada pelabuhan besar seperti Tanjung Priok, Tanjung Perak, Tanjung Mas, Makasar, Belawan dan Panjang; pelayanan berbagai jenis muatan tersebut dilakukan secara terpisah. Muatan peti kemas dilayani di terminal peti kemas, muatan ba-

rang umum dilayani di terminal barang umum, dsb. Sedang pada pelabuhan lainnya, yang tidak sebesar pelabuhan di atas seperti Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap, Gorontalo, Ternate dan pelabuhan lainnya, berbagai jenis muatan dilayani dalam satu terminal/dermaga. Tingkat pemakaian dermaga (BOR) tergantung pada jenis muatan. Dermaga yang melayani satu jenis muatan mempunyai tingkat pelayanan yang lebih baik karena fasilitas peralatan bongkar muat dan tenaga kerja memang khusus menangani jenis muatan tersebut.

2. Ukuran kapal

Ukuran kapal (kapasitas angkut dan panjang kapal L_{0a}) sangat berpengaruh terhadap nilai BOR suatu dermaga. Suatu dermaga dengan panjang tertentu dapat digunakan bertambat satu kapal besar atau lebih dari satu kapal dengan ukuran yang lebih kecil. Bobot dan dimensi kapal diberikan dalam Bab I.

3. Produktivitas kerja untuk muat/bongkar

Produktivitas kerja untuk bongkar/muat tergantung pada sistem penanganan barang yang dilakukan terhadap masing-masing jenis muatan. Produktivitas kerja di suatu pelabuhan berbeda dengan pelabuhan lainnya, yang tergantung pada peralatan bongkar muat dan ketrampilan tenaga kerja. Tabel 10.3.a. –10.3.c. adalah contoh produktivitas kerja di Pelabuhan PKT-Kalimantan Timur (Diagram Triproporsi, 2003), Gorontalo (Waja Utama, 2006) dan Terminal Peti Kemas Semarang, TPKS (Pelabuhan Indonesia III, 2009). Dari tabel tersebut terlihat bahwa produktivitas di Pelabuhan Gorontalo berbeda dengan Pelabuhan PKT. Dalam Tabel 10.3.c., produktivitas bongkar muat peti kemas di Terminal Peti Kemas Semarang meningkat dari tahun 1995 yang hanya 9 box/jam menjadi 24 box/jam pada tahun 2008. Peningkatan tersebut terjadi setelah dibangunnya terminal peti kemas pada tahun 2001 yang dilengkapi dengan empat buah *quai gantry crane* untuk bongkar muat peti kemas dan semakin meningkatnya ketrampilan petugas.

Tabel 10.3.a. Produktifitas Pelabuhan PKT

Jenis Kapal	Ukuran Kapal (DWT)	Kemasan	Kapasitas (ton/jam)
<i>Muat</i>			
Pelra	400	Kantong	30
	500	Kantong	30
Barang Umum	1500-10.000	Drum	30
		Kantong	60
	> 10.000	Kantong	45
		Kontainer	300
Kapal Curah Kering Tanker			400-500
			400-500
<i>Bongkar</i>			
Barang Umum		Kantong	45
		Kontainer	30
Kapal Curah	< 5000		60
	> 5000		90
Tanker			400
Tongkang			60

Tabel 10.3.b. Produktifitas Pelabuhan Gorontalo

No	Jenis Muatan	Produktivitas
1	Peti Kemas	10 box/jam
2	Bag Cargo	
	a. Semen	41 ton/jam
	b. Jagung	51 ton/jam
	c. Beras	52 ton/jam
3	Curah Cair	55 ton/jam

Tabel 10.3.c. Produktifitas Terminal Peti Kemas Semarang

Tahun	Produktifitas (Box/jam)	Tahun	Produktifitas (Box/jam)
1995	9	2002	18
1996	10	2003	20
1997	11	2004	21
1998	14	2005	22
1999	14	2006	23
2000	16	2007	23
2001	17	2008	24

4. Jumlah gang yang bekerja

Kegiatan bongkar muat barang dilakukan oleh tenaga kerja dalam suatu kelompok yang disebut dengan gang. Jumlah gang yang melakukan kegiatan bongkar muat tergantung pada ukuran kapal (volume barang) yang dilayani. Table 10.4 adalah contoh jumlah gang yang digunakan untuk melakukan bongkar muat barang menurut jenis muatan dan ukuran kapal.

Tabel 10.4. Jumlah Gang

Jenis Kapal	Ukuran Kapal DWT	Jumlah Gang	
		Muat	Bongkar
Pelra	400	1	1
	500	1	1
	1500	2	1
Barang Umum	2000	2	2
	3000-5000	3	3
	5000-10,000	4	3
	>10000	5	4
Kapal Curah	3000	1	1
	>3000	1	2-3
Kontainer	3000	1	1
	> 5000	2	2

5. Jam kerja dan jumlah shift kerja

Jam kerja dan jumlah *shift* kerja untuk penanganan barang juga berpengaruh terhadap kinerja pelabuhan. Pada pelabuhan besar yang sangat padat, jam kerja bisa selama 24 jam sehari dengan 3 *shift* pekerja; sementara untuk pelabuhan kecil bisa hanya 8 jam kerja per hari.

Pada terminal muatan curah cair dan curah kering dapat dioperasikan selama 24 jam per hari tergantung pada kebutuhan, karena pemuatan dilakukan oleh mesin otomatis

6. Panjang tambatan

Panjang dermaga berpengaruh terhadap kinerja pelabuhan (nilai BOR). Dermaga yang cukup panjang dapat digunakan merapat lebih dari satu buah kapal sehingga antrian kapal bisa berkurang. Berbeda dengan tambatan tunggal yang hanya bisa digunakan secara bergantian.

7. Hari kerja efektif per tahun

Hari kerja efektif per tahun juga berpengaruh terhadap kinerja pelabuhan. Nilai BOR dihitung berdasar hari kerja efektif, dengan mempertimbangkan waktu untuk pemeliharaan.

8. Cadangan waktu untuk tidak bekerja selama kapal bersandar

Setelah kapal bertambat di dermaga, kegiatan bongkar muat barang tidak langsung dilakukan. Demikian juga setelah selesai melakukan bongkar muat barang, kapal tidak langsung meninggalkan dermaga. Waktu di mana tidak dilakukan kegiatan ini disebut dengan *Not Operating Time*, yang digunakan untuk kegiatan survai, inspeksi, pengurusan dokumen, persiapan pemuatan, menunggu pandu untuk lepas sandar dll.

10.7. Nilai BOR

Nilai BOR dihitung dengan menggunakan persamaan berikut yang tergantung pada jenis tambatan.

a. Tambatan Tunggal

Apabila dermaga hanya digunakan untuk satu tambatan, penggunaan dermaga tidak dipengaruhi oleh panjang kapal, dan nilai BOR diberikan oleh bentuk berikut:

$$BOR = \frac{\sum \text{Waktu Tambat}}{\text{Waktu Efektif}} \times 100\% \quad (10.1)$$

dengan :

BOR : *Berth Occupancy Ratio* (%)

Waktu Tambat : waktu sejak kapal tertambat dengan sempurna di dermaga sampai lepas sandar (hari).

Waktu Efektif : total waktu operasi pelabuhan dalam satu periode satu tahun (hari).

b. Dermaga Untuk Beberapa Tambatan

$$BOR = \frac{\sum (\text{Loa} + \text{Jagaan}) \times \text{Waktu Tambat}}{\text{Waktu Efektif} \times \text{Panjang Tambatan}} \times 100\% \quad (10.2)$$

dengan:

Loa : *Length Overall* kapal (meter)

Jagaan : jarak aman antar kapal di tambatan, 10 m untuk kapal kecil dan 20 m untuk kapal besar

Panjang Tambatan : panjang permukaan dermaga yang bisa digunakan bagi untuk bersandar dalam satuan meter.

Notasi lainnya sama dengan notasi pada Persamaan (10.1).

c. Tambatan secara umum

Secara umum tingkat pemakaian dermaga juga dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$BOR = \frac{Vs \cdot St}{\text{Waktu Efektif } n} \times 100\% \quad (10.3)$$

dengan :

BOR : *Berth Occupancy Ratio* (%)

V_s : jumlah kapal yang dilayani (unit/tahun)

St : *service time* (jam/hari)

n : jumlah tambatan

Waktu Efektif : jumlah hari dalam satu tahun

Service time adalah waktu pelayanan kapal di tambatan, yang terdiri dari *operating time* (waktu efektif untuk bongkar muat barang) dan *not operating time*. *Operating time* tergantung pada produktifitas peralatan bongkar muat. Produktifitas tergantung pada jenis alat bongkar muat dan ketrampilan operator, yang berbeda antara pelabuhan yang satu dengan yang lain (lihat Tabel 10.3.). *Not operating time* adalah waktu tidak produktif karena operator istirahat, pengurusan administrasi, menunggu buruh serta waktu menunggu untuk lepas tambat kapal. Pada terminal peti kemas, bongkar muat barang dilakukan dengan *quai gantry crane* yang produktifitasnya sangat bervariasi pada pelabuhan yang berbeda. Survei yang telah dilakukan pada 671 *gantry crane* di pelabuhan di seluruh dunia memberikan hasil berikut (Thoresen, CA., 2003) :

- a. Kurang dari 20 peti kemas/jam : 12%
- b. 21-25 peti kemas/jam : 39%
- c. 26-30 peti kemas/jam : 33%
- d. 31-35 peti kemas/jam : 14%
- e. lebih dari 35 peti kemas/jam : 1%

Semakin tinggi produktifitas peralatan dan semakin singkat *not operating time*, semakin tinggi tingkat pemakaian dermaga (BOR). Pada pelabuhan/terminal peti kemas yang beroperasi selama 24 jam perhari, *not operating time* biasanya bervariasi antara 5 dan 20% dari *service time* (Thoresen, CA., 2003).

Dalam pemakaian Persamaan (10.3), jumlah kapal dapat diperoleh dari data kapal yang masuk pelabuhan. Biasanya yang dicatat adalah jenis kapal, bobot, muatan yang dibongkar-muat. Apabila diketahui arus barang yang dibongkar muat, jumlah kapal yang masuk pelabuhan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Jumlah kapal} = \frac{\text{Arus barang}}{\text{Muatan kapal rerata}} \quad (10.4)$$

UNCTAD (*United Nation Conference on Trade and Development*) merekomendasikan agar tingkat pemakaian dermaga tidak melebihi nilai yang diberikan dalam Tabel 10.5.

Tabel 10.5. Nilai BOR yang disarankan

Jumlah tambatan dalam group	BOR yang disarankan (%)
1	40
2	50
3	55
4	60
5	65
6-10	70

10.8. Berth Throughput

Berth throughput (BTP) adalah jumlah barang yang dibongkar-muat di tambatan. *BTP* dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$BTP = \frac{H \text{ BOR } J \text{ G } P}{L_1} \quad (10.5)$$

$$L_1 = L_{oa} + 10\% L_{oa} \quad (10.6)$$

dengan :

- BTP* : *berth throughput* (m³, ton, box atau TEUs/m/tahun)
- H* : jumlah hari kerja dalam satu tahun (hari)
- BOR* : *berth occupancy ratio* (%)
- J* : jam kerja per hari
- G* : jumlah gang dalam satu waktu
- P* : produktifitas B/M (m³, ton, box atau TEUs/jam)
- L₁* : panjang dermaga untuk satu kapal (*berth*)
- L_{oa}* : panjang kapal (m)

10.9. Kapasitas terpasang

Kapasitas terpasang dermaga adalah kemampuan dermaga untuk dapat menerima arus bongkar muat peti kemas, yang diberikan oleh Persamaan (10.7).

$$K_D = L \text{ BTP } n \quad (10.7)$$

dengan :

K_D : kapasitas dermaga ($TEUs, ton, m^3, box$)

L : panjang dermaga (m)

BTP : *berth through put* ($TEUs, ton, m^3, box/m/thn$)

n : faktor konversi (untuk mengubah satuan box ke TEUs, yaitu $1\ box = 1,7\ TEUs$)

10.10. Panjang Dermaga

Dalam perencanaan pengembangan pelabuhan, data arus kedatangan kapal dan arus peti kemas dapat digunakan untuk menentukan panjang dermaga. Data tersebut dapat diperoleh dari pencatatan tahun-tahun sebelumnya. Pada perencanaan pelabuhan baru, data diperkirakan dari pelabuhan lain yang setara. Panjang dermaga berdasar arus peti kemas dihitung dengan Persamaan (10.8), dengan BTP dihitung dari Persamaan (10.5) :

$$L = \frac{\text{Arus B / M Peti kemas}}{BTP} \quad (10.8)$$

Jumlah tambatan dan panjang dermaga juga dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (10.3), yang didasarkan pada arus kunjungan kapal dan *service time* serta BOR. Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk berikut ini.

$$n = \frac{Vs\ St}{\text{Waktu Efektif BOR}} \quad (10.9)$$

$$L = n(L_{oa} + 10\% L_{oa}) + 10\% L_{oa}$$

$$L = nL_1 + 10\% L_{oa} \quad (10.10)$$

$$L_1 = L_{oa} + 10\% L_{oa}$$

dengan

n : jumlah tambatan

L : panjang dermaga yang terdiri dari n tambatan

Notasi lain sama dengan notasi yang diberikan sebelumnya.

Contoh 1

Tabel 10.6. menunjukkan data kapal yang berlabuh di pelabuhan khusus PT Kaltim Methanol Industri (KMI) di Kalimantan Timur (Diagram Tripoporsi, 2003), yang melayani pemuatan tanker-tanker metanol. Dermaga dapat digunakan kapal dengan bobot sampai 30.000 DWT. Peralatan *loading arm* untuk memuat methanol dengan menggunakan pompa sebanyak dua buah dengan kapasitas 1000 ton/jam/pompa. Data seperti ditunjukkan dalam Tabel 10.6. adalah ringkasan dari data kapal yang berlabuh, yang seluruhnya terdiri dari 199 kapal. Hitung BOR.

Penyelesaian

Dermaga ini hanya digunakan untuk memuat methanol dan hanya terdiri dari satu tambatan. Untuk menghitung BOR, digunakan Persamaan (10.1). Hitungan dilakukan dalam Tabel 10.6.

Dalam tabel tersebut, kolom [1] adalah kapal yang berlabuh selama satu tahun yang berjumlah 199 kapal. Kolom [2], [3] dan [4] berturut-turut adalah nama kapal, panjang kapal dan bobotnya. Kolom [5] menunjukkan tanggal kapal bertambat di dermaga, sedang kolom [6] adalah jumlah methanol yang dimuat ke kapal dalam satuan ton. Kolom [7] adalah tanggal keberangkatan kapal meninggalkan dermaga. Kolom [8] adalah jumlah hari kapal bertambat di dermaga untuk melakukan kegiatan memuat methanol, yaitu kolom [7] dikurangi [5] ditambah 0,5 hari yang merupakan *not operating time*. Nilai *not operating time* diambil 0,5 hari mengingat bahwa waktu operasi pelabuhan hanya siang hari, sehingga apabila ada kapal yang datang sore hari, bongkar muat baru dilakukan keesokan harinya. Dalam Persamaan (10.1), jumlah waktu tambat adalah penjumlahan kolom [8], yang dalam tabel tersebut adalah 259,5 hari. Apabila waktu operasi pelabuhan adalah 350 hari/tahun, maka nilai BOR adalah :

$$BOR = \frac{\sum \text{Waktu Tambat}}{\text{Waktu Efektif}} \times 100\% = \frac{259,5}{350} = 74,14\%$$

Nilai BOR Pelabuhan PT KMI adalah 74,14 %; yang berarti melebihi dari nilai BOR yang disarankan oleh UNCTAD yaitu sebesar 40% (Tabel 10.5). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi dermaga sudah sangat padat, dan kemungkinan kapal yang akan merapat ke dermaga harus me-

nunggu dermaga kosong. Dengan kondisi seperti itu, apabila diperlukan pemeliharaan atau perbaikan dermaga akan dapat mengganggu pemuatan methanol.

Tabel 10.6. Hitungan BOR dermaga satu tambatan

No.	Nama Kapal	Data Kapal			Bertambat	Muat	Keberangkatan	Hari tambat
		LOA	Bobot	DWT				
		(m)	(GRT)	(ton)				
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	MT. Catur Samudra	100	4,437	5,500	31-Jan	4,902	2-Feb	2.5
2	MT. Sinar Perak	76	1,436	2,235	2-Feb	1,515	3-Feb	1.5
3	MT. Tri Samudra	76	1,289	2,135	3-Feb	1,398	4-Feb	1.5
4	MT. Daan Anwar	71	1,047	1,938	4-Feb	1,671	5-Feb	1.5
5	MT. Ilis Virgo	81	1,552	2,351	7-Feb	1,944	8-Feb	1.5
6	MT. Rahah	81	1,649	2,673	14-Feb	1,833	14-Feb	0.5
7	MT. Tri Samudra	79	1,289	2,135	14-Feb	1,657	15-Feb	1.5
8	MT. Irwin Pioner	71	1,114	2,170	15-Feb	1,695	15-Feb	0.5
9	MT. Trihasta-I	60	588	1,164	17-Feb	900	17-Feb	0.5
10	MT. Rengganis	87	2,543	3,445	17-Feb	2,903	17-Feb	0.5
11	MT. Sinar Bunyu	83	2,210	3,100	18-Feb	2,822	19-Feb	1.5
12	MT. Catur Samudra	100	4,437	5,500	19-Feb	1,942	19-Feb	0.5
13	MT. Sinar Perak	76	1,436	2,235	20-Feb	1,891	21-Feb	1.5
14	MT. Shoko Maru	175	20,578	30,952	23-Feb	16,031	25-Feb	2.5

191	MT. Eka Samudra	86	1,797	2,336	19-Oct	1,993	20-Oct	1.5
192	MT. Daan Anwar	71	1,047	1,938	20-Oct	1,656	21-Oct	1.5
194	MT. Sinar Bunyu	83	2,210	3,100	21-Oct	2,105	22-Oct	1.5
195	MT. Sinar Bontang	87	1,990	3,549	25-Oct	2,773	26-Oct	1.5
196	MT. Tri Samudra	79	1,289	2,135	28-Oct	1,332	29-Oct	1.5
197	MT. Dwi Samudra	82	1,320	2,389	29-Oct	1,787	30-Oct	1.5
198	MT. Norella	78	1,249	2,422	30-Oct	1,725	31-Oct	1.5
199	MT. Daan Anwar	71	1,047	1,938	31-Oct	1,674	1-Nov	1.5
	Total	46,288	664,359			623,045	Hari Tambat	259.5

Untuk mengatasi padatnya kapal yang merapat ke dermaga dapat dilakukan dengan mengurangi waktu pemuatan methanol dengan menambah pompa atau kalau terpaksa menambah tambatan. Jumlah tambatan dan panjang dermaga yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (10.9) dan (10.10); dengan nilai BOR adalah seperti yang diberikan oleh UNCTAD.

Contoh 2

Dermaga 1 pelabuhan khusus Pupuk Kalimantan Timur di Bontang Kalimantan Timur (Diagram Tripoporsi, 2003) dioperasikan untuk kegiatan bongkar/muat *general cargo*, urea kantong, material konstruksi (pasir, kerikil dan semen), peti kemas dan metanol. Dermaga tersebut berbentuk *U* yang terdiri dari tiga tambatan dengan dimensi seperti diberikan dalam Tabel 10.7. dan dapat digunakan untuk merapat kapal dengan bobot 2.000 DWT. Panjang total dermaga adalah 420 m. Data kapal yang berlabuh di dermaga diberikan dalam Tabel 10.8. Hitung nilai BOR.

Table 10.7. Dimensi Dermaga 1

	Dermaga Utara	Dermaga Barat	Dermaga Selatan
Panjang	90 m	160 m	170 m
Lebar	18 m	30 m	30 m
Kedalaman	- 5 m	- 5 m	- 5 m

Penyelesaian

Untuk menghitung BOR, digunakan Persamaan (10.2). Hitungan dilakukan dalam Tabel 10.8. Dalam tabel tersebut, kolom [1] adalah kapal yang berlabuh selama satu tahun yang berjumlah 466 kapal. Kolom [2] adalah nama kapal. Kolom [3], [4], [5] dan [6] berturut-turut adalah data kapal yang terdiri dari tipe (GC : *general cargo*), katagori (Pelra adalah pelayaran rakyat, yaitu kapal dengan panjang $L_{oa} < 40$ m), panjang kapal L_{oa} , dan bobot kapal (GRT). Kolom [7] dan [8] adalah tanggal kedatangan dan keberangkatan kapal di dan dari dermaga. Kolom [9] dan [10] adalah muatan yang dibongkar dan dimuat dari dan ke kapal dalam satuan

ton. Kolom [11] adalah jumlah hari kapal bertambat di dermaga untuk melakukan kegiatan bongkar-muat barang, yaitu kolom [8] dikurangi [7] ditambah 0,5 hari yang merupakan *not operating time*. Kolom [12] adalah panjang tambatan, yaitu panjang kapal L_{oa} ditambah dengan *clearance* (jagaan) yang nilainya diambil 5 m ($L_{oa}+5$). Kolom [13] adalah perkalian antara panjang tambatan dikalikan dengan waktu tambat ($[13]=[11] \times [12]$). Jumlah dari kolom [13] adalah pembilang dari Persamaan (10.2), yang nilainya adalah 53,293 m-hari. Panjang total dermaga adalah 420 m. Apabila waktu operasi pelabuhan adalah 350 hari/tahun, maka nilai BOR adalah :

$$BOR = \frac{\sum (Loa + Jagaan) \times Waktu Tambat}{Waktu Efektif \times Panjang Tambatan} \times 100\%$$

$$= \frac{53.293}{350 \times 420} \times 100\% = 36,25\%$$

Diperoleh nilai BOR = 36,25 %, yang lebih kecil dari nilai BOR yang disarankan oleh UNCTAD untuk dermaga dengan tiga tambatan yaitu sebesar 55% (Tabel 10.5). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi dermaga belum padat dan masih dapat digunakan untuk menerima jumlah kapal yang lebih banyak.

Daya lalu dermaga (*berth throughput*, BTP) adalah jumlah muatan yang dibongkar dan dimuat di dermaga :

$$BTP = 45,832 + 310,451 = 356,283 \text{ ton/tahun}$$

Daya lalu per tambatan :

$$BTP = 356,283/3 = 118,761 \text{ ton/tambatan/tahun}$$

Daya lalu per meter panjang tambatan :

$$BTP = 356,283/420 = 848.29 \text{ ton/m/tahun}$$

Tabel 10.8. Hitungan BOR

No.	Nama Kapal	Data Kapal			Janggal		Muat (ton)	Bongkar (ton)	Hari Tambat (BD)	Plg Tbt = LOA + Clearance	LOA x BD	
		Tipe	Kategori	LOA (m)	GRT (ton)	Datang						Berangkat
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]
1	KM. Bima Setia	GC	Pelra	27	141	4-Jan	6-Jan	250	2.50	32	80	
2	KM. MULIAAGUNG	GC	Pelra	36	277	4-Jan	5-Jan	500	1.50	41	62	
3	KM. MULIAAGUNG	GC	Pelra	36	277	4-Jan	5-Jan	425	1.50	41	62	
4	MV. Trampler	GC	Pelra	111	8,874	4-Jan	7-Jan	1,116	3.50	116	406	
5	KLM. DUTA TIMUR	GC	Pelra	36	261	6-Jan	15-Jan	500	9.50	41	390	
6	KLM. BUANA PUTRA KARYA	GC	Pelra	31	143	7-Jan	7-Jan	400	0.50	36	18	
7	KLM. JAYA INTAN SELEBES	GC	Pelra	32	263	7-Jan	9-Jan	450	2.50	37	93	
8	KLM. Karya Bangun II	GC	Pelra	24	135	7-Jan	10-Jan	160	3.50	29	102	
9	KM. Bunga Marannu	GC	Pelra	27	240	7-Jan	9-Jan	400	2.50	32	80	
10	KM. Isabela	GC	Pelra	60	1,168	7-Jan	7-Jan	35	0.50	65	33	
11	KM. Kaltong	GC	Pelra	60	943	9-Jan	11-Jan	1,587	2.50	65	163	
12	KLM. Mega Rahmat	GC	Pelra	29	146	10-Jan	11-Jan	250	1.50	34	51	
13	KLM. Karya Bangun Ulum	GC	Pelra	28	147	11-Jan	12-Jan	250	1.50	33	50	
14	KLM. TODDO PULITTA	GC	Pelra	25	213	11-Jan	12-Jan	213	1.50	30	45	
15	KM. MULIAAGUNG	GC	Pelra	36	277	16-Jan	16-Jan	500	0.50	41	21	
.
.
.
.
.
459	KLM. KARYA BANGUNAN UTAMA	GC	Pelra	28	147	24-Dec	25-Dec	250	1.50	33	50	
460	KM. WAHANA ASIA	GC	Pelra	65	1,187	24-Dec	26-Dec	1,400	2.50	70	175	
461	KLM. MULIAAKBAR	GC	Pelra	32	272	25-Dec	26-Dec	425	1.50	37	56	
462	KLM. MULIAAGUNG	GC	Pelra	36	277	27-Dec	28-Dec	500	1.50	41	62	
463	KLM. DUTA TIMUR	GC	Pelra	38	261	27-Dec	29-Dec	500	2.50	43	108	
464	KM. LODI AYU	GC	Pelra	85	831	27-Dec	30-Dec	1,000	3.50	90	315	
465	KLM. SINAR HARTAMSA	GC	Pelra	33	300	28-Dec	31-Dec	650	3.50	38	133	
466	KM. SILUMBA	GC	Pelra	72	1,283	28-Dec	31-Dec	605	3.50	77	270	
	Jumlah Kunjungan Kapal	466	Total GRT		396,121			45,832	310,451	913	24,497	53,293

Contoh 3

Penggunaan Persamaan (10.3) untuk menghitung BOR dengan menggunakan data pada Contoh 1.

Penyelesaian

Dalam persamaan tersebut, jumlah kapal adalah $V_s = 199$ kapal. *Service time* adalah jumlah hari tambat rerata tiap kapal, yaitu jumlah dari kolom [9] dibagi jumlah kapal :

$$St = \frac{259,6}{199} = 1,304 \text{ hari}$$

Untuk waktu efektif adalah 350 hari dan jumlah tambatan adalah 1 buah, maka :

$$BOR = \frac{199 \times 1,304}{350 \times 1} \times 100\% = 74.14\%$$

Nilai BOR adalah sama dengan Contoh 1 yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (10.1).

Contoh 4

Terminal Peti Kemas Semarang (TPKS) dengan fasilitas dan data berikut ini.

1. Dermaga :

Panjang (L) : 345 m

Jumlah tambatan (n) : 2

2. Lapangan penumpukan

Luas : 7,77 ha

Kapasitas : 194.250 TEUs/tahun

3. Produktifitas

Hari kerja : 355 hari

Jam kerja : 24 jam

Jumlah gang kerja : 2 gang

Data kapal yang datang di TPK Semarang diberikan dalam Tabel 10.9.

Tabel 10.9. Kapal yang berlabuh di TPKS

Panjang Kapal (m)	Jumlah Kapal (unit)	Persentase (%)
50-75	1	2.6
75-100	5	13.2
100-125	12	31.6
125-150	7	18.4
150-175	9	23.7
175-200	4	10.3

Data arus kapal, arus peti kemas, kapasitas bongkar muat dan waktu pelayanan (*service time*) dari tahun 1995 sampai 2008 diberikan dalam Tabel 10.10.

Hitung :

- BOR
- Kapasitas terpasang terminal peti kemas
- Prediksi arus kapal dan arus peti kemas pada tahun 2010, 2015, 2020 dan 2025. Selidiki kemampuan terminal peti kemas. Hitung pula kebutuhan tambatan dan panjang dermaga yang diperlukan.

Penyelesaian

Dihitung panjang kapal rerata berdasar data kapal seperti diberikan dalam Tabel 10.9. Hitungan panjang kapal dilakukan dengan menggunakan Tabel 10.11. Dalam tabel tersebut, kolom [2] adalah rentang panjang kapal yang berlabuh di TPK Semarang, sedang kolom [3] adalah jumlah kapal dengan panjang seperti diberikan dalam kolom [2]. Kolom [4] adalah batas atas ukuran kapal dalam kolom [2] yang digunakan untuk menghitung panjang kapal rerata. Kolom [5] adalah perkalian antara kolom [3] dan kolom [4]. Panjang kapal rerata adalah jumlah dari kolom [5] dibagi dengan jumlah kolom [3] :

$$L = \frac{5500}{38} = 145 \text{ m}$$

Tabel 10.10. Pertumbuhan Arus kapal dan Arus peti kemas

Tahun	Arus Kapal (unit)	Arus PK (TEU's)	TEU's/Kapal	Kapasitas (box/jam)
[1]	[2]	[3]	[4]=[3]/[2]	[5]
1995	293	103,849	354	9
1996	344	126,421	368	10
1997	382	158,026	414	11
1998	465	212,766	458	14
1999	692	248,496	359	14
2000	798	266,753	334	16
2001	826	272,611	330	17
2002	792	315,071	398	18
2003	695	323,398	465	20
2004	676	355,009	525	21
2005	727	353,675	486	22
2006	750	370,108	493	23
2007	701	385,095	549	23
2008	601	373,644	622	24

Tabel 10.11. Penentuan Panjang Kapal Rerata

No.	Panjang Kapal (m)	Jumlah Kapal	Panjang Kpl Maks. (m)	Panjang Kapal Renc.
[1]	[2]	[3]	[4]	[5] = [3] x [4]
1	50-75	1	75	75
2	75-100	5	100	500
3	100-125	12	125	1,500
4	125-150	7	150	1,050
5	150-175	9	175	1,575
6	175-200	4	200	800
Jumlah Kapal		38	Jumlah	5,500

a. Perhitungan BOR Terpasang

BOR dihitung dengan menggunakan Persamaan 10.3. dan hitungan dilakukan dengan menggunakan Tabel 10.12. Dalam tabel tersebut, kolom [2] dan [3] adalah data kunjungan kapal dan arus peti kemas dari tahun 1995 sampai 2008. Kolom [4] adalah kapasitas kapal rerata, yang merupakan data arus kapal [3] dibagi dengan kunjungan kapal [2]. Kolom [5] dan [6] adalah kapasitas bongkar muat satu kelompok pekerja (gang) dan peralatannya (*gantry crane*), dalam satuan box/jam dan TEUs/jam. Peti kemas di TPKS berukuran panjang 40 feet, yang berarti bahwa 1 box sama dengan 1,7 TEUs. *Service time* dihitung dengan anggapan bahwa *not operating time* adalah 20% dari waktu efektif bongkar muat, sehingga:

$$St = \frac{\text{Kapasitas kapal [4]}}{(\text{Kapasitas Bongkar Muat [6]})(\text{Jumlah Gang})} \times (1 + 0,20)$$

Tabel 10.12. Hitungan *service time* dan BOR

Tahun	Arus Kapal (unit)	Arus PK (TEUs)	TEUs/Kapal	Kapasitas		Service Time (jam)	BOR (%)
				(box/jam)	(TEUs/j)		
[1]	[2]	[3]	[4]=[3]/[2]	[5]	[6]	[7]=[4]/([6]*G)*(1+0.2)	[8]
1995	293	103,849	354	9	15	14	23.9
1996	344	126,421	368	10	17	13	26.2
1997	382	158,026	414	11	19	13	29.8
1998	465	212,766	458	14	24	12	31.5
1999	692	248,496	359	14	24	9	36.8
2000	798	266,753	334	16	27	7	34.5
2001	826	272,611	330	17	29	7	32.8
2002	792	315,071	398	18	31	8	35.4
2003	695	323,398	465	20	33	8	34.3
2004	676	355,009	525	21	35	9	35.7
2005	727	353,675	486	22	37	8	33.9
2006	750	370,108	493	23	38	8	34.0
2007	701	385,095	549	23	40	8	34.1
2008	601	373,644	622	24	41	9	32.2

Catatan : 1 box = 1,7 TEUs

Jumlah gang yang melayani bongkar muat kapal adalah 2 gang, sedang *not operating time* adalah 20% dari waktu efektif bongkar muat, sehingga *service time* untuk tahun 1995 adalah :

$$St = \frac{354}{15 \times 2} \times (1 + 0,20) = 14 \text{ jam}$$

Hitungan *service time* untuk tahun-tahun yang lain diberikan dalam Tabel 10.12 kolom [7].

Persamaan 10.3. digunakan untuk menghitung BOR. Dengan menggunakan data seperti diberikan dalam Tabel 10.12 pada tahun 1995, untuk waktu efektif kerja adalah 355 hari per tahun dan jumlah tambatan adalah dua buah, maka hasilnya adalah :

$$BOR = \frac{Vs St}{Waktu Efektif n} \times 100\%$$

$$BOR = \frac{293 \times 14}{355 \times 24 \times 2} \times 100\% = 23,9 \%$$

Hasil hitungan BOR untuk tahun-tahun yang lain ditunjukkan dalam Tabel 10.12 kolom [8]. Terlihat bahwa BOR pada tahun 1995 adalah 23,9 % yang lebih rendah daripada nilai yang diberikan UNCTAD yaitu 50%. Hal ini menunjukkan bahwa kesibukan di TPKS belum begitu tinggi. Sampai dengan tahun 2008 nilai BOR masih lebih rendah dari 50%, yang berarti bahwa TPKS masih mampu melayani arus kapal dan barang dengan baik. Kunjungan kapal dan arus peti kemas terus meningkat, yang diimbangi dengan peningkatan kapasitas bongkar muat peti kemas.

b. Kapasitas Dermaga

Daya lalu (*berth throughput*, BTP) Terminal Peti Kemas Semarang (TPKS) pada kondisi yang sudah berjalan dapat dihitung berdasar data bongkar muat barang dari tahun 1995 sampai 2008. Hitungan dilakukan dengan menggunakan Tabel 10.13. Dalam tabel tersebut kolom [3] adalah data arus peti kemas di TPKS dari tahun 1995 sampai 2008; yang untuk tahun 1995 adalah 103.849 TEUs.

Tabel 10.13. Hitungan BTP

Tahun	Arus PK (TEUs/th)	Daya Lalu (BTP)			Kapasitas B/M (TEUs/j)	BTP Terpasang (TEUs/m/th)	Kapasitas Dermaga (TEUs/th)
		TEUs/th	TEUs/ tambatn/th	TEUs/ m/th			
[1]	[2]	[3]	[4]=[2]/n	[5]=[2]/L	[6]	[7]	[8]
1995	103,849	103,849	51,925	301	15.00	799	275,569
1996	126,421	126,421	63,211	366	17.00	905	312,311
1997	158,026	158,026	79,013	458	19.00	1,012	349,054
1998	212,766	212,766	106,383	617	24.00	1,278	440,910
1999	248,496	248,496	124,248	720	24.00	1,278	440,910
2000	266,753	266,753	133,377	773	27.00	1,438	496,024
2001	272,611	272,611	136,306	790	29.00	1,544	532,766
2002	315,071	315,071	157,536	913	31.00	1,651	569,509
2003	323,398	323,398	161,699	937	33.00	1,757	606,251
2004	355,009	355,009	177,505	1,029	35.00	1,864	642,994
2005	353,675	353,675	176,838	1,025	37.00	1,970	679,736
2006	370,108	370,108	185,054	1,073	38.00	2,024	698,108
2007	385,095	385,095	192,548	1,116	40.00	2,130	734,850
2008	373,644	373,644	186,822	1,083	41.00	2,183	753,221

Daya lalu dermaga (*berth throughput*, BTP) adalah jumlah muatan yang dibongkar dan dimuat di dermaga, seperti ditunjukkan dalam kolom [3]:

$$BTP = 103.849 \text{ TEUs/terminal/tahun}$$

Daya lalu per tambatan (jumlah tambatan adalah $n=2$), adalah jumlah bongkar muat peti kemas dibagi dengan jumlah tambatan, seperti ditunjukkan dalam kolom [4] :

$$BTP = \frac{103.849}{2} = 51.925 \text{ TEUs/tambatan/tahun}$$

Daya lalu per meter panjang tambatan (panjang dermaga 345 m), adalah jumlah bongkar muat peti kemas dibagi dengan panjang dermaga, seperti ditunjukkan dalam kolom [5] :

$$BTP = \frac{103.849}{345} = 301 \text{ TEUs/m/tahun}$$

Penentuan BTP seperti diberikan di atas adalah pada kondisi yang didasarkan pada data arus peti kemas melalui dermaga.

BTP terpasang, yaitu kemampuan dermaga melewatkan arus peti kemas, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (10.5) dan (10.6). Nilai BOR mengacu pada nilai yang diberikan UNCTAD yaitu sebesar 50%, dan L_{oa} adalah panjang kapal rerata yang sudah dihitung sebelumnya yaitu $L_{oa}=145$ m. Untuk tahun 1995 di mana kapasitas bongkar muat adalah 15 TEUs/jam (kolom [6]), maka BTP dapat dihitung berikut ini (kolom [7]).

$$L_1 = L_{oa} + 10\% L_{oa} = 145 + 0,1 \times 145 = 160 \text{ m}$$

$$BTP = \frac{H \text{ BOR } J \text{ G } P}{L_1}$$

$$BTP = \frac{355 \times 0,5 \times 24 \times 2 \times 15}{160} = 799 \approx 800 \text{ TEUs / m / tahun}$$

Kapasitas terpasang dapat dihitung dengan Persamaan (10.7) :

$$K_D = L \text{ BTP } n$$

$$K_D = 345 \times 800 = 276.000 \text{ TEUs / tahun} = 162.353 \text{ box / tahun}$$

BTP terpasang untuk tahun-tahun yang lain dihitung dengan cara yang sama dan hasilnya diberikan dalam kolom [7] pada Tabel 10.13. sedang kolom [8] adalah kapasitas dermaga yang diberikan dalam TEUs/tahun. Dari data tersebut terlihat bahwa kapasitas terpasang dermaga masih lebih besar dari arus peti kemas yang melalui dermaga. Sebagai contoh, pada tahun 2008 arus peti kemas adalah 373.644 TEUs/tahun sementara kapasitas dermaga adalah 753.221 TEUs/tahun. Kondisi ini juga ditunjukkan Tabel 10.12. di mana nilai BOR pada tahun 2008 adalah sebesar 32,2% yang lebih kecil dari nilai yang diberikan oleh UNCTAD. Hal ini menunjukkan bahwa sampai tahun 2008, dermaga TPKS masih mampu melayani arus kapal dan arus peti kemas di TPKS.

c. Prediksi arus kapal dan arus peti kemas

Arus kapal dan arus peti kemas di TPKS pada tahun 2010, 2015, 2020 dan 2025 dapat diperkirakan berdasar data tercatat dari tahun 1995 sampai 2008. Perkiraan dilakukan dengan menggunakan analisis regresi, yang dalam hal ini menggunakan *software Excel*. Gambar 10.3. dan 10.4. adalah hasil regresi untuk arus kapal dan arus peti kemas, yang mempunyai bentuk persamaan berikut ini.

Persamaan arus kapal :

$$y_1 = 302,51 x^{0,376} \quad (10.11)$$

dengan :

y_1 : arus kapal pada suatu tahun yang diperkirakan

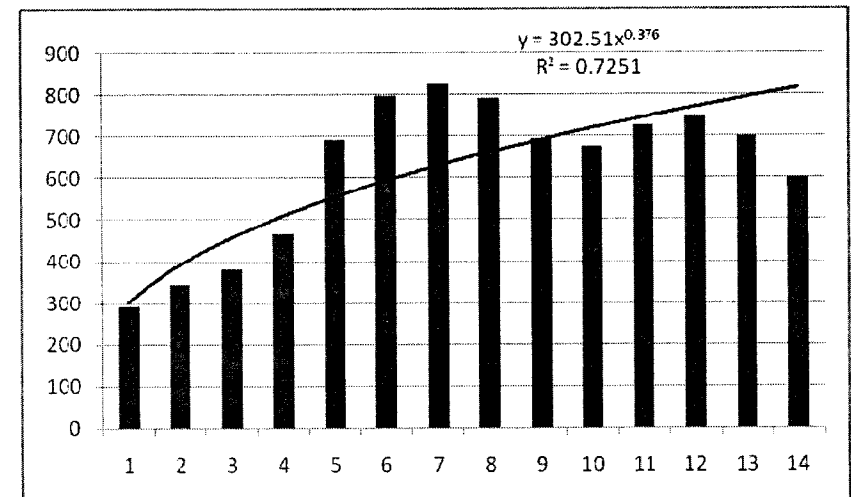
x : tahun ke 1, 2, 3, dihitung sejak tahun 1995 (tahun 1995 adalah tahun ke 1)

Persamaan arus peti kemas :

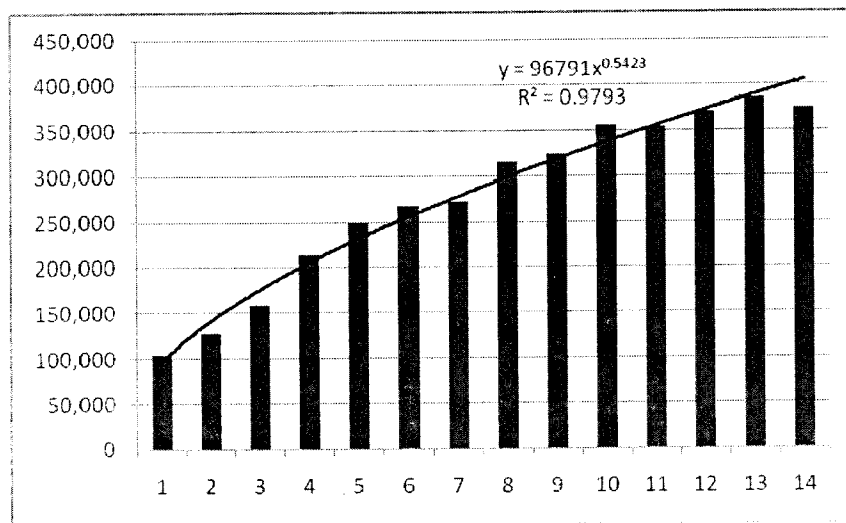
$$y_2 = 96791 x^{0,5423} \quad (10.12)$$

dengan :

y_2 : arus peti kemas pada suatu tahun yang diperkirakan.



Gambar 10.3. Regresi arus kapal



Gambar 10.4. Regresi arus peti kemas

Berdasar persamaan tersebut dapat diperkirakan arus kapal dan arus peti kemas untuk beberapa tahun ke depan, seperti diberikan dalam Tabel 10.14. Dalam tabel tersebut, kolom [1] adalah tahun, kolom [2] adalah tahun ke. Tahun 1995 adalah tahun ke 1, yang kemudian dimasukkan ke Persamaan 10.11. dan 10.12. untuk $x=1$. Hasil prediksi arus kapal dan arus peti kemas untuk tahun 2010, 2015, 2020 dan 2025 diberikan dalam kolom [3] dan [4]. Diperkirakan arus kapal akan meningkat dari 858 kapal yang berlabuh di TPKS pada tahun 2010 menjadi 1100 kapal pada tahun 2025. Demikian juga arus peti kemas meningkat dari 435.341 TEUs pada tahun 2010 menjadi 623.161 TEUs pada tahun 2025.

Dalam Tabel 10.14. ditampilkan pula hitungan BOR pada tahun 2010, 2015, 2020 dan 2025. Pada tahun 2008 produktifitas bongkar muat peti kemas mencapai 41 TEUs/jam. Dianggap bahwa pada tahun-tahun mendatang produktifitas bongkar muat tetap yaitu $P=41$ TEUs/jam. Kapasitas kapal rerata adalah arus peti kemas dibagi arus kapal. *Service time* adalah waktu untuk membongkar muatan kapal (kolom [5]) oleh 2 gang pekerja dengan produktifitas bongkar muat sebesar $P=41$ TEUs/jam. Untuk data pada tahun 2010, maka :

Tabel 10.14. Prediksi arus kapal dan peti kemas dan hitungan BOR.

Tahun	Tahun ke	ArusKapal Unit	Arus PK (TEUs)	Kapasitas (TEUs/kpl)	Produktifits (TEUs/jam)	Serv.Time (jam)	BOR (%)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1995	1	293	103,849	354	15	14	23.9
.	-	-
2008	14	601	373,644	622	41	9	32.2
.	-	-
2010	16	858	435,341	507	41	7	37.6
2015	21	950	504,515	531	41	8	43.5
2020	26	1,030	566,468	550	41	8	48.9
2025	31	1,100	623,161	566	41	8	53.8

$$\text{Kapasitas Kapal} = \frac{[4]}{[3]} = \frac{435.341}{858} = 507 \text{ TEUs / kapal}$$

$$St = \frac{507}{41 \times 2} \times (1 + 0,2) = 7 \text{ jam}$$

$$BOR = \frac{Vs \ St}{Waktu \ Efektif \ n} \times 100\%$$

$$BOR = \frac{858 \times 7}{355 \times 2} \times 100\% = 37,6\%$$

Hitungan dilakukan dengan cara yang sama untuk tahun-tahun yang lain, dan hasilnya seperti ditunjukkan dalam Tabel 10.14. Terlihat bahwa sampai tahun 2020, nilai BOR masih di bawah 50% seperti yang disarankan UNCTAD; yang berarti bahwa penggunaan dermaga masih layak. Namun pada tahun 2025 nilai BOR sudah melebihi nilai 50%, yang berarti penggunaan dermaga sudah cukup padat. Dimungkinkan kapal harus menunggu untuk merapat ke dermaga dalam melakukan bongkar muat.

Untuk mengurangi kepadatan tersebut dapat dilakukan dengan meningkatkan produktifitas bongkar muat dari 24 TEUs/jam ke tingkat

yang lebih tinggi. Dalam Sub Bab 10.7., diberikan produktifitas *gantry crane* di banyak pelabuhan di dunia yang bisa lebih tinggi dari yang sudah dicapai oleh TPKS. Apabila TPKS bisa meningkatkan produktifitas bongkar muat menjadi 26 box/jam akan diperoleh nilai BOR=49,6% yang lebih rendah dari nilai yang diberikan UNCTAD (50%). Dari survai yang telah dilakukan menunjukkan bahwa 33% *gantry crane* yang disurvei di banyak pelabuhan di dunia mempunyai produktifitas 26-30 box/jam. Di-harapkan TPKS bisa meningkatkan produktifitas bongkar muat sehingga mampu mengantisipasi peningkatan arus kapal dan arus peti kemas pada tahun-tahun mendatang.

Apabila produktifitas bongkar muat sudah ditingkatkan, namun nilai BOR masih tinggi, maka usaha lain untuk mengurangi kepadatan arus kapal adalah dengan menambah jumlah dermaga. Jumlah dermaga yang dibutuhkan dapat dihitung dengan Persamaan 10.3 yang ditulis dalam bentuk berikut :

$$n = \frac{Vs St}{Waktu Efektif BOR}$$

Dari contoh analisis tingkat pelayanan TPKS, dapat disimpulkan bahwa dermaga TPKS masih mampu melayani arus kapal dan peti kemas yang terjadi. Peralatan bongkar muat yang tersedia seperti diberikan dalam Bab VII juga masih mampu melayani arus peti kemas. Hanya lapangan penumpukan peti kemas (*container yard*) yang tidak mampu lagi melayani jumlah peti kemas, dan perlu diperluas.

BAB XI

PELABUHAN IKAN

11.1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara maritim mempunyai wilayah laut seluas lebih dari 3,5 juta km^2 , yang merupakan dua kali luas wilayah daratan. Perairan yang sangat luas tersebut mempunyai potensi sumberdaya ikan yang besar. Untuk menggali potensi tersebut diperlukan pelabuhan sebagai tempat berlabuh kapal, pendaratan ikan, memperlancar operasi penangkapan, pemasaran, dan pembinaan nelayan.

Pembangunan pelabuhan perikanan untuk menggali potensi sumberdaya perikanan laut akan memicu perkembangan perekonomian daerah terutama yang berkaitan dengan industri perikanan dan kelautan (maritim). Pengembangan pelabuhan tersebut selain berdampak pada peningkatan produksi perikanan juga akan memacu pertumbuhan sektor lainnya di daerah *hinterland* (*multiplier effects*). Berbagai industri terkait sebagai bangkitan dari adanya pelabuhan tersebut diharapkan akan tumbuh, seperti industri pengolahan/pengalengan ikan, industri fasilitas penangkapan ikan (jaring, alat pancing, dsb) dan warung/toko yang menjual perbekalan bagi nelayan yang melaut, pabrik es, ruang pendingin (*cold storage*), perbankan, membuka lapangan kerja, dsb. Dengan demikian maka nilai *multiplier effect* dari investasi yang ditanamkan untuk pelabuhan tersebut akan tinggi. Di samping itu produktivitas dan efisiensi

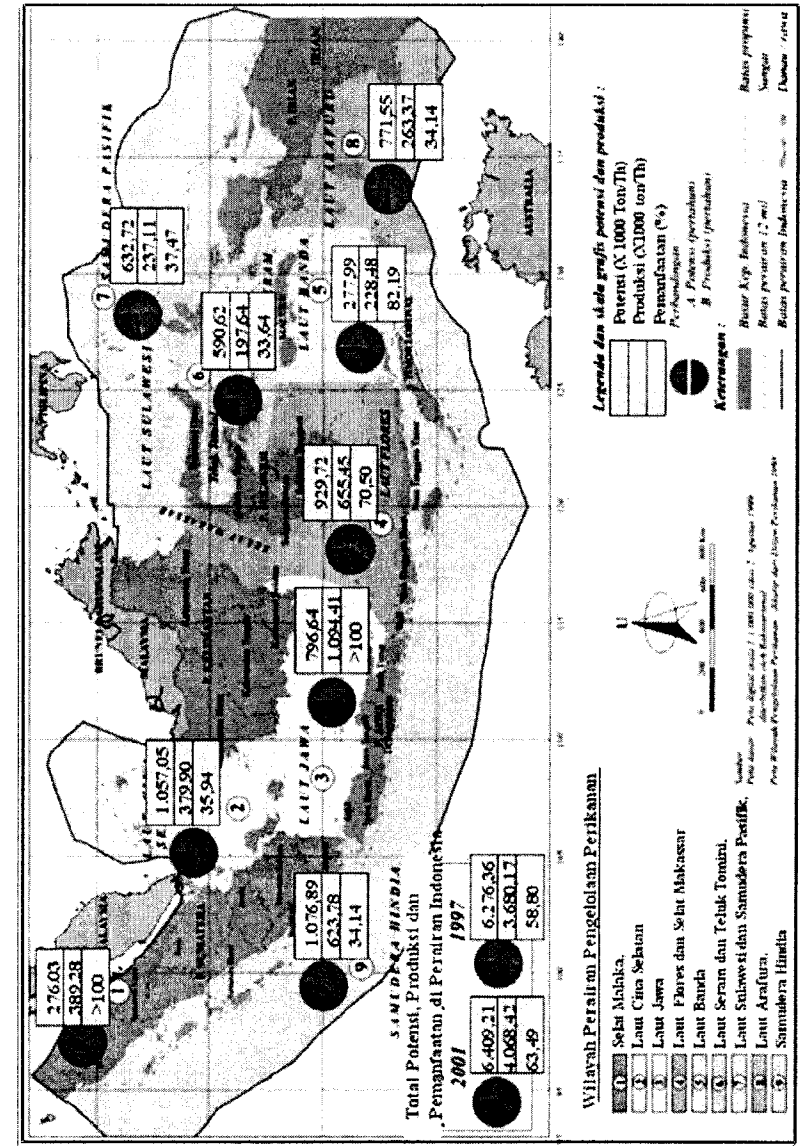
pemanfaatan pelabuhan tinggi sehingga biaya pembangunan dan pemeliharaan menjadi relatif kecil dibanding manfaatnya. Dengan demikian pembangunan pelabuhan akan bisa meningkatkan perekonomian daerah.

Salah satu dasar pertimbangan di dalam pembangunan pelabuhan perikanan di suatu wilayah adalah potensi dan pemanfaatan sumberdaya perikanan yang ada di laut di sekitar daerah tersebut. Meskipun sebenarnya, laut bersifat umum dan terbuka yang memungkinkan nelayan di suatu daerah dapat menangkap ikan di daerah lain, baik di perairan laut wilayah maupun ZEE (Zona Ekonomi Eksklusif) bahkan perairan internasional. Untuk bisa menangkap ikan di perairan ZEE dan internasional, diperlukan kapal-kapal dengan ukuran besar. Kapal-kapal tersebut memerlukan pelabuhan sebagai pangkalan pendaratan ikan dan kegiatan lainnya.

Potensi Sumber Daya Ikan di perairan Indonesia ditunjukkan dalam Gambar 11.1, yang merupakan estimasi potensi sumber daya ikan Komisi Nasional Pengkajian Stok Sumber Daya Ikan (Komnas Kajistan) tahun 2001. Gambar tersebut menunjukkan potensi lestari sumber daya ikan, produksi dan tingkat pemanfaatan sumber daya ikan di 9 wilayah perairan di seluruh Indonesia. Potensi lestari adalah besarnya sumberdaya ikan yang dapat ditangkap dalam satu tahun tanpa mengganggu kelestariannya. Sumberdaya ikan bersifat terbarukan, artinya jika dikelola dengan baik akan lestari. Apabila tidak dimanfaatkan, sumberdaya ini akan hilang sia-sia karena mati dan migrasi. Gambar 11.1. menunjukkan bahwa secara umum tingkat pemanfaatan sumberdaya perikanan di perairan Indonesia belum maksimal (dibawah 100%). Hanya perairan 1 (Selat Malaka) dan 3 (Laut Jawa) yang tingkat pemanfaatannya lebih dari 100%, yang berarti bahwa penangkapan ikan di perairan tersebut sudah melebihi potensi lestari. Sementara itu di perairan lainnya tingkat pemanfaatannya masih di bawah 100% (Laut Cina Selatan : 35,94%, Samudra Indonesia : 34,14%, Laut Arafura : 34,14%, dsb), yang masih memungkinkan untuk meningkatkan aktivitas penangkapan dan volume produksi.

11.2. Kelas Pelabuhan Perikanan

Berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 165 tahun 2000, pelabuhan perikanan dapat diklasifikasikan menjadi empat kelas berikut ini.



Gambar 11.1. Estimasi potensi sumber daya ikan di perairan Indonesia

1. Kelas A: Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS), dengan kriteria:
 - a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di perairan lepas pantai (perairan nusantara), perairan ZEEI, dan laut bebas (internasional),
 - b. Memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran > 60 GT,
 - c. Panjang dermaga sekurang-kurangnya 300 m, dan kedalaman kolam ≥ 3 m
 - d. Mampu menampung 100 kapal atau jumlah keseluruhan 6.000 GT sekaligus,
 - e. Ikan yang didaratkan sebagian untuk tujuan ekspor, serta
 - f. Terdapat industri perikanan.
2. Kelas B: Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN), dengan kriteria:
 - a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di laut teritorial dan perairan ZEEI.
 - b. Memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal berukuran sekurang-kurangnya 30 GT
 - c. Panjang dermaga sekurang-kurangnya 150 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya minus 3 m.
 - d. Mampu menampung 75 kapal atau jumlah keseluruhan 2.250 GT sekaligus,
 - e. Terdapat industri perikanan.
3. Kelas C: Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP), dengan kriteria:
 - a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di perairan pedalaman, perairan kepulauan dan laut teritorial.
 - b. Memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran sekurang-kurangnya 10 GT
 - c. Panjang dermaga sekurang-kurangnya 100 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya minus 2 m.
 - d. Mampu menampung sekurang-kurangnya 30 kapal atau 300 GT sekaligus.

4. Kelas D: Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI), dengan kriteria:
 - a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di perairan pedalaman dan perairan kepulauan
 - b. Memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran sekurang-kurangnya 3 GT
 - c. Panjang dermaga sekurang-kurangnya 50 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya minus 2 m.
 - d. Mampu menampung sekurang-kurangnya 20 kapal atau 60 GT sekaligus.

Dengan memperhatikan pembagian kelas pelabuhan tersebut, penentuan jumlah dan kapasitas armada perikanan tangkap harus disesuaikan dengan kriteria kelayakan di atas, serta mempertimbangkan kondisi fisik lahan, terutama kolam pendaratan/bongkar-muat, kolam labuh/tunggu, kolam pemeliharaan/tambat, kolam manuver/putar, kedalaman perairan, serta luas lahan lokasi pengembangan.

11.3. Tata Ruang Pelabuhan Perikanan

Tata ruang pelabuhan perikanan dirumuskan berdasar pengelompokan jenis kegiatan sesuai dengan fungsi layanan dan jenis kegiatannya. Pengelompokan dimaksudkan untuk memberikan efisiensi gerak operasional di dalam pelabuhan maupun di kawasan sekitarnya. Pengelompokan kegiatan didasarkan pada fungsi layanan dan alur kegiatan. Secara garis besar terdapat tiga kelompok kegiatan pelayanan, yakni: pelayanan kapal, pelayanan hasil tangkapan ikan dan pelayanan kegiatan manusia di dalam kawasan. Kelompok kegiatan tersebut dipisahkan berdasar jenis kegiatan spesifiknya di dalam satuan zonasi seperti ditunjukkan pada Tabel 11.1. (Puser Bumi, 2007). Gambar 11.2. adalah pembagian zona pada Pelabuhan Perikanan Samudra Cilacap. Penjelasan dari masing-masing zona diberikan berikut ini.

1. Zona Bongkar Kapal

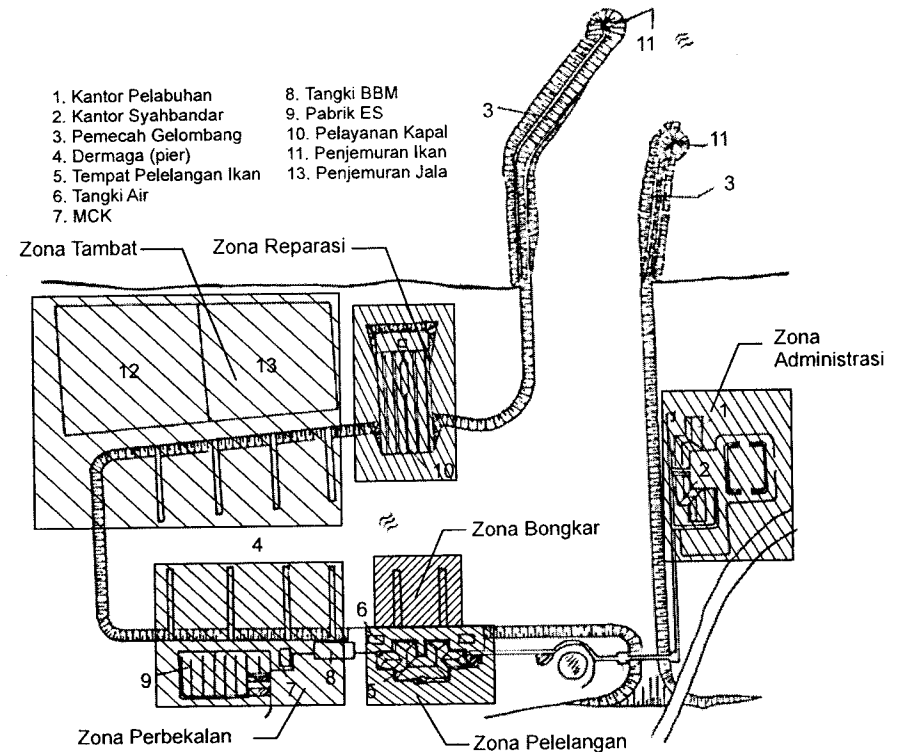
Zona ini dilengkapi dengan dermaga bongkar yang merupakan tempat kapal sandar untuk melakukan bongkar muatan hasil tangkapan. Zona ini dirancang sedemikian rupa sehingga proses bongkar muatan hasil tangkapan dapat dilakukan dengan cepat. Untuk itu, zona kapal bongkar dikelompokkan ke dalam zona dermaga untuk kapal kecil (<10 GT),

dermaga kapal sedang (10-50 GT) dan dermaga kapal besar (> 50 GT). Pada masing-masing zona, penanganan muatannya berbeda sesuai dengan metoda bongkar dan ukuran kapal yang dilayani.

Tabel 11.1. Pengelompokan zona kegiatan

Fungsi Layanan		
Kapal	Hasil Tangkapan	Manusia
<p>Zona kapal bongkar</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. kelompok pelabuhan 2. tambatan bongkar <ul style="list-style-type: none"> - kapal < 10 GT - kapal 10-30 GT - kapal >30 GT 3. transit shed & MCK 	<p>Zona pelelangan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>sorting, cleaning, weighting</i> 2. tempat pelelangan 3. packing 4. storing 5. pabrik es/cold storage 6. loading ke atas truk 	<p>Zona publik/umum</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. parkir kendaraan 2. ruang transaksi lelang 3. MCK umum 4. terminal angkutan 5. tempat ibadah/mushola 6. warung 7. area wisata bahari 8. P3K
<p>Zona tambat dan Perbekalan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. tambatan istirahat 2. tambatan muat 3. tempat perbaikan jaring 4. gudang es 5. perbekalan (es, air bersih, bekal, bbm) 	<p>Zona olah tradisional</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. pabrik es/cold storage 2. gudang 3. pengasinan 4. pengasapan 5. jemur 6. IPAL 	<p>Zona administrasi</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. kantor pelabuhan 2. kantor syahbandar 3. kantor satpolair 4. balai pertemuan nelayan 5. KUD/koperasi mina 6. gardu listrik/genset 7. sumur/tangki air 8. layanan BBM 9. pemadam kebakaran
<p>Zona reparasi</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. slipways dgn winch house 2. repair workshop 3. electronic & refrig 4. gudang peralatan berat 	<p>Zona industri perikanan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. kawasan industri 2. kawasan pergudangan 3. kawasan pemasaran/pertokoan 	<p>Zona penunjang</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. rumah dinas 2. mes penginapan 3. restoran/kantin 4. poliklinik

Pustek Kelautan (2003)



Gambar 11.2. Pembagian zona di Pelabuhan Perikanan Cilacap

Kegiatan bongkar muatan ikan merupakan kegiatan utama dalam operasional pelabuhan perikanan, dimana kapal-kapal penangkap ikan didaratkan dan membongkar ikan hasil tangkapannya untuk selanjutnya dibawa ke tempat pelelangan ikan (TPI) yang letaknya tidak jauh dari dermaga bongkar. Agar dermaga bongkar dapat digunakan lagi oleh kapal yang datang berikutnya, setelah semua hasil tangkapan ikan diangkut ke TPI, kapal segera meninggalkan dermaga bongkar menuju dermaga tambat.

2. Zona Tambat Kapal dan Perbekalan

Zona tambat dan zona perbekalan biasanya berada di tempat terpisah. Kedua zona ini dipisahkan dari zona bongkar agar kapal-kapal

yang sedang bertambat dan mengisi perbekalan tidak mengganggu kegiatan bongkar yang sedang berlangsung.

Zona tambat dilengkapi dengan dermaga tambat. Di dermaga ini kapal ditambatkan dan ABK (anak buah kapal) pulang ke rumah untuk beristirahat setelah selama satu minggu atau bahkan lebih berada di laut untuk menangkap ikan. Dermaga tambat berfungsi sebagai tempat parkir kapal. Selama berada di dermaga tambat dilakukan perawatan kapal dan perawatan serta perbaikan alat penangkap ikan. Di dermaga ini ABK melakukan persiapan untuk melaut berikutnya. Di dekat dermaga tambat disediakan lahan untuk penjemuran jaring dan bangunan untuk menjurai dan memperbaiki jaring, serta tempat untuk penyimpanan alat tangkap dan suku cadang.

Zona perbekalan dilengkapi dengan dermaga perbekalan dan fasilitas lain yang berkaitan dengan keberangkatan kapal yang akan menangkap ikan. Ketika nelayan akan melaut lagi, kapal yang ditambatkan di dermaga tambat dibawa ke dermaga perbekalan untuk mempersiapkan bekal yang akan dibawa melaut. Bahan pokok yang disiapkan untuk melaut adalah bahan makanan, air tawar, bahan bakar minyak, dan es. Oleh karena itu dermaga perbekalan didukung dengan fasilitas berikut: angkutan es batu, gudang, jaringan pipa air bersih, kios/waserda perbekalan, serta MCK. Dengan pertimbangan keamanan, maka dermaga pengisian bahan bakar (bunker dan pompa BBM) ditempatkan terpisah dengan kelengkapan: bunker/tanki BBM, jaringan pipa BBM, pompa meter BBM, dan fasilitas pemadam kebakaran. Setelah semua perbekalan disiapkan, selanjutnya kapal meninggalkan dermaga dan melaut lagi.

3. Zona Perbaikan Kapal

Zona untuk melakukan perbaikan kapal yang agak berat berupa fasilitas untuk pemeliharaan dan perbaikan kapal. Zona ini dilengkapi dengan slipway untuk reparasi berat dengan *winch house*. Fasilitas pendukung kawasan ini berupa workshop/bengkel permesinan, workshop pengecatan, bengkel pengelasan, bengkel elektronik, peralatan navigasi dan refrigerator, serta gudang alat berat. Untuk menghindari gangguan pada operasi pelabuhan, maka lokasi zona perbaikan kapal terpisah dari kawasan lainnya.

4. Zona Pelelangan Ikan

Tempat pelelangan ikan ditempatkan di dekat dermaga bongkar serta dilengkapi dengan berbagai fasilitas penting antara lain: tempat sorting ikan, tempat pembersihan ikan, tempat timbangan, tempat packing, tempat pemuatan hasil lelang, tempat penyimpanan keranjang, serta lantai lelang. Selain itu, tempat pelelangan didukung dengan: ruang administrasi pelelangan, ruang umum/tunggu, MCK umum, aliran air bersih untuk pembersihan lantai lelang, tempat parkir penjual dan pembeli ikan serta gudang es.

5. Zona Pengolahan Ikan

Zona pengolahan ikan yang dimaksud adalah pengolahan ikan konvensional/tradisional. Pengolahan ikan tradisional meliputi penggaraman, pemindangan, pengasapan dan pengeringan. Zona ini ditempatkan terpisah di luar kawasan pelelangan ikan. Sanitasi kawasan ini harus terjaga agar kualitas hasil olahan tetap baik dan lingkungan sekitar tetap sehat. Kawasan ini dilengkapi dengan area penjemuran ikan, pengepakan ikan, jaringan air bersih dan saluran-saluran air limbah yang dilengkapi dengan IPAL.

6. Zona Industri Perikanan Modern

Kawasan industri disiapkan dalam bentuk kapling lahan yang sudah matang yang didukung dengan infrastruktur yang memadai seperti jalan akses dan jalan keliling, sistem drainase, jaringan air bersih, jaringan telekomunikasi, jaringan listrik dan pengolahan limbah.

Jenis industri yang kemungkinan akan berkembang adalah Industri berbasis pengolahan ikan seperti *cold storage*, pengalengan ikan, peneupangan ikan, pembuatan chitin dan chitosan, dsb. Selain itu, dimungkinkan pula dikembangkan industri sarana perikanan seperti: jala, perahu, peralatan tangkap, dsb.

7. Zona Umum

Zona ini direncanakan untuk memberikan kenyamanan pada kegiatan publik yang terlibat dalam kegiatan perekonomian di pelabuhan. Fasilitas yang harus disiapkan meliputi jalan akses dan jalan keliling yang dilengkapi dengan saluran drainase, tempat parkir, ruang tunggu, tempat transaksi TPI, MCK umum, warung, dsb.

8. Zona administrasi

Zona ini merupakan pusat kegiatan pengelolaan pelabuhan perikanan. Semua kegiatan administrasi yang menyangkut pengelolaan dan pengawasan pelabuhan, pelayanan masyarakat dan sebagainya dilakukan administrasi pelabuhan. Fasilitas yang terkait antara lain kantor administrasi pelabuhan, dimana didalamnya terdapat kantor kepala pelabuhan, kantor syahbandar, kantor satpolair, balai pertemuan nelayan, KUD/koperasi mina, gardu listrik/genset, sumur/tangki air, dsb.

9. Zona Fasilitas Penunjang

Fasilitas penunjang merupakan fasilitas yang tidak secara langsung diperlukan untuk melayani kegiatan pelabuhan perikanan, tetapi keberadaannya akan meningkatkan layanan, kenyamanan, fungsi dan kinerja pelabuhan secara keseluruhan.

Fasilitas yang ada di zona fasilitas penunjang di antaranya adalah perumahan pengelola, mess penginapan tamu, restoran/kantin, tempat ibadah, poliklinik, tempat rekreasi, dan terminal angkutan.

11.4. Dermaga di Pelabuhan Perikanan

Pada pelabuhan ikan sarana dermaga disediakan secara terpisah untuk berbagai kegiatan. Hal ini mengingat bahwa hasil tangkapan ikan adalah produk yang mudah busuk sehingga perlu penanganan secara cepat. Di samping itu jumlah kapal yang berlabuh di pelabuhan bisa cukup banyak sehingga penggunaan fasilitas pelabuhan, terutama dermaga harus dilakukan seefisien mungkin.

Pelabuhan ikan menyediakan tempat bagi kapal-kapal ikan untuk melakukan kegiatan penangkapan ikan dan memberikan pelayanan yang diperlukan. Berbeda dengan pelabuhan umum di mana semua kegiatan seperti bongkar muat barang, pengisian perbekalan, perawatan dan perbaikan ringan dilakukan di dermaga yang sama; pada pelabuhan ikan sarana dermaga disediakan secara terpisah untuk berbagai kegiatan. Hal ini mengingat bahwa hasil tangkapan ikan adalah produk yang mudah busuk sehingga perlu penanganan secara cepat. Di samping itu jumlah kapal yang berlabuh di pelabuhan bisa cukup banyak sehingga penggunaan fasilitas pelabuhan, terutama dermaga harus dilakukan seefisien mungkin. Pela-

lahan ikan dilengkapi dengan berbagai fasilitas untuk mendukung kegiatan penangkapan ikan dan kegiatan-kegiatan pendukungnya, seperti pemecah gelombang, kantor pelabuhan, dermaga, tempat pelelangan ikan (TPI), tangki air, tangki BBM, pabrik es, ruang pendingin, tempat pelayanan/perbaikan kapal, dan tempat penjemuran jala.

Untuk bisa memberikan pelayanan hasil penangkapan ikan dengan cepat, maka dermaga pada pelabuhan ikan dibedakan menjadi tiga macam, yaitu 1) Dermaga bongkar, 2) dermaga perbekalan dan 3) dermaga tambat. Fungsi dari masing-masing dermaga dijelaskan berikut ini.

1. Dermaga Bongkar. Dermaga ini digunakan oleh kapal-kapal yang baru datang dari melaut untuk membongkar hasil tangkapan ikan. Setelah merapat ke dermaga, ikan harus segera dibongkar dan langsung dibawa ke TPI yang letaknya tidak jauh dari dermaga bongkar. Di TPI ikan hasil tangkapan dilelang. Agar dermaga bongkar dapat digunakan lagi oleh kapal yang datang berikutnya, setelah semua hasil tangkapan ikan diangkut ke TPI, kapal segera meninggalkan dermaga bongkar menuju dermaga tambat.
2. Dermaga Tambat. Di dermaga ini kapal ditambatkan dan ABK (anak buah kapal) pulang ke rumah untuk beristirahat setelah selama satu minggu atau bahkan lebih berada di laut untuk menangkap ikan. Selama berada di dermaga tambat dilakukan perawatan kapal dan perawatan serta perbaikan alat penangkap ikan. Di dermaga ini ABK melakukan persiapan untuk melaut berikutnya. Di dekat dermaga tambat disediakan lahan untuk penjemuran jaring dan bangunan untuk menjurai dan memperbaiki jaring, serta tempat untuk penyimpanan alat tangkap dan suku cadang.
3. Dermaga Perbekalan. Ketika nelayan akan melaut lagi, kapal yang ditambatkan di dermaga tambat dibawa ke dermaga perbekalan untuk mempersiapkan bekal yang akan dibawa melaut. Bahan pokok yang disiapkan untuk melaut adalah bahan makanan, air tawar, bahan bakar minyak, dan es. Setelah semua perbekalan disiapkan, selanjutnya kapal meninggalkan dermaga dan melaut lagi.

11.5. Dasar Perencanaan Fasilitas Pelabuhan

Berikut ini diberikan dasar-dasar perencanaan fasilitas pelabuhan yang meliputi dermaga, kolam pelabuhan dan beberapa fasilitas darat.

11.5.1. Dermaga

Dermaga merupakan fasilitas pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan berbagai kegiatan di pelabuhan, seperti membongkar muatan (hasil tangkapan ikan), pengisian bahan bakar dan bekal untuk melaut dan menunggu selama dermaga sedang penuh. Dimensi dermaga didasarkan pada jumlah dan ukuran kapal yang bertambat tiap hari, jumlah kapal dan waktu yang diperlukan untuk menurunkan hasil tangkapan ikan. Dermaga tersebut meliputi dermaga pendaratan, dermaga perlengkapan dan dermaga tunggu.

1. Dermaga Pendaratan

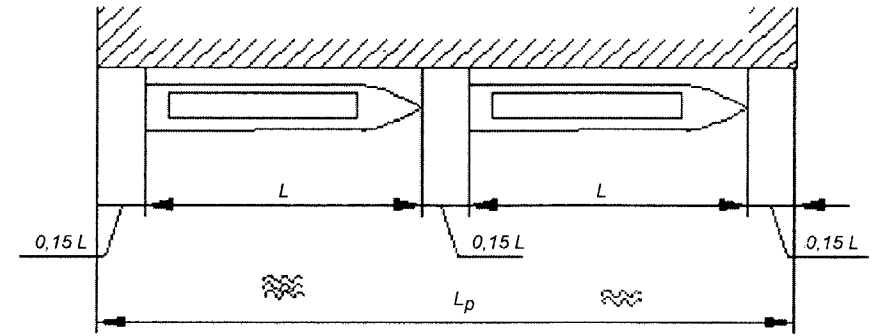
Dermaga pendaratan (dermaga bongkar) adalah dermaga yang digunakan untuk membongkar hasil tangkapan ikan dari kapal ikan, dan kapal-kapal tersebut biasanya ditambatkan searah dermaga. Panjang dermaga pendaratan dihitung dengan persamaan berikut (Puser Bumi, 2007).

$$L_d = \frac{N}{\gamma} (L + 0,15L) \quad (11.1)$$

dengan:

- L_d : panjang dermaga pendaratan,
- N : jumlah kapal yang berlabuh tiap hari,
- γ : perbandingan antara waktu operasional pelabuhan dan waktu bongkar muatan ikan,
- L : panjang kapal

Gambar 11.3. menunjukkan contoh posisi kapal yang merapat di dermaga bongkar. Antara kapal satu dengan lainnya diberi ruang kebebasan sebesar $0,15 L$.



Gambar 11.3. Posisi Pendaratan Kapal

2. Dermaga Perlengkapan

Dermaga perlengkapan adalah dermaga yang digunakan terutama untuk pengisian bahan bakar dan pemuatan perbekalan yang diperlukan kapal untuk melaut seperti air bersih, es, bahan makanan dan sebagainya. Biasanya kapal-kapal ditambat di sepanjang dermaga. Panjang dermaga perbekalan dihitung dengan persamaan berikut.

$$L_p = \frac{N'}{\gamma'} (L + 0,15L) \quad (11.2)$$

dengan:

- L_p : panjang dermaga perlengkapan,
- N' : jumlah kapal ikan yang berlabuh di pelabuhan tiap hari
- γ' : jumlah rotasi dari tambatan
 $= \frac{\text{waktu operasional dermaga}}{\text{waktu pelayanan tiap kapal}}$
- L : panjang kapal

Bentuk dermaga perlengkapan sama dengan dermaga bongkar, kapal berjajar dalam arah sepanjang dermaga seperti ditunjukkan dalam Gambar 11.3.

3. Dermaga Tambat

Dermaga tambat adalah dermaga yang digunakan oleh kapal-kapal ikan untuk bertambat selama awak kapal beristirahat sebelum kembali melaut. Biasanya kapal-kapal ditambat secara tegak lurus dermaga. Panjang dermaga tambat dihitung dengan persamaan berikut.

$$L_T = n (B + 0,5 B) \quad (11.3)$$

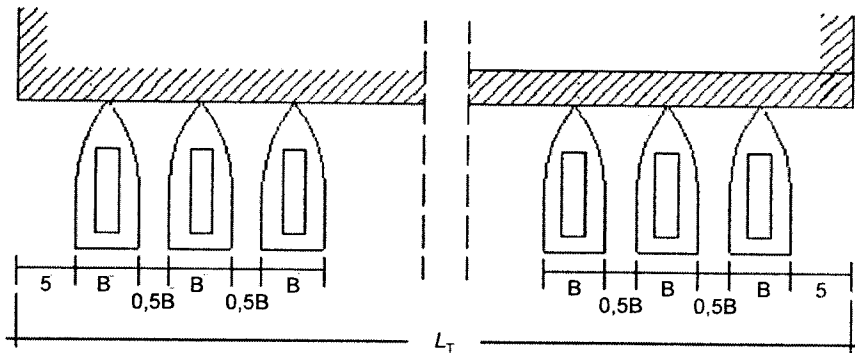
dengan:

L_T : panjang dermaga tambat

n : jumlah kapal ikan yang ditambat per hari

B : lebar kapal

Mengingat kapal yang bertambat di dermaga tambat cukup banyak, maka untuk efisiensi penempatan kapal di dermaga dilakukan secara tegak lurus, seperti diberikan dalam Gambar 11.4.



Gambar 11.4. Dermaga tambat dan cara kapal bertambat

11.5.2. Kolam Pelabuhan

Kolam pelabuhan direncanakan untuk menjamin daerah perairan pelabuhan yang tenang dengan lebar dan kedalaman yang cukup sehingga kapal dapat melakukan berbagai kegiatan dengan mudah dan aman, seperti manuver, bertambat, membongkar hasil tangkapan ikan dan mengisi perbekalan. Kolam pelabuhan dapat diklasifikasikan menjadi kolam pen-

daratan, kolam perbekalan, kolam tambat, dan kolam manuver. Hitungan kebutuhan masing-masing kolam pelabuhan tersebut diberikan berikut ini.

1. Kolam Pendaratan

Kebutuhan ruang untuk pendaratan ikan dihitung dengan anggapan kapal-kapal ikan bertambat di sepanjang dermaga, yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$A_1 = \sum L_1 \times B_1 \quad (11.4)$$

dengan:

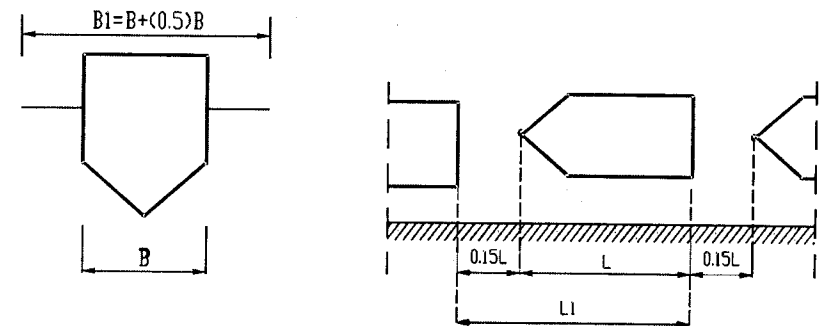
A_1 : luas kolam pendaratan (m^2)

L_1 : panjang dermaga pendaratan = $1,15 L$

B_1 : lebar perairan untuk pendaratan = $1,5 B$

L : panjang kapal (*length overall*)

B : lebar kapal



Gambar 11.5. Ruang kebebasan kapal

2. Kolam Perbekalan

Kolam perbekalan adalah luasan perairan di depan dermaga yang diperlukan oleh kapal pada waktu memuat perbekalan. Luas kolam yang diperlukan dihitung dengan cara yang sama dengan hitungan kolam pendaratan. Kapal-kapal bertambat searah panjang dermaga.

3. Kolam Tambat

Kolam tambat adalah perairan di depan dermaga tambat yang digunakan kapal bertambat/menunggu sebelum melaut kembali. Di perairan ini kapal-kapal bertambat secara tegak lurus dermaga. Luas kolam tambat dihitung dengan persamaan berikut.

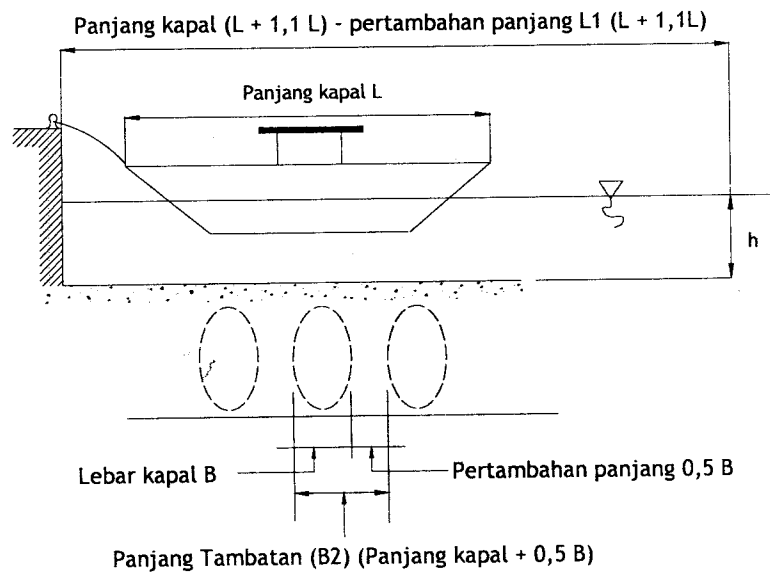
$$A_2 = \sum L_2 \times B_2 \quad (11.5)$$

dengan:

$$B_2 = 1,5 B$$

$$L_2 = 1,1 L_{0a}$$

Gambar 11.6. adalah cara penambatan kapal di dermaga/kolam tambat.



Gambar 11.6. Kolam Tambat

4. Perairan untuk Manuver

Perairan untuk manuver kapal adalah ruangan perairan dengan lebar dan kedalaman yang cukup untuk kapal-kapal berputar arah pada waktu merapat dan meninggalkan dermaga. Cara manuver kapal tergantung pada beberapa faktor, yaitu apakah kapal bertambat sejajar atau tegak lurus dermaga, tata letak dermaga, angin dan kecepatan kapal. Luas perairan untuk manuver kapal dihitung dengan persamaan berikut. Gambar 11.7 dan Gambar 11.8. menunjukkan manuver kapal di dermaga pendaratan (sejajar) dan tambat (tegak lurus). Luas perairan untuk manuver kapal diberikan oleh persamaan berikut ini.

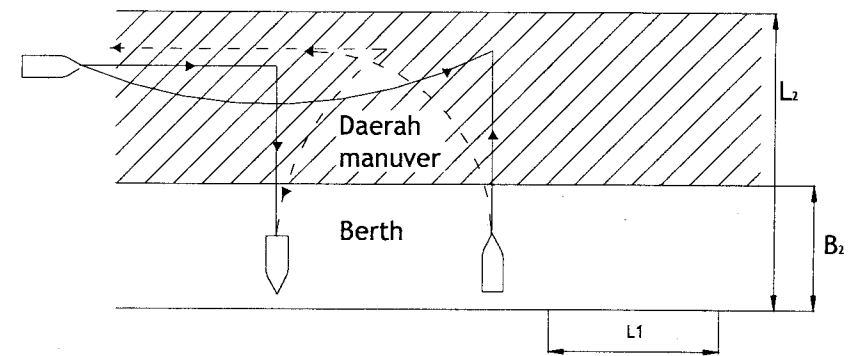
$$A_3 = \sum L_3 W \quad (10.6)$$

dengan:

A_3 : luas perairan untuk manuver kapal

W : lebar untuk manuver

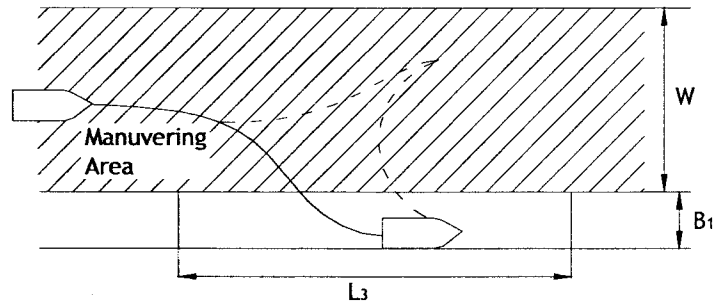
L_2 : panjang dermaga



Gambar 11.7. Manuver kapal secara sejajar dermaga.

Untuk memudahkan manuver kapal, lebar manuver W ditetapkan dua kali panjang kapal:

$$W = 2 L \quad (10.7)$$



- L_3 : Length of wharf
- W : Length for surfing and maneuvering
- B_1 : Width for alongside the quay mooring
- Manuvering area : $(L_3 \times B_1) + (L_3 \times W)$

Gambar 11.8. Manuver kapal secara tegak lurus dermaga.

Agar kapal-kapal besar dapat merapat ke dermaga dengan mudah dan aman, maka perairan manuver ditentukan berdasarkan kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan.

5. Kolam Putar

Kolam putar adalah perairan yang diperlukan oleh kapal untuk memutar arah pada waktu akan merapat ke dermaga. Kolam putar berbentuk lingkaran. Agar gerak kapal dapat lebih mudah, jari-jari kolam putar adalah dua kali panjang kapal terbesar.

Luas kolam putar ditentukan berdasar kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan.

$$A_p = \pi R^2 = \pi (2L)^2 \quad (11.8)$$

6. Luas Kolam Pelabuhan

Luas kolam pelabuhan pada kondisi minimal adalah jumlah luas dari kolam pendaratan, kolam perlengkapan, kolam tambat, ruang gerak (manuver) dan kolam putar. Berdasar luas masing-masing kolam yang telah dihitung di depan maka luas kolam pelabuhan adalah:

$$A_{\text{pelabuhan}} = A_{\text{pendaratan}} + A_{\text{perbekalan}} + A_{\text{tambat}} + A_{\text{manuver 1+2+3}} + A_{\text{putar}} \quad (11.9)$$

7. Kolam Pelabuhan Kondisi Badai

Pada kondisi badai semua kapal berlingkungan di kolam pelabuhan. Cara penambatan kapal pada kondisi badai berbeda dengan kondisi normal. Pada kondisi normal kapal bertambat di dermaga dalam satu baris, sementara pada kondisi badai kapal dapat bertambat dalam beberapa baris. Jarak antara kapal satu dengan lainnya diberi antara (ruang kebebasan) sebesar $0,10L$ pada arah memanjang dan $0,3B$ pada arah lebar kapal.

Pada kondisi badai gerak kapal di kolam pelabuhan tidak mudah pada kondisi normal. Ukuran kolam putar dan manuver dibuat lebih kecil, yang ditentukan berdasarkan bobot kapal rerata. Luas kolam pelabuhan pada kondisi badai dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{badai}} = N(L_r + 0,1L_r)(B_r + 0,3B_r) \quad (11.10)$$

dengan:

- A_{badai} : luas kolam pelabuhan pada kondisi badai
- L_r : panjang kapal rerata dari semua kapal
- B_r : lebar kapal rerata dari semua kapal
- N : jumlah kapal.

11.5.3. Tempat Pelelangan Ikan

Tempat Pelelangan Ikan (TPI) merupakan pusat kegiatan pelabuhan ikan di darat, yaitu tempat melelang ikan hasil tangkapan dan menjadi tempat pertemuan antar penjual (nelayan atau pemodal) dengan pembeli (konsumen, pedagang atau agen pabrik pengolahan ikan). Bangunan TPI dirancang dengan memperhitungkan pengaruh cuaca daerah pantai. TPI ditempatkan sedekat mungkin dengan dermaga bongkar.

Luas TPI tergantung pada produksi ikan yang dihasilkan tiap hari, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$S = \frac{N}{R \propto P} \quad (11.11)$$

dengan:

S : luas tempat pelelangan ikan (m^2)

N : banyaknya ikan yang dihasilkan ($kg/hari$)

P : berat ikan hasil tangkapan yang ditangani persatuan luas (kg/m^2)

R : Jumlah pelelangan yang terjadi dalam satu hari

α : rasio dari luasan yang dipakai untuk tempat ikan dengan luas total tempat pelelangan ikan

Sebagai contoh, untuk TPI kapal besar nilai-nilai dari parameter tersebut adalah (*Planning and Design of Fishing Port*) $R = 2$, $P = 80 \text{ kg/m}^2$, $\alpha = 0,30$; sedang untuk TPI kapal kecil $R = 2$, $P = 170 \text{ kg/m}^2$ dan $\alpha = 0,30$.

11.6. Contoh Perencanaan Pelabuhan Ikan Baron

Di dalam sub bab ini diberikan contoh perencanaan Pelabuhan Ikan Baron, Kabupaten Gunungkidul Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Contoh ini didasarkan pada laporan pekerjaan Penyusunan Studi Kelayakan Pelabuhan Perikanan Baron Kabupaten Gunungkidul, yang merupakan kerjasama antara PT Puser Bumi dan Dinas Perikanan dan Kelautan Propinsi DIY pada tahun 2007, di mana penulis bertindak sebagai ketua tim.

Pantai Baron berupa teluk yang cukup luas (sekitar 15 ha) dengan ekosistem pantai berpasir, yang dikelilingi oleh bukit batu karang. Pada sisi barat pantai Baron, terdapat muara sungai bawah tanah yang mempunyai debit air tawar cukup besar, terutama pada musim penghujan. Air tawar di sungai bawah tanah tersebut dimanfaatkan untuk penyediaan air bersih di Kabupaten Gunungkidul.

Pantai Baron telah berkembang sebagai daerah wisata dan tempat pendaratan ikan. Di Pantai Baron terdapat hamparan pasir yang cukup luas. Hamparan pasir tersebut menjadi daya tarik wisatawan yang ingin bermain di laut; dan juga dimanfaatkan sebagai tempat pendaratan perahu-perahu nelayan.

Hamparan pasir di Teluk Baron diperkirakan berasal dari daerah tangkapan air hujan. Air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir dan bermuara ke teluk. Air hujan tersebut membawa sedimen yang akhirnya akan masuk ke teluk. Teluk ini berfungsi sebagai kantong yang menampung material sedimen dari hulu. Butir sedimen kasar (pasir) akan

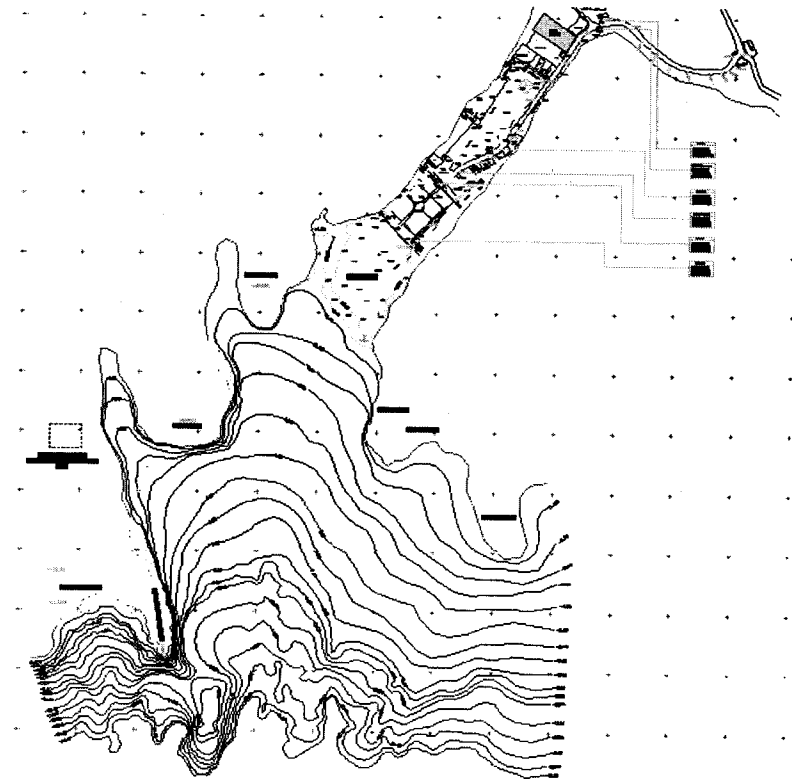
mengendap di teluk, sedang sedimen suspensi karena pengaruh gelombang akan terbawa ke laut.

11.6.1. Data Perencanaan

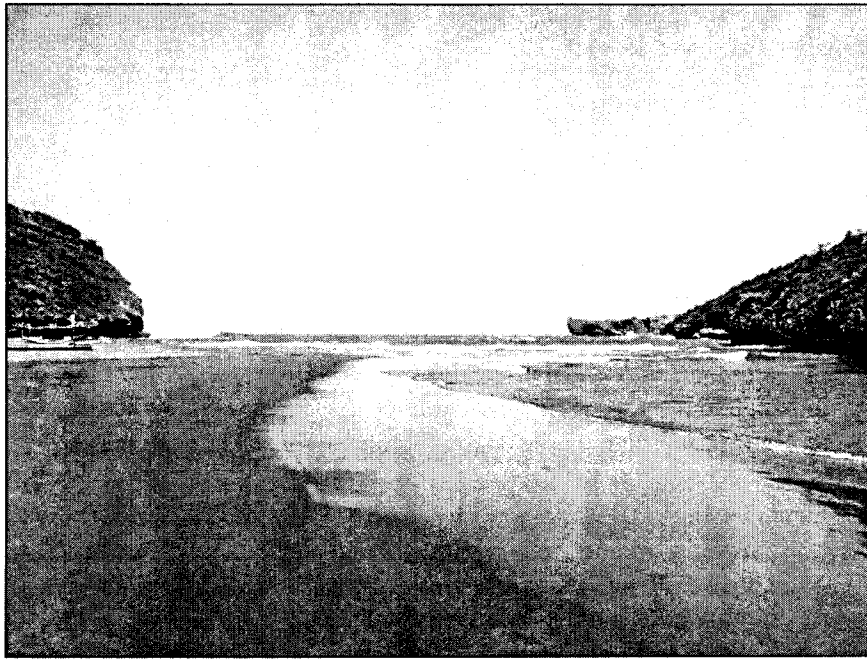
Perencanaan Pelabuhan Perikanan Baron didasarkan pada beberapa data yaitu topografi dan bathimetri, pasang surut, gelombang, mekanika tanah, dan data kapal yang menggunakan pelabuhan. Data tersebut berupa data sekunder dan primer.

1. Data topografi dan bathimetri

Gambar 11.9. adalah bentuk Teluk Baron yang diperoleh dari hasil pengukuran topografi dan bathimetri. Gambar 11.10. adalah foto Teluk Baron yang diambil dari darat (hamparan pasir) ke arah laut.



Gambar 11.9. Peta topografi dan bathimetri Teluk Baron

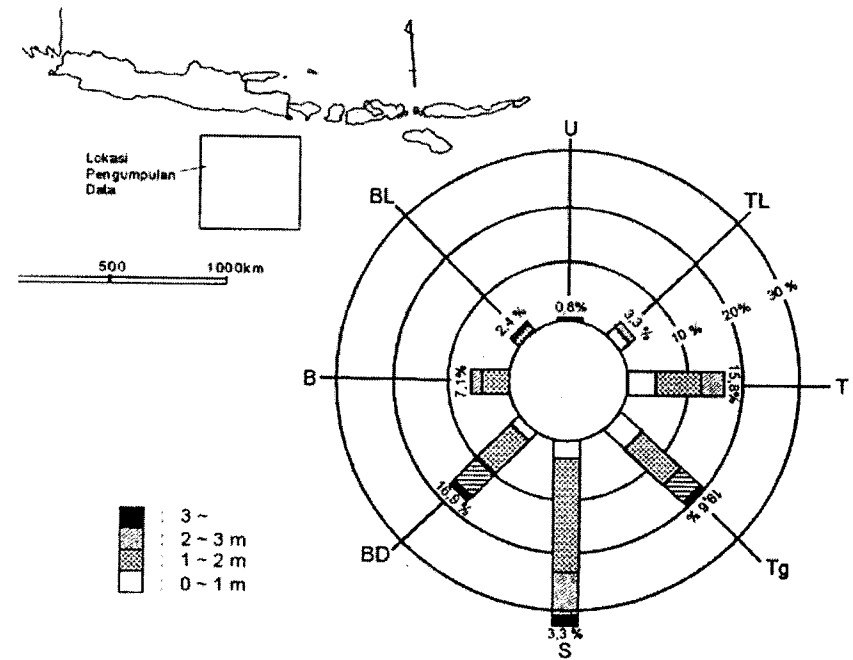


Gambar 11.10. Teluk Baron dan endapan pasir

2. Gelombang

Data gelombang diperoleh berdasar data sekunder. Berdasar hasil studi yang dilakukan oleh JICA (1989, dalam Puser Bumi, 2007) pada pekerjaan pengamanan daerah pantai Bali, didapatkan data gelombang laut dalam di selatan Pulau Jawa seperti tertera pada mawar gelombang yang terdapat dalam Gambar 11.11. Data gelombang tersebut didapat dari buku *U.S. Navy Marine Climatic Atlas of the World volume 3 Indian Ocean* (1976). Mawar gelombang tersebut dibuat berdasar data gelombang yang dikumpulkan selama 120 tahun.

Dalam pekerjaan *Java Flood Control Project* pada tahun 1996, Sogreah melakukan kombinasi data yang diperoleh dari pengukuran gelombang oleh Puslitbang air untuk pekerjaan sungai Tipar dan data peramalan gelombang berdasar data angin di Cilacap, yang hasilnya adalah: $(H_s)_{1\text{th}} = 2,1\text{ m}$; $(H_s)_{10\text{th}} = 2,6\text{ m}$; $(H_s)_{25\text{th}} = 2,8\text{ m}$; dan $(H_s)_{50\text{th}} = 3,1\text{ m}$.

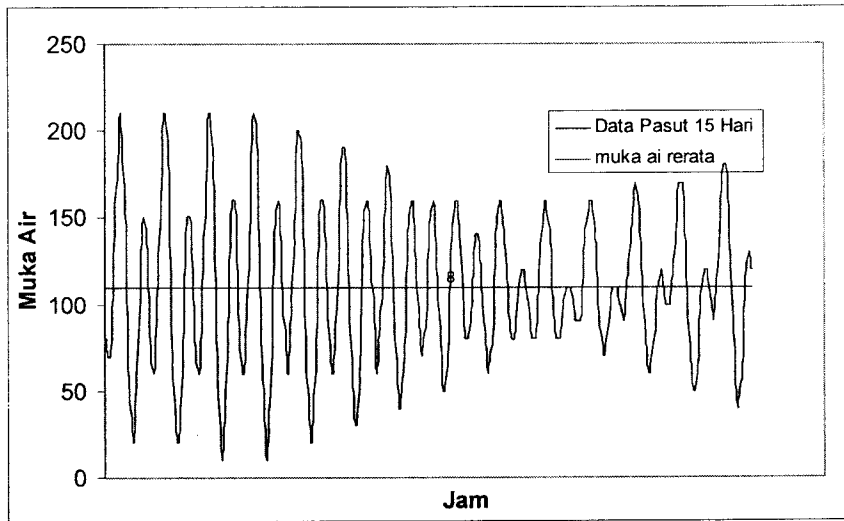


Gambar 11.11. Mawar gelombang US Army

3. Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari pengukuran di lokasi pekerjaan selama 15 hari, yang hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 11.12. Berdasar data pengukuran tersebut, dilakukan analisis dengan menggunakan metode Admiralty untuk menentukan elevasi muka air laut, yang hasilnya diberikan berikut ini.

HHWL	: +2.56 m
HWL	: +2.16 m
MSL	: +1.16 m
LWL	: +0.16 m
LLWL	: -0.39 m



Gambar 11.12. Data pengukuran pasang surut

4. Data Kapal

Dimensi kolam pelabuhan ditentukan oleh bobot dan jumlah kapal serta durasi kapal melaut. Dalam hal ini digunakan bobot kapal rerata yang menggunakan pelabuhan. Kedalaman kolam pelabuhan dan lebar serta kadalaman alur pelayaran ditentukan berdasarkan ukuran kapal terbesar. Data bobot dan jumlah kapal yang akan menggunakan pelabuhan akan dianalisis dalam pelaksanaan pekerjaan *Feasibility* Pelabuhan Perikanan Baron. Dimensi kapal tergantung pada bobotnya, yang secara umum diberikan oleh Tabel 11.2. Jumlah dan Bobot Kapal yang diperkirakan akan menggunakan PPI Baron diberikan dalam Tabel 10.3. Selain ukuran kapal tersebut, saat ini nelayan di Pantai Baron menggunakan perahu motor tempel, yang mempunyai ukuran berikut ini.

Panjang : $L = 8$ m

Lebar : $B = 1$ m

Draft : $D = 0.5$ m

Kapal tersebut dilengkapi dengan cadik di kanan kirinya. Lebar antara kedua cadik adalah $L_c = 3,5$ m.

Tabel 11.2. Dimensi Kapal Sesuai Bobot Kapal

Bobot Kapal (GT)	Panjang Total Loa (m)	Lebar B (m)	Draft (m)
10	13,50	3,80	1,05
20	16,20	4,20	1,30
30	18,50	4,50	1,50
50	21,50	5,00	1,78
75	23,85	5,55	2,00
100	25,90	5,90	2,20
125	28,10	6,15	2,33
150	30	6,45	2,50

Tabel 11.3. Jumlah dan bobot kapal di PPI Baron

No	Jenis Kapal/Motor Ikan	Bobot (GT)	Jumlah	Durasi Trip	
				Harian	Tahunan
1	Kapal/motor kecil	<5	50	1	240
2	Kapal/motor sedang	5–15	50	5	48
3	Kapal/motor besar	15–30	5	10	24
4	Kapal/motor besar	30–50	3	14	17
Jumlah :			108		

11.6.2. Bentuk Pelabuhan

Beberapa kriteria dari pelabuhan yang direncanakan adalah sebagai berikut ini.

1. Kolam pelabuhan ditempatkan di teluk dengan membuat pemecah gelombang untuk melindungi perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Ada dua alternatif tata letak pemecah gelombang, yaitu

pemecah gelombang dari sisi tebing timur memanjang ke arah barat dengan alur pelayaran di sisi barat; atau pemecah gelombang dari sisi tebing barat memanjang ke arah timur dengan alur pelayaran di sisi timur. Pemilihan kedua alternatif tersebut akan dikaji lebih mendalam dalam pekerjaan ini.

2. Pelabuhan diperuntukkan sebagai pelabuhan ikan dengan dimensi disesuaikan dengan jumlah dan ukuran kapal yang direncanakan. Seluruh kapal baik yang kecil maupun besar dapat berlabuh di kolam pelabuhan. Kolam pelabuhan dibagi menjadi dua bagian, yaitu kolam untuk kapal kecil dan kolam untuk kapal besar.
3. Saat ini Pantai Baron telah berkembang sebagai obyek wisata, yang berupa wisata pantai dengan gelombang besar. Diharapkan dengan pembangunan Pelabuhan Perikanan Baron dapat menambah daya tarik obyek wisata.
4. Dengan adanya pelabuhan akan menarik investor untuk membangun pabrik/industri, seperti pengalengan ikan, pabrik tepung ikan, dsb.

11.6.3. Perkiraan Armada Kapal dan Produk Ikan

Dimensi kolam pelabuhan ditentukan oleh bobot dan jumlah kapal serta durasi kapal melaut. Dalam hal ini digunakan bobot kapal rerata yang menggunakan pelabuhan. Bobot kapal rerata adalah jumlah dari perkalian antara jumlah kapal dan rerata interval bobot kapal untuk masing-masing jenis dibagi dengan jumlah total kapal. Untuk data kapal seperti diberikan dalam Tabel 11.3. bobot kapal rerata adalah:

$$\text{Bobot rerata} = \frac{10 \times 50 + 22,5 \times 5 + 40 \times 3}{185} = 12,6 \text{ GT}$$

Bobot rerata kapal yang akan menggunakan pelabuhan adalah 12,6 GT, yang selanjutnya sesuai dengan ukuran kapal seperti diberikan dalam Tabel 11.2., dibulatkan menjadi 20 GT. Kedalaman kolam pelabuhan dan lebar serta kedalaman alur pelayaran ditentukan berdasarkan ukuran kapal terbesar. Perencanaan PPI Baron didasarkan pada bobot kapal rerata sebesar 30 GT dan kapal terbesar yaitu 50 GT. Dimensi dari beberapa kapal tersebut diberikan dalam Tabel 11.2.

Panjang dermaga, luas kolam pelabuhan, lebar dan kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan ditentukan berdasarkan dimensi kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan. Dimensi pelabuhan tersebut akan aman untuk berlabuh kapal-kapal yang lebih kecil. Selain itu ukuran pelabuhan yang besar tersebut akan dapat mengantisipasi perkembangan pelabuhan di masa mendatang. Bobot kapal rerata digunakan untuk menghitung ukuran kolam pelabuhan pada kondisi badai. Pada saat badai seluruh kapal masuk ke pelabuhan.

Data ukuran dan jumlah kapal serta waktu kapal tidak melaut digunakan untuk menentukan luas kolam pelabuhan dan panjang dermaga. Data ukuran kapal, jumlah kapal, durasi trip dan jumlah trip pertahun di berikan dalam Tabel 11.2. Jumlah kapal yang berlabuh di pelabuhan tiap hari dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah kapal} = \sum \frac{(365 - D_i T)}{365} N$$

dengan :

D_t : durasi trip tiap jenis/bobot kapal (hari)

T : jumlah trip tiap jenis/bobot kapal per tahun

N : jumlah kapal tiap jenis/bobot kapal

Dengan menggunakan data seperti digunakan dalam Tabel 11.3., dihitung jumlah kapal berlabuh tiap hari di pelabuhan:

$$\text{Jumlah kapal} = \frac{365 - 5 \times 48}{365} 50 + \frac{365 - 10 \times 24}{365} 5 + \frac{365 - 14 \times 17}{365} 3 = 20$$

Data bobot, jumlah dan dimensi kapal tersebut digunakan untuk menghitung dimensi pelabuhan, seperti panjang dermaga, luas kolam pelabuhan, lebar alur pelayaran, kedalaman alur pelayaran, kolam pelabuhan dan sebagainya.

11.6.4. Perencanaan Dermaga

Dermaga direncanakan dengan menggunakan rumus-rumus yang diberikan dalam Sub Bab 11.5.

1. Dermaga Pendaratan

Panjang dermaga pendaratan dihitung dengan menggunakan Persamaan 11.1. Dengan anggapan bahwa waktu untuk membongkar muatan adalah 1,0 jam dan waktu operasional pelabuhan adalah 12 jam, maka nilai $\gamma = 12$. apabila panjang dermaga (L_d) ditentukan berdasarkan kapal dengan bobot 20 GT, maka:

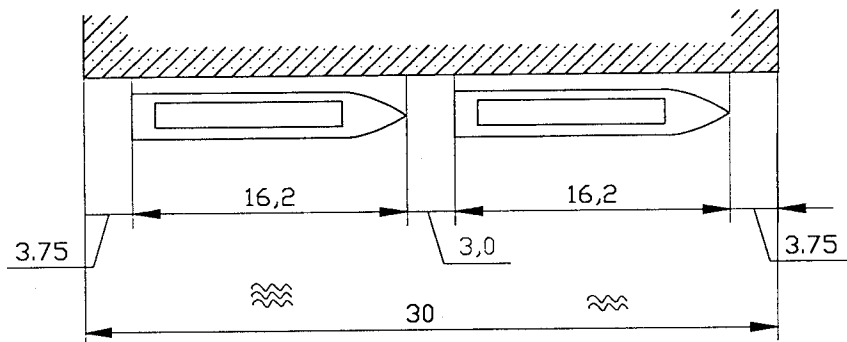
$$L_d = \frac{N}{\gamma}(L + 0,15L)$$

$$L_d = \frac{20}{12}(16,2 + 0,15 \times 16,2) = 31 \approx 30 \text{ m}$$

Dermaga pendaratan sepanjang 30 m tersebut dapat digunakan untuk merapat 2 kapal secara bersamaan. Antara kapal satu dengan lainnya diberi ruang kebebasan sebesar 0,15 L. Gambar 11.13. menunjukkan contoh posisi kapal yang merapat di dermaga bongkar.

2. Dermaga Perlengkapan

Panjang dermaga perbekalan dihitung dengan Persamaan 11.2. Panjang dermaga perlengkapan sama dengan dermaga pendaratan, yaitu 30 m, yang dapat digunakan untuk merapat 2 buah kapal secara bersamaan. Bentuknya sama dengan dermaga bongkar.



Gambar 11.13. Ukuran dermaga pendaratan

3. Dermaga Tambat

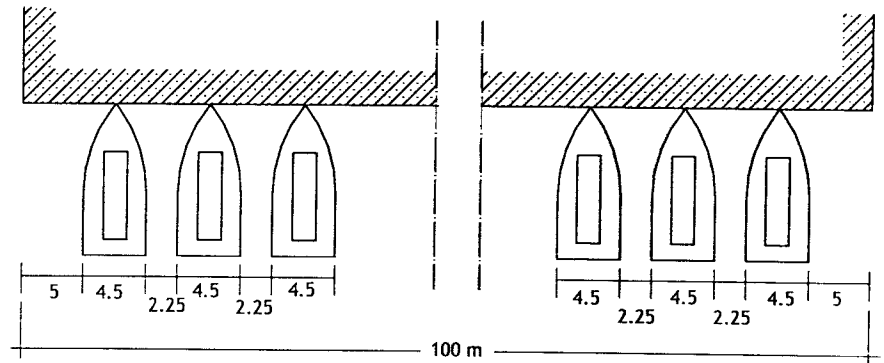
Panjang dermaga tambat dihitung dengan Persamaan 11.3. Karena dermaga pendaratan dan perlengkapan dapat menampung masing-masing 2 buah kapal secara bersamaan, maka jumlah kapal yang menggunakan dermaga tambat adalah $n = 20 - 2 - 2 = 16$ kapal, sehingga panjang dermaga tunggu adalah:

$$L_T = 16 (4,2 + 0,5 \times 4,2) = 100 \text{ m}$$

Penempatan kapal di dermaga dilakukan secara tegak lurus, seperti dibrikan dalam Gambar 11.14.

11.6.5. Kolam Pelabuhan

Kolam pelabuhan direncanakan untuk menjamin daerah perairan pelabuhan yang tenang dengan lebar dan kedalaman yang cukup sehingga kapal dapat melakukan berbagai kegiatan dengan mudah dan aman, seperti manuver, bertambat, membongkar hasil tangkapan ikan dan mengisi perbekalan. Kolam pelabuhan dapat diklasifikasikan menjadi kolam pendaratan, kolam perbekalan, kolam tambat, dan kolam manuver. Hitungan kebutuhan masing-masing kolam pelabuhan tersebut diberikan berikut ini.



Gambar 11.14. Dermaga tambat

1. Kolam Pendaratan

Kebutuhan ruang untuk pendaratan ikan dihitung dengan anggapan kapal-kapal ikan bertambat di sepanjang dermaga, yang dihitung dengan Persamaan 11.4. Untuk kapal dengan bobot di atas 5 GT, luasan kolam pendaratan dihitung berdasarkan bobot kapal rerata yaitu 20 GT. Dimensi kapal berbobot 20 GT adalah $L = 16,2$ m; $B = 4,2$ m; dan D (draft) = 1,3 m. Berdasarkan dimensi kapal tersebut dan jumlah kapal yang bertambat di dermaga pendaratan adalah 2 kapal maka luas kolam pendaratan adalah:

$$A_1 = 2 (1,15 \times 16,2) (1,5 \times 4,2) = 234,7 \text{ m}^2$$

2. Kolam Perbekalan

Luas kolam perbekalan yang diperlukan dihitung dengan cara yang sama dengan hitungan kolam pendaratan. Kapal-kapal bertambat searah panjang dermaga. Dalam waktu yang sama jumlah kapal yang bertambat di dermaga pendaratan adalah 5 buah sehingga luas kolam perbekalan adalah:

$$A_1 = 2 (1,15 \times 16,2) (1,5 \times 4,2) = 234,7 \text{ m}^2$$

3. Kolam Tambat

Kolam tambat adalah perairan di depan dermaga tambat yang digunakan kapal bertambat/menunggu sebelum melaut kembali. Di perairan ini kapal-kapal bertambat secara tegak lurus dermaga. Luas kolam tambat dihitung dengan Persamaan 10.5. Jumlah kapal yang bertambat di dermaga tambat dalam satu hari adalah 16 kapal, sehingga luas kolam tambat adalah:

$$A_2 = 16 \times (1,1 \times 16,2) \times (1,5 \times 4,2) = 1782,7 \text{ m}^2$$

4. Perairan untuk Manuver

Luas perairan untuk manuver kapal dihitung dengan Persamaan 11.6. Gambar 11.7 dan Gambar 11.8. menunjukkan manuver kapal di dermaga pendaratan (sejajar) dan tambat (tegak lurus). Agar kapal-kapal be-

sar dapat merapat ke dermaga dengan mudah dan aman, maka perairan manuver ditentukan berdasarkan kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan, yaitu kapal berbobot 50 GT yang mempunyai panjang 21.5 m. Panjang dermaga telah dihitung di depan yaitu $L = 30$ m.

Luas kolam manuver di depan dermaga pendaratan adalah:

$$A_{\text{manuver 1}} = 30(2 \times 21.5) = 1290 \text{ m}^2$$

Luas kolam manuver di depan dermaga perbekalan:

$$A_{\text{manuver 2}} = 30(2 \times 21.5) = 1290 \text{ m}^2$$

Luas kolam manuver di depan dermaga tambat:

$$A_{\text{manuver 3}} = 130(2 \times 21.5) = 4300 \text{ m}^2$$

5. Kolam Putar

Luas kolam putar dihitung dengan menggunakan Persamaan 11.7. Agar gerak kapal dapat lebih mudah, jari-jari kolam putar adalah dua kali panjang kapal terbesar. Luas kolam putar ditentukan berdasar kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan yaitu kapal berbobot 50 GT.

$$A_p = \pi R^2 = \pi (2L)^2$$

$$A_p = \pi (2 \times 21.5)^2 = 3957 \text{ m}^2$$

6. Luas Kolam Pelabuhan

Luas kolam pelabuhan pada kondisi minimal adalah jumlah luas dari kolam pendaratan, kolam perlengkapan, kolam tambat, ruang gerak (manuver) dan kolam putar. Berdasar luas masing-masing kolam yang telah dihitung di depan maka luas kolam pelabuhan adalah:

$$\begin{aligned} A_{\text{pelabuhan}} &= A_{\text{pendaratan}} + A_{\text{perbekalan}} + A_{\text{tambat}} + A_{\text{manuver 1+2+3}} + A_{\text{putar}} \\ &= 234,7 + 234,7 + 1782,7 + 1290 + 1290 + 4300 + 3957 \\ &= 13089 \text{ m}^2 \approx 1,3 \text{ ha} \end{aligned}$$

7. Kolam Pelabuhan Kondisi Badai

Pada kondisi badai gerak kapal di kolam pelabuhan tidak semudah pada kondisi normal. Ukuran kolam putar dan manuver dibuat lebih kecil, yang ditentukan berdasarkan bobot kapal rerata yaitu 20 GT.

Luas kolam putar:

$$A_p \text{ darurat} = \pi R^2 = \pi(2 \times 16,2)^2 = 3296.25 \text{ m}^2.$$

$$A_{\text{manuver}} = 2 \times 80(2 \times 18,5) = 1944 \text{ m}^2$$

Luas kolam pelabuhan pada kondisi badai dihitung dengan Persamaan 11.8. Dengan persamaan tersebut untuk jumlah kapal sebanyak 108 buah dan ukuran seperti diberikan dalam Tabel 11.3., maka luas kolam pelabuhan pada kondisi badai:

$$A_{\text{badai}} = 58 (16,2 + 0,1 \times 16,2) \times (4,2 + 0,3 \times 4,2) = 8891.467 \text{ m}^2$$

Luasan tersebut adalah untuk menampung kapal di kolam pelabuhan, agar kapal bisa masuk ke kolam pelabuhan harus disediakan alur pelayaran untuk manuver kapal dan kolam putar. Alur pelayaran dan kolam putar dihitung berdasar bobot kapal rerata yaitu 20 GT, tidak seperti dalam kondisi normal yang dihitung berdasar kapal terbesar yaitu 50 GT.

Luas kolam total adalah:

$$A_{\text{badai total}} = 3296.246 + 1944 + 8891.467 = 14132 \text{ m}^2 \approx 1.4 \text{ ha}$$

11.6.6. Alur Pelayaran

Alur pelayaran berfungsi untuk mengarahkan kapal yang masuk/keluar kolam pelabuhan dari/ke laut. Alur pelayaran dan kolam pelabuhan harus cukup tenang terhadap pengaruh gelombang dan arus. Perencanaan dimensi alur pelayaran ditentukan oleh kapal terbesar yang akan menggunakan pelabuhan dan kondisi meteorologi dan geografi. Ketenangan di alur pelayaran dapat diperoleh dengan membuat pemecah gelombang pada mulut teluk.

Lebar dan kedalaman alur pelayaran dan gerbang pelabuhan dihitung berdasar dimensi kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan, yaitu kapal berbobot 50 GT. Mengingat trafik kapal di pelabuhan ikan adalah sangat tinggi, maka lebar alur pelayaran ditetapkan untuk kapal dapat bersimpangan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.8.b. (Bab IV). Berdasar gambar tersebut, dan untuk ukuran kapal terbesar yang menggunakan pelabuhan yaitu 50 GT, maka lebar alur pelayaran adalah:

$$B_{\text{alur}} = 7,6 B = 7,6 \times 5 = 38 \text{ m} \approx 40 \text{ m}$$

Lebar dasar alur pelayaran adalah 40. Dengan kemiringan tebing alur pelayaran 1:1, maka lebar permukaan air pada saat surut terendah adalah 46 m; sedang pada muka air rerata adalah sekitar 50 m.

Kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan ditentukan berdasar Gambar 4.5. (Bab IV) dan persamaan berikut:

$$H = d + G + R + P + S + K$$

Di mulut pelabuhan dengan gelombang besar, Brunn (1981) memberikan ruang kebebasan bruto (G+R) sebesar 20% draft kapal. Untuk kapal terbesar berbobot 50 GT, draft kapal $d = 1.78 \text{ m}$ sehingga (G+R) = 0,5 m. Nilai ketelitian pengukuran, ruang pengendapan dan toleransi pengerukan ditetapkan masing-masing 0,25 m; sehingga kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan adalah:

$$H = 1.78 + 20\% \times 1.78 + 0,25 + 0,25 + 0,25 = 2.9 \text{ m} \approx 3,0 \text{ m}$$

Kedalaman tersebut adalah terhadap elevasi LLWS.

11.6.7. Kolam Pelabuhan Kapal Kecil

Kolam pelabuhan untuk kapal kecil (perahu motor tempel) berada dalam kolam yang sama dengan kapal besar. Di kolam ini juga dilengkapi dengan dermaga pendaratan, dermaga perbekalan dan dermaga tambat. Fasilitas-fasilitas tersebut disesuaikan untuk melayani kapal-kapal kecil. Mengingat bahwa perahu motor tempel tersebut dilengkapi cadik di ke-

dua sisinya, maka kapal merapat secara tegak lurus dermaga. Kedalaman pelabuhan juga disesuaikan untuk kapal kecil.

Jumlah kapal yang akan menggunakan kolam pelabuhan ini adalah 50 kapal, dengan ukuran sebagai berikut ini.

Perahu motor tempel

Panjang : $L = 8 \text{ m}$

Lebar : $B = 1 \text{ m}$

Draft : $D = 0.5 \text{ m}$

Kapal tersebut dilengkapi dengan cadik di kanan kirinya. Lebar antara kedua cadik adalah $L_c = 3,5 \text{ m}$. Jumlah kapal yang menggunakan pelabuhan 50 buah. Biasanya kapal kecil berangkat melaut pagi hari dan mendarat siang harinya, sehingga tiap hari seluruh kapal berada di pelabuhan.

1. Dermaga

Ukuran kapal yang bertambat, jumlah kapal, produksi ikan dan waktu yang diperlukan untuk menurunkan hasil tangkapan ikan akan menentukan dimensi dermaga. Dermaga tersebut meliputi dermaga pendaratan, dermaga perlengkapan dan dermaga tunggu. Dermaga bongkar ditempatkan di sebelah timur dan berimpit dengan dermaga bongkar untuk kapal besar, sedang dermaga perbekalan di sebelah timur dan erimpit dengan dermaga bongkar perahu motor tempel. Dermaga tambat untuk perahu motor tempel ditempatkan di belakang pemecah gelombang.

a. Dermaga Bongkar

Dermaga bongkar (pendaratan) direncanakan untuk merapat kapal perahu motor tempel, hanya tempatnya dipisah. Perahu motor tempel merapat di sebelah timur (berimpit) dengan dermaga bongkar untuk kapal besar. Kapal berbobot $> 5 \text{ GT}$ merapat sepanjang (sejajar) dermaga, sedang perahu motor tempel tegak lurus dermaga. Jumlah kapal yang menggunakan pelabuhan setiap hari adalah sebagai berikut ini.

Perahu motor tempel

Jumlah kapal = 50 kapal/hari

Dengan asumsi bahwa operasi TPI tiap hari adalah 8 jam, waktu yang dibutuhkan perahu motor tempel adalah 20 menit, maka jumlah shift pendaratan adalah:

$$S = (8 \times 60)/20 = 24 \text{ shift}$$

Jumlah kapal yang melakukan pendaratan setiap shift adalah:

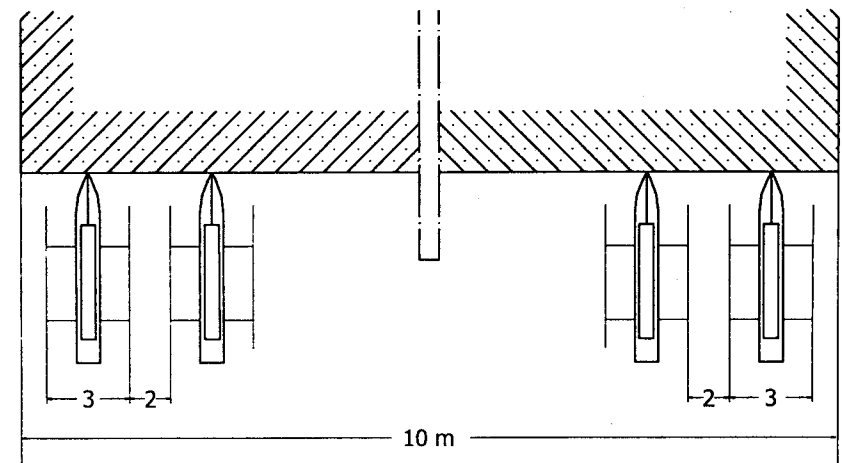
$$N = 50/24 = 2 \text{ kapal}$$

Panjang dermaga bongkar adalah:

$$L_2 = N (B + 0,5B) = 2 (3,5 + 0,5 \times 3,5) = 10,93 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

Jadi panjang dermaga bongkar adalah 10 m

Gambar 11.15. adalah cara tambat kapal di dermaga bongkar.



Gambar 11.15. Dermaga Bongkar untuk kapal kecil

b. Dermaga Perbekalan

Kebutuhan dermaga perbekalan adalah sama dengan dermaga pendaratan, yaitu:

$$L_{\text{bekal}} = 10 \text{ m}$$

Lokasi dermaga perbekalan bersebelahan dengan dermaga bongkar.

c. Dermaga Tambat

Dermaga tambat dimaksudkan untuk menambatkan kapal setelah menyelesaikan kegiatan bongkar muatan. Dermaga tambat berupa turap (dinding tegak). Kapal ditambatkan secara tegak lurus dermaga. Penambatan dapat dilakukan dalam dua jalur. Mengingat jumlah kapal yang bertambat di dermaga bongkar dan perbekalan masing-masing adalah 4 buah perahu motor tempel maka kapal yang bertambat di dermaga tambat adalah:

$$N_2 = 50 - 4 = 46 \text{ buah}$$

Panjang dermaga tambat adalah:

$$L_{\text{tambat}} = \frac{N}{n} (B + 0.5B)$$

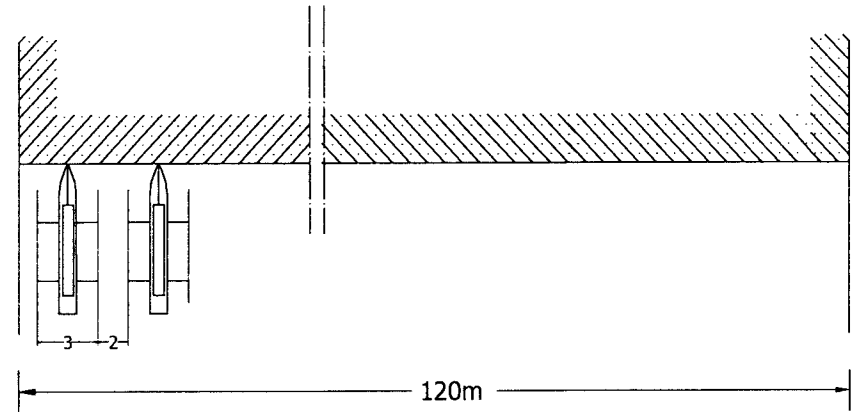
dengan:

N : jumlah kapal yang bertambat di dermaga tambat

n : jumlah deret (2 deret)

Maka panjang dermaga tambat adalah:

$$L_2 = 46/2 (3,5 + 0,5 \times 3,5) = 120 \text{ m}$$



Gambar 11.16. Dermaga Tambat Kapal Kecil

11.6.8. Kolam Pelabuhan

Kolam pelabuhan untuk kapal kecil ditempatkan di sebelah barat kolam pelabuhan kapal besar. Kolam pelabuhan ini meliputi perairan untuk membongkar hasil tangkapan ikan, mengisi perbekalan, bertambat, dan manuver kapal. Hitungan masing-masing kolam pelabuhan menggunakan rumus-rumus yang telah diberikan di depan.

1. Kolam Pendaratan

a. Luas kolam pendaratan

$$A_{\text{pendaratan}} = \sum L_i B_i = 2 (1,1 \times 8) (1,5 \times 3,5) = 96 \text{ m}^2$$

b. Kolam Perbekalan

$$A_{\text{perbekalan}} = \sum L_i B_i = 2 (1,1 \times 8) (1,5 \times 3,5) = 96 \text{ m}^2$$

c. Kolam Tambat

$$A_{\text{tambat}} = \sum L_i B_i = 46 (1,1 \times 8) (1,5 \times 3,5) = 2118 \text{ m}^2$$

2. Kolam Manuver

Kolam manuver diperlukan oleh kapal-kapal yang akan merapat ke dermaga atau meninggalkan dermaga. Untuk memudahkan manuver kapal, lebar manuver W ditetapkan dua kali panjang:

$$W = 2L = 2 \times 8 = 16 \text{ m}$$

Mengingat dermaga pendaratan dan perbekalan bersebelahan, maka luas kolam manuver di depan dermaga pendaratan dan perbekalan adalah:

$$A_{\text{manuver 1}} = 2 \times 10 \times 16 = 326 \text{ m}^2$$

Luas kolam manuver di depan dermaga tambat adalah:

$$A_{\text{manuver 2}} = 120 \times 16 = 1920 \text{ m}^2$$

Luas total kolam pelabuhan untuk kapal kecil adalah jumlah luas dari kolam pendaratan, perbekalan, tambat dan kolam manuver:

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= A_{\text{pendaratan}} + A_{\text{bekal}} + A_{\text{tambat}} + A_{\text{manuver}} \\ &= 96 + 96 + 2118 + (326 + 1920) = 2636 \text{ m}^2 . \end{aligned}$$

Dengan demikian diperoleh dimensi dermaga dan kolam pelabuhan seperti diberikan dalam Tabel 11.5.

11.7. Pemecah Gelombang

Lokasi Teluk Baron terbuka ke laut dengan gelombang besar. Persyaratan penting dari suatu pelabuhan adalah adanya daerah perairan yang tenang dan terlindung terhadap gangguan gelombang, sehingga kapal dapat berlabuh untuk melakukan berbagai kegiatan menurunkan hasil tangkapan ikan, pemuatan perbekalan, bertambat, dsb. Untuk itu pelabuhan harus dilindungi terhadap gangguan gelombang dengan membuat pemecah gelombang. Pemecah gelombang harus mampu menahan serangan gelombang.

Tabel 11.5. Dimensi dermaga, kolam pelabuhan dan alur pelayaran

No	Jenis Dermaga	Satuan	Dimensi	
			Per Item	Total
1	Dermaga Pendaratan			
	Kapal sedang & besar	(m)	30	
	Kapal kecil (PMT)	(m)	10	
	Total	(m)		40
	Dermaga Perbekalan			
	Kapal sedang & besar	(m)	30	
	Kapal kecil (PMT)	(m)	10	
	Total	(m)		40
	Dermaga Tambat			
	Kapal sedang & besar	(m)	100	
	Kapal kecil (PMT)	(m)	120	
	Total	(m)		220
	Panjang Dermaga Total	(m)		300
2	Kolam Pelabuhan			
	Kapal sedang & besar	(ha)	1,4	
	Kapal kecil	(ha)	0,6	
	Total	(ha)	2,0	2,0
	Kedalaman kolam sedang	(m)	3,0	
	Kedalaman kolam kecil	(m)	1,5	
3	Alur Pelayaran			
	Lebar	(m)	40	
	Kedalaman	(m)	3,0	

1. Gelombang Rencana

Gelombang rencana digunakan untuk merencanakan stabilitas batu pelindung jetty. Dalam pekerjaan ini digunakan tinggi gelombang rencana dengan periode ulang 50 tahunan, yaitu sebesar $H_0=3,1$ m dan

periode gelombang $T=10$ detik (Sogreah,1996). Gelombang sebesar $H_0=3,1$ m tersebut adalah gelombang di laut dalam.

Selama penjarannya menuju pantai, tinggi dan arah datang gelombang berubah karena pengaruh refraksi dan pendangkalan serta gelombang pecah, yang tergantung pada bathimetri (kedalaman laut). Gelombang tersebut diharapkan terjadi merata satu kali dalam 50 tahun, dan digunakan untuk merencanakan stabilitas batu pelindung jetty. Gelombang dengan periode ulang yang lain diberikan dalam Tabel 11.6.

Tabel 11.6. Gelombang dengan Periode Ulang

Kala Ulang (Tahunan)	Tinggi Gelombang (m)
1	2,1
10	2,6
25	2,8
50	3,1

2. Muka air rencana (DWL)

Muka air rencana didasarkan pada muka air maksimum yaitu pada kondisi pasang ditambah dengan kenaikan muka air akibat pemanasan global dan *wave set up*. Untuk menentukan muka air rencana digunakan persamaan :

a. Pasang surut

Dari data pengukuran pasang surut di dapat beberapa elevasi muka air yaitu $HWL = +2,16$ m; $MSL = +1,16$ m; dan $LWL = + 0,16$ m ≈ 0.0 m.

b. Wave Setup

Untuk mencari kedalaman gelombang pecah menggunakan Gambar 3.22 dan Gambar 3.23. (Bab III).

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{3,10}{9,81 \times 10^2} = 0,0032$$

Untuk kemiringan dasar laut $m = 0,05$ diperoleh:

$$\frac{H_b}{H_0} = 1,38 \longrightarrow H_b = 4,27$$

Jadi tinggi gelombang pecah adalah $H_b = 4,27$ m. Selanjutnya dengan menggunakan Gambar 4.12. dihitung kedalaman gelombang pecah:

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{4,27}{9,81 \times 10^2} = 0,0044$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 0,98 \longrightarrow d_b = 4,21$$

Jadi kedalaman gelombang pecah adalah $d_b = 4,21$ m

Wave-Setup dihitung dengan persamaan berikut (Bambang Triatmodjo, 1999):

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (11.12)$$

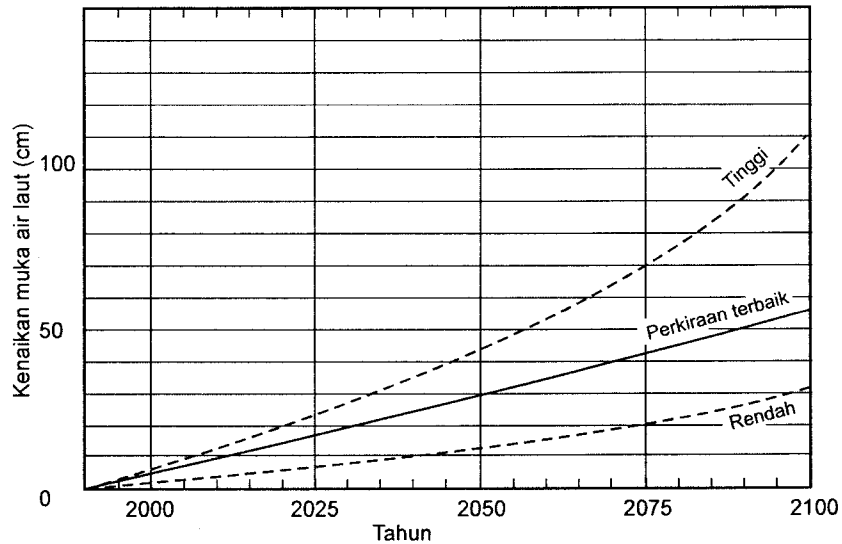
$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{4,27}{9,81 \times 10^2}} \right] 4,27 = 0,66 \text{ m}$$

c. Kenaikan muka air laut karena pemanasan global

Kenaikan air laut karena pemanasan global (*sea level rise, SLR*) diperkirakan dari Gambar 11.17. (Bambang Triatmodjo, 1999). Dengan menggunakan grafik tersebut dipehitungkan bahwa 50 tahun yang akan datang terjadi kenaikan muka air laut sebesar 0,30 m.

Elevasi muka air rencana (*Design Water Level, DWL*) ditetapkan berdasarkan ketiga faktor tersebut sehingga :

$$DWL = HWL + S_w + SLR = 2,16 + 0,66 + 0,3 = 3,12 \text{ m.}$$



Gambar 11.17. Perkiraan kenaikan muka air laut karena pemanasan global

3. Gelombang rencana di lokasi bangunan

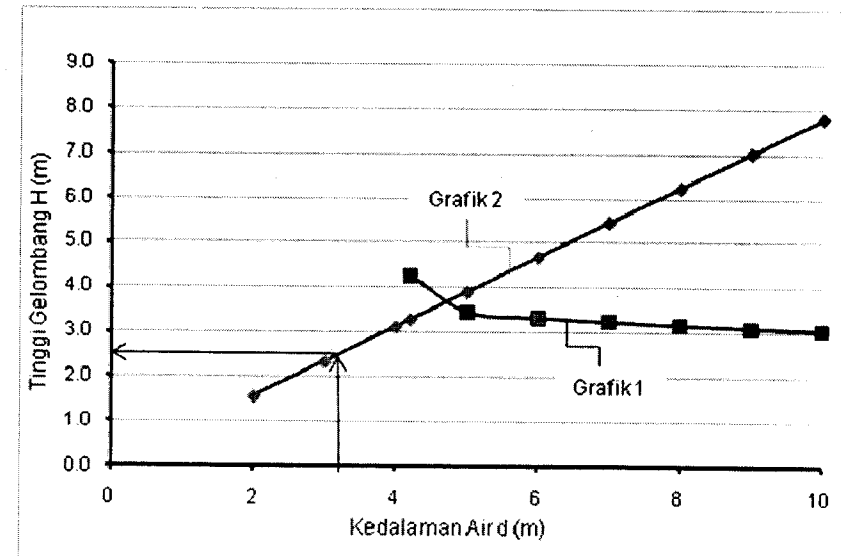
Pada perencanaan pemecah gelombang PPI Baron perlu di cek gelombang yang terjadi di lokasi bangunan. Pemecah gelombang berada pada kedalaman yang bervariasi dari 2 m sampai 4 m. Untuk menentukan gelombang rencana, maka terlebih dahulu dievaluasi letak gelombang pecah yang merupakan fungsi dari kedalaman, proses refraksi dan *shoaling*. Dengan menggunakan teori seperti diberikan dalam Bab III, untuk tinggi gelombang di laut dalam $H_0=3,1$ m dan kemiringan dasar laut $m = 0,05$ (1:20) dihitung tinggi gelombang pada beberapa kedalaman air. Karena pengaruh perubahan kedalaman laut, tinggi gelombang berubah selama penjaralan dari laut dalam menuju pantai. Tinggi gelombang semakin besar dan akhirnya pecah pada kedalaman tertentu. Hasil hitungan diberikan dalam Grafik 1 pada Gambar 11.18. yang memberikan tinggi gelombang pada kedalaman 10 m sampai mencapai pecah pada kedalaman $d_b=4,21$ m dan tinggi gelombang pecah $H_b=4,27$ m.

Tinggi gelombang yang mungkin terjadi di suatu kedalaman air juga dihitung dengan hubungan $H = 0,78 d$ di mana d adalah kedalaman

air di lokasi yang ditinjau. Hasil hitungan diberikan pada Grafik 2 dalam Gambar 11.18.

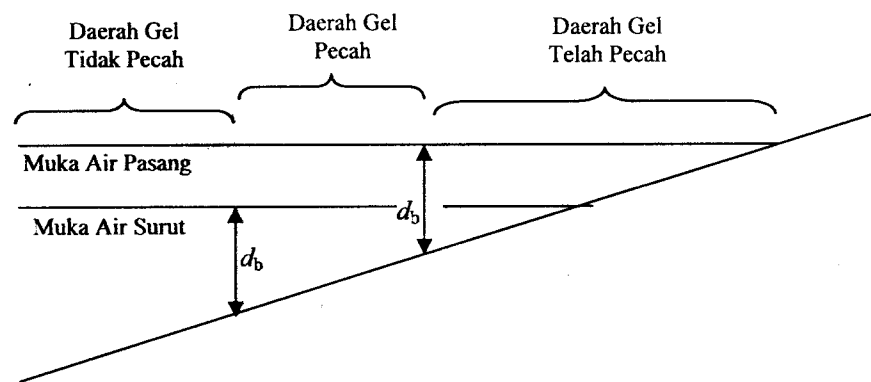
Tinggi gelombang di lokasi bangunan dihitung berdasarkan kedua grafik tersebut. Apabila bangunan berada pada kedalaman lebih besar dari $d_b=4,21$ m maka gelombang menerima serangan gelombang tidak pecah. Tinggi gelombang dapat dihitung berdasar grafik 1. Jika bangunan berada pada kedalaman sekitar $d = 4,21$ m maka bangunan mengalami serangan gelombang pecah, yaitu sebesar $H=4,27$ m. Apabila bangunan berada pada kedalaman kurang dari $d_b=4,21$ m maka bangunan mengalami serangan gelombang telah pecah. Tinggi gelombang mencapai maksimum ketika gelombang tersebut pecah. Setelah pecah gelombang yang menjarlar menuju pantai adalah lebih kecil dari tinggi gelombang pecah. Tinggi gelombang setelah pecah dapat dihitung dengan menggunakan grafik 2.

Pemecah gelombang Pelabuhan Perikanan Baron direncanakan pada kedalaman 0,0 m; sementara elevasi muka air rencana adalah $DWL=3,12$ m; sehingga kedalaman bangunan adalah $d=3,12$ m. Dengan menggunakan grafik 2, untuk $d=3,12$ m diperoleh tinggi gelombang di lokasi bangunan adalah $H=2,6$ m.



Gambar 10.18. Tinggi Gelombang Fungsi Kedalaman Kaki Bangunan

Dalam perencanaan pemecah gelombang perlu diperhatikan adanya pasang surut, sehingga lokasi gelombang pecah selalu berubah dengan elevasi muka air. Untuk itu perlu ditentukan lokasi gelombang pecah pada saat air pasang dan air surut, seperti ditunjukkan dalam Gambar 11.19. Dalam gambar tersebut, untuk tinggi gelombang rencana tertentu akan pecah pada kedalaman, sehingga dapat ditentukan lokasi gelombang pecah pada saat air pasang dan air surut. Lokasi bangunan yang direncanakan disesuaikan dengan lokasi gelombang pecah. Apabila bangunan berada di daerah gelombang pecah maka bangunan direncanakan berdasar tinggi gelombang pecah. Demikian pula apabila bangunan berada di daerah gelombang tidak pecah dan telah pecah. Mengingat bahwa serangan gelombang pecah memberikan energi gelombang yang lebih besar dari gelombang tidak pecah, maka sebaiknya daerah gelombang pecah diperlebar. Pemecah gelombang yang menjorok ke arah laut mempunyai kedalaman yang berbeda, di bagian pangkal pada kedalaman kecil sedang semakin ke arah laut kedalamannya semakin besar. Oleh karena itu beberapa bagian dari pemecah gelombang tersebut direncanakan dengan tinggi gelombang yang berbeda.



Gambar 11.19. Daerah gelombang tidak pecah, pecah dan telah pecah

4. Ukuran pemecah gelombang

a. Run up pada jetty

Run up pada pemecah gelombang dihitung dengan menggunakan Gambar 5.11 (Bab V). Lapis lindung pemecah gelombang direncanakan dari blok beton. Mengingat bahwa dalam Gambar 5.11. tidak ada grafik untuk blok beton, maka untuk hitungan runup gelombang dianggap sama dengan tetrapod. Diketahui tinggi gelombang di lokasi pemecah gelombang adalah $H = 2,6$ m dan periode $T = 10$ detik serta kemiringan struktur 1: 2. Dengan demikian diperoleh angka Iribaren adalah $I_r = 3,8$. Dari grafik untuk lapis lindung tetrapod, diperoleh $Ru/H = 0,9$; sehingga run up $Ru = 2,34$ m.

b. Tinggi pemecah gelombang dari tanah dasar

Tinggi pemecah gelombang dari tanah dasar bervariasi sesuai dengan posisinya dari garis pantai. Dasar pemecah gelombang direncanakan pada elevasi 0,0 m. Tinggi pemecah gelombang adalah:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi pem. Gel.} &= DWL + Ru - \text{elevasi dasar} + \text{freeboard} \\ &= 3,12 + 2,34 + 0,0 + 0,5 \\ &= 5,96 \text{ m} \approx 6,0 \text{ m.} \end{aligned}$$

c. Perhitungan berat butir lapis lindung (W)

Untuk menghitung berat batu lapis lindung digunakan Persamaan (5.1). Untuk blok beton $\gamma_r = 2,4 \text{ ton/m}^3$; koefisien stabilitas $K_D = 5$; berat jenis air laut $\gamma_w = 1,03 \text{ ton/m}^3$ dan $\cot \theta = 2$; maka diperoleh berat blok beton adalah $W = 1,8$ ton. Digunakan kubus beton dengan panjang sisi adalah 1,0 m yang mempunyai berat 2,4 ton.

d. Tebal lapis lindung (t)

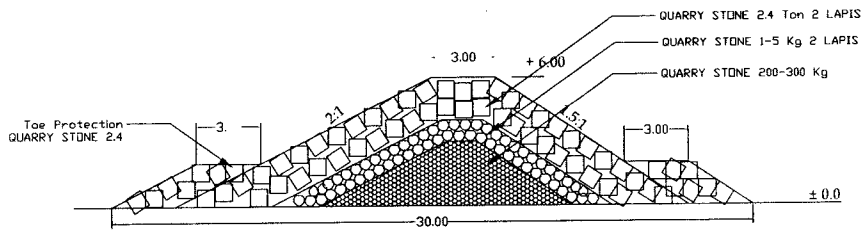
Tebal lapis lindung dihitung dengan persamaan (5.3) untuk jumlah lapis $n = 2$ dan hasilnya adalah $t = 2$ m.

e. Perhitungan lebar Jetty (B)

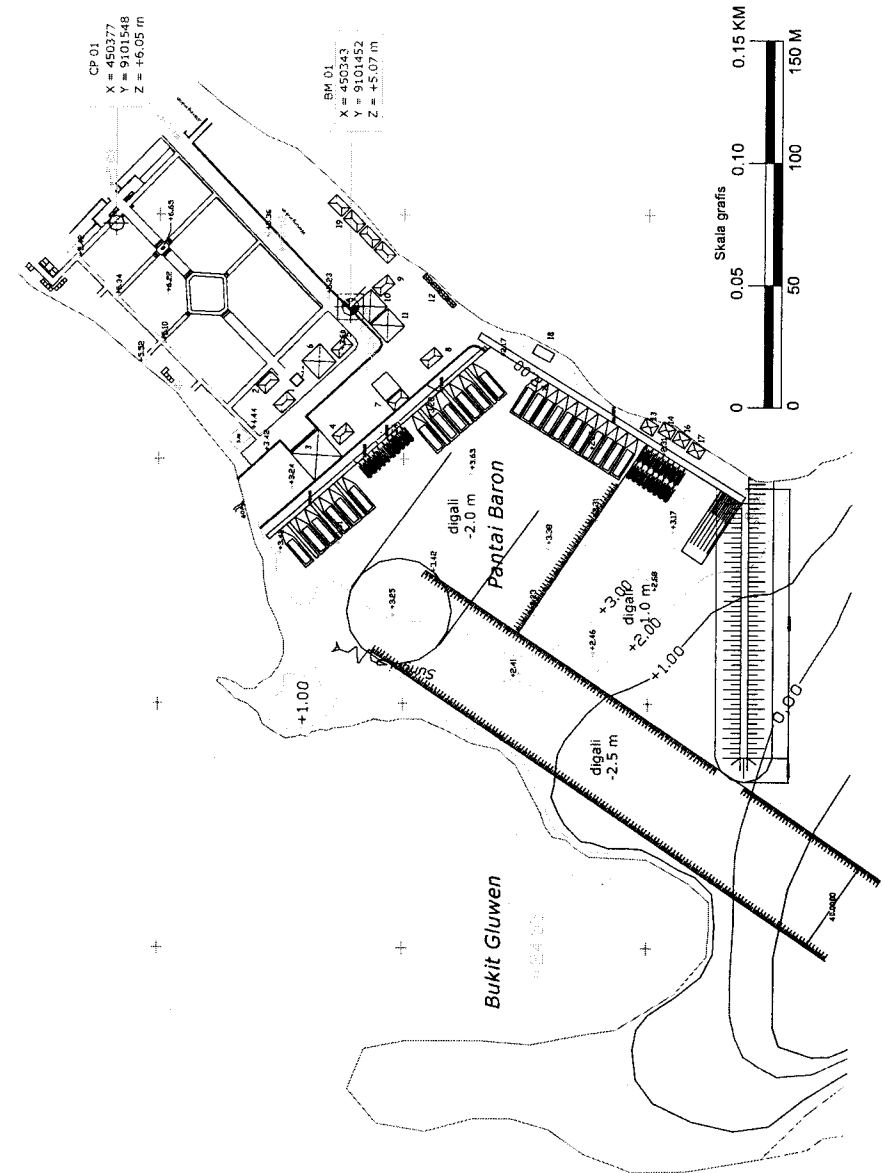
Lebar puncak pemecah gelombang dihitung dengan Persamaan (5.2) dengan jumlah lapis adalah 3, maka diperoleh $B=3$ m.

4. Hasil perencanaan

Berdasar hasil hitungan seperti diberikan di atas, bentuk pemecah gelombang seperti ditunjukkan pada Gambar 11.20, sedang denah pelabuhan diberikan dalam 11.21.



Gambar 11.20. Tampang pemecah gelombang



Gambar 11.21. Tata letak Pelabuhan Baran

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulmuttalip Danuningrat, 1977, *Pelabuhan Bagian I dan II*, Seksi Publikasi Departemen Teknik Sipil ITB, Bandung.
- Amir, MS, 1979, *Peti Kemas – Masalah dan Aplikasinya*, Pustaka Binaman Pressindo, Jakarta
- Anugerah Nontji, 1987, *Laut Nusantara*, Penerbit Djambatan, Jakarta.
- Arcelor Group, 2005, *Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways EAU 2004*, Ernst & Sohn.
- Arcelor Mittal, 2007, *Steel Sheet Piling Harbour Construction Innovative Sheet Pile Solutions for Modern Ports, Mixed Sources*.
- Bambang Triatmodjo, 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Bindra, S.P., 1986, *Dock and Harbour Engineering*, Dhanpat Rai and Sons, Delhi.
- Bowles, J.E., 1977, *Foundation Analysis and Design*, Mc. Graw Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- Bruun, P., 1981, *Port Engineering*, Gulf Publishing Company, London.
- CERC, 1984, *Shore Protection Manual*, US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.
- Diagram Tripoporsi, 2003, *Studi Masterplan Pelabuhan Pupuk Kalimantan Timur*, Jakarta.

Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, 1984, *Design Kriteria Perencanaan Pelabuhan*, Jakarta.

Fakultas Teknik UGM, 1988, *Studi Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Cilincing*, Jakarta Utara, Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta.

Goda, Y., 1985, *Random Seas and Design of Maritime Structures*, University of Tokyo Press, Tokyo.

Graillet, A., 1983, *Travaux Maritimes* Jilid 1,2,3 dan 4, ENTPE Lyon.

Hutama Karya, 2007, *Road and Canal for Batubara Hauling at Tapin*, Kalimantan Tengah.

Hutama Karya, 2008, Tapin Coal Terminal Concept (expected 7 million tons annual production)

Ippen, A.T., 1966, *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, Mc. Graw Hill Book Company, Inc., New York.

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik UGM (JTSL), 2007, *Detail Design Pelabuhan Perikanan Glagah Kulon Progo Yogyakarta*, Kerjasama antara Bappeda Kulon Progo dan JTSL.

Kramadibroto, S., 1985, *Perencanaan Pelabuhan*, Ganeca Exact Bandung.

Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 1991, *Port Planning, Engineering and Administration*.

Pacific Consultants, *Qualification and Experience in Ports and Harbors*, Tokyo.

Pacific Consultants International, 1980, *Report on The In Shore Harbour Facilities For The Aceh Fertilizer Plant Project*.

Pelabuhan Indonesia III, 2000, *Referensi Kepelabuhanan*, Seri 1-11.

Pelabuhan Indonesia III, 2009, *8 Tahun Terminal Peti Kemas Semarang- Menjawab Tantangan Global*, Semarang.

Port and Harbour Research Institute, 1980, *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan*, Ministry of Transport, Japan.

Priyosulistyo, Hrc., Andreas Triwiyono, 2009, *Assessment Breasting Dolphin Pelabuhan Boom Palembang*, Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan - Fakultas Teknik UGM.

Puri Fadjar Mandiri, 1991, *Perencanaan Proyek Pelabuhan Perikanan Cilacap Jawa Tengah*.

Puser Bumi, 2007, *Studi Kelayakan PPI Baron Gunungkidul*, Dinas Perikanan dan Kelautan Propinsi DIY.

Pustek Kelautan UGM, 2003, *Studi Masterplan Pelabuhan Perikanan Glagah Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta*, Kerjasama Pustek Kelautan UGM dengan Dinas Perikanan dan Kelautan DIY.

Quinn A. Def., 1972, *Design and Construction of Port and Marine Structures*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.

Rudy Setiawan, Budisetyono Tedjakusuma, Yoseph Andika Hendrasetia, Fenny Lukito, 2007, *Simulasi Sistem Penanganan di Lapangan Penumpukan Peti Kemas*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Kristen Petra

Schwartz, M.L., 1986, *The Encyclopedia of Beaches and Coastline Environments*, Hutchinson Ross Publishing Company, Pennsylvania.

Soediro, *Diktat Pelabuhan*.

Sorensen, R.M., 1978, *Basic Coastal Engineering*, John Wiley and Sons, New York.

Subandi, 1991, *Manajemen Peti Kemas*, Penerbit Arcan

Sudjatmiko, FDC, 1985, *Pokok-pokok Pelayaran Niaga*, Akademika Pressindo, Jakarta.

Thoresen, CA., 2003, *Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines*, Thomas Telford, London

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 1992 tentang Pelayaran.

Waja Utama, 2006, *Study Kelayakan Pembangunan Pelabuhan Teluk Tomini*, Gorontalo.

Wiegel R.L., 1964, *Oceanographical Engineering*, Prentice Hall Inc./
Englewood Cliffs, NJ.

Yosep Bahari, 2008, *Perancangan Dermaga Pelabuhan TNI Angkatan
Laut untuk Kapal Pemukul Kawal Rudal (PKR) Kulon Progo Yog-
yakarta*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas
Teknik Universitas Gadjah Mada.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Tabel A-1. Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0	0	0	0	0	1	∞	1	0	0	1	1
0.0001	0.00399	0.0251	0.0251	0.0251	1.0003	4.467	0.9997	0.0501	0.0502	1.001	0.9998
0.0002	0.00564	0.0355	0.0354	0.0355	1.0006	3.757	0.9994	0.0709	0.0710	1.003	0.9996
0.0003	0.00691	0.0434	0.0434	0.0434	1.0009	3.395	0.9991	0.0869	0.0870	1.004	0.9994
0.0004	0.00798	0.0502	0.0501	0.0502	1.0013	3.160	0.9987	0.1003	0.1005	1.005	0.9992
0.0005	0.00893	0.0561	0.0560	0.0561	1.0016	2.989	0.9984	0.1122	0.1124	1.006	0.9990
0.0006	0.00978	0.0614	0.0614	0.0615	1.0019	2.856	0.9981	0.1229	0.1232	1.008	0.9987
0.0007	0.01056	0.0664	0.0663	0.0664	1.0022	2.749	0.9978	0.1327	0.1331	1.009	0.9985
0.0008	0.01129	0.0710	0.0708	0.0710	1.0025	2.659	0.9975	0.1419	0.1424	1.010	0.9983
0.0009	0.01198	0.0753	0.0751	0.0753	1.0028	2.582	0.9972	0.1505	0.1511	1.011	0.9981
0.0010	0.01263	0.0793	0.0792	0.0794	1.0031	2.515	0.9969	0.1587	0.1594	1.013	0.9979
0.0011	0.01325	0.0832	0.0830	0.0833	1.0035	2.457	0.9965	0.1665	0.1672	1.014	0.9977
0.0012	0.01384	0.0869	0.0867	0.0871	1.0038	2.404	0.9962	0.1739	0.1748	1.015	0.9975
0.0013	0.01440	0.0905	0.0903	0.0906	1.0041	2.357	0.9959	0.1810	0.1820	1.016	0.9973
0.0014	0.01495	0.0939	0.0937	0.0941	1.0044	2.314	0.9956	0.1879	0.1890	1.018	0.9971
0.0015	0.01548	0.0972	0.0969	0.0974	1.0047	2.275	0.9953	0.1945	0.1957	1.019	0.9969
0.0016	0.01598	0.1004	0.1001	0.1006	1.0050	2.239	0.9950	0.2009	0.2022	1.020	0.9967
0.0017	0.01648	0.1035	0.1032	0.1037	1.0054	2.205	0.9947	0.2071	0.2086	1.022	0.9964
0.0018	0.01696	0.1065	0.1061	0.1067	1.0057	2.174	0.9944	0.2131	0.2147	1.023	0.9962
0.0019	0.01742	0.1095	0.1090	0.1097	1.0060	2.146	0.9940	0.2190	0.2207	1.024	0.9960
0.0020	0.01788	0.1123	0.1119	0.1126	1.0063	2.119	0.9937	0.2247	0.2266	1.025	0.9958
0.0021	0.01832	0.1151	0.1146	0.1154	1.0066	2.093	0.9934	0.2302	0.2323	1.027	0.9956
0.0022	0.01876	0.1178	0.1173	0.1181	1.0070	2.069	0.9931	0.2357	0.2379	1.028	0.9954
0.0023	0.01918	0.1205	0.1199	0.1208	1.0073	2.047	0.9928	0.2410	0.2433	1.029	0.9952
0.0024	0.01959	0.1231	0.1225	0.1234	1.0076	2.025	0.9925	0.2462	0.2487	1.030	0.9950
0.0025	0.02000	0.1257	0.1250	0.1260	1.0079	2.005	0.9922	0.2513	0.2540	1.032	0.9948
0.0026	0.02040	0.1282	0.1275	0.1285	1.0082	1.986	0.9918	0.2563	0.2591	1.033	0.9946
0.0027	0.02079	0.1306	0.1299	0.1310	1.0085	1.968	0.9915	0.2612	0.2642	1.034	0.9944
0.0028	0.02117	0.1330	0.1322	0.1334	1.0089	1.950	0.9912	0.2661	0.2692	1.036	0.9941
0.0029	0.02155	0.1354	0.1346	0.1358	1.0092	1.933	0.9909	0.2708	0.2741	1.037	0.9939

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0030	0.02192	0.1377	0.1369	0.1382	1.0095	1.917	0.9906	0.2755	0.2789	1.038	0.9937
0.0031	0.02228	0.1400	0.1391	0.1405	1.0098	1.902	0.9903	0.2800	0.2837	1.039	0.9935
0.0032	0.02264	0.1423	0.1413	0.1428	1.0101	1.887	0.9900	0.2845	0.2884	1.041	0.9933
0.0033	0.02300	0.1445	0.1435	0.1450	1.0105	1.873	0.9897	0.2890	0.2930	1.042	0.9931
0.0034	0.02335	0.1467	0.1456	0.1472	1.0108	1.859	0.9893	0.2934	0.2976	1.043	0.9929
0.0035	0.02369	0.1488	0.1478	0.1494	1.0111	1.846	0.9890	0.2977	0.3021	1.045	0.9927
0.0036	0.02403	0.1510	0.1498	0.1515	1.0114	1.834	0.9887	0.3019	0.3065	1.046	0.9925
0.0037	0.02436	0.1531	0.1519	0.1537	1.0117	1.821	0.9884	0.3061	0.3109	1.047	0.9923
0.0038	0.02469	0.1551	0.1539	0.1558	1.0121	1.810	0.9881	0.3103	0.3153	1.049	0.9921
0.0039	0.02502	0.1572	0.1559	0.1578	1.0124	1.798	0.9878	0.3144	0.3196	1.050	0.9919
0.0040	0.02534	0.1592	0.1579	0.1599	1.0127	1.787	0.9875	0.3184	0.3238	1.051	0.9917
0.0041	0.02565	0.1612	0.1598	0.1619	1.0130	1.776	0.9871	0.3224	0.3280	1.052	0.9914
0.0042	0.02597	0.1632	0.1617	0.1639	1.0133	1.766	0.9868	0.3263	0.3322	1.054	0.9912
0.0043	0.02628	0.1651	0.1636	0.1659	1.0137	1.756	0.9865	0.3302	0.3363	1.055	0.9910
0.0044	0.02659	0.1670	0.1655	0.1678	1.0140	1.746	0.9862	0.3341	0.3403	1.056	0.9908
0.0045	0.02689	0.1689	0.1674	0.1698	1.0143	1.737	0.9859	0.3379	0.3444	1.058	0.9906
0.0046	0.02719	0.1708	0.1692	0.1717	1.0146	1.727	0.9856	0.3417	0.3483	1.059	0.9904
0.0047	0.02749	0.1727	0.1710	0.1736	1.0149	1.718	0.9853	0.3454	0.3523	1.060	0.9902
0.0048	0.02778	0.1745	0.1728	0.1754	1.0153	1.710	0.9850	0.3491	0.3562	1.062	0.9900
0.0049	0.02807	0.1764	0.1746	0.1773	1.0156	1.701	0.9846	0.3527	0.3601	1.063	0.9898
0.0050	0.02836	0.1782	0.1763	0.1791	1.0159	1.693	0.9843	0.3564	0.3639	1.064	0.9896
0.0051	0.02864	0.1800	0.1781	0.1809	1.0162	1.685	0.9840	0.3599	0.3678	1.065	0.9894
0.0052	0.02893	0.1817	0.1798	0.1827	1.0166	1.677	0.9837	0.3635	0.3715	1.067	0.9892
0.0053	0.02921	0.1835	0.1815	0.1845	1.0169	1.669	0.9834	0.3670	0.3753	1.068	0.9889
0.0054	0.02948	0.1852	0.1832	0.1863	1.0172	1.662	0.9831	0.3705	0.3790	1.069	0.9887
0.0055	0.02976	0.1870	0.1848	0.1881	1.0175	1.654	0.9828	0.3739	0.3827	1.071	0.9885
0.0056	0.03003	0.1887	0.1865	0.1898	1.0179	1.647	0.9825	0.3774	0.3864	1.072	0.9883
0.0057	0.03030	0.1904	0.1881	0.1915	1.0182	1.640	0.9821	0.3808	0.3900	1.073	0.9881
0.0058	0.03057	0.1921	0.1897	0.1932	1.0185	1.633	0.9818	0.3841	0.3936	1.075	0.9879
0.0059	0.03083	0.1937	0.1913	0.1949	1.0188	1.627	0.9815	0.3875	0.3972	1.076	0.9877

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0060	0.03110	0.1954	0.1929	0.1966	1.0191	1.620	0.9812	0.3908	0.4008	1.077	0.9875
0.0061	0.03136	0.1970	0.1945	0.1983	1.0195	1.614	0.9809	0.3941	0.4043	1.079	0.9873
0.0062	0.03162	0.1987	0.1961	0.2000	1.0198	1.607	0.9806	0.3973	0.4079	1.080	0.9871
0.0063	0.03188	0.2003	0.1976	0.2016	1.0201	1.601	0.9803	0.4006	0.4114	1.081	0.9869
0.0064	0.03213	0.2019	0.1992	0.2033	1.0204	1.595	0.9800	0.4038	0.4148	1.083	0.9867
0.0065	0.03238	0.2035	0.2007	0.2049	1.0208	1.589	0.9796	0.4070	0.4183	1.084	0.9865
0.0066	0.03264	0.2051	0.2022	0.2065	1.0211	1.583	0.9793	0.4101	0.4217	1.085	0.9863
0.0067	0.03289	0.2066	0.2037	0.2081	1.0214	1.578	0.9790	0.4133	0.4251	1.087	0.9860
0.0068	0.03313	0.2082	0.2052	0.2097	1.0217	1.572	0.9787	0.4164	0.4285	1.088	0.9858
0.0069	0.03338	0.2097	0.2067	0.2113	1.0221	1.567	0.9784	0.4195	0.4319	1.089	0.9856
0.0070	0.03362	0.2113	0.2082	0.2128	1.0224	1.561	0.9781	0.4225	0.4352	1.091	0.9854
0.0071	0.03387	0.2128	0.2096	0.2144	1.0227	1.556	0.9778	0.4256	0.4386	1.092	0.9852
0.0072	0.03411	0.2143	0.2111	0.2160	1.0231	1.551	0.9775	0.4286	0.4419	1.093	0.9850
0.0073	0.03435	0.2158	0.2125	0.2175	1.0234	1.546	0.9772	0.4316	0.4452	1.095	0.9848
0.0074	0.03459	0.2173	0.2140	0.2190	1.0237	1.541	0.9768	0.4346	0.4484	1.096	0.9846
0.0075	0.03482	0.2188	0.2154	0.2206	1.0240	1.536	0.9765	0.4376	0.4517	1.097	0.9844
0.0076	0.03506	0.2203	0.2168	0.2221	1.0244	1.531	0.9762	0.4406	0.4549	1.099	0.9842
0.0077	0.03529	0.2217	0.2182	0.2236	1.0247	1.526	0.9759	0.4435	0.4582	1.100	0.9840
0.0078	0.03552	0.2232	0.2196	0.2251	1.0250	1.521	0.9756	0.4464	0.4614	1.101	0.9838
0.0079	0.03575	0.2247	0.2209	0.2265	1.0253	1.517	0.9753	0.4493	0.4646	1.103	0.9836
0.0080	0.03598	0.2261	0.2223	0.2280	1.0257	1.512	0.9750	0.4522	0.4678	1.104	0.9834
0.0081	0.03621	0.2275	0.2237	0.2295	1.0260	1.508	0.9747	0.4551	0.4709	1.105	0.9832
0.0082	0.03644	0.2290	0.2250	0.2310	1.0263	1.503	0.9744	0.4579	0.4741	1.107	0.9829
0.0083	0.03666	0.2304	0.2264	0.2324	1.0267	1.499	0.9740	0.4607	0.4772	1.108	0.9827
0.0084	0.03689	0.2318	0.2277	0.2339	1.0270	1.495	0.9737	0.4636	0.4803	1.109	0.9825
0.0085	0.03711	0.2332	0.2290	0.2353	1.0273	1.491	0.9734	0.4664	0.4834	1.111	0.9823
0.0086	0.03733	0.2346	0.2304	0.2367	1.0276	1.487	0.9731	0.4691	0.4865	1.112	0.9821
0.0087	0.03755	0.2360	0.2317	0.2381	1.0280	1.483	0.9728	0.4719	0.4896	1.113	0.9819
0.0088	0.03777	0.2373	0.2330	0.2396	1.0283	1.479	0.9725	0.4747	0.4927	1.115	0.9817
0.0089	0.03799	0.2387	0.2343	0.2410	1.0286	1.475	0.9722	0.4774	0.4957	1.116	0.9815

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0090	0.03821	0.2401	0.2356	0.2424	1.0290	1.471	0.9719	0.4801	0.4988	1.117	0.9813
0.0091	0.03842	0.2414	0.2368	0.2438	1.0293	1.467	0.9715	0.4828	0.5018	1.119	0.9811
0.0092	0.03864	0.2428	0.2381	0.2452	1.0296	1.463	0.9712	0.4855	0.5048	1.120	0.9809
0.0093	0.03885	0.2441	0.2394	0.2465	1.0299	1.459	0.9709	0.4882	0.5078	1.122	0.9807
0.0094	0.03906	0.2454	0.2406	0.2479	1.0303	1.456	0.9706	0.4909	0.5108	1.123	0.9805
0.0095	0.03928	0.2468	0.2419	0.2493	1.0306	1.452	0.9703	0.4935	0.5138	1.124	0.9803
0.0096	0.03949	0.2481	0.2431	0.2506	1.0309	1.449	0.9700	0.4962	0.5168	1.126	0.9801
0.0097	0.03969	0.2494	0.2444	0.2520	1.0313	1.445	0.9697	0.4988	0.5198	1.127	0.9799
0.0098	0.03990	0.2507	0.2456	0.2534	1.0316	1.442	0.9694	0.5014	0.5227	1.128	0.9796
0.0099	0.04011	0.2520	0.2468	0.2547	1.0319	1.438	0.9691	0.5040	0.5257	1.130	0.9794
0.0100	0.04032	0.2533	0.2480	0.2560	1.0323	1.435	0.9688	0.5066	0.5286	1.131	0.9792
0.0110	0.04233	0.2660	0.2599	0.2691	1.0356	1.403	0.9656	0.5319	0.5574	1.145	0.9772
0.0120	0.04426	0.2781	0.2711	0.2817	1.0389	1.375	0.9625	0.5562	0.5853	1.159	0.9751
0.0130	0.04612	0.2897	0.2819	0.2938	1.0423	1.350	0.9594	0.5795	0.6125	1.173	0.9731
0.0140	0.04791	0.3010	0.2922	0.3056	1.0456	1.327	0.9563	0.6020	0.6390	1.187	0.9710
0.0150	0.04964	0.3119	0.3022	0.3170	1.0490	1.307	0.9533	0.6238	0.6651	1.201	0.9690
0.0160	0.05132	0.3225	0.3117	0.3281	1.0524	1.288	0.9502	0.6450	0.6906	1.215	0.9669
0.0170	0.05296	0.3328	0.3210	0.3389	1.0559	1.271	0.9471	0.6655	0.7157	1.230	0.9649
0.0180	0.05455	0.3428	0.3299	0.3495	1.0593	1.255	0.9440	0.6855	0.7405	1.244	0.9629
0.0190	0.05611	0.3525	0.3386	0.3599	1.0628	1.240	0.9409	0.7051	0.7650	1.259	0.9609
0.0200	0.05763	0.3621	0.3471	0.3701	1.0663	1.226	0.9378	0.7242	0.7892	1.274	0.9588
0.0210	0.05911	0.3714	0.3552	0.3800	1.0698	1.213	0.9348	0.7429	0.8131	1.289	0.9568
0.0220	0.06057	0.3806	0.3632	0.3898	1.0733	1.201	0.9317	0.7612	0.8368	1.304	0.9548
0.0230	0.06200	0.3896	0.3710	0.3995	1.0768	1.189	0.9286	0.7791	0.8603	1.319	0.9528
0.0240	0.06340	0.3984	0.3785	0.4090	1.0804	1.179	0.9256	0.7967	0.8837	1.335	0.9508
0.0250	0.06478	0.4070	0.3859	0.4183	1.0840	1.169	0.9225	0.8140	0.9070	1.350	0.9488
0.0260	0.06613	0.4155	0.3932	0.4276	1.0876	1.159	0.9195	0.8310	0.9301	1.366	0.9468
0.0270	0.06747	0.4239	0.4002	0.4367	1.0912	1.150	0.9164	0.8478	0.9531	1.381	0.9448
0.0280	0.06878	0.4321	0.4071	0.4457	1.0948	1.141	0.9134	0.8643	0.9760	1.397	0.9428
0.0290	0.07007	0.4403	0.4139	0.4546	1.0985	1.133	0.9103	0.8805	0.9988	1.413	0.9408

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0300	0.07135	0.4483	0.4205	0.4634	1.1022	1.125	0.9073	0.8966	1.0216	1.430	0.9388
0.0310	0.07260	0.4562	0.4270	0.4722	1.1059	1.118	0.9043	0.9124	1.0443	1.446	0.9368
0.0320	0.07385	0.4640	0.4333	0.4808	1.1096	1.111	0.9012	0.9280	1.0670	1.462	0.9348
0.0330	0.07507	0.4717	0.4396	0.4894	1.1133	1.104	0.8982	0.9434	1.0897	1.479	0.9329
0.0340	0.07629	0.4793	0.4457	0.4979	1.1171	1.098	0.8952	0.9586	1.1124	1.496	0.9309
0.0350	0.07748	0.4868	0.4517	0.5063	1.1209	1.092	0.8922	0.9737	1.1350	1.513	0.9289
0.0360	0.07867	0.4943	0.4576	0.5147	1.1247	1.086	0.8892	0.9886	1.1577	1.530	0.9270
0.0370	0.07984	0.5017	0.4634	0.5230	1.1285	1.080	0.8861	1.0033	1.1803	1.547	0.9250
0.0380	0.08100	0.5089	0.4691	0.5312	1.1323	1.075	0.8831	1.0179	1.2030	1.564	0.9231
0.0390	0.08215	0.5162	0.4747	0.5394	1.1362	1.069	0.8801	1.0323	1.2257	1.582	0.9211
0.0400	0.08329	0.5233	0.4803	0.5475	1.1401	1.064	0.8771	1.0466	1.2485	1.600	0.9192
0.0410	0.08442	0.5304	0.4857	0.5556	1.1440	1.059	0.8741	1.0608	1.2713	1.617	0.9172
0.0420	0.08553	0.5374	0.4910	0.5637	1.1479	1.055	0.8711	1.0748	1.2941	1.635	0.9153
0.0430	0.08664	0.5444	0.4963	0.5717	1.1519	1.050	0.8682	1.0888	1.3170	1.654	0.9134
0.0440	0.08774	0.5513	0.5015	0.5796	1.1558	1.046	0.8652	1.1026	1.3399	1.672	0.9114
0.0450	0.08883	0.5581	0.5066	0.5876	1.1598	1.042	0.8622	1.1163	1.3630	1.690	0.9095
0.0460	0.08991	0.5649	0.5116	0.5955	1.1639	1.038	0.8592	1.1298	1.3860	1.709	0.9076
0.0470	0.09098	0.5717	0.5166	0.6033	1.1679	1.034	0.8562	1.1433	1.4092	1.728	0.9057
0.0480	0.09205	0.5784	0.5215	0.6111	1.1720	1.030	0.8533	1.1567	1.4325	1.747	0.9037
0.0490	0.09311	0.5850	0.5263	0.6189	1.1760	1.026	0.8503	1.1700	1.4558	1.766	0.9018
0.0500	0.09415	0.5916	0.5310	0.6267	1.1802	1.023	0.8473	1.1832	1.4792	1.786	0.8999
0.0510	0.09520	0.5981	0.5357	0.6345	1.1843	1.019	0.8444	1.1963	1.5028	1.805	0.8980
0.0520	0.09623	0.6047	0.5404	0.6422	1.1884	1.016	0.8414	1.2093	1.5264	1.825	0.8961
0.0530	0.09726	0.6111	0.5449	0.6499	1.1926	1.013	0.8385	1.2222	1.5501	1.845	0.8942
0.0540	0.09829	0.6175	0.5494	0.6576	1.1968	1.010	0.8355	1.2351	1.5739	1.865	0.8924
0.0550	0.09930	0.6239	0.5539	0.6652	1.2010	1.007	0.8326	1.2479	1.5979	1.885	0.8905
0.0560	0.10031	0.6303	0.5583	0.6729	1.2053	1.004	0.8297	1.2606	1.6220	1.905	0.8886
0.0570	0.10132	0.6366	0.5626	0.6805	1.2096	1.001	0.8267	1.2732	1.6462	1.926	0.8867
0.0580	0.10232	0.6429	0.5669	0.6881	1.2139	0.998	0.8238	1.2858	1.6705	1.947	0.8848
0.0590	0.10331	0.6491	0.5711	0.6957	1.2182	0.996	0.8209	1.2983	1.6950	1.968	0.8830

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0600	0.10430	0.6553	0.5753	0.7033	1.2225	0.993	0.8180	1.3107	1.7195	1.989	0.8811
0.0610	0.10529	0.6615	0.5794	0.7108	1.2269	0.991	0.8151	1.3231	1.7443	2.011	0.8793
0.0620	0.10626	0.6677	0.5835	0.7184	1.2313	0.988	0.8121	1.3354	1.7691	2.032	0.8774
0.0630	0.10724	0.6738	0.5875	0.7260	1.2357	0.986	0.8092	1.3476	1.7942	2.054	0.8756
0.0640	0.10821	0.6799	0.5915	0.7335	1.2402	0.984	0.8063	1.3598	1.8193	2.076	0.8737
0.0650	0.10917	0.6860	0.5954	0.7410	1.2446	0.981	0.8034	1.3719	1.8446	2.098	0.8719
0.0660	0.11014	0.6920	0.5993	0.7486	1.2491	0.979	0.8006	1.3840	1.8701	2.121	0.8700
0.0670	0.11109	0.6980	0.6031	0.7561	1.2537	0.977	0.7977	1.3960	1.8958	2.143	0.8682
0.0680	0.11204	0.7040	0.6069	0.7636	1.2582	0.975	0.7948	1.4080	1.9216	2.166	0.8664
0.0690	0.11299	0.7100	0.6107	0.7711	1.2628	0.973	0.7919	1.4199	1.9475	2.189	0.8645
0.0700	0.11394	0.7159	0.6144	0.7786	1.2674	0.971	0.7890	1.4318	1.9737	2.213	0.8627
0.0710	0.11488	0.7218	0.6180	0.7861	1.2720	0.969	0.7862	1.4436	2.0000	2.236	0.8609
0.0720	0.11582	0.7277	0.6217	0.7937	1.2767	0.968	0.7833	1.4554	2.0265	2.260	0.8591
0.0730	0.11675	0.7336	0.6253	0.8012	1.2814	0.966	0.7804	1.4672	2.0532	2.284	0.8573
0.0740	0.11768	0.7394	0.6288	0.8087	1.2861	0.964	0.7776	1.4789	2.0800	2.308	0.8555
0.0750	0.11861	0.7453	0.6323	0.8162	1.2908	0.962	0.7747	1.4905	2.1071	2.332	0.8537
0.0760	0.11954	0.7511	0.6358	0.8237	1.2956	0.961	0.7719	1.5021	2.1343	2.357	0.8519
0.0770	0.12046	0.7569	0.6392	0.8312	1.3004	0.959	0.7690	1.5137	2.1618	2.382	0.8501
0.0780	0.12138	0.7626	0.6426	0.8387	1.3052	0.958	0.7662	1.5253	2.1894	2.407	0.8483
0.0790	0.12229	0.7684	0.6460	0.8463	1.3100	0.956	0.7633	1.5368	2.2173	2.432	0.8465
0.0800	0.12321	0.7741	0.6493	0.8538	1.3149	0.955	0.7605	1.5482	2.2453	2.458	0.8448
0.0810	0.12412	0.7798	0.6526	0.8613	1.3198	0.953	0.7577	1.5597	2.2736	2.484	0.8430
0.0820	0.12502	0.7855	0.6559	0.8689	1.3247	0.952	0.7549	1.5711	2.3020	2.510	0.8412
0.0830	0.12593	0.7912	0.6591	0.8764	1.3297	0.951	0.7521	1.5825	2.3307	2.536	0.8395
0.0840	0.12683	0.7969	0.6623	0.8840	1.3347	0.949	0.7492	1.5938	2.3596	2.563	0.8377
0.0850	0.12773	0.8026	0.6655	0.8915	1.3397	0.948	0.7464	1.6051	2.3888	2.590	0.8360
0.0860	0.12863	0.8082	0.6686	0.8991	1.3448	0.947	0.7436	1.6164	2.4181	2.617	0.8342
0.0870	0.12952	0.8138	0.6717	0.9067	1.3498	0.946	0.7408	1.6276	2.4477	2.644	0.8325
0.0880	0.13042	0.8194	0.6748	0.9143	1.3549	0.944	0.7380	1.6389	2.4776	2.672	0.8307
0.0890	0.13131	0.8250	0.6778	0.9219	1.3601	0.943	0.7352	1.6501	2.5076	2.700	0.8290

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0900	0.13220	0.8306	0.6808	0.9295	1.3653	0.942	0.7325	1.6612	2.5379	2.728	0.8273
0.0910	0.13308	0.8362	0.6838	0.9371	1.3705	0.941	0.7297	1.6724	2.5685	2.756	0.8256
0.0920	0.13397	0.8417	0.6867	0.9447	1.3757	0.940	0.7269	1.6835	2.5993	2.785	0.8238
0.0930	0.13485	0.8473	0.6897	0.9524	1.3809	0.939	0.7241	1.6946	2.6304	2.814	0.8221
0.0940	0.13573	0.8528	0.6925	0.9600	1.3862	0.938	0.7214	1.7057	2.6617	2.843	0.8204
0.0950	0.13661	0.8584	0.6954	0.9677	1.3916	0.937	0.7186	1.7167	2.6932	2.873	0.8187
0.0960	0.13749	0.8639	0.6982	0.9754	1.3969	0.936	0.7159	1.7277	2.7251	2.903	0.8170
0.0970	0.13836	0.8694	0.7011	0.9831	1.4023	0.935	0.7131	1.7387	2.7572	2.933	0.8153
0.0980	0.13924	0.8749	0.7038	0.9908	1.4077	0.934	0.7104	1.7497	2.7896	2.963	0.8136
0.0990	0.14011	0.8803	0.7066	0.9985	1.4132	0.934	0.7076	1.7607	2.8222	2.994	0.8119
0.1000	0.14098	0.8858	0.7093	1.0063	1.4187	0.933	0.7049	1.7716	2.8551	3.025	0.8102
0.1010	0.14185	0.8913	0.7120	1.0140	1.4242	0.932	0.7022	1.7825	2.8884	3.057	0.8086
0.1020	0.14272	0.8967	0.7147	1.0218	1.4297	0.931	0.6994	1.7934	2.9219	3.088	0.8069
0.1030	0.14358	0.9022	0.7174	1.0296	1.4353	0.930	0.6967	1.8043	2.9557	3.120	0.8052
0.1040	0.14445	0.9076	0.7200	1.0374	1.4409	0.930	0.6940	1.8152	2.9897	3.153	0.8036
0.1050	0.14531	0.9130	0.7226	1.0453	1.4466	0.929	0.6913	1.8260	3.0241	3.185	0.8019
0.1060	0.14617	0.9184	0.7252	1.0531	1.4523	0.928	0.6886	1.8369	3.0588	3.218	0.8003
0.1070	0.14704	0.9239	0.7277	1.0610	1.4580	0.928	0.6859	1.8477	3.0938	3.251	0.7986
0.1080	0.14790	0.9293	0.7302	1.0689	1.4637	0.927	0.6832	1.8585	3.1291	3.285	0.7970
0.1090	0.14875	0.9346	0.7328	1.0768	1.4695	0.926	0.6805	1.8693	3.1648	3.319	0.7953
0.1100	0.14961	0.9400	0.7352	1.0847	1.4753	0.926	0.6778	1.8801	3.2007	3.353	0.7937
0.1110	0.15047	0.9454	0.7377	1.0927	1.4812	0.925	0.6751	1.8908	3.2370	3.388	0.7921
0.1120	0.15132	0.9508	0.7401	1.1007	1.4871	0.924	0.6725	1.9016	3.2736	3.423	0.7904
0.1130	0.15218	0.9562	0.7426	1.1087	1.4930	0.924	0.6698	1.9123	3.3105	3.458	0.7888
0.1140	0.15303	0.9615	0.7450	1.1167	1.4990	0.923	0.6671	1.9230	3.3478	3.494	0.7872
0.1150	0.15388	0.9669	0.7473	1.1247	1.5050	0.923	0.6645	1.9337	3.3854	3.530	0.7856
0.1160	0.15473	0.9722	0.7497	1.1328	1.5110	0.922	0.6618	1.9444	3.4233	3.566	0.7840
0.1170	0.15558	0.9776	0.7520	1.1409	1.5171	0.922	0.6592	1.9551	3.4616	3.603	0.7824
0.1180	0.15643	0.9829	0.7543	1.1490	1.5232	0.921	0.6565	1.9658	3.5003	3.640	0.7808
0.1190	0.15728	0.9882	0.7566	1.1571	1.5294	0.921	0.6539	1.9765	3.5393	3.678	0.7792

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1200	0.15813	0.9936	0.7589	1.1653	1.5355	0.920	0.6512	1.9871	3.5787	3.716	0.7776
0.1210	0.15898	0.9989	0.7611	1.1735	1.5418	0.920	0.6486	1.9978	3.6184	3.754	0.7761
0.1220	0.15982	1.0042	0.7633	1.1817	1.5480	0.920	0.6460	2.0084	3.6585	3.793	0.7745
0.1230	0.16067	1.0095	0.7656	1.1899	1.5543	0.919	0.6434	2.0190	3.6990	3.832	0.7729
0.1240	0.16151	1.0148	0.7677	1.1982	1.5607	0.919	0.6408	2.0296	3.7399	3.871	0.7713
0.1250	0.16236	1.0201	0.7699	1.2065	1.5670	0.918	0.6381	2.0402	3.7812	3.911	0.7698
0.1260	0.16320	1.0254	0.7721	1.2148	1.5734	0.918	0.6355	2.0508	3.8228	3.951	0.7682
0.1270	0.16404	1.0307	0.7742	1.2231	1.5799	0.918	0.6330	2.0614	3.8649	3.992	0.7667
0.1280	0.16488	1.0360	0.7763	1.2315	1.5864	0.917	0.6304	2.0720	3.9074	4.033	0.7651
0.1290	0.16573	1.0413	0.7784	1.2399	1.5929	0.917	0.6278	2.0826	3.9502	4.075	0.7636
0.1300	0.16657	1.0466	0.7805	1.2484	1.5995	0.917	0.6252	2.0931	3.9935	4.117	0.7621
0.1310	0.16741	1.0518	0.7825	1.2568	1.6061	0.917	0.6226	2.1037	4.0372	4.159	0.7605
0.1320	0.16825	1.0571	0.7846	1.2653	1.6128	0.916	0.6201	2.1143	4.0813	4.202	0.7590
0.1330	0.16909	1.0624	0.7866	1.2738	1.6195	0.916	0.6175	2.1248	4.1259	4.245	0.7575
0.1340	0.16993	1.0677	0.7886	1.2824	1.6262	0.916	0.6149	2.1353	4.1709	4.289	0.7560
0.1350	0.17076	1.0729	0.7906	1.2910	1.6330	0.916	0.6124	2.1459	4.2163	4.333	0.7545
0.1360	0.17160	1.0782	0.7925	1.2996	1.6398	0.915	0.6098	2.1564	4.2622	4.378	0.7530
0.1370	0.17244	1.0835	0.7945	1.3082	1.6467	0.915	0.6073	2.1669	4.3085	4.423	0.7515
0.1380	0.17328	1.0887	0.7964	1.3169	1.6536	0.915	0.6048	2.1775	4.3553	4.469	0.7500
0.1390	0.17411	1.0940	0.7983	1.3256	1.6605	0.915	0.6022	2.1880	4.4025	4.515	0.7485
0.1400	0.17495	1.0992	0.8002	1.3344	1.6675	0.915	0.5997	2.1985	4.4502	4.561	0.7470
0.1410	0.17579	1.1045	0.8021	1.3432	1.6745	0.914	0.5972	2.2090	4.4984	4.608	0.7455
0.1420	0.17662	1.1098	0.8040	1.3520	1.6816	0.914	0.5947	2.2195	4.5470	4.656	0.7441
0.1430	0.17746	1.1150	0.8058	1.3608	1.6887	0.914	0.5922	2.2300	4.5962	4.704	0.7426
0.1440	0.17829	1.1203	0.8077	1.3697	1.6959	0.914	0.5897	2.2405	4.6458	4.752	0.7411
0.1450	0.17913	1.1255	0.8095	1.3786	1.7031	0.914	0.5872	2.2510	4.6960	4.801	0.7397
0.1460	0.17996	1.1307	0.8113	1.3876	1.7104	0.914	0.5847	2.2615	4.7466	4.851	0.7382
0.1470	0.18080	1.1360	0.8131	1.3966	1.7177	0.914	0.5822	2.2720	4.7977	4.901	0.7368
0.1480	0.18163	1.1412	0.8148	1.4056	1.7250	0.914	0.5797	2.2825	4.8494	4.951	0.7353
0.1490	0.18247	1.1465	0.8166	1.4147	1.7324	0.913	0.5772	2.2930	4.9016	5.003	0.7339

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1500	0.18330	1.1517	0.8183	1.4238	1.7399	0.913	0.5748	2.3034	4.9543	5.054	0.7325
0.1510	0.18414	1.1570	0.8200	1.4329	1.7473	0.913	0.5723	2.3139	5.0076	5.106	0.7310
0.1520	0.18497	1.1622	0.8218	1.4421	1.7549	0.913	0.5698	2.3244	5.0614	5.159	0.7296
0.1530	0.18580	1.1674	0.8234	1.4513	1.7625	0.913	0.5674	2.3349	5.1157	5.213	0.7282
0.1540	0.18664	1.1727	0.8251	1.4605	1.7701	0.913	0.5649	2.3454	5.1706	5.266	0.7268
0.1550	0.18747	1.1779	0.8268	1.4698	1.7778	0.913	0.5625	2.3558	5.2260	5.321	0.7254
0.1560	0.18830	1.1832	0.8284	1.4792	1.7855	0.913	0.5601	2.3663	5.2821	5.376	0.7240
0.1570	0.18914	1.1884	0.8301	1.4885	1.7933	0.913	0.5576	2.3768	5.3387	5.432	0.7226
0.1580	0.18997	1.1936	0.8317	1.4980	1.8011	0.913	0.5552	2.3873	5.3959	5.488	0.7212
0.1590	0.19081	1.1989	0.8333	1.5074	1.8089	0.913	0.5528	2.3977	5.4537	5.545	0.7198
0.1600	0.19164	1.2041	0.8349	1.5169	1.8169	0.913	0.5504	2.4082	5.5120	5.602	0.7185
0.1610	0.19247	1.2093	0.8365	1.5264	1.8248	0.913	0.5480	2.4187	5.5710	5.660	0.7171
0.1620	0.19331	1.2146	0.8380	1.5360	1.8329	0.913	0.5456	2.4292	5.6306	5.719	0.7157
0.1630	0.19414	1.2198	0.8396	1.5456	1.8409	0.913	0.5432	2.4396	5.6908	5.778	0.7143
0.1640	0.19497	1.2251	0.8411	1.5553	1.8490	0.913	0.5408	2.4501	5.7517	5.838	0.7130
0.1650	0.19581	1.2303	0.8427	1.5650	1.8572	0.913	0.5384	2.4606	5.8132	5.899	0.7116
0.1660	0.19664	1.2355	0.8442	1.5748	1.8654	0.913	0.5361	2.4711	5.8753	5.960	0.7103
0.1670	0.19748	1.2408	0.8457	1.5846	1.8737	0.913	0.5337	2.4815	5.9381	6.022	0.7090
0.1680	0.19831	1.2460	0.8472	1.5944	1.8821	0.913	0.5313	2.4920	6.0015	6.084	0.7076
0.1690	0.19914	1.2513	0.8486	1.6043	1.8904	0.913	0.5290	2.5025	6.0656	6.147	0.7063
0.1700	0.19998	1.2565	0.8501	1.6142	1.8989	0.913	0.5266	2.5130	6.1304	6.211	0.7050
0.1710	0.20081	1.2617	0.8515	1.6242	1.9074	0.913	0.5243	2.5235	6.1959	6.276	0.7036
0.1720	0.20165	1.2670	0.8530	1.6342	1.9159	0.914	0.5219	2.5340	6.2620	6.341	0.7023
0.1730	0.20248	1.2722	0.8544	1.6443	1.9245	0.914	0.5196	2.5445	6.3289	6.407	0.7010
0.1740	0.20332	1.2775	0.8558	1.6544	1.9332	0.914	0.5173	2.5549	6.3965	6.474	0.6997
0.1750	0.20415	1.2827	0.8572	1.6646	1.9419	0.914	0.5150	2.5654	6.4647	6.542	0.6984
0.1760	0.20499	1.2880	0.8586	1.6748	1.9506	0.914	0.5127	2.5759	6.5338	6.610	0.6971
0.1770	0.20582	1.2932	0.8600	1.6851	1.9594	0.914	0.5103	2.5864	6.6035	6.679	0.6958
0.1780	0.20666	1.2985	0.8613	1.6954	1.9683	0.914	0.5080	2.5969	6.6740	6.749	0.6946
0.1790	0.20749	1.3037	0.8627	1.7057	1.9772	0.914	0.5058	2.6074	6.7453	6.819	0.6933

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1800	0.20833	1.3090	0.8640	1.7161	1.9862	0.914	0.5035	2.6179	6.8173	6.890	0.6920
0.1810	0.20917	1.3142	0.8653	1.7266	1.9953	0.915	0.5012	2.6285	6.8901	6.962	0.6907
0.1820	0.21000	1.3195	0.8667	1.7371	2.0044	0.915	0.4989	2.6390	6.9637	7.035	0.6895
0.1830	0.21084	1.3247	0.8680	1.7477	2.0135	0.915	0.4966	2.6495	7.0380	7.109	0.6882
0.1840	0.21168	1.3300	0.8693	1.7583	2.0228	0.915	0.4944	2.6600	7.1132	7.183	0.6870
0.1850	0.21251	1.3353	0.8705	1.7690	2.0320	0.915	0.4921	2.6705	7.1892	7.258	0.6857
0.1860	0.21335	1.3405	0.8718	1.7797	2.0414	0.915	0.4899	2.6811	7.2660	7.335	0.6845
0.1870	0.21419	1.3458	0.8731	1.7905	2.0508	0.916	0.4876	2.6916	7.3437	7.411	0.6833
0.1880	0.21503	1.3511	0.8743	1.8013	2.0602	0.916	0.4854	2.7021	7.4222	7.489	0.6820
0.1890	0.21587	1.3563	0.8755	1.8122	2.0698	0.916	0.4831	2.7127	7.5015	7.568	0.6808
0.1900	0.21671	1.3616	0.8768	1.8231	2.0793	0.916	0.4809	2.7232	7.5817	7.647	0.6796
0.1910	0.21755	1.3669	0.8780	1.8341	2.0890	0.916	0.4787	2.7338	7.6628	7.728	0.6784
0.1920	0.21838	1.3722	0.8792	1.8451	2.0987	0.916	0.4765	2.7443	7.7448	7.809	0.6772
0.1930	0.21922	1.3774	0.8804	1.8562	2.1085	0.917	0.4743	2.7549	7.8276	7.891	0.6760
0.1940	0.22007	1.3827	0.8816	1.8674	2.1183	0.917	0.4721	2.7654	7.9114	7.974	0.6748
0.1950	0.22091	1.3880	0.8827	1.8786	2.1282	0.917	0.4699	2.7760	7.9961	8.058	0.6736
0.1960	0.22175	1.3933	0.8839	1.8899	2.1381	0.917	0.4677	2.7866	8.0817	8.143	0.6724
0.1970	0.22259	1.3986	0.8850	1.9012	2.1482	0.917	0.4655	2.7971	8.1683	8.229	0.6712
0.1980	0.22343	1.4039	0.8862	1.9126	2.1583	0.918	0.4633	2.8077	8.2558	8.316	0.6700
0.1990	0.22427	1.4091	0.8873	1.9241	2.1684	0.918	0.4612	2.8183	8.3443	8.404	0.6689
0.2000	0.22512	1.4144	0.8884	1.9356	2.1786	0.918	0.4590	2.8289	8.4337	8.493	0.6677
0.2010	0.22596	1.4197	0.8895	1.9471	2.1889	0.918	0.4568	2.8395	8.5242	8.583	0.6666
0.2020	0.22680	1.4250	0.8906	1.9588	2.1993	0.919	0.4547	2.8501	8.6156	8.673	0.6654
0.2030	0.22765	1.4303	0.8917	1.9704	2.2097	0.919	0.4526	2.8607	8.7081	8.765	0.6643
0.2040	0.22849	1.4356	0.8928	1.9822	2.2202	0.919	0.4504	2.8713	8.8016	8.858	0.6631
0.2050	0.22933	1.4410	0.8939	1.9940	2.2307	0.919	0.4483	2.8819	8.8961	8.952	0.6620
0.2060	0.23018	1.4463	0.8950	2.0059	2.2413	0.919	0.4462	2.8925	8.9917	9.047	0.6608
0.2070	0.23103	1.4516	0.8960	2.0178	2.2520	0.920	0.4440	2.9032	9.0884	9.143	0.6597
0.2080	0.23187	1.4569	0.8970	2.0298	2.2628	0.920	0.4419	2.9138	9.1861	9.240	0.6586
0.2090	0.23272	1.4622	0.8981	2.0419	2.2736	0.920	0.4398	2.9244	9.2849	9.339	0.6575

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2100	0.23357	1.4675	0.8991	2.0540	2.2845	0.920	0.4377	2.9351	9.3848	9.438	0.6564
0.2110	0.23441	1.4729	0.9001	2.0662	2.2955	0.921	0.4356	2.9457	9.4859	9.538	0.6553
0.2120	0.23526	1.4782	0.9011	2.0785	2.3065	0.921	0.4336	2.9564	9.5881	9.640	0.6542
0.2130	0.23611	1.4835	0.9021	2.0908	2.3176	0.921	0.4315	2.9670	9.6914	9.743	0.6531
0.2140	0.23696	1.4889	0.9031	2.1032	2.3288	0.921	0.4294	2.9777	9.7959	9.847	0.6520
0.2150	0.23781	1.4942	0.9041	2.1156	2.3401	0.922	0.4273	2.9884	9.9015	9.952	0.6509
0.2160	0.23866	1.4995	0.9051	2.1282	2.3514	0.922	0.4253	2.9991	10.008	10.06	0.6498
0.2170	0.23951	1.5049	0.9060	2.1408	2.3628	0.922	0.4232	3.0097	10.116	10.17	0.6488
0.2180	0.24036	1.5102	0.9070	2.1534	2.3743	0.923	0.4212	3.0204	10.226	10.27	0.6477
0.2190	0.24121	1.5156	0.9079	2.1662	2.3858	0.923	0.4191	3.0311	10.336	10.38	0.6466
0.2200	0.24206	1.5209	0.9089	2.1790	2.3975	0.923	0.4171	3.0418	10.448	10.50	0.6456
0.2210	0.24291	1.5263	0.9098	2.1918	2.4092	0.923	0.4151	3.0526	10.561	10.61	0.6445
0.2220	0.24377	1.5316	0.9107	2.2048	2.4210	0.924	0.4131	3.0633	10.675	10.72	0.6435
0.2230	0.24462	1.5370	0.9116	2.2178	2.4328	0.924	0.4110	3.0740	10.791	10.84	0.6424
0.2240	0.24547	1.5424	0.9125	2.2309	2.4448	0.924	0.4090	3.0847	10.908	10.95	0.6414
0.2250	0.24633	1.5477	0.9134	2.2440	2.4568	0.925	0.4070	3.0955	11.026	11.07	0.6404
0.2260	0.24718	1.5531	0.9143	2.2573	2.4689	0.925	0.4050	3.1062	11.146	11.19	0.6393
0.2270	0.24804	1.5585	0.9152	2.2706	2.4810	0.925	0.4031	3.1170	11.267	11.31	0.6383
0.2280	0.24890	1.5639	0.9160	2.2840	2.4933	0.925	0.4011	3.1277	11.389	11.43	0.6373
0.2290	0.24975	1.5692	0.9169	2.2974	2.5056	0.926	0.3991	3.1385	11.513	11.56	0.6363
0.2300	0.25061	1.5746	0.9178	2.3109	2.5180	0.926	0.3971	3.1493	11.638	11.68	0.6353
0.2310	0.25147	1.5800	0.9186	2.3245	2.5305	0.926	0.3952	3.1600	11.765	11.81	0.6343
0.2320	0.25233	1.5854	0.9194	2.3382	2.5431	0.927	0.3932	3.1708	11.893	11.93	0.6333
0.2330	0.25319	1.5908	0.9203	2.3520	2.5557	0.927	0.3913	3.1816	12.022	12.06	0.6323
0.2340	0.25405	1.5962	0.9211	2.3658	2.5685	0.927	0.3893	3.1924	12.153	12.19	0.6313
0.2350	0.25491	1.6016	0.9219	2.3797	2.5813	0.928	0.3874	3.2032	12.286	12.33	0.6304
0.2360	0.25577	1.6070	0.9227	2.3937	2.5942	0.928	0.3855	3.2140	12.420	12.46	0.6294
0.2370	0.25663	1.6124	0.9235	2.4078	2.6072	0.928	0.3836	3.2249	12.555	12.60	0.6284
0.2380	0.25749	1.6179	0.9243	2.4220	2.6203	0.928	0.3816	3.2357	12.692	12.73	0.6275
0.2390	0.25835	1.6233	0.9251	2.4362	2.6334	0.929	0.3797	3.2465	12.831	12.87	0.6265

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2400	0.25921	1.6287	0.9259	2.4505	2.6467	0.929	0.3778	3.2574	12.971	13.01	0.6256
0.2410	0.26008	1.6341	0.9266	2.4649	2.6600	0.929	0.3759	3.2682	13.113	13.15	0.6246
0.2420	0.26094	1.6395	0.9274	2.4794	2.6735	0.930	0.3740	3.2791	13.257	13.29	0.6237
0.2430	0.26181	1.6450	0.9282	2.4939	2.6870	0.930	0.3722	3.2900	13.402	13.44	0.6227
0.2440	0.26267	1.6504	0.9289	2.5086	2.7006	0.930	0.3703	3.3008	13.549	13.59	0.6218
0.2450	0.26354	1.6559	0.9297	2.5233	2.7143	0.931	0.3684	3.3117	13.698	13.73	0.6209
0.2460	0.26440	1.6613	0.9304	2.5381	2.7280	0.931	0.3666	3.3226	13.848	13.88	0.6200
0.2470	0.26527	1.6668	0.9311	2.5530	2.7419	0.931	0.3647	3.3335	14.000	14.04	0.6191
0.2480	0.26614	1.6722	0.9318	2.5680	2.7559	0.932	0.3629	3.3444	14.154	14.19	0.6181
0.2490	0.26701	1.6777	0.9326	2.5831	2.7699	0.932	0.3610	3.3553	14.310	14.34	0.6172
0.2500	0.26788	1.6831	0.9333	2.5983	2.7841	0.932	0.3592	3.3662	14.467	14.50	0.6163
0.2510	0.26875	1.6886	0.9340	2.6135	2.7983	0.933	0.3574	3.3772	14.627	14.66	0.6154
0.2520	0.26962	1.6941	0.9347	2.6289	2.8126	0.933	0.3555	3.3881	14.788	14.82	0.6146
0.2530	0.27049	1.6995	0.9353	2.6443	2.8270	0.933	0.3537	3.3990	14.951	14.98	0.6137
0.2540	0.27136	1.7050	0.9360	2.6598	2.8416	0.934	0.3519	3.4100	15.116	15.15	0.6128
0.2550	0.27223	1.7105	0.9367	2.6754	2.8562	0.934	0.3501	3.4210	15.283	15.32	0.6119
0.2560	0.27310	1.7160	0.9374	2.6911	2.8709	0.934	0.3483	3.4319	15.452	15.48	0.6111
0.2570	0.27398	1.7214	0.9380	2.7069	2.8857	0.935	0.3465	3.4429	15.623	15.65	0.6102
0.2580	0.27485	1.7269	0.9387	2.7228	2.9006	0.935	0.3448	3.4539	15.795	15.83	0.6093
0.2590	0.27572	1.7324	0.9393	2.7388	2.9156	0.935	0.3430	3.4649	15.970	16.00	0.6085
0.2600	0.27660	1.7379	0.9400	2.7548	2.9307	0.936	0.3412	3.4759	16.147	16.18	0.6076
0.2610	0.27748	1.7434	0.9406	2.7710	2.9459	0.936	0.3395	3.4869	16.326	16.36	0.6068
0.2620	0.27835	1.7489	0.9413	2.7873	2.9612	0.936	0.3377	3.4979	16.507	16.54	0.6059
0.2630	0.27923	1.7544	0.9419	2.8036	2.9766	0.937	0.3360	3.5089	16.691	16.72	0.6051
0.2640	0.28011	1.7600	0.9425	2.8201	2.9921	0.937	0.3342	3.5199	16.876	16.91	0.6043
0.2650	0.28098	1.7655	0.9431	2.8366	3.0077	0.937	0.3325	3.5310	17.064	17.09	0.6035
0.2660	0.28186	1.7710	0.9437	2.8533	3.0234	0.938	0.3307	3.5420	17.254	17.28	0.6026
0.2670	0.28274	1.7765	0.9443	2.8700	3.0393	0.938	0.3290	3.5531	17.446	17.47	0.6018
0.2680	0.28362	1.7821	0.9449	2.8869	3.0552	0.938	0.3273	3.5641	17.640	17.67	0.6010
0.2690	0.28450	1.7876	0.9455	2.9038	3.0712	0.939	0.3256	3.5752	17.837	17.86	0.6002

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2700	0.28539	1.7931	0.9461	2.9209	3.0873	0.939	0.3239	3.5863	18.035	18.06	0.5994
0.2710	0.28627	1.7987	0.9467	2.9380	3.1036	0.939	0.3222	3.5973	18.237	18.26	0.5986
0.2720	0.28715	1.8042	0.9472	2.9553	3.1199	0.940	0.3205	3.6084	18.440	18.47	0.5978
0.2730	0.28803	1.8098	0.9478	2.9727	3.1364	0.940	0.3188	3.6195	18.647	18.67	0.5971
0.2740	0.28892	1.8153	0.9484	2.9901	3.1529	0.940	0.3172	3.6306	18.855	18.88	0.5963
0.2750	0.28980	1.8209	0.9489	3.0077	3.1696	0.941	0.3155	3.6418	19.066	19.09	0.5955
0.2760	0.29069	1.8264	0.9495	3.0254	3.1864	0.941	0.3138	3.6529	19.280	19.31	0.5947
0.2770	0.29157	1.8320	0.9500	3.0431	3.2032	0.941	0.3122	3.6640	19.496	19.52	0.5940
0.2780	0.29246	1.8376	0.9506	3.0610	3.2202	0.942	0.3105	3.6751	19.715	19.74	0.5932
0.2790	0.29335	1.8431	0.9511	3.0790	3.2373	0.942	0.3089	3.6863	19.936	19.96	0.5925
0.2800	0.29423	1.8487	0.9516	3.0971	3.2546	0.942	0.3073	3.6974	20.160	20.18	0.5917
0.2810	0.29512	1.8543	0.9521	3.1153	3.2719	0.943	0.3056	3.7086	20.386	20.41	0.5910
0.2820	0.29601	1.8599	0.9527	3.1337	3.2894	0.943	0.3040	3.7198	20.616	20.64	0.5902
0.2830	0.29690	1.8655	0.9532	3.1521	3.3069	0.943	0.3024	3.7310	20.848	20.87	0.5895
0.2840	0.29779	1.8711	0.9537	3.1706	3.3246	0.944	0.3008	3.7421	21.082	21.11	0.5888
0.2850	0.29868	1.8767	0.9542	3.1893	3.3424	0.944	0.2992	3.7533	21.320	21.34	0.5880
0.2860	0.29957	1.8823	0.9547	3.2081	3.3603	0.944	0.2976	3.7645	21.560	21.58	0.5873
0.2870	0.30046	1.8879	0.9552	3.2270	3.3784	0.945	0.2960	3.7757	21.804	21.83	0.5866
0.2880	0.30136	1.8935	0.9557	3.2460	3.3965	0.945	0.2944	3.7870	22.050	22.07	0.5859
0.2890	0.30225	1.8991	0.9562	3.2651	3.4148	0.945	0.2928	3.7982	22.299	22.32	0.5852
0.2900	0.30314	1.9047	0.9566	3.2843	3.4332	0.946	0.2913	3.8094	22.551	22.57	0.5845
0.2910	0.30404	1.9103	0.9571	3.3037	3.4517	0.946	0.2897	3.8207	22.806	22.83	0.5838
0.2920	0.30493	1.9160	0.9576	3.3231	3.4703	0.946	0.2882	3.8319	23.065	23.09	0.5831
0.2930	0.30583	1.9216	0.9580	3.3427	3.4891	0.947	0.2866	3.8432	23.326	23.35	0.5824
0.2940	0.30673	1.9272	0.9585	3.3624	3.5080	0.947	0.2851	3.8544	23.591	23.61	0.5817
0.2950	0.30762	1.9329	0.9590	3.3822	3.5270	0.947	0.2835	3.8657	23.858	23.88	0.5810
0.2960	0.30852	1.9385	0.9594	3.4022	3.5461	0.948	0.2820	3.8770	24.129	24.15	0.5803
0.2970	0.30942	1.9441	0.9599	3.4223	3.5654	0.948	0.2805	3.8883	24.403	24.42	0.5797
0.2980	0.31032	1.9498	0.9603	3.4425	3.5848	0.948	0.2790	3.8996	24.681	24.70	0.5790
0.2990	0.31122	1.9554	0.9607	3.4628	3.6043	0.949	0.2774	3.9109	24.962	24.98	0.5783

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.3000	0.31212	1.9611	0.9612	3.4832	3.6239	0.949	0.2759	3.9222	25.246	25.27	0.5777
0.3010	0.31302	1.9668	0.9616	3.5038	3.6437	0.949	0.2744	3.9335	25.533	25.55	0.5770
0.3020	0.31392	1.9724	0.9620	3.5245	3.6636	0.950	0.2730	3.9448	25.824	25.84	0.5764
0.3030	0.31482	1.9781	0.9624	3.5453	3.6836	0.950	0.2715	3.9562	26.119	26.14	0.5757
0.3040	0.31573	1.9838	0.9629	3.5662	3.7038	0.950	0.2700	3.9675	26.417	26.44	0.5751
0.3050	0.31663	1.9894	0.9633	3.5873	3.7241	0.951	0.2685	3.9789	26.719	26.74	0.5745
0.3060	0.31753	1.9951	0.9637	3.6085	3.7445	0.951	0.2671	3.9902	27.024	27.04	0.5738
0.3070	0.31844	2.0008	0.9641	3.6299	3.7651	0.951	0.2656	4.0016	27.334	27.35	0.5732
0.3080	0.31934	2.0065	0.9645	3.6513	3.7858	0.952	0.2641	4.0130	27.646	27.66	0.5726
0.3090	0.32025	2.0122	0.9649	3.6729	3.8066	0.952	0.2627	4.0244	27.963	27.98	0.5720
0.3100	0.32115	2.0179	0.9653	3.6947	3.8276	0.952	0.2613	4.0357	28.284	28.30	0.5713
0.3110	0.32206	2.0236	0.9657	3.7165	3.8487	0.952	0.2598	4.0471	28.608	28.63	0.5707
0.3120	0.32297	2.0293	0.9660	3.7386	3.8700	0.953	0.2584	4.0585	28.936	28.95	0.5701
0.3130	0.32388	2.0350	0.9664	3.7607	3.8914	0.953	0.2570	4.0700	29.269	29.29	0.5695
0.3140	0.32479	2.0407	0.9668	3.7830	3.9129	0.953	0.2556	4.0814	29.605	29.62	0.5689
0.3150	0.32569	2.0464	0.9672	3.8054	3.9346	0.954	0.2542	4.0928	29.945	29.96	0.5683
0.3160	0.32660	2.0521	0.9675	3.8280	3.9564	0.954	0.2528	4.1042	30.290	30.31	0.5677
0.3170	0.32752	2.0578	0.9679	3.8507	3.9784	0.954	0.2514	4.1157	30.639	30.66	0.5672
0.3180	0.32843	2.0636	0.9683	3.8735	4.0005	0.955	0.2500	4.1271	30.992	31.01	0.5666
0.3190	0.32934	2.0693	0.9686	3.8965	4.0227	0.955	0.2486	4.1386	31.349	31.36	0.5660
0.3200	0.33025	2.0750	0.9690	3.9196	4.0451	0.955	0.2472	4.1500	31.711	31.73	0.5654
0.3210	0.33116	2.0808	0.9693	3.9429	4.0677	0.956	0.2458	4.1615	32.077	32.09	0.5649
0.3220	0.33208	2.0865	0.9697	3.9663	4.0904	0.956	0.2445	4.1730	32.447	32.46	0.5643
0.3230	0.33299	2.0922	0.9700	3.9898	4.1132	0.956	0.2431	4.1845	32.822	32.84	0.5637
0.3240	0.33391	2.0980	0.9703	4.0135	4.1362	0.957	0.2418	4.1960	33.202	33.22	0.5632
0.3250	0.33482	2.1037	0.9707	4.0374	4.1594	0.957	0.2404	4.2075	33.586	33.60	0.5626
0.3260	0.33574	2.1095	0.9710	4.0614	4.1827	0.957	0.2391	4.2190	33.975	33.99	0.5621
0.3270	0.33665	2.1153	0.9713	4.0855	4.2061	0.957	0.2377	4.2305	34.369	34.38	0.5615
0.3280	0.33757	2.1210	0.9717	4.1098	4.2297	0.958	0.2364	4.2420	34.767	34.78	0.5610
0.3290	0.33849	2.1268	0.9720	4.1343	4.2535	0.958	0.2351	4.2536	35.171	35.18	0.5605

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.3300	0.33941	2.1325	0.9723	4.1589	4.2774	0.958	0.2338	4.2651	35.579	35.59	0.5599
0.3310	0.34032	2.1383	0.9726	4.1837	4.3015	0.959	0.2325	4.2766	35.992	36.01	0.5594
0.3320	0.34124	2.1441	0.9729	4.2086	4.3257	0.959	0.2312	4.2882	36.410	36.42	0.5589
0.3330	0.34216	2.1499	0.9732	4.2336	4.3501	0.959	0.2299	4.2998	36.834	36.85	0.5584
0.3340	0.34308	2.1557	0.9735	4.2589	4.3747	0.960	0.2286	4.3113	37.263	37.28	0.5579
0.3350	0.34400	2.1614	0.9738	4.2843	4.3994	0.960	0.2273	4.3229	37.696	37.71	0.5573
0.3360	0.34493	2.1672	0.9741	4.3098	4.4243	0.960	0.2260	4.3345	38.136	38.15	0.5568
0.3370	0.34585	2.1730	0.9744	4.3355	4.4493	0.960	0.2248	4.3461	38.580	38.59	0.5563
0.3380	0.34677	2.1788	0.9747	4.3614	4.4745	0.961	0.2235	4.3577	39.030	39.04	0.5558
0.3390	0.34769	2.1846	0.9750	4.3874	4.4999	0.961	0.2222	4.3693	39.486	39.50	0.5553
0.3400	0.34862	2.1904	0.9753	4.4136	4.5255	0.961	0.2210	4.3809	39.947	39.96	0.5548
0.3410	0.34954	2.1962	0.9756	4.4399	4.5512	0.962	0.2197	4.3925	40.414	40.43	0.5543
0.3420	0.35047	2.2020	0.9758	4.4665	4.5770	0.962	0.2185	4.4041	40.887	40.90	0.5539
0.3430	0.35139	2.2079	0.9761	4.4932	4.6031	0.962	0.2172	4.4157	41.365	41.38	0.5534
0.3440	0.35232	2.2137	0.9764	4.5200	4.6293	0.962	0.2160	4.4274	41.849	41.86	0.5529
0.3450	0.35324	2.2195	0.9767	4.5470	4.6557	0.963	0.2148	4.4390	42.339	42.35	0.5524
0.3460	0.35417	2.2253	0.9769	4.5742	4.6823	0.963	0.2136	4.4507	42.836	42.85	0.5520
0.3470	0.35510	2.2312	0.9772	4.6016	4.7090	0.963	0.2124	4.4623	43.338	43.35	0.5515
0.3480	0.35603	2.2370	0.9775	4.6291	4.7359	0.964	0.2112	4.4740	43.846	43.86	0.5510
0.3490	0.35696	2.2428	0.9777	4.6568	4.7630	0.964	0.2100	4.4856	44.361	44.37	0.5506
0.3500	0.35789	2.2487	0.9780	4.6847	4.7903	0.964	0.2088	4.4973	44.882	44.89	0.5501
0.3510	0.35881	2.2545	0.9782	4.7128	4.8177	0.964	0.2076	4.5090	45.410	45.42	0.5496
0.3520	0.35974	2.2603	0.9785	4.7410	4.8453	0.965	0.2064	4.5207	45.944	45.95	0.5492
0.3530	0.36068	2.2662	0.9787	4.7695	4.8732	0.965	0.2052	4.5324	46.485	46.50	0.5488
0.3540	0.36161	2.2720	0.9790	4.7980	4.9011	0.965	0.2040	4.5441	47.032	47.04	0.5483
0.3550	0.36254	2.2779	0.9792	4.8268	4.9293	0.965	0.2029	4.5558	47.586	47.60	0.5479
0.3560	0.36347	2.2838	0.9794	4.8558	4.9577	0.966	0.2017	4.5675	48.147	48.16	0.5474
0.3570	0.36440	2.2896	0.9797	4.8849	4.9862	0.966	0.2006	4.5792	48.715	48.72	0.5470
0.3580	0.36534	2.2955	0.9799	4.9142	5.0150	0.966	0.1994	4.5910	49.289	49.30	0.5466
0.3590	0.36627	2.3013	0.9801	4.9437	5.0439	0.966	0.1983	4.6027	49.871	49.88	0.5461

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.3600	0.36720	2.3072	0.9804	4.9734	5.0730	0.967	0.1971	4.6144	50.460	50.47	0.5457
0.3610	0.36814	2.3131	0.9806	5.0033	5.1023	0.967	0.1960	4.6262	51.057	51.07	0.5453
0.3620	0.36908	2.3190	0.9808	5.0334	5.1318	0.967	0.1949	4.6379	51.661	51.67	0.5449
0.3630	0.37001	2.3248	0.9811	5.0637	5.1615	0.967	0.1937	4.6497	52.272	52.28	0.5445
0.3640	0.37095	2.3307	0.9813	5.0941	5.1913	0.968	0.1926	4.6615	52.890	52.90	0.5441
0.3650	0.37188	2.3366	0.9815	5.1248	5.2214	0.968	0.1915	4.6732	53.517	53.53	0.5437
0.3660	0.37282	2.3425	0.9817	5.1556	5.2517	0.968	0.1904	4.6850	54.151	54.16	0.5433
0.3670	0.37376	2.3484	0.9819	5.1866	5.2822	0.969	0.1893	4.6968	54.793	54.80	0.5429
0.3680	0.37470	2.3543	0.9821	5.2179	5.3128	0.969	0.1882	4.7086	55.443	55.45	0.5425
0.3690	0.37564	2.3602	0.9823	5.2493	5.3437	0.969	0.1871	4.7204	56.101	56.11	0.5421
0.3700	0.37658	2.3661	0.9825	5.2809	5.3748	0.969	0.1861	4.7322	56.767	56.78	0.5417
0.3710	0.37751	2.3720	0.9827	5.3127	5.4060	0.970	0.1850	4.7440	57.442	57.45	0.5413
0.3720	0.37846	2.3779	0.9829	5.3448	5.4375	0.970	0.1839	4.7558	58.124	58.13	0.5409
0.3730	0.37940	2.3838	0.9831	5.3770	5.4692	0.970	0.1828	4.7676	58.816	58.82	0.5405
0.3740	0.38034	2.3897	0.9833	5.4094	5.5011	0.970	0.1818	4.7795	59.515	59.52	0.5402
0.3750	0.38128	2.3956	0.9835	5.4421	5.5332	0.970	0.1807	4.7913	60.224	60.23	0.5398
0.3760	0.38222	2.4016	0.9837	5.4749	5.5655	0.971	0.1797	4.8031	60.941	60.95	0.5394
0.3770	0.38316	2.4075	0.9839	5.5080	5.5980	0.971	0.1786	4.8150	61.667	61.68	0.5390
0.3780	0.38411	2.4134	0.9841	5.5412	5.6307	0.971	0.1776	4.8268	62.403	62.41	0.5387
0.3790	0.38505	2.4193	0.9843	5.5747	5.6637	0.971	0.1766	4.8387	63.147	63.15	0.5383
0.3800	0.38599	2.4253	0.9845	5.6084	5.6969	0.972	0.1755	4.8505	63.900	63.91	0.5380
0.3810	0.38694	2.4312	0.9847	5.6423	5.7302	0.972	0.1745	4.8624	64.663	64.67	0.5376
0.3820	0.38788	2.4371	0.9848	5.6764	5.7638	0.972	0.1735	4.8743	65.436	65.44	0.5372
0.3830	0.38883	2.4431	0.9850	5.7107	5.7976	0.972	0.1725	4.8862	66.218	66.23	0.5369
0.3840	0.38977	2.4490	0.9852	5.7453	5.8317	0.973	0.1715	4.8980	67.009	67.02	0.5365
0.3850	0.39072	2.4550	0.9854	5.7801	5.8659	0.973	0.1705	4.9099	67.811	67.82	0.5362
0.3860	0.39167	2.4609	0.9855	5.8151	5.9004	0.973	0.1695	4.9218	68.622	68.63	0.5359
0.3870	0.39261	2.4669	0.9857	5.8503	5.9351	0.973	0.1685	4.9337	69.444	69.45	0.5355
0.3880	0.39356	2.4728	0.9859	5.8857	5.9700	0.973	0.1675	4.9456	70.276	70.28	0.5352
0.3890	0.39451	2.4788	0.9860	5.9214	6.0052	0.974	0.1665	4.9575	71.118	71.13	0.5349

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.3900	0.39546	2.4847	0.9862	5.9572	6.0406	0.974	0.1655	4.9695	71.971	71.98	0.5345
0.3910	0.39641	2.4907	0.9864	5.9934	6.0762	0.974	0.1646	4.9814	72.834	72.84	0.5342
0.3920	0.39735	2.4967	0.9865	6.0297	6.1121	0.974	0.1636	4.9933	73.708	73.71	0.5339
0.3930	0.39830	2.5026	0.9867	6.0663	6.1481	0.975	0.1627	5.0052	74.593	74.60	0.5336
0.3940	0.39925	2.5086	0.9868	6.1031	6.1845	0.975	0.1617	5.0172	75.489	75.50	0.5332
0.3950	0.40020	2.5146	0.9870	6.1401	6.2210	0.975	0.1607	5.0291	76.396	76.40	0.5329
0.3960	0.40116	2.5205	0.9871	6.1774	6.2578	0.975	0.1598	5.0411	77.314	77.32	0.5326
0.3970	0.40211	2.5265	0.9873	6.2149	6.2948	0.975	0.1589	5.0530	78.244	78.25	0.5323
0.3980	0.40306	2.5325	0.9875	6.2527	6.3321	0.976	0.1579	5.0650	79.185	79.19	0.5320
0.3990	0.40401	2.5385	0.9876	6.2906	6.3696	0.976	0.1570	5.0769	80.138	80.14	0.5317
0.4000	0.40496	2.5445	0.9877	6.3289	6.4074	0.976	0.1561	5.0889	81.103	81.11	0.5314
0.4010	0.40592	2.5504	0.9879	6.3674	6.4454	0.976	0.1551	5.1009	82.080	82.09	0.5311
0.4020	0.40687	2.5564	0.9880	6.4061	6.4836	0.976	0.1542	5.1129	83.069	83.08	0.5308
0.4030	0.40782	2.5624	0.9882	6.4450	6.5221	0.977	0.1533	5.1248	84.071	84.08	0.5305
0.4040	0.40878	2.5684	0.9883	6.4842	6.5609	0.977	0.1524	5.1368	85.085	85.09	0.5302
0.4050	0.40973	2.5744	0.9885	6.5237	6.5999	0.977	0.1515	5.1488	86.112	86.12	0.5299
0.4060	0.41069	2.5804	0.9886	6.5634	6.6392	0.977	0.1506	5.1608	87.151	87.16	0.5296
0.4070	0.41164	2.5864	0.9887	6.6034	6.6787	0.977	0.1497	5.1728	88.204	88.21	0.5293
0.4080	0.41260	2.5924	0.9889	6.6436	6.7184	0.978	0.1488	5.1848	89.269	89.27	0.5290
0.4090	0.41355	2.5984	0.9890	6.6841	6.7585	0.978	0.1480	5.1968	90.348	90.35	0.5288
0.4100	0.41451	2.6044	0.9891	6.7248	6.7987	0.978	0.1471	5.2089	91.440	91.45	0.5285
0.4110	0.41547	2.6104	0.9893	6.7658	6.8393	0.978	0.1462	5.2209	92.546	92.55	0.5282
0.4120	0.41642	2.6165	0.9894	6.8070	6.8801	0.978	0.1453	5.2329	93.666	93.67	0.5279
0.4130	0.41738	2.6225	0.9895	6.8486	6.9212	0.979	0.1445	5.2449	94.800	94.81	0.5277
0.4140	0.41834	2.6285	0.9896	6.8903	6.9625	0.979	0.1436	5.2570	95.948	95.95	0.5274
0.4150	0.41930	2.6345	0.9898	6.9324	7.0041	0.979	0.1428	5.2690	97.110	97.12	0.5271
0.4160	0.42025	2.6405	0.9899	6.9747	7.0460	0.979	0.1419	5.2811	98.287	98.29	0.5269
0.4170	0.42121	2.6466	0.9900	7.0173	7.0882	0.979	0.1411	5.2931	99.479	99.48	0.5266
0.4180	0.42217	2.6526	0.9901	7.0601	7.1306	0.980	0.1402	5.3052	100.69	100.7	0.5263
0.4190	0.42313	2.6586	0.9902	7.1032	7.1733	0.980	0.1394	5.3172	101.91	101.9	0.5261

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.4200	0.42409	2.6646	0.9904	7.1466	7.2163	0.980	0.1386	5.3293	103.14	103.1	0.5258
0.4210	0.42505	2.6707	0.9905	7.1903	7.2595	0.980	0.1378	5.3414	104.40	104.4	0.5256
0.4220	0.42601	2.6767	0.9906	7.2342	7.3030	0.980	0.1369	5.3534	105.66	105.7	0.5253
0.4230	0.42697	2.6828	0.9907	7.2785	7.3469	0.980	0.1361	5.3655	106.95	107.0	0.5251
0.4240	0.42794	2.6888	0.9908	7.3230	7.3909	0.981	0.1353	5.3776	108.25	108.3	0.5248
0.4250	0.42890	2.6948	0.9909	7.3678	7.4353	0.981	0.1345	5.3897	109.56	109.6	0.5246
0.4260	0.42986	2.7009	0.9910	7.4129	7.4800	0.981	0.1337	5.4018	110.90	110.9	0.5244
0.4270	0.43082	2.7069	0.9911	7.4582	7.5250	0.981	0.1329	5.4139	112.25	112.3	0.5241
0.4280	0.43178	2.7130	0.9912	7.5039	7.5702	0.981	0.1321	5.4260	113.61	113.6	0.5239
0.4290	0.43275	2.7190	0.9913	7.5498	7.6158	0.981	0.1313	5.4381	115.00	115.0	0.5236
0.4300	0.43371	2.7251	0.9914	7.5961	7.6616	0.982	0.1305	5.4502	116.40	116.4	0.5234
0.4310	0.43467	2.7311	0.9915	7.6426	7.7077	0.982	0.1297	5.4623	117.81	117.8	0.5232
0.4320	0.43564	2.7372	0.9916	7.6894	7.7542	0.982	0.1290	5.4744	119.25	119.3	0.5230
0.4330	0.43660	2.7433	0.9917	7.7365	7.8009	0.982	0.1282	5.4865	120.70	120.7	0.5227
0.4340	0.43757	2.7493	0.9918	7.7840	7.8479	0.982	0.1274	5.4986	122.18	122.2	0.5225
0.4350	0.43853	2.7554	0.9919	7.8317	7.8953	0.982	0.1267	5.5108	123.67	123.7	0.5223
0.4360	0.43950	2.7614	0.9920	7.8797	7.9429	0.983	0.1259	5.5229	125.18	125.2	0.5221
0.4370	0.44046	2.7675	0.9921	7.9280	7.9909	0.983	0.1251	5.5350	126.70	126.7	0.5218
0.4380	0.44143	2.7736	0.9922	7.9767	8.0391	0.983	0.1244	5.5472	128.25	128.3	0.5216
0.4390	0.44239	2.7796	0.9923	8.0256	8.0877	0.983	0.1236	5.5593	129.82	129.8	0.5214
0.4400	0.44336	2.7857	0.9924	8.0749	8.1366	0.983	0.1229	5.5714	131.40	131.4	0.5212
0.4410	0.44433	2.7918	0.9925	8.1245	8.1858	0.983	0.1222	5.5836	133.01	133.0	0.5210
0.4420	0.44530	2.7979	0.9926	8.1744	8.2353	0.983	0.1214	5.5957	134.64	134.6	0.5208
0.4430	0.44626	2.8039	0.9927	8.2246	8.2852	0.984	0.1207	5.6079	136.28	136.3	0.5206
0.4440	0.44723	2.8100	0.9928	8.2751	8.3353	0.984	0.1200	5.6201	137.95	138.0	0.5204
0.4450	0.44820	2.8161	0.9929	8.3260	8.3858	0.984	0.1192	5.6322	139.64	139.6	0.5202
0.4460	0.44917	2.8222	0.9930	8.3771	8.4366	0.984	0.1185	5.6444	141.35	141.4	0.5200
0.4470	0.45014	2.8283	0.9930	8.4286	8.4877	0.984	0.1178	5.6566	143.08	143.1	0.5198
0.4480	0.45110	2.8344	0.9931	8.4805	8.5392	0.984	0.1171	5.6687	144.83	144.8	0.5196
0.4490	0.45207	2.8405	0.9932	8.5326	8.5910	0.985	0.1164	5.6809	146.61	146.6	0.5194

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.4500	0.45304	2.8465	0.9933	8.5851	8.6431	0.985	0.1157	5.6931	148.40	148.4	0.5192
0.4510	0.45401	2.8526	0.9934	8.6379	8.6956	0.985	0.1150	5.7053	150.22	150.2	0.5190
0.4520	0.45498	2.8587	0.9934	8.6911	8.7484	0.985	0.1143	5.7175	152.07	152.1	0.5188
0.4530	0.45595	2.8648	0.9935	8.7446	8.8016	0.985	0.1136	5.7297	153.93	153.9	0.5186
0.4540	0.45692	2.8709	0.9936	8.7984	8.8551	0.985	0.1129	5.7419	155.82	155.8	0.5184
0.4550	0.45789	2.8770	0.9937	8.8526	8.9089	0.985	0.1122	5.7541	157.73	157.7	0.5182
0.4560	0.45886	2.8831	0.9938	8.9071	8.9631	0.985	0.1116	5.7663	159.67	159.7	0.5181
0.4570	0.45984	2.8892	0.9938	8.9620	9.0176	0.986	0.1109	5.7785	161.63	161.6	0.5179
0.4580	0.46081	2.8953	0.9939	9.0172	9.0725	0.986	0.1102	5.7907	163.62	163.6	0.5177
0.4590	0.46178	2.9014	0.9940	9.0728	9.1277	0.986	0.1096	5.8029	165.63	165.6	0.5175
0.4600	0.46275	2.9076	0.9941	9.1287	9.1833	0.986	0.1089	5.8151	167.66	167.7	0.5173
0.4610	0.46372	2.9137	0.9941	9.1850	9.2392	0.986	0.1082	5.8273	169.72	169.7	0.5172
0.4620	0.46470	2.9198	0.9942	9.2416	9.2955	0.986	0.1076	5.8396	171.81	171.8	0.5170
0.4630	0.46567	2.9259	0.9943	9.2986	9.3522	0.986	0.1069	5.8518	173.92	173.9	0.5168
0.4640	0.46664	2.9320	0.9943	9.3560	9.4092	0.987	0.1063	5.8640	176.06	176.1	0.5167
0.4650	0.46762	2.9381	0.9944	9.4137	9.4666	0.987	0.1056	5.8762	178.23	178.2	0.5165
0.4660	0.46859	2.9442	0.9945	9.4718	9.5244	0.987	0.1050	5.8885	180.43	180.4	0.5163
0.4670	0.46956	2.9504	0.9945	9.5302	9.5825	0.987	0.1044	5.9007	182.65	182.7	0.5162
0.4680	0.47054	2.9565	0.9946	9.5891	9.6411	0.987	0.1037	5.9130	184.90	184.9	0.5160
0.4690	0.47151	2.9626	0.9947	9.6483	9.6999	0.987	0.1031	5.9252	187.18	187.2	0.5158
0.4700	0.47249	2.9687	0.9947	9.7078	9.7592	0.987	0.1025	5.9374	189.48	189.5	0.5157
0.4710	0.47346	2.9748	0.9948	9.7678	9.8189	0.987	0.1018	5.9497	191.82	191.8	0.5155
0.4720	0.47444	2.9810	0.9949	9.8281	9.8789	0.988	0.1012	5.9620	194.18	194.2	0.5154
0.4730	0.47541	2.9871	0.9949	9.8889	9.9393	0.988	0.1006	5.9742	196.58	196.6	0.5152
0.4740	0.47639	2.9932	0.9950	9.9500	10.000	0.988	0.1000	5.9865	199.00	199.0	0.5150
0.4750	0.47736	2.9994	0.9950	10.011	10.061	0.988	0.0994	5.9987	201.46	201.5	0.5149
0.4760	0.47834	3.0055	0.9951	10.073	10.123	0.988	0.0988	6.0110	203.94	203.9	0.5147
0.4770	0.47932	3.0116	0.9952	10.136	10.185	0.988	0.0982	6.0233	206.46	206.5	0.5146
0.4780	0.48029	3.0178	0.9952	10.198	10.247	0.988	0.0976	6.0355	209.01	209.0	0.5144
0.4790	0.48127	3.0239	0.9953	10.261	10.310	0.988	0.0970	6.0478	211.59	211.6	0.5143

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.4800	0.48225	3.0300	0.9953	10.325	10.373	0.988	0.0964	6.0601	214.20	214.2	0.5141
0.4810	0.48322	3.0362	0.9954	10.389	10.437	0.989	0.0958	6.0724	216.85	216.9	0.5140
0.4820	0.48420	3.0423	0.9955	10.453	10.501	0.989	0.0952	6.0846	219.53	219.5	0.5139
0.4830	0.48518	3.0485	0.9955	10.518	10.565	0.989	0.0947	6.0969	222.24	222.2	0.5137
0.4840	0.48616	3.0546	0.9956	10.583	10.630	0.989	0.0941	6.1092	224.99	225.0	0.5136
0.4850	0.48713	3.0608	0.9956	10.648	10.695	0.989	0.0935	6.1215	227.77	227.8	0.5134
0.4860	0.48811	3.0669	0.9957	10.714	10.761	0.989	0.0929	6.1338	230.59	230.6	0.5133
0.4870	0.48909	3.0730	0.9957	10.781	10.827	0.989	0.0924	6.1461	233.44	233.4	0.5132
0.4880	0.49007	3.0792	0.9958	10.847	10.893	0.989	0.0918	6.1584	236.33	236.3	0.5130
0.4890	0.49105	3.0853	0.9958	10.915	10.960	0.989	0.0912	6.1707	239.26	239.3	0.5129
0.4900	0.49203	3.0915	0.9959	10.982	11.028	0.990	0.0907	6.1830	242.22	242.2	0.5128
0.4910	0.49301	3.0977	0.9959	11.050	11.096	0.990	0.0901	6.1953	245.22	245.2	0.5126
0.4920	0.49399	3.1038	0.9960	11.119	11.164	0.990	0.0896	6.2076	248.26	248.3	0.5125
0.4930	0.49497	3.1100	0.9960	11.188	11.232	0.990	0.0890	6.2199	251.33	251.3	0.5124
0.4940	0.49595	3.1161	0.9961	11.257	11.301	0.990	0.0885	6.2322	254.44	254.4	0.5122
0.4950	0.49693	3.1223	0.9961	11.327	11.371	0.990	0.0879	6.2445	257.60	257.6	0.5121
0.4960	0.49791	3.1284	0.9962	11.397	11.441	0.990	0.0874	6.2569	260.79	260.8	0.5120
0.4970	0.49889	3.1346	0.9962	11.468	11.511	0.990	0.0869	6.2692	264.02	264.0	0.5119
0.4980	0.49987	3.1408	0.9963	11.539	11.582	0.990	0.0863	6.2815	267.30	267.3	0.5118
0.4990	0.50085	3.1469	0.9963	11.611	11.654	0.990	0.0858	6.2938	270.61	270.6	0.5116
0.5000	0.50183	3.1531	0.9964	11.683	11.725	0.990	0.0853	6.3062	273.97	274.0	0.5115
0.5010	0.50281	3.1592	0.9964	11.755	11.798	0.991	0.0848	6.3185	277.37	277.4	0.5114
0.5020	0.50379	3.1654	0.9964	11.828	11.870	0.991	0.0842	6.3308	280.81	280.8	0.5113
0.5030	0.50477	3.1716	0.9965	11.902	11.944	0.991	0.0837	6.3432	284.29	284.3	0.5112
0.5040	0.50575	3.1777	0.9965	11.975	12.017	0.991	0.0832	6.3555	287.82	287.8	0.5110
0.5050	0.50674	3.1839	0.9966	12.050	12.091	0.991	0.0827	6.3678	291.40	291.4	0.5109
0.5060	0.50772	3.1901	0.9966	12.125	12.166	0.991	0.0822	6.3802	295.01	295.0	0.5108
0.5070	0.50870	3.1963	0.9967	12.200	12.241	0.991	0.0817	6.3925	298.68	298.7	0.5107
0.5080	0.50968	3.2024	0.9967	12.276	12.316	0.991	0.0812	6.4049	302.39	302.4	0.5106
0.5090	0.51067	3.2086	0.9967	12.352	12.392	0.991	0.0807	6.4172	306.15	306.1	0.5105

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.5100	0.51165	3.2148	0.9968	12.429	12.469	0.991	0.0802	6.4296	309.95	310.0	0.5104
0.5110	0.51263	3.2210	0.9968	12.506	12.546	0.991	0.0797	6.4419	313.80	313.8	0.5103
0.5120	0.51361	3.2271	0.9969	12.584	12.623	0.992	0.0792	6.4543	317.70	317.7	0.5102
0.5130	0.51460	3.2333	0.9969	12.662	12.701	0.992	0.0787	6.4666	321.65	321.7	0.5101
0.5140	0.51558	3.2395	0.9969	12.741	12.780	0.992	0.0782	6.4790	325.65	325.7	0.5099
0.5150	0.51656	3.2457	0.9970	12.820	12.859	0.992	0.0778	6.4913	329.70	329.7	0.5098
0.5160	0.51755	3.2519	0.9970	12.900	12.938	0.992	0.0773	6.5037	333.80	333.8	0.5097
0.5170	0.51853	3.2580	0.9970	12.980	13.018	0.992	0.0768	6.5161	337.96	338.0	0.5096
0.5180	0.51952	3.2642	0.9971	13.061	13.099	0.992	0.0763	6.5284	342.16	342.2	0.5095
0.5190	0.52050	3.2704	0.9971	13.142	13.180	0.992	0.0759	6.5408	346.42	346.4	0.5094
0.5200	0.52148	3.2766	0.9972	13.224	13.261	0.992	0.0754	6.5532	350.73	350.7	0.5093
0.5210	0.52247	3.2828	0.9972	13.306	13.344	0.992	0.0749	6.5655	355.10	355.1	0.5092
0.5220	0.52345	3.2890	0.9972	13.389	13.426	0.992	0.0745	6.5779	359.52	359.5	0.5091
0.5230	0.52444	3.2951	0.9973	13.472	13.509	0.992	0.0740	6.5903	364.00	364.0	0.5091
0.5240	0.52542	3.3013	0.9973	13.556	13.593	0.993	0.0736	6.6027	368.53	368.5	0.5090
0.5250	0.52641	3.3075	0.9973	13.640	13.677	0.993	0.0731	6.6150	373.12	373.1	0.5089
0.5260	0.52739	3.3137	0.9974	13.725	13.762	0.993	0.0727	6.6274	377.77	377.8	0.5088
0.5270	0.52838	3.3199	0.9974	13.811	13.847	0.993	0.0722	6.6398	382.48	382.5	0.5087
0.5280	0.52937	3.3261	0.9974	13.897	13.933	0.993	0.0718	6.6522	387.24	387.2	0.5086
0.5290	0.53035	3.3323	0.9975	13.983	14.019	0.993	0.0713	6.6646	392.07	392.1	0.5085
0.5300	0.53134	3.3385	0.9975	14.070	14.106	0.993	0.0709	6.6770	396.96	397.0	0.5084
0.5310	0.53232	3.3447	0.9975	14.158	14.193	0.993	0.0705	6.6894	401.91	401.9	0.5083
0.5320	0.53331	3.3509	0.9975	14.246	14.281	0.993	0.0700	6.7018	406.92	406.9	0.5082
0.5330	0.53430	3.3571	0.9976	14.335	14.370	0.993	0.0696	6.7142	411.99	412.0	0.5081
0.5340	0.53528	3.3633	0.9976	14.424	14.459	0.993	0.0692	6.7265	417.13	417.1	0.5081
0.5350	0.53627	3.3695	0.9976	14.514	14.549	0.993	0.0687	6.7389	422.33	422.3	0.5080
0.5360	0.53725	3.3757	0.9977	14.605	14.639	0.993	0.0683	6.7513	427.60	427.6	0.5079
0.5370	0.53824	3.3819	0.9977	14.696	14.730	0.993	0.0679	6.7637	432.94	432.9	0.5078
0.5380	0.53923	3.3881	0.9977	14.788	14.821	0.993	0.0675	6.7761	438.34	438.3	0.5077
0.5390	0.54022	3.3943	0.9977	14.880	14.913	0.994	0.0671	6.7886	443.81	443.8	0.5076

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.5400	0.54120	3.4005	0.9978	14.973	15.006	0.994	0.0666	6.8010	449.35	449.4	0.5076
0.5410	0.54219	3.4067	0.9978	15.066	15.099	0.994	0.0662	6.8134	454.96	455.0	0.5075
0.5420	0.54318	3.4129	0.9978	15.160	15.193	0.994	0.0658	6.8258	460.64	460.6	0.5074
0.5430	0.54417	3.4191	0.9979	15.254	15.287	0.994	0.0654	6.8382	466.40	466.4	0.5073
0.5440	0.54515	3.4253	0.9979	15.350	15.382	0.994	0.0650	6.8506	472.22	472.2	0.5073
0.5450	0.54614	3.4315	0.9979	15.445	15.478	0.994	0.0646	6.8630	478.12	478.1	0.5072
0.5460	0.54713	3.4377	0.9979	15.542	15.574	0.994	0.0642	6.8754	484.09	484.1	0.5071
0.5470	0.54812	3.4439	0.9980	15.639	15.671	0.994	0.0638	6.8878	490.14	490.1	0.5070
0.5480	0.54911	3.4501	0.9980	15.736	15.768	0.994	0.0634	6.9003	496.27	496.3	0.5070
0.5490	0.55009	3.4563	0.9980	15.835	15.866	0.994	0.0630	6.9127	502.47	502.5	0.5069
0.5500	0.55108	3.4626	0.9980	15.933	15.965	0.994	0.0626	6.9251	508.75	508.7	0.5068
0.5510	0.55207	3.4688	0.9981	16.033	16.064	0.994	0.0623	6.9375	515.11	515.1	0.5067
0.5520	0.55306	3.4750	0.9981	16.133	16.164	0.994	0.0619	6.9499	521.55	521.5	0.5067
0.5530	0.55405	3.4812	0.9981	16.234	16.265	0.994	0.0615	6.9624	528.07	528.1	0.5066
0.5540	0.55504	3.4874	0.9981	16.335	16.366	0.994	0.0611	6.9748	534.67	534.7	0.5065
0.5550	0.55603	3.4936	0.9982	16.437	16.468	0.995	0.0607	6.9872	541.36	541.4	0.5065
0.5560	0.55702	3.4998	0.9982	16.540	16.570	0.995	0.0603	6.9997	548.13	548.1	0.5064
0.5570	0.55800	3.5060	0.9982	16.643	16.673	0.995	0.0600	7.0121	554.99	555.0	0.5063
0.5580	0.55899	3.5123	0.9982	16.747	16.777	0.995	0.0596	7.0245	561.93	561.9	0.5063
0.5590	0.55998	3.5185	0.9982	16.852	16.881	0.995	0.0592	7.0370	568.96	569.0	0.5062
0.5600	0.56097	3.5247	0.9983	16.957	16.986	0.995	0.0589	7.0494	576.08	576.1	0.5061
0.5610	0.56196	3.5309	0.9983	17.063	17.092	0.995	0.0585	7.0618	583.29	583.3	0.5061
0.5620	0.56295	3.5371	0.9983	17.170	17.199	0.995	0.0581	7.0743	590.59	590.6	0.5060
0.5630	0.56394	3.5434	0.9983	17.277	17.306	0.995	0.0578	7.0867	597.98	598.0	0.5059
0.5640	0.56493	3.5496	0.9983	17.385	17.414	0.995	0.0574	7.0991	605.47	605.5	0.5059
0.5650	0.56592	3.5558	0.9984	17.494	17.522	0.995	0.0571	7.1116	613.05	613.0	0.5058
0.5660	0.56691	3.5620	0.9984	17.603	17.631	0.995	0.0567	7.1240	620.72	620.7	0.5057
0.5670	0.56790	3.5682	0.9984	17.713	17.741	0.995	0.0564	7.1365	628.50	628.5	0.5057
0.5680	0.56889	3.5745	0.9984	17.824	17.852	0.995	0.0560	7.1489	636.37	636.4	0.5056
0.5690	0.56988	3.5807	0.9984	17.935	17.963	0.995	0.0557	7.1614	644.34	644.3	0.5056

Tabel A-1. Lanjutan

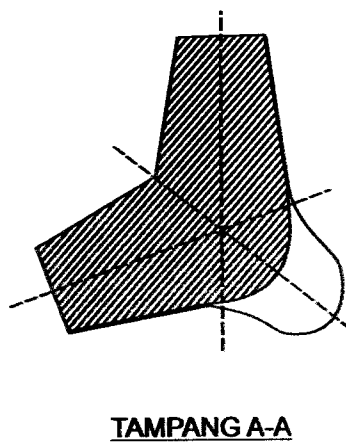
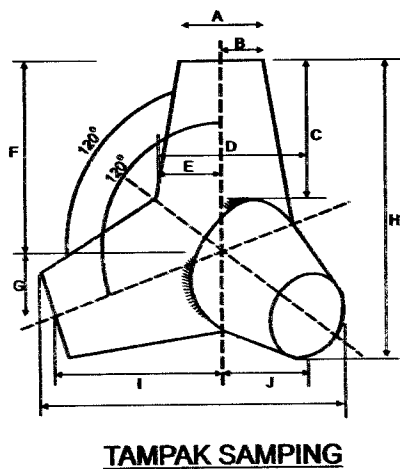
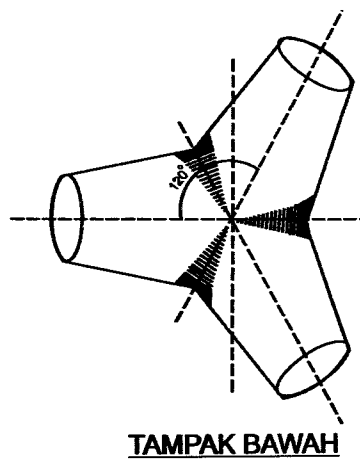
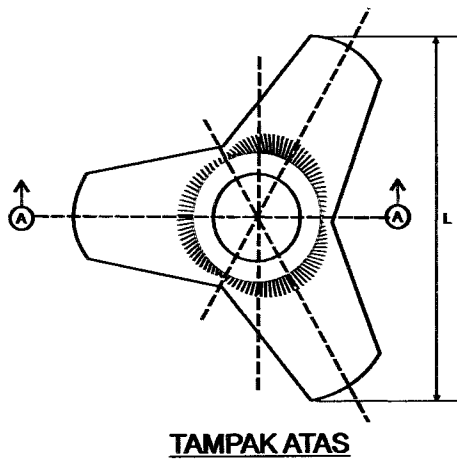
$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.5700	0.57087	3.5869	0.9985	18.047	18.075	0.995	0.0553	7.1738	652.41	652.4	0.5055
0.5710	0.57187	3.5931	0.9985	18.160	18.188	0.995	0.0550	7.1863	660.58	660.6	0.5054
0.5720	0.57286	3.5994	0.9985	18.274	18.301	0.995	0.0546	7.1987	668.86	668.9	0.5054
0.5730	0.57385	3.6056	0.9985	18.388	18.415	0.995	0.0543	7.2112	677.24	677.2	0.5053
0.5740	0.57484	3.6118	0.9985	18.503	18.530	0.995	0.0540	7.2236	685.72	685.7	0.5053
0.5750	0.57583	3.6180	0.9986	18.619	18.646	0.996	0.0536	7.2361	694.32	694.3	0.5052
0.5760	0.57682	3.6243	0.9986	18.735	18.762	0.996	0.0533	7.2485	703.02	703.0	0.5052
0.5770	0.57781	3.6305	0.9986	18.852	18.879	0.996	0.0530	7.2610	711.83	711.8	0.5051
0.5780	0.57880	3.6367	0.9986	18.970	18.997	0.996	0.0526	7.2734	720.75	720.8	0.5050
0.5790	0.57979	3.6430	0.9986	19.089	19.115	0.996	0.0523	7.2859	729.79	729.8	0.5050
0.5800	0.58079	3.6492	0.9986	19.209	19.235	0.996	0.0520	7.2984	738.94	738.9	0.5049
0.5810	0.58178	3.6554	0.9987	19.329	19.355	0.996	0.0517	7.3108	748.21	748.2	0.5049
0.5820	0.58277	3.6616	0.9987	19.450	19.475	0.996	0.0513	7.3233	757.59	757.6	0.5048
0.5830	0.58376	3.6679	0.9987	19.572	19.597	0.996	0.0510	7.3358	767.09	767.1	0.5048
0.5840	0.58475	3.6741	0.9987	19.694	19.719	0.996	0.0507	7.3482	776.71	776.7	0.5047
0.5850	0.58574	3.6803	0.9987	19.817	19.843	0.996	0.0504	7.3607	786.45	786.5	0.5047
0.5860	0.58674	3.6866	0.9987	19.941	19.966	0.996	0.0501	7.3731	796.32	796.3	0.5046
0.5870	0.58773	3.6928	0.9988	20.066	20.091	0.996	0.0498	7.3856	806.31	806.3	0.5046
0.5880	0.58872	3.6990	0.9988	20.192	20.217	0.996	0.0495	7.3981	816.42	816.4	0.5045
0.5890	0.58971	3.7053	0.9988	20.318	20.343	0.996	0.0492	7.4106	826.67	826.7	0.5045
0.5900	0.59071	3.7115	0.9988	20.446	20.470	0.996	0.0489	7.4230	837.04	837.0	0.5044
0.5910	0.59170	3.7177	0.9988	20.574	20.598	0.996	0.0485	7.4355	847.55	847.5	0.5044
0.5920	0.59269	3.7240	0.9988	20.702	20.727	0.996	0.0482	7.4480	858.18	858.2	0.5043
0.5930	0.59368	3.7302	0.9988	20.832	20.856	0.996	0.0479	7.4604	868.95	869.0	0.5043
0.5940	0.59468	3.7365	0.9989	20.963	20.986	0.996	0.0476	7.4729	879.86	879.9	0.5042
0.5950	0.59567	3.7427	0.9989	21.094	21.118	0.996	0.0474	7.4854	890.91	890.9	0.5042
0.5960	0.59666	3.7489	0.9989	21.226	21.250	0.996	0.0471	7.4979	902.09	902.1	0.5042
0.5970	0.59765	3.7552	0.9989	21.359	21.382	0.996	0.0468	7.5103	913.42	913.4	0.5041
0.5980	0.59865	3.7614	0.9989	21.493	21.516	0.996	0.0465	7.5228	924.89	924.9	0.5041
0.5990	0.59964	3.7676	0.9989	21.628	21.651	0.997	0.0462	7.5353	936.50	936.5	0.5040

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.6000	0.60063	3.7739	0.9989	21.763	21.786	0.997	0.0459	7.5478	948.26	948.3	0.5040
0.6100	0.61057	3.8363	0.9991	23.166	23.188	0.997	0.0431	7.6726	1074.4	1074	0.5036
0.6200	0.62051	3.8988	0.9992	24.661	24.681	0.997	0.0405	7.7976	1217.3	1217	0.5032
0.6300	0.63046	3.9613	0.9993	26.253	26.272	0.998	0.0381	7.9226	1379.4	1379	0.5029
0.6400	0.64041	4.0238	0.9994	27.948	27.966	0.998	0.0358	8.0476	1563.2	1563	0.5026
0.6500	0.65037	4.0864	0.9994	29.754	29.770	0.998	0.0336	8.1728	1771.5	1772	0.5023
0.6600	0.66033	4.1490	0.9995	31.676	31.692	0.998	0.0316	8.2979	2007.8	2008	0.5021
0.6700	0.67029	4.2116	0.9996	33.724	33.739	0.998	0.0296	8.4232	2275.7	2276	0.5019
0.6800	0.68026	4.2742	0.9996	35.905	35.919	0.999	0.0278	8.5484	2579.4	2579	0.5017
0.6900	0.69024	4.3369	0.9997	38.228	38.241	0.999	0.0262	8.6738	2923.7	2924	0.5015
0.7000	0.70021	4.3996	0.9997	40.701	40.714	0.999	0.0246	8.7991	3314.2	3314	0.5013
0.7100	0.71019	4.4622	0.9997	43.335	43.347	0.999	0.0231	8.9245	3756.9	3757	0.5012
0.7200	0.72017	4.5250	0.9998	46.141	46.151	0.999	0.0217	9.0499	4258.9	4259	0.5011
0.7300	0.73015	4.5877	0.9998	49.128	49.138	0.999	0.0204	9.1754	4828.1	4828	0.5010
0.7400	0.74014	4.6504	0.9998	52.309	52.319	0.999	0.0191	9.3008	5473.5	5473	0.5008
0.7500	0.75012	4.7131	0.9998	55.697	55.706	0.999	0.0180	9.4263	6205.2	6205	0.5008
0.7600	0.76011	4.7759	0.9999	59.304	59.313	0.999	0.0169	9.5518	7035.0	7035	0.5007
0.7700	0.77010	4.8387	0.9999	63.146	63.154	0.999	0.0158	9.6773	7975.8	7976	0.5006
0.7800	0.78009	4.9014	0.9999	67.237	67.244	1.000	0.0149	9.8029	9042.6	9043	0.5005
0.7900	0.79008	4.9642	0.9999	71.594	71.601	1.000	0.0140	9.9284	10252	10252	0.5005
0.8000	0.80007	5.0270	0.9999	76.233	76.239	1.000	0.0131	10.054	11624	11624	0.5004
0.8100	0.81006	5.0898	0.9999	81.173	81.179	1.000	0.0123	10.180	13179	13179	0.5004
0.8200	0.82005	5.1526	0.9999	86.434	86.439	1.000	0.0116	10.305	14943	14943	0.5003
0.8300	0.83005	5.2154	0.9999	92.036	92.041	1.000	0.0109	10.431	16942	16942	0.5003
0.8400	0.84004	5.2782	0.9999	98.001	98.006	1.000	0.0102	10.556	19209	19209	0.5003
0.8500	0.85004	5.3410	1.0000	104.35	104.36	1.000	0.0096	10.682	21780	21780	0.5002
0.8600	0.86003	5.4038	1.0000	111.12	111.12	1.000	0.0090	10.808	24695	24695	0.5002
0.8700	0.87003	5.4666	1.0000	118.32	118.33	1.000	0.0085	10.933	28001	28001	0.5002
0.8800	0.88003	5.5294	1.0000	125.99	126.00	1.000	0.0079	11.059	31749	31749	0.5002
0.8900	0.89002	5.5922	1.0000	134.16	134.16	1.000	0.0075	11.184	35999	35999	0.5002

Tabel A-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.9000	0.90002	5.6550	1.0000	142.86	142.86	1.000	0.0070	11.310	40817	40817	0.5001
0.9100	0.91002	5.7178	1.0000	152.12	152.12	1.000	0.0066	11.436	46281	46281	0.5001
0.9200	0.92002	5.7806	1.0000	161.98	161.98	1.000	0.0062	11.561	52477	52477	0.5001
0.9300	0.93002	5.8435	1.0000	172.48	172.49	1.000	0.0058	11.687	59503	59503	0.5001
0.9400	0.94001	5.9063	1.0000	183.67	183.67	1.000	0.0054	11.813	67469	67469	0.5001
0.9500	0.95001	5.9691	1.0000	195.58	195.58	1.000	0.0051	11.938	76501	76501	0.5001
0.9600	0.96001	6.0319	1.0000	208.26	208.26	1.000	0.0048	12.064	86743	86743	0.5001
0.9700	0.97001	6.0948	1.0000	221.76	221.76	1.000	0.0045	12.190	98357	98357	0.5001
0.9800	0.98001	6.1576	1.0000	236.14	236.14	1.000	0.0042	12.315	111525	111525	0.5001
0.9900	0.99001	6.2204	1.0000	251.45	251.45	1.000	0.0040	12.441	126457	126457	0.5000
1.0000	1.00001	6.2832	1.0000	267.76	267.76	1.000	0.0037	12.566	143388	143388	0.5000



Parameter	Berat Butir Lapis Lindung Tetrapod W (ton)								
	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
V (m ³)	0.21	0.42	0.83	2.08	4.17	6.25	8.33	10.42	12.50
H (m)	0.91	1.14	1.44	1.95	2.46	2.82	3.10	3.34	3.55
A (m)	0.27	0.34	0.43	0.59	0.74	0.85	0.94	1.01	1.07
B (m)	0.14	0.17	0.22	0.29	0.37	0.43	0.47	0.50	0.54
C (m)	0.43	0.54	0.69	0.93	1.17	1.34	1.48	1.59	1.69
D (m)	0.43	0.54	0.68	0.92	1.16	1.32	1.46	1.57	1.67
E (m)	0.21	0.27	0.34	0.46	0.58	0.66	0.73	0.78	0.83
F (m)	0.58	0.74	0.93	1.26	1.58	1.81	2.00	2.15	2.28
G (m)	0.19	0.25	0.31	0.42	0.53	0.61	0.67	0.72	0.76
I (m)	0.55	0.69	0.87	1.18	1.49	1.71	1.88	2.02	2.15
J (m)	0.27	0.35	0.44	0.59	0.75	0.85	0.94	1.01	1.07
K (m)	0.99	1.25	1.57	2.13	2.68	3.07	3.38	3.64	3.87
L (m)	1.09	1.37	1.73	2.34	2.95	3.38	3.72	4.01	4.26
TLL (m)	1.23	1.55	1.96	2.66	3.35	3.83	4.22	4.54	4.83
JBLL (buah)	29.59	18.64	11.74	6.38	4.02	3.07	2.53	2.18	1.93

Catatan

Berat jenis beton : 2,4 ton/m³

Volume Butir Lapis Lindung (V) = 0,280 H³

dengan :

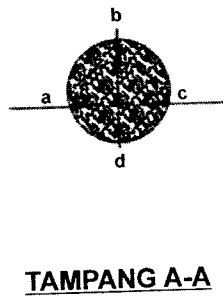
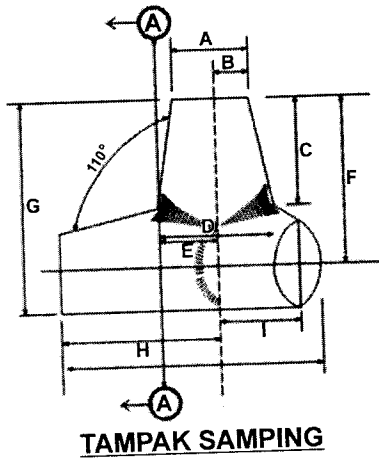
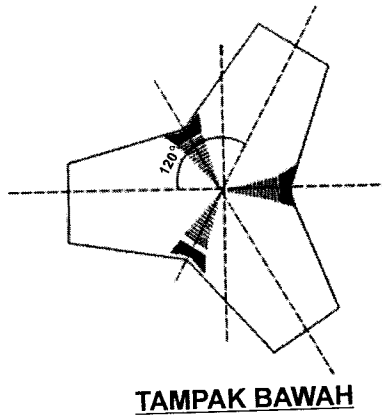
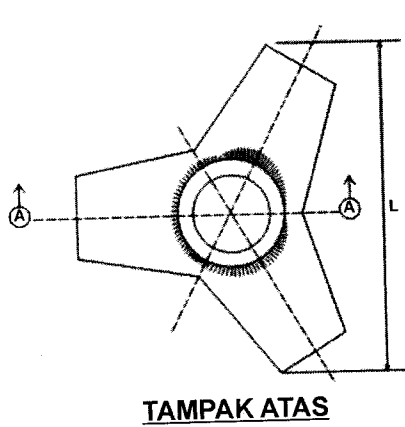
A = 0,302 H	G = 0,215 H
B = 0,151 H	H = Tinggi tetrapod
C = 0,477 H	I = 0,606 H
D = 0,470 H	J = 0,303 H
E = 0,235 H	K = 1,091 H
F = 0,644 H	L = 1,201 H

Tebal lapis lindung (2 lapis) t = 1,361 H

Jumlah butir lapis lindung tiap 10m⁻² Ns = 24,3 H⁻²

TLL : Tebal lapis lindung

JBLL : Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m²



Parameter	Berat Butir Lapis Lindung Quadripod W (ton)								
	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
V (m ³)	0.21	0.42	0.83	2.08	4.17	6.25	8.33	10.42	12.50
G (m)	0.75	0.94	1.19	1.61	2.03	2.33	2.56	2.76	2.93
A (m)	0.29	0.36	0.45	0.62	0.78	0.89	0.98	1.05	1.12
B (m)	0.14	0.18	0.23	0.31	0.39	0.44	0.49	0.53	0.56
C (m)	0.39	0.50	0.63	0.85	1.07	1.22	1.35	1.45	1.54
D (m)	0.42	0.53	0.67	0.91	1.15	1.32	1.45	1.56	1.66
E (m)	0.21	0.27	0.34	0.46	0.58	0.66	0.73	0.78	0.83
F (m)	0.61	0.76	0.96	1.31	1.65	1.88	2.07	2.23	2.37
H (m)	0.61	0.76	0.96	1.31	1.65	1.88	2.07	2.23	2.37
I (m)	0.30	0.38	0.48	0.65	0.82	0.94	1.04	1.12	1.19
J (m)	1.03	1.30	1.64	2.23	2.81	3.21	3.53	3.81	4.05
K (m)	1.19	1.50	1.89	2.57	3.24	3.71	4.08	4.40	4.67
TLL (m)	1.13	1.42	1.79	2.43	3.06	3.50	3.85	4.15	4.41
JBL (buah)	27.57	17.37	10.94	5.94	3.74	2.86	2.36	2.03	1.80

Catatan

Berat jenis beton : 2,4 ton/m³

Volume Butir Lapis Lindung (V) = 0,495 H³

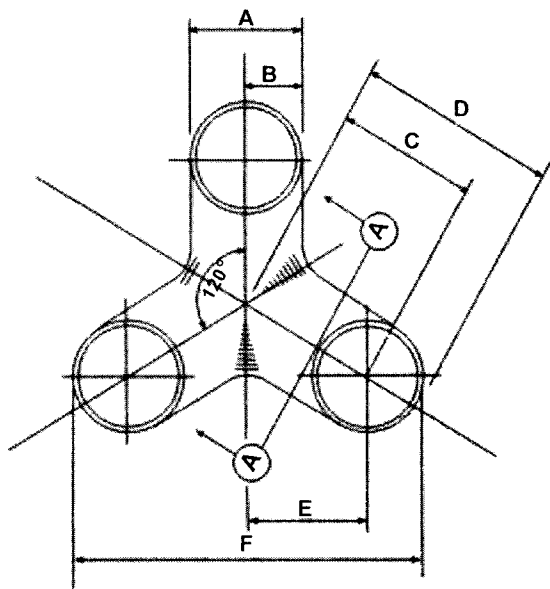
dengan : A = 0,382 G G = tinggi quadripod
 B = 0,191 G H = 0,809 G
 C = 0,526 G I = 0,405 G
 D = 0,566 G J = 1,379 G
 E = 0,283 G K = 1,592 G
 F = 0,809 G

Tebal lapis lindung (2 lapis) t = 1,503 G

Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m⁻² N = 15,48 G⁻²

TLL : Tebal lapis lindung

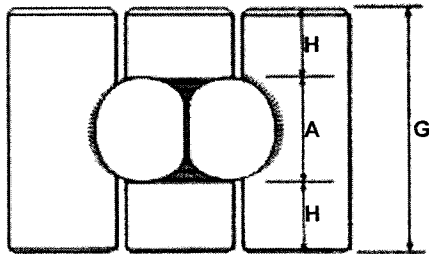
JBL : Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m²



TAMPAK ATAS



TAMPANG A-A



TAMPAK SAMPING

Parameter	Berat Butir Lapis Lindung Tribar W (ton)								
	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
V (m ³)	0.21	0.42	0.83	2.08	4.17	6.25	8.33	10.42	12.50
A (m)	0.32	0.40	0.51	0.69	0.86	0.99	1.09	1.17	1.25
B (m)	0.16	0.20	0.25	0.34	0.43	0.49	0.54	0.59	0.62
C (m)	0.40	0.50	0.63	0.86	1.08	1.24	1.36	1.47	1.56
D (m)	0.56	0.70	0.88	1.20	1.51	1.73	1.91	2.05	2.18
E (m)	0.34	0.43	0.54	0.73	0.92	1.05	1.15	1.24	1.32
F (m)	1.01	1.27	1.60	2.17	2.73	3.13	3.44	3.71	3.94
G (m)	0.64	0.80	1.01	1.37	1.73	1.98	2.18	2.35	2.49
H (m)	0.16	0.20	0.25	0.34	0.43	0.49	0.54	0.59	0.62
TLL (m)	1.21	1.52	1.92	2.61	3.28	3.76	4.14	4.45	4.73
JBL (buah)	26.75	16.85	10.61	5.76	3.63	2.77	2.29	1.97	1.75

Catatan

Berat jenis beton : 2,4 ton/m³

Volume Butir Lapis Lindung (V) = 6,46 A³

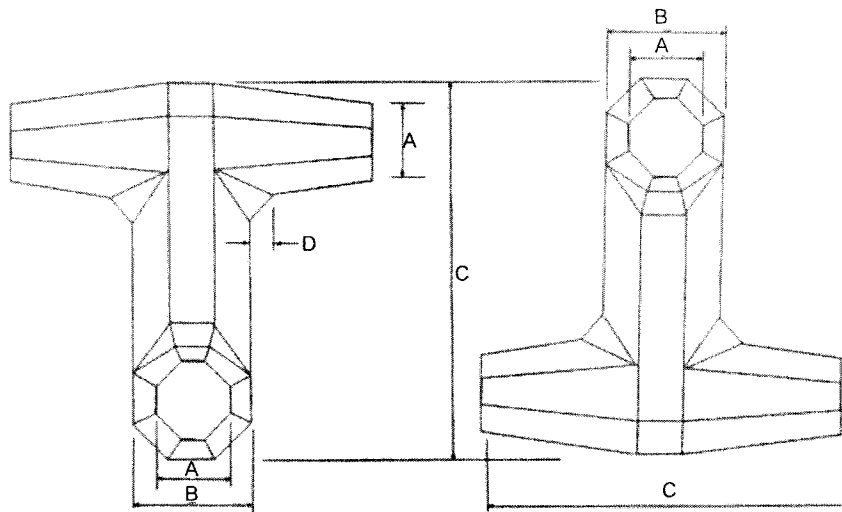
dengan : A = diameter kaki E = 1,06A
 B = 0,5 A F = 3,16A
 C = 1,25 A G = 2A
 D = 1,75 A H = B = 0,5A

Tebal lapis lindung (2 lapis) t = 3.799 A

Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m⁻² N_s = 2.71 A⁻²

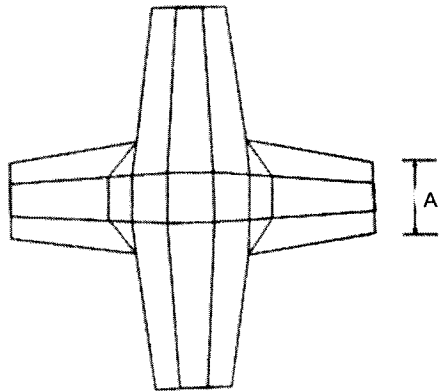
TLL : Tebal lapis lindung

JBL : Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m²



TAMPAK ATAS

TAMPAK SISI



TAMPAK SAMPING

Parameter	Berat Butir Lapis Lindung Dolos W (ton)								
	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
V (m ³)	0.21	0.42	0.83	2.08	4.17	6.25	8.33	10.42	12.50
C (m)	1.09	1.38	1.73	2.35	2.96	3.39	3.73	4.02	4.27
A (m)	0.22	0.28	0.35	0.47	0.59	0.68	0.75	0.80	0.85
B (m)	0.35	0.44	0.55	0.75	0.95	1.09	1.20	1.29	1.37
D (m)	0.06	0.08	0.10	0.13	0.17	0.19	0.21	0.23	0.24
TLL (m)	1.11	1.40	1.77	2.40	3.02	3.46	3.81	4.10	4.36
JBLL (buah)	23.53	14.82	9.34	5.07	3.19	2.44	2.01	1.73	1.54

Catatan

Berat jenis beton : 2,4 ton/m³

Volume Butir Lapis Lindung (V) = 0,160 C³

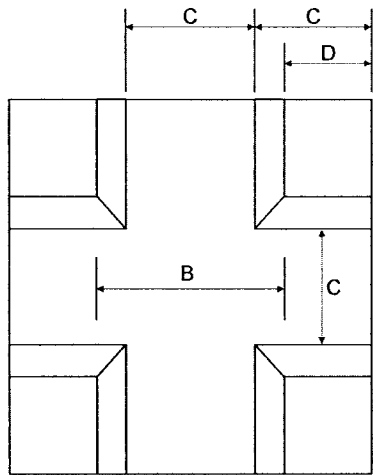
dengan : A = 0,20 C C = Tinggi Dolos
 B = 0,32 C D = 0,057 C

Tebal lapis lindung (2 lapis) t = 1,020 C

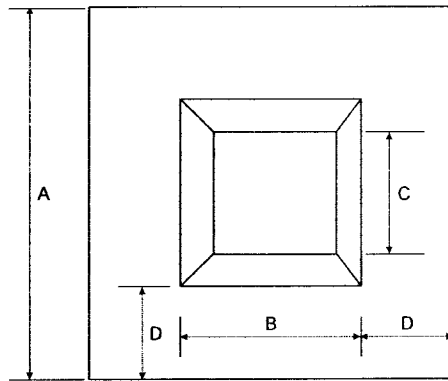
Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m² N = 28,06 H⁻²

TLL : Tebal lapis lindung

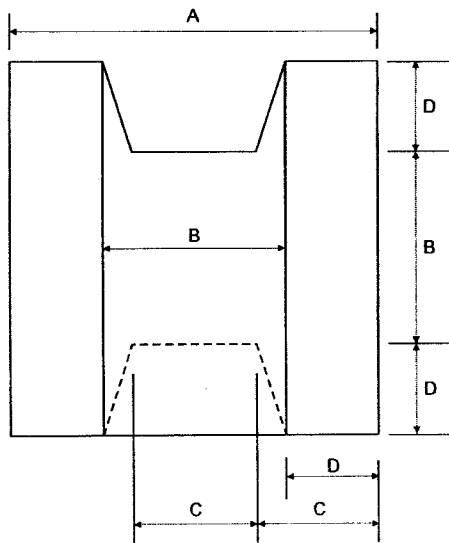
JBLL : Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m²



TAMPAK ATAS



TAMPAK BAWAH



TAMPAK SAMPING

Parameter	Berat Butir Lapis Lindung Kubus dimodifikasi W (ton)								
	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
V (m ³)	0.21	0.42	0.83	2.08	4.17	6.25	8.33	10.42	12.50
A (m)	0.64	0.81	1.02	1.39	1.75	2.00	2.20	2.37	2.52
B (m)	0.32	0.41	0.51	0.70	0.88	1.00	1.11	1.19	1.27
C (m)	0.22	0.27	0.34	0.46	0.59	0.67	0.74	0.79	0.84
D (m)	0.16	0.20	0.25	0.35	0.44	0.50	0.55	0.59	0.63
TLL (m)	1.30	1.64	2.07	2.81	3.54	4.05	4.46	4.80	5.11
JBLL (buah)	33.18	20.90	13.17	7.15	4.50	3.44	2.84	2.44	2.17

Catatan

Berat jenis beton : 2,4 ton/m³

Volume Butir Lapis Lindung (V) = 0,781 A³

dengan : A = sisi kubus C = 0,335 A

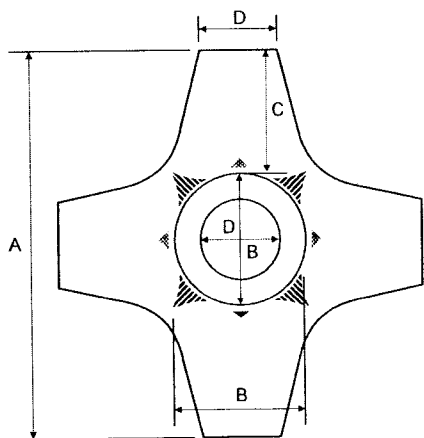
B = 0,502 A D = 0,249 A

Tebal lapis lindung (2 lapis) t = 2,026 A

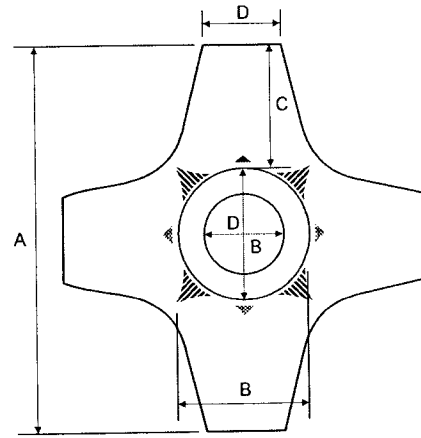
Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m⁻² Ns = 13,75 A⁻²

TLL : Tebal lapis lindung

JBLL : Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m²



TAMPAK ATAS



TAMPAK SAMPING

Parameter	Berat Butir Lapis Lindung Hexapod W (ton)								
	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
V (m ³)	0.21	0.42	0.83	2.08	4.17	6.25	8.33	10.42	12.50
A (m)	1.06	1.33	1.68	2.28	2.87	3.29	3.62	3.90	4.14
B (m)	0.38	0.48	0.60	0.81	1.03	1.17	1.29	1.39	1.48
C (m)	0.34	0.43	0.54	0.73	0.92	1.06	1.16	1.25	1.33
D (m)	0.23	0.29	0.36	0.49	0.62	0.71	0.78	0.84	0.89
TLL (m)	1.36	1.72	2.16	2.94	3.70	4.24	4.66	5.02	5.34
JBL (buah)	34.68	21.85	13.76	7.47	4.71	3.59	2.97	2.56	2.26

Catatan

Berat jenis beton : 2,4 ton/m³

Volume Butir Lapis Lindung (V) = 0,781 A³

dengan : A = sisi kubus C = 0,322 A
 B = 0,357A D = 0,215 A

Tebal lapis lindung (2 lapis) t = 1,289 A

Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m⁻² Ns = 38.81 A⁻²

TLL : Tebal lapis lindung

JBL : Jumlah butir lapis lindung tiap 10 m²