

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1 Definisi 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. Kapal sebagai sarana pelayaran mempunyai peran sangat penting dalam sistem angkutan laut (Triatmodjo, 2009). Di Indonesia ada dua istilah yang terkait dengan fasilitas pemberhentian kapal dan keluar masuk barang dari laut ke daratan. Istilah tersebut adalah pelabuhan dan bandar. Pelabuhan merupakan perairan yang terlindung diergunakan sebagai tempat berlindung dan tempat sandar kapal dari gangguan alam seperti gelombang dan badai. Sedangkan bandar mempunyai arti secara umum yaitu pintu gerbang yang merupakan tempat keluar masuknya barang dan penumpang (Yuwono, 2025).

Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 61 tahun 2009 tentang kepelabuhanan, pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan perusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra-dan antarmoda transportasi (P. R. Indonesia, 2009). 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 dipertanggung jawabkan baik secara sosial ekonomis maupun teknis (Triatmodjo, 2009). Di pelabuhan ini terjadi perpindahan moda transportasi, yaitu dari angkutan laut ke angkutan darat dan sebaliknya. Untuk mendukung kegiatan tersebut, suatu pelabuhan harus dilengkapi dengan fasilitas berikut ini :

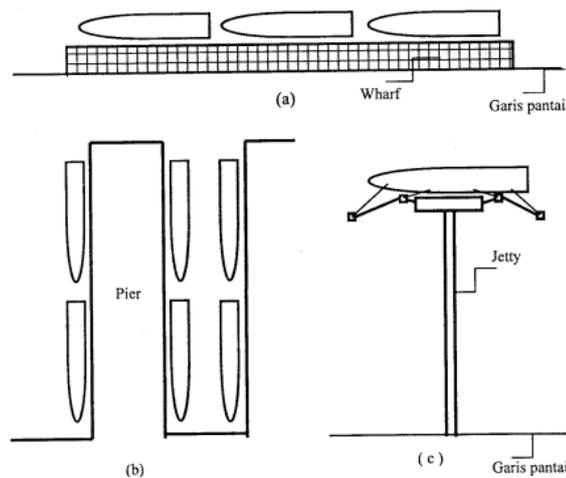
- a. Dermaga di mana kapal akan bertambat dan melakukan kegiatan bongkar muat barang. Panjang kapal dermaga harus cukup untuk menampung seluruh panjang kapal atau setidaknya 80% dari panjang kapal. Hal ini disebabkan karena muatan dibongkar muat melalui bagian muka, belakang dan tengah kapal.
- b. Mempunyai halaman dermaga yang cukup lebar untuk keperluan bongkar muat barang. Barang yang akan dimuat disiapkan di atas dermaga dan kemudian diangkat dengan *crane* masuk kapal. Demikian pula pembongkarannya dilakukan dengan *crane* dan barang diletakkan di atas dermaga kemudian diangkut ke gudang.
- c. Mempunyai gudang transito 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 kapal ke dermaga dan sebaliknya serta mengangkut barang ke gudang dan lapangan penumpukan.

3.2 Definisi Dermaga

Dermaga merupakan bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapatnya kapal dan menambatkan pada waktu bongkar muat barang. 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. Dermaga dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *wharf*, *pier* dan *jetty*. Struktur *wharf* dan *pier* bisa berupa struktur tertutup atau terbuka, sementara struktur *jetty* pada umumnya berupa struktur terbuka. Struktur tertutup bisa berupa dinding gravitasi dan dinding turap, sedangkan struktur terbuka berupa dermaga yang didukung oleh tiang pancang. Dinding gravitasi bisa berupa blok beton, kaisan, sel turap baja atau dinding penahan tanah (Triatmodjo, 2009).

Wharf merupakan 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 (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* merupakan dermaga yang menjorok ke laut, 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 3.1 menunjukkan beberapa tipe dermaga (Triatmodjo, 1999).

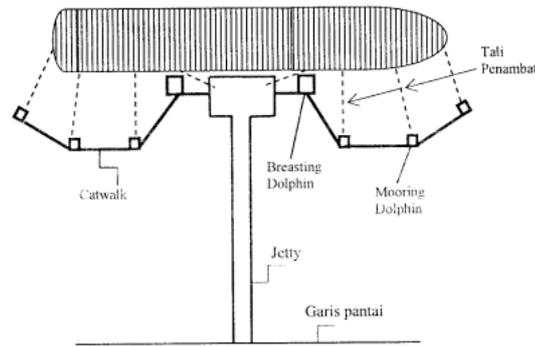


Gambar 3.1 Tipe Dermaga

(Sumber: Perencanaan Pelabuhan, Triatmodjo 2009)

3.3 Definisi *Dolphin*

Dolphin adalah konstruksi yang digunakan untuk menahan benturan dan menambatkan kapal. *Dolphin* banyak digunakan pada pelayanan bongkar muat barang curah. *Jetty* menjorok ke laut yang digunakan untuk bertambat kapal dan dilengkapi dengan *dolphin* yang berfungsi menahan benturan kapal, sehingga kapal tidak membentur *jetty*. Struktur dermaga tipe *jetty* pada umumnya digunakan untuk merapat kapal tanker, kapal LNG dan tongkang pengangkut batu bara. Pada gambar 3.2 adalah contoh *jetty* yang digunakan untuk kapal tanker atau LNG. Untuk menahan benturan kapal yang merapat dipasang *dolphin* penahan benturan (*breasting dolphin*) didepan *jetty*. Sedangkan 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* (Triatmodjo, 2009).



Gambar 3.2 Struktur Dermaga Tipe *Jetty*

(Sumber: Perencanaan Pelabuhan, Triatmomodjo 2009)

3.4 Data yang Digunakan dalam Analisis Struktur Dolphin

3.4.1 Peta Batimetri dan Topografi

Peta batimetri dan topografi sangat diperlukan untuk menentukan volume bangunan. Dengan adanya peta batimetri maka dapat ditentukan kedalaman dasar laut sehingga perencanaan dermaga dapat dilakukan secara tepat dan kapal aman untuk bermanuver sesuai dengan kebutuhannya (Ria & Umar, 2023).

Dalam perencanaan tugas akhir, data peta batimetri dan topografi dapat diperoleh dengan pengukuran langsung maupun dengan melihat dokumen data sekunder dari lembaga yang mengeluarkan peta batimetri tersebut. Dalam analisis *dolphin* ini, peta batimetri digunakan untuk :

- a. Menentukan lokasi perencanaan dermaga serta fasilitas terminal lainnya secara aman dan tepat.
- b. Merencanakan kedalaman alur pelayaran, lebar alur pelayaran, serta kolam putar yang diperlukan. Apabila area alur pelayaran, kolam labuh dan kolam putar kedalamannya belum memenuhi syarat untuk kegiatan navigasi, maka dapat direncanakan kegiatan pengerukan dari kolam labuh dan alur pelayaran tersebut.

3.4.2 Arus

Gelombang yang menjalar menuju pantai membawa massa air dan momentum dalam arah penjalaran gelombang. Transpor massa dan momentum tersebut menimbulkan arus di daerah dekat pantai. Arus sepanjang pantai (*longshore current*) dapat juga ditimbulkan oleh gelombang yang pecah dengan membentuk

sudut terhadap garis pantai. Arus ini terjadi di daerah antara gelombang pecah dan garis pantai. Parameter terpenting didalam menentukan kecepatan arus sepanjang pantai adalah tinggi dan sudut datang gelombang pecah (Triatmodjo, 2008).

Dalam analisis *dolphin*, data arus ini digunakan untuk mengetahui tekanan arus yang terjadi dan untuk menghindari pengaruh tekanan arus arah tegak lurus kapal sehingga kapal dapat bermanuver secara cepat dan aman. Selain itu data arus juga digunakan untuk mengevaluasi stabilitas garis atau morfologi pantai (erosi atau sedimentasi) (Anwar, dkk 2009). Umumnya dari data arus ini yang dibutuhkan adalah mengetahui frekuensi arah dan kecepatan arus terhadap pola aliran pasang surut. Selain itu juga dilakukan analisa untuk mengetahui kecepatan dan arah arus maksimum yang terjadi. Analisa data ini bertujuan untuk mengetahui tekanan arus serta kelayakannya untuk kapal berlabuh (Nusontoro, 2017).

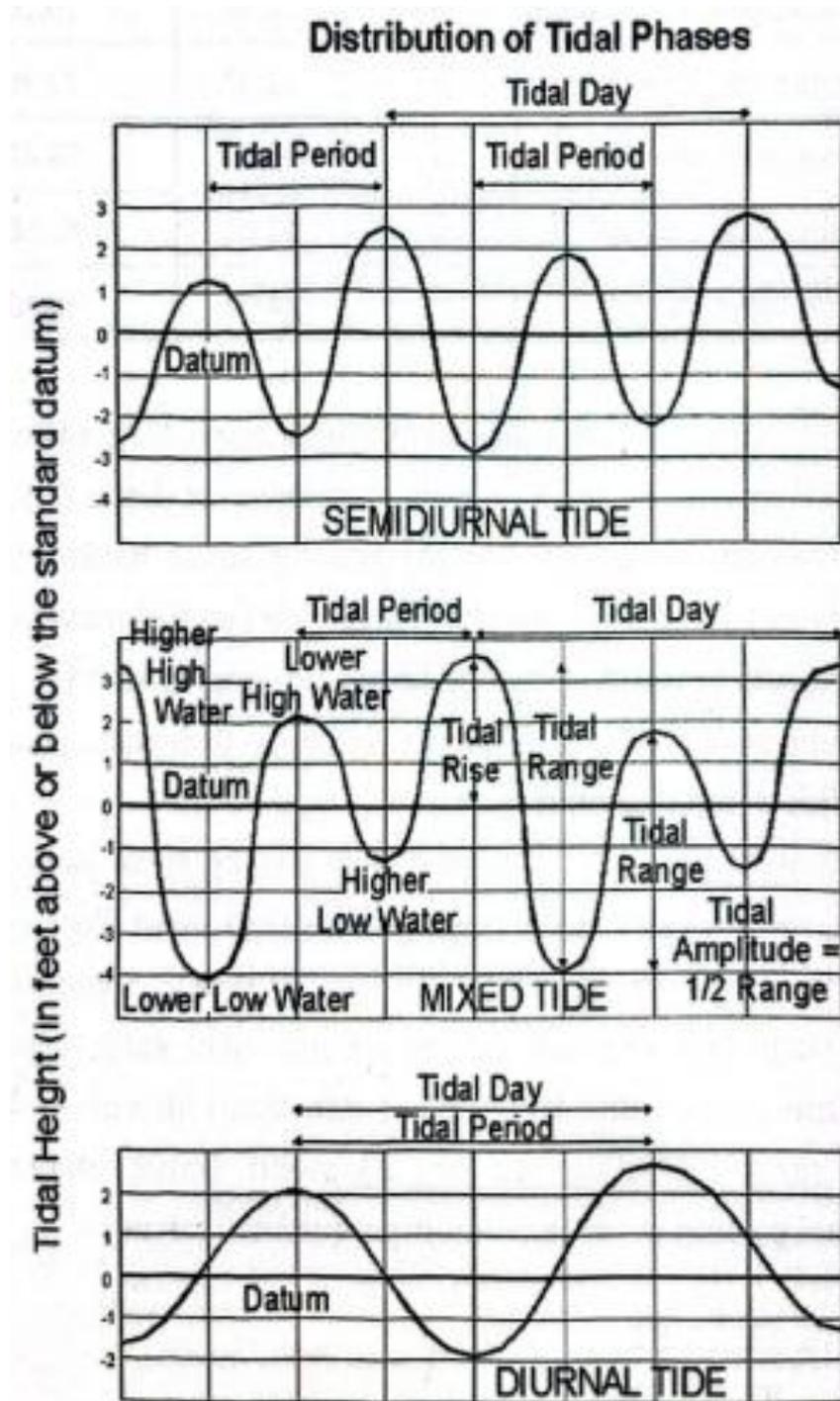
3.4.3 Pasang surut

Pasang surut adalah gelombang atau fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan dermaga. Karena elevasi puncak bangunan pemecah gelombang dan dermaga ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara kedalaman alur pelayaran dan perairan ditentukan oleh muka air surut (Triatmodjo, 2009).

Pada suatu daerah dapat terjadi sekali atau dua kali pasang surut dalam satu hari dengan tipe pasang surut yang berbeda di tiap daerah. Bentuk dari pasang surut ini secara umum dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu :

- a. Pasang surut harian tunggal (*diurnal*), bila terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari sehingga dalam satu periode pasang surut berlangsung sekitar 24 jam 50 menit.
- b. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal*), bila terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari sehingga dalam satu periode pasang surut berlangsung sekitar 12 jam 24 menit.
- c. Pasang surut harian campuran (*mixed*), pada tipe ini terdapat dua kecenderungan pasang surut, yaitu pasang surut yang lebih dominan pada tipe

tunggal dan pasang surut yang lebih dominan pada tipe ganda (Triatmodjo, 2009).



Gambar 3.3 Jenis Pasang Surut

(Sumber: Infrastruktur dan Tata Kelola Pelabuhan, Yuwono 2025)

Untuk menentukan klasifikasi pasang surut digunakan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \quad (3.1)$$

Konstanta A_{K1} , A_{O1} , A_{M2} dan A_{S2} adalah amplitudo konstanta pasang surut utama. Adapun cara untuk menentukan tipe pasang surut digunakan syarat sebagai berikut:

$F \leq 0,25$ = pasang harian ganda

$F \leq 3$ = pasang harian tunggal

$0,25 < F < 1,5$ = pasang campuran condong ke harian ganda

$1,5 < F < 3$ = pasang campuran condong ke harian tunggal

Diperlukan juga suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut karena elevasi muka air laut selalu berubah – ubah. Penetapan elevasi ini digunakan untuk pedoman dalam perencanaan suatu pelabuhan (Suwarni, 2020). Elevasi penting yang perlu diketahui sebagai hasil analisis data pasang surut, yaitu :

- a. Tipe pasang surut yang dapat dilihat dari periode dan keteraturannya.
- b. LWS (*Low water Spring*) adalah hasil perhitungan elevasi muka air rata-rata terendah yang dicapai pada saat air surut.
- c. MSL (*Mean Sea Level*) adalah elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan antara muka air terendah dan tertinggi. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
- d. HWS (*High Water Spring*) adalah elevasi rata-rata muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang.

3.4.4 Angin

Sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi disebut angin. Gerakan udara ini disebabkan oleh perubahan temperatur atmosfer. Angin merupakan unsur dominan yang membentuk gelombang. Angin dapat menyebabkan permukaan air laut yang tenang mengalami gangguan sehingga menimbulkan riak gelombang kecil. Komponen data angin mencakup distribusi arah dan kecepatan angin (Loupatty, 2013). Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran didarat didekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam knot (Triatmodjo, 1999).

Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam tabel. Dengan data tersebut akan dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian (Triatmodjo, 2009). Data angin yang digunakan minimal data angin lima tahun untuk dapat mempelajari pola yang terjadi yang disajikan dalam bentuk tabel. Data dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat. Data yang diperoleh biasanya sudah terklarifikasikan sehingga pengolahan data lebih mudah dan data dibagi berdasarkan distribusi kecepatan dan arah angin serta persentasenya atau lebih dikenal dengan diagram mawar angin (*windrose*). Fungsi dari data angin tersebut diantaranya sebagai :

- a. Analisis perhitungan gelombang.
- b. Informasi distribusi kecepatan dan arah angin yang terjadi di lokasi perencanaan pelabuhan.
- c. Perencanaan beban horizontal pada kapal.

3.4.5 Tanah

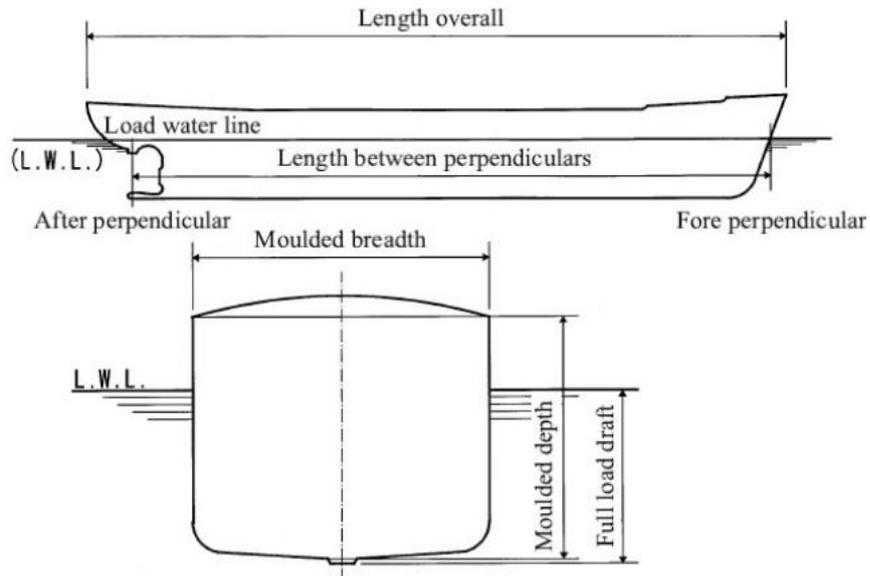
Dalam analisis *dolphin*, data geoteknik memiliki tujuan untuk menentukan daya dukung tanah dasar struktur dan untuk mengetahui potensi terjadinya penurunan (*settlement*) dan/atau likuifaksi (*liquefaction*) pada tanah dasar (Yuwono, 2025). Data tanah dapat diperoleh dengan melakukan pengeboran oleh mesin bor di beberapa titik yang akan ditinjau. Selain itu dilakukan uji SPT guna mendapatkan nilai N-SPT untuk mengetahui kedalaman tanah keras serta sifat daya dukung pada setiap kedalaman (Trisnafiah, dkk 2018). Pada uji penyelidikan tanah tes laboratorium juga perlu dilakukan untuk mengetahui parameter tanah seperti kadar air, porositas, *specific gravity* dan densitas (Y. A. Pranata & Suryoatmono, 2018).

3.4.6 Kapal

Kapal laut adalah kapal yang beroperasi di laut, yang pada umumnya berhadapan dengan gelombang yang cukup besar. 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. Untuk mendukung sarana angkutan laut diperlukan prasarana yang berupa pelabuhan. Pelabuhan merupakan tempat pemberhentian (terminal) kapal setelah

melakukan pelayaran. Dimensi serta karakteristik kapal (tipe dan fungsinya) sangat penting untuk diketahui karena berpengaruh terhadap perencanaan pelabuhan (Triatmodjo, 2009). Gambar 3.4 menunjukkan dimensi utama kapal yang akan digunakan untuk menjelaskan beberapa definisi kapal diantaranya :

- a. *Displacement Tonnage* (DT) adalah volume air yang dipindahkan oleh kapal dan sama dengan berat kapal.
- b. *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.
- c. *Displacement tonnage light* yaitu berat kapal tanpa bermuatan. Dalam hal ini berat kapal adalah termasuk perlengkapan berlayar, bahan bakar, anak buah kapal dan lain-lain.
- d. *Deadweight Tonnage* (DWT) yaitu berat total muatan Dimana kapal dapat mengangkut dalam keadaan pelayaran optimal (*draft* maksimum).
- e. *Gross register tons* (GRT) adalah volume keseluruhan ruangan kapal ($1 \text{ GRT} = 2,83 \text{ m}^3 = 100 \text{ ft}^3$)
- f. *Netto register tons* (NRT) merupakan ruangan yang disediakan untuk muatan dan penumpang, besarnya sama dengan GRT dikurangi dengan ruangan-ruangan yang disediakan untuk nahkoda dan anak buah kapal, ruang mesin, gang, kamar mandi, dapur serta ruang peta. Jadi NRT adalah ruangan-ruangan yang disediakan dan dapat diisi dengan muatan yang membayar uang tambang.
- g. *Draft* (D) 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.
- h. *Length overall* (LOA) adalah panjang kapal dihitung dari ujung depan (Haluan sampai ujung belakang (buritan) atau biasa disebut panjang total kapal dari ujung ke ujung.
- i. *Length between perpendicular* (LBP) adalah panjang kapal diukur pada muka air.
- j. *Beam* (B) adalah jarak maksimum antara dua sisi kapal atau biasa disebut dengan lebar kapal.
- k. *Moulded Depth* (d) diukur dari dasar sampai dengan geladag kapal.



Gambar 3.4 Contoh Dimensi Kapal

(Sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002)

Tipe dan bentuk pelabuhan tergantung pada jenis dan karakteristik kapal yang akan berlabuh. Untuk keperluan perencanaan pelabuhan maka berikut ini diberikan dimensi dan ukuran kapal secara umum, seperti terlihat dalam tabel 3.1 ukuran kapal yang diuraikan pada sub bab ini diambil dari buku *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan* (OCDI, 2009) dan buku *Perencanaan Pelabuhan* (Triatmodjo, 2009).

Tabel 3.1 Karakteristik Kapal Laut Sesuai Jenis Kapal DWT

DWT (ton)	KARAKTERISTIK KAPAL LAUT				Keterangan
	L_{oa} (m)	L_{pp} (m)	B (m)	$D_{full\ load}$ (m)	
Kapal Barang Umum (General Cargo Ships)					
1.000	67	61	10,7	3,8	
2.000	82	75	13,1	4,8	
3.000	92	85	14,7	5,5	
5.000	107	99	17,0	6,4	
10.000	132	123	20,7	8,1	
12.000	139	130	21,8	8,6	
18.000	156	147	24,4	9,8	
30.000	182	171	28,3	10,5	
40.000	198	187	30,7	11,5	
55.000	217	206	32,3	12,8	
70.000	233	222	34,8	13,8	
90.000	251	239	38,7	15,0	
120.000	274	261	42,0	16,5	
150.000	292	279	44,7	17,7	

Kapal Peti Kemas (<i>Container Ships</i>)					(TEUs)
10.000	139	129	22,0	7,9	500-890
20.000	177	165	27,1	9,9	1.300-1.600
30.000	203	191	30,6	11,2	2.000-2.400
40.000	241	226	32,3	12,1	2.800-3.200
50.000	274	258	34,3	12,7	3.500-3.900
60.000	294	279	35,9	13,4	4.300-4.700
100.000	350	335	42,8	14,7	7.300-7.700
Kapal Tangker (<i>Tankers</i>)					
1.000	63	57	11,0	4,0	
2.000	77	72	13,2	4,9	
3.000	86	82	14,7	5,5	
5.000	100	97	16,7	6,4	
10.000	139	131	20,6	7,6	
15.000	154	146	23,4	8,6	
20.000	166	157	25,6	9,3	
30.000	184	175	29,1	10,4	
50.000	209	199	34,3	12,0	
70.000	228	217	38,1	12,9	
90.000	243	232	41,3	14,2	
100.000	250	238	42,7	14,8	
150.000	277	265	48,6	17,2	
300.000	334	321	59,5	22,4	
Kapal RO-RO (<i>RO-RO Ships</i>)					
3.000	120	110	18,9	5,8	
5.000	140	130	21,4	6,5	
10.000	172	162	25,3	7,7	
20.000	189	174	28,0	8,7	
40.000	194	182	32,3	9,7	
60.000	208	189	34,0	10,7	
Kapal Ferry Jarak Dekat-Menengah					
400	56	47	11,6	2,8	
700	70	60	13,2	3,2	
1.000	80	71	14,4	3,5	
3.000	124	116	18,6	4,6	
7.000	141	130	22,7	5,7	
10.000	166	155	24,6	6,2	
13.000	194	179	26,2	6,7	
Kapal Penumpang (<i>Passanger Ships</i>)					
3.000	97	88	16,5	4,4	
5.000	115	104	18,6	5,3	
10.000	146	131	21,8	6,4	
20.000	186	165	25,7	7,8	
30.000	214	189	28,2	8,5	

50.000	255	224	32,3	10,4	
70.000	286	250	34,0	11,0	
100.000	324	281	36,5	12,5	
Kapal LNG (<i>Liquified Natural Gas</i>)					
20.000	174	164	27,8	8,4	
30.000	199	188	31,4	9,2	
50.000	235	223	36,7	10,4	
80.000	274	260	42,4	11,5	
100.000	294	281	45,4	12,1	
Kapal LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>)					
3.000	98	92	16,1	6,3	
5.000	116	109	18,6	7,3	
10.000	144	136	22,7	8,9	
20.000	179	170	22,7	10,8	
30.000	204	193	31,1	12,1	
40.000	223	212	33,8	13,1	
50.000	240	228	36,0	14,0	

(Sumber: *Overseas coastal Area Development Institute of Japan*, OCIDI-2009)

Tabel 3.2 Karakteristik Kapal Laut Sesuai Jenis Kapal GRT

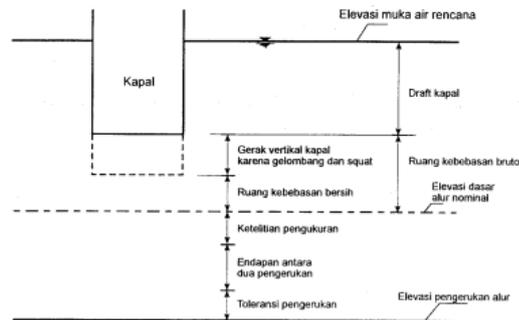
GRT	KARAKTERISTIK KAPAL LAUT				
	L_{oa} (m)	L_{pp} (m)	B (m)	$D_{full\ load}$ (m)	Keterangan
Kapal Ikan					
10	13,5	-	3,8	1,1	
20	16,2	-	4,2	1,3	
30	18,5	-	4,5	1,5	
50	21,5	-	5,0	1,8	
75	23,9	-	5,6	2,0	
100	25,9	-	5,9	2,2	
125	28,1	-	6,2	2,4	
150	30,0	-	6,5	2,5	

(Sumber: Perencanaan Pelabuhan, Triatmodjo 2009)

3.5 Kedalaman Alur Pelayaran

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 serta oseanografi. 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 ditentukan

oleh berbagai faktor seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5 Kedalaman Alur Pelayaran

(Sumber: Perencanaan Pelabuhan, Triatmomodjo 2009)

Adapun persamaan untuk mendapatkan kedalaman air total adalah

$$H = d + G + z + R \quad (3.2)$$

Keterangan:

d = draft kapal

G = gerak vertikal kapal karena gelombang dan squat

R = ruang kebebasan bersih

P = ketelitian pengukuran

S = pengendapan sedimen antara dua pengukuran

K = toleransi pengukuran

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

3.6 Elevasi Dermaga

Untuk menentukan elevasi bangunan, terlebih dahulu ditentukan elevasi muka air laut rencana yang akan ditambahkan dengan tinggi jagaan. Elevasi muka air laut rencana merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yaitu: pasang surut (MHWL), *wave setup* (S_w) dan pemanasan global (SLR) (D. Pranata, 2019). Fenomena kenaikan muka air laut (SLR) merupakan akibat yang ditimbulkan oleh adanya perubahan pada arus laut, dan perubahan densitas yang sangat berkaitan erat satu dengan lainnya. Perubahan komponen tersebut disuatu wilayah akan mempengaruhi perubahan fisis di wilayah lainnya, termasuk perubahan muka air laut pada daerah pesisir sebagai dampak dari kenaikan suhu laut (Azuga, 2021).

3.7 Fasilitas *Dolphin*

Bangunan dermaga terdiri dari beberapa bagian, diantaranya yaitu *catwalk*, *fender*, *bollard*, *platform* dan juga *dolphin*. Kapal yang merapat ke dermaga masih mempunyai kecepatan baik yang digerakkan oleh mesinnya sendiri (kapal kecil) maupun ditarik oleh kapal tunda (untuk kapal tunda). *Dolphin* merupakan konstruksi utama dari dermaga. *Dolphin* adalah konstruksi yang digunakan untuk menahan benturan dan menambatkan kapal. *Dolphin* dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu *dolphin* penahan (*breasting dolphin*) dan juga *dolphin* penambat (*mooring dolphin*). *Dolphin* penahan mempunyai ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan *dolphin* penambat, karena *dolphin* penahan direncanakan untuk menahan energi benturan kapal yang terjadi ketika berlabuh (Nugraha & Pranoto, 2020).

3.7.1 *Fender*

Pada waktu kapal bertambat ke dermaga akan terjadi benturan antara kapal dan dermaga. Walaupun kapal merapat dengan kecepatan yang relatif kecil karena massa kapal sangat besar, energi kapal yang membentur dermaga masih cukup besar. Untuk menghindari kerusakan yang terjadi baik pada kapal maupun pada dermaga, pada lokasi kontak benturan perlu diberi peredam energi / bantalan yang biasa disebut dengan *fender*. *Fender* direncanakan mampu menyerap sebagian energi kapal yang membentur dermaga (Yuwono, 2025).

Pemilihan *fender* yang akan digunakan pada dermaga dapat berdasarkan dari beberapa faktor seperti, ukuran kapal, kondisi gelombang, arus, angin serta kecepatan dan arah kapal (Naga, dkk 2023). Untuk menentukan ukuran *fender*, dihitung terlebih dahulu besarnya energi kinetik yang terjadi saat kapal merapat (E), gaya sandar pada saat kapal bersandar dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut ini :

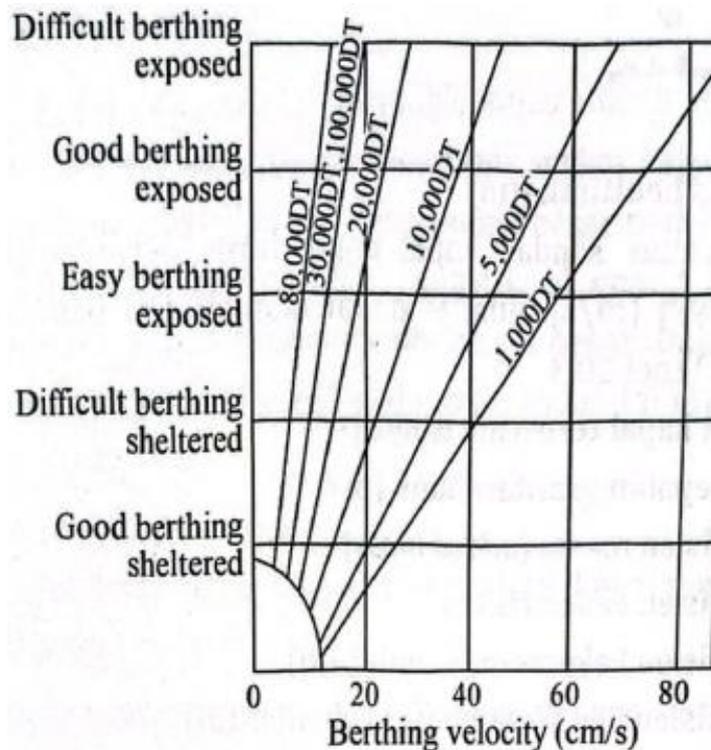
$$E = \left(\frac{W \times V^2}{2 \times g} \right) \times C_M \times C_E \times C_C \times C_S \quad (3.3)$$

keterangan:

- E = energi benturan (ton meter)
- C_M = koefisien massa (*added mass*)
- C_E = koefisien eksentrisitas

- C_c = koefisien bentuk tambatan (diambil 1 untuk *jetty*)
- C_s = koefisien kekerasan (1 jika tidak ada deformasi)
- V = kecepatan kapal waktu merapat (m/s); nilai V dapat diambil dari Gambar 3.6 atau Tabel 3.3
- g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
- W = berat kapal (ton)

Kecepatan kapal saat merapat harus dibatasi sedemikian rupa, agar energi kapal saat proses bersandar tidak terlalu besar sehingga dermaga yang dibutuhkan dapat dihemat dan tidak terlalu mahal. *Overseas coactal Area Development Institue of Japan* (OCDI-2009) menyarankan kecepatan kapal pada saat proses bersandar (*berthing*) dapat direncanakan dengan menggunakan grafik yang terdapat pada gambar 3.6. Dengan mengetahui bobot kapal dan kondisi dermaga saat kapal akan bersandar, maka kecepatan sandar kapal (*berthing velocity*) dapat ditetapkan dan selanjutnya dapat dipergunakan untuk memilih *fender* dan menghitung stabilitas dermaga.



Gambar 3.6 Kecepatan Kapal Merapat versus Ukuran Kapal dan Kondisi Perairan

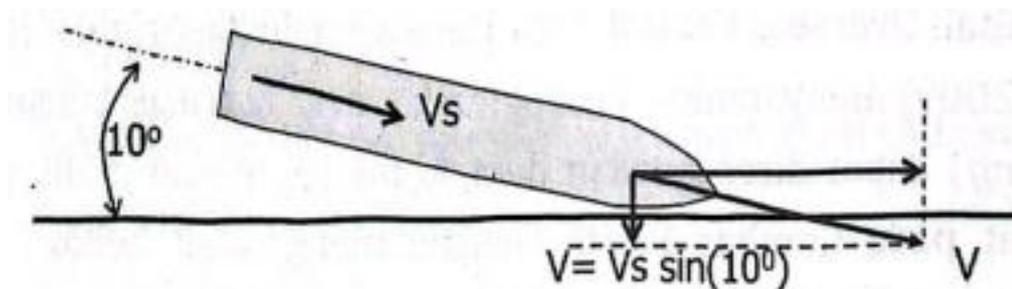
(Sumber: *Overseas coactal Area Development Institue of Japan*, 2009)

Namun, beberapa ahli pelabuhan yang lain ada yang menyarankan kecepatan sandar kapal (*berthing velocity*) dapat ditetapkan dengan menggunakan tabel 3.3 berikut :

Tabel 3.3 Kecepatan Sandar Kapal (V) versus Bobot dan Kondisi Perairan

No	Ukuran Kapal	Kecepatan Merapat	
		Pelabuhan	Laut Terbuka
1.	Dibawah 500 DWT	V = 0,25 m/s	V = 0,30 m/s
2.	500 – 10.000 DWT	V = 0,15 m/s	V = 0,20 m/s
3.	10.000 – 300.000 DWT	V = 0,15 m/s	V = 0,15 m/s
4.	Diatas 300.000 DWT	V = 0,12 m/s	V = 0,15 m/s

(Sumber: Perencanaan Pelabuhan, Triatmomodjo 2009)



Gambar 3.7 Sudut Kapal Saat *Berthing*

(Sumber: *Overseas coastal Area Development Institue of Japan*, 2009)

Koefisien massa tergantung pada gerakan air yang mengelilingi kapal berikut merupakan persamaan yang dapat dihitung :

$$C_m = 1 + \frac{\pi \times d}{2 \times C_b \times B} \quad (3.4)$$

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} \times B \times d} \quad (3.5)$$

keterangan:

C_b = koefisien blok kapal

d = *draft* kapal (m)

B = lebar kapal (m)

L_{pp} = panjang garis air (m)

Koefisien blok kapal (C_b) besarnya tergantung pada jenis kapal, khususnya terkait dengan bentuk lambung dan haluan kapal. Dengan mengetahui berat kapal (W), nilai L_{pp} , B dan D maka nilai C_b dapat ditentukan. Pada tabel 3.4, disampaikan perkiraan nilai koefisien blok kapal sesuai jenis kapal tersebut (Thoresen, 2006).

Tabel 3.4 Koefisien Blok Kapal

Jenis Kapal	Perkiraan nilai C_b
<i>Tanker</i>	0,85
<i>Bulk Carrier</i>	0,72 – 0,85
<i>General Cargo</i>	0,72 – 0,80
<i>Container Ship</i>	0,60 – 0,80
<i>RO – RO</i>	0,70 – 0,80
<i>Ferry</i>	0,55 – 0,80
<i>LNG</i>	0,72
<i>Passeger</i>	0,55 – 0,80

(Sumber: Thoresen, 2006)

Koefisien eksentris kapal adalah perbandingan antara energi sisa dan energi kinetik pada saat merapat dan nilainya dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut :

$$C_e = \frac{l}{l + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \quad (3.6)$$

Keterangan:

C_e = koefisien eksentris kapal

l = jarak muka air sejajar dermaga dari titik berat kapal ke titik sandar

= $\frac{1}{4}L$ untuk dermaga (*continues fender system*)

= $\frac{1}{6}L$ untuk *dolphin* (*single fender system*)

r = jari-jari putar (dihitung berdasarkan *Overseas coactal Area Development Institue of Japan, OCIDI-2009*)

$C_b = 0,60 \rightarrow r = 0,225 L_{oa}$

$C_b = 0,70 \rightarrow r = 0,245 L_{oa}$

$C_b = 0,80 \rightarrow r = 0,260 L_{oa}$

Berdasarkan data tersebut nilai C_e dapat disederhanakan sebagai berikut :

a. Dermaga

Untuk $C_b = 0,60 \rightarrow C_e \approx 0,45$

Untuk $C_b = 0,70 \rightarrow C_e \approx 0,50$

Untuk $C_b = 0,80 \rightarrow C_e \approx 0,52$

$\rightarrow C_e \approx 0,45 - 0,52$

b. *Dolphin*

Untuk $C_b = 0,60 \rightarrow C_e \approx 0,65$

Untuk $C_b = 0,70 \rightarrow C_e \approx 0,68$

Untuk $C_b = 0,80 \rightarrow C_e \approx 0,70$

$\rightarrow C_e \approx 0,65 - 0,70$

Adapun energi yang diserap oleh dermaga dapat dihitung dengan persamaan:

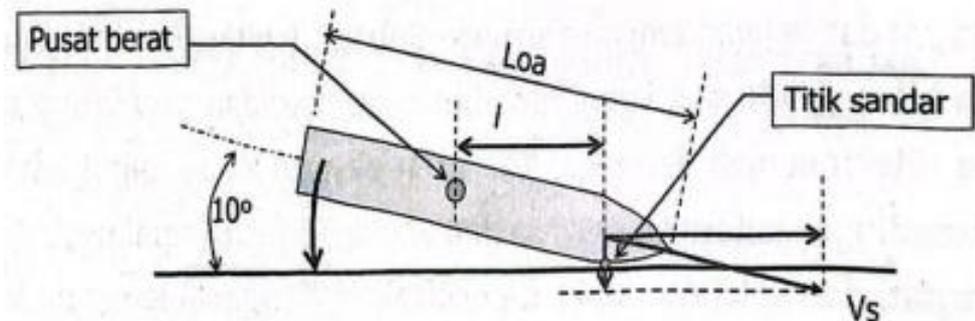
$$E = \frac{1}{2} \times F \times d \quad (3.7)$$

keterangan:

F = gaya reaksi *fender*

d = defleksi *fender*

Gambar 3.8 menunjukkan hubungan antara energi yang diserap dermaga, gaya reaksi *fender* dan defleksi *fender*.



Gambar 3.8 Benturan Kapal pada Dermaga

(Sumber: *Guidelines for the Design of Fenders Systems*, PIANC 2002)

$$E = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g} \times V^2 \quad (3.8)$$

keterangan:

W = berat kapal (ton)

V = kecepatan kapal (m/s)

3.7.2 *Bollard*

Alat tambat adalah suatu konstruksi yang digunakan untuk mengikat kapal pada

saat berlabuh agar tidak terjadi pergeseran atau pergerakan kapal yang disebabkan oleh arus, angin, serta gelombang. Kapal yang berlabuh ditambatkan ke dermaga dengan cara mengikat tali penambat ke bagian haluan, buritan dan badan kapal (Yuwono, 2025). *Bollard* merupakan alat sebagai tempat untuk mengikat kapal pada tambatan. Kapal yang bertambat ke dermaga diikat pada bagian haluan, buritan dan badan kapal. Kemampuan *bollard* harus lebih besar dari gaya tarikan akibat kapal yang diikatkan pada *bollard* tersebut (Dani, 2020). Gaya tarik yang terjadi pada *bollard* disesuaikan dengan berat kapal. Tabel 3.5 menunjukkan gaya tarik pada *bollard*, sedangkan jarak dan jumlah *bollard* yang harus dipasang pada dermaga dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Gaya Tarikan pada *Bollard*

Gross tonnage (GT) of vessel (tons)	Tractive force acting on mooring post (kN)	Tractive force acting on bollard (kN)
200<GT≤500	150	150
500<GT≤1,000	250	250
1,000<GT≤2,000	350	250
2,000<GT≤3,000	350	350
3,000<GT≤5,000	500	350
5,000<GT≤10,000	700	500
10,000<GT≤20,000	1,000	700
20,000<GT≤50,000	1,500	1,000
50,000<GT≤100,000	2,000	1,000

(Sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002, hal. 25)

Tabel 3.6 Jarak dan Jumlah *Bollard* Terpasang pada Dermaga

Gross tonnage (GT) kapal (ton)	Jarak maksimum bollard (m)	Jumlah minimum bollard per dermaga (buah)
GT < 2000	10 ~ 15	4
2000 < GT < 5000	20	6
5000 < GT < 20000	25	6
20000 < GT < 50000	35	8
50000 < GT < 100000	45	8

(Sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002, hal. 521)

3.8 Pembebanan *Dolphin*

3.8.1 Beban Vertikal

Beban vertikal adalah beban yang arahnya vertikal (tegak lurus bidang horizontal) yang terdiri dari :

a. Beban mati

Beban mati merupakan berat sendiri dari komponen struktur yang secara permanen dan konstan membebani selama waktu hidup konstruksi. Beban mati dapat dihitung dengan mengevaluasi berat yang ditentukan untuk material dan volumenya yang dihitung dalam desain. Pada bangunan ini beban mati meliputi beberapa komponen diantaranya berat beton bertulang dan berat baja.

b. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur *dolphin*, seperti misalnya *fender*, *bollard* dan *catwalk*. Berat dari elemen-elemen ini pada umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Perhitungan besaran beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen.

c. Beban hidup

Beban hidup yang terjadi pada struktur *dolphin* merupakan beban akibat alat yang besarnya ditentukan berdasarkan peralatan yang akan digunakan di atas dermaga tersebut dan harus diposisikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan kondisi pembebanan yang paling kritis.

3.8.2 Beban Horizontal

Beban horizontal adalah beban yang arahnya mendatar (lateral, horizontal) yang terdiri dari :

a. Gaya angin

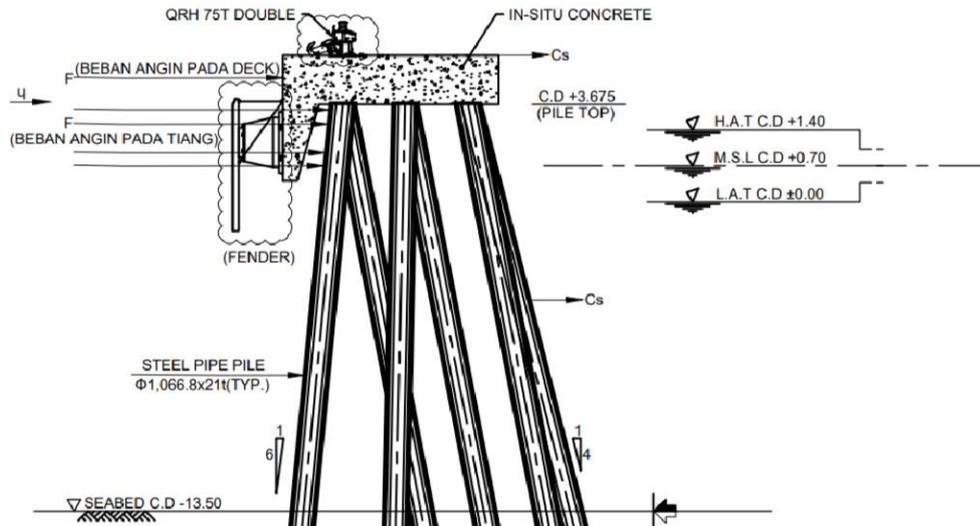
Gaya angin pada tiang pipa baja mengacu pada API *Recommended Practice* 2A-WSD Cl. 2.3.2.C sebagai berikut :

1) Gaya angin pada tiang pipa baja

$$F = \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s \times A \quad (3.9)$$

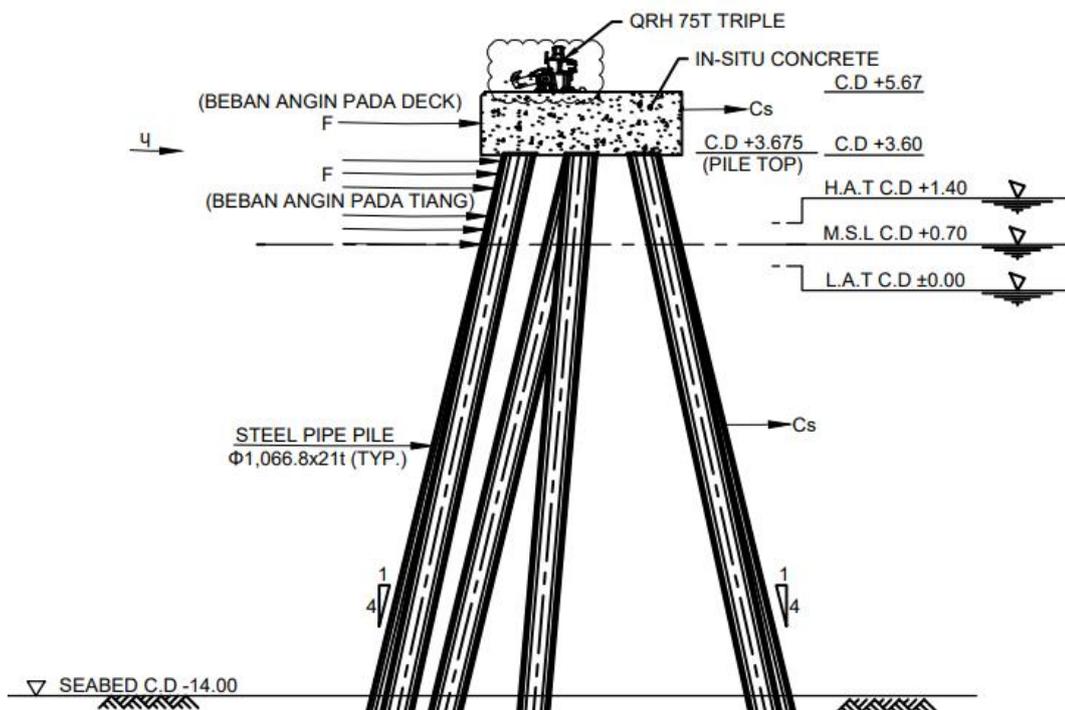
Dimana :

- F = gaya angin (N)
- ρ = kerapatan massa udara
- u = kecepatan angin (m/s)
- C_s = koefisien bentuk
- A = luas pipa baja (m^2)



Gambar 3.9 Gaya Angin pada Tiang Pancang Struktur *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 3.10 Gaya Angin pada Tiang Pancang Struktur *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

2) Gaya angin pada beton deck

$$F = \frac{\rho}{2} \times u^2 \times C_s \quad (3.10)$$

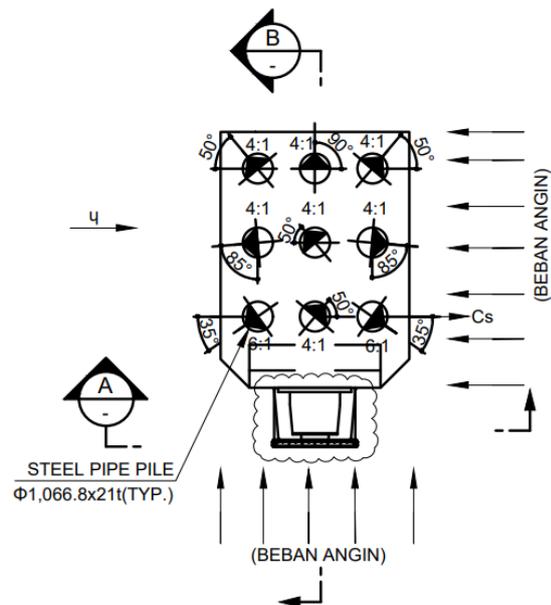
Dimana :

F = gaya angin (N)

ρ = kerapatan massa udara

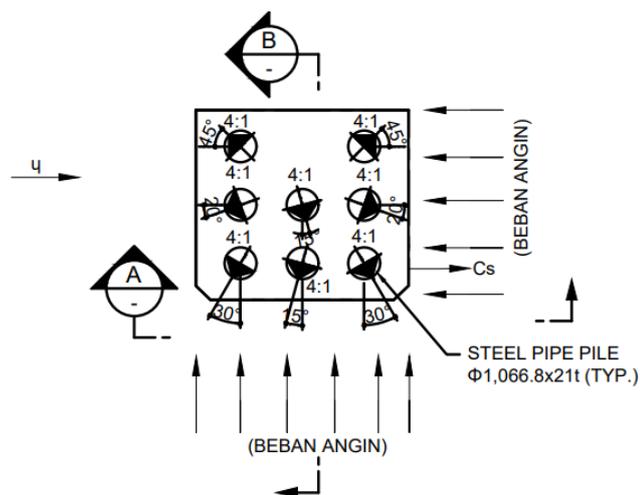
u = kecepatan angin (m/s)

Cs = koefisien bentuk



Gambar 3.11 Gaya Angin pada Beton Deck Struktur *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 3.12 Gaya Angin pada Beton Deck Struktur *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

b. Gaya arus

Beban arus merupakan beban yang diakibatkan oleh tekanan arus pada struktur tiang dermaga, besar gaya yang disebabkan oleh perilaku arus dihitung menggunakan persamaan Morison. Persamaan Morison mengasumsikan bahwa gaya gelombang terdiri dari komponen gaya inersia (*inertia*) dan gaya hambatan (*drag*) yang dijumlahkan secara linier. Gaya akibat arus dapat dihitung dengan persamaan morison sebagai berikut :

$$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times D \times V^2 \times h \quad (3.11)$$

Dengan,

F_D = gaya seret komponen tiang yang berada di bawah air akibat gelombang

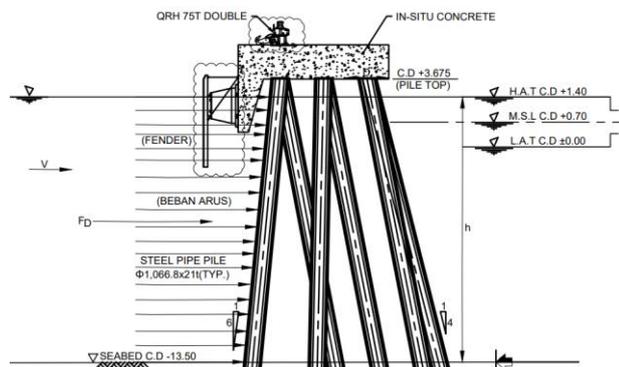
ρ = massa jenis air

V = kecepatan arus

D = diameter tiang pancang

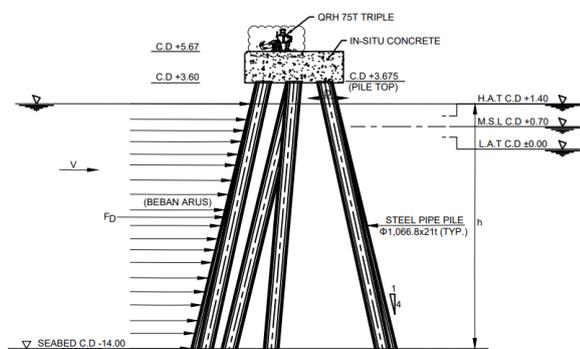
C_D = koefisien seret (1 untuk struktur dengan bentuk silinder, OCDI)

h = tinggi tiang pancang tercelup



Gambar 3.13 Gaya Arus pada Struktur *Breasting Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

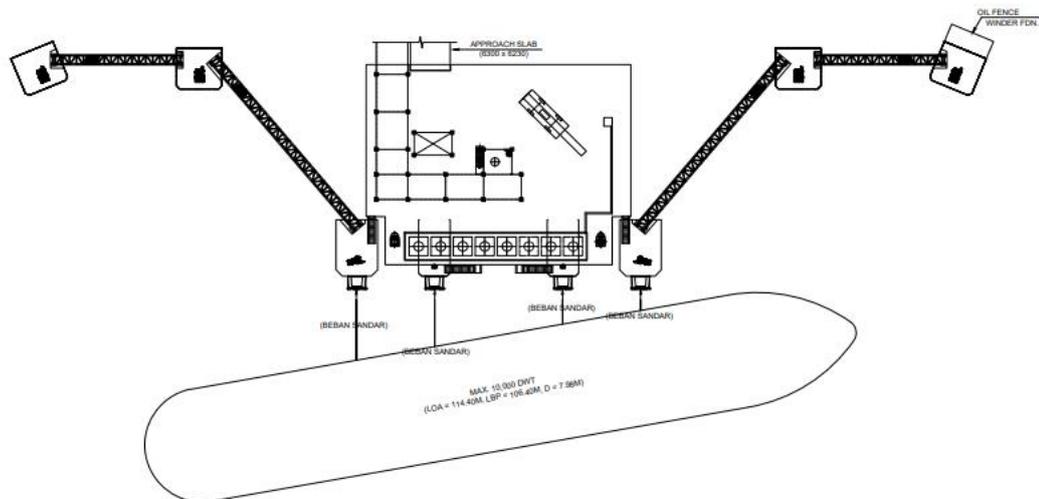


Gambar 3.14 Gaya Arus pada Struktur *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

c. Gaya sandar

Gaya sandar merupakan gaya yang ditimbulkan akibat benturan antara kapal yang masih memiliki kecepatan dengan dermaga saat kapal merapat ke dermaga. Energi ini kemudian diterima oleh *fender* kemudian diredam dan ditransfer menjadi gaya horizontal tekan yang membebani bangunan dermaga. Hubungan antara gaya dan energi benturan tergantung pada tipe *fender* yang digunakan. Besar energi benturan ini dapat dihitung menggunakan persamaan 3.7.



Gambar 3.15 Gaya Sandar Akibat Benturan Kapal pada *Breasting Dolphin*

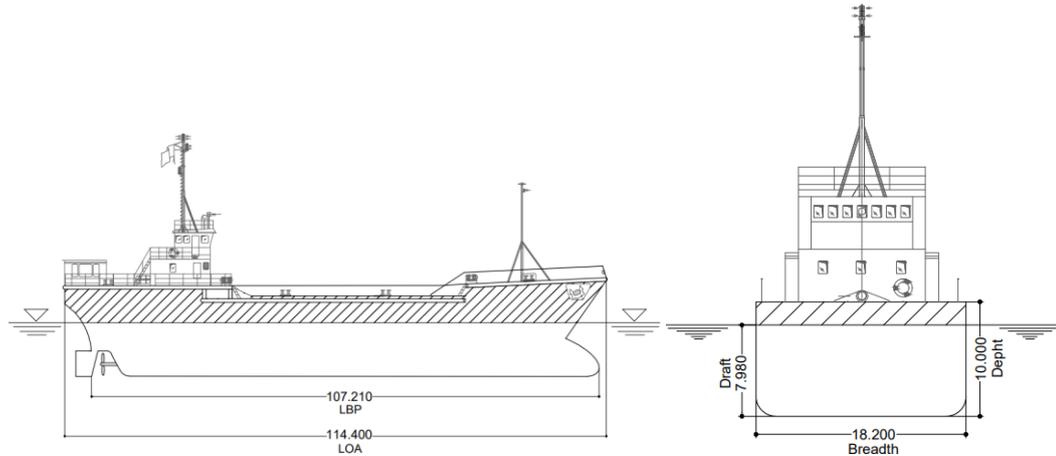
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

d. Gaya pada *bollard*

1) Gaya tarikan pada kapal

Saat kapal merapat di sepanjang dermaga, kapal akan berhenti dengan ditahan oleh tali yang diikatkan pada *bollard*. Gaya tarik yang bekerja ini sangat berpengaruh pada stabilitas struktur dermaga karena adanya gaya yang cukup besar. Beban tarik ini akan ditahan oleh struktur *bollard* yang didesain untuk menahan gaya tarikan akibat kapal, angin dan arus. Untuk itu *bollard* harus mampu menahan gaya tarikan yang paling tidak sama dengan gaya yang bisa memutuskan tali penambat. Gaya tarik yang terjadi pada *bollard* dapat dilihat pada Tabel 3.5.

2) Gaya akibat angin yang bekerja pada kapal



Gambar 3.16 Badan Kapal Terkena Angin

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Angin yang menerpa badan kapal yang sedang bertambat akan menyebabkan gaya pada dermaga. Jika arah angin meninggalkan dermaga maka akan menyebabkan gaya tarik kapal pada *bollard*. Namun, apabila arah angin menuju dermaga maka akan menyebabkan gaya benturan ke dermaga. Besar gaya angin tergantung pada arah dan kecepatan hembus angin dan dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

a) Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ($\alpha = 0^\circ$)

$$R_w = 0,42 \times P_a \times A_w \quad (3.12)$$

b) Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah buritan ($\alpha = 180^\circ$)

$$R_w = 0,5 \times P_a \times A_w \quad (3.13)$$

c) Gaya lateral apabila angin datang dari arah lebar ($\alpha = 90^\circ$)

$$R_w = 1,1 \times P_a \times A_w \quad (3.14)$$

Dimana :

$$P_a = 0,063 \times V^2 \quad (3.15)$$

Keterangan:

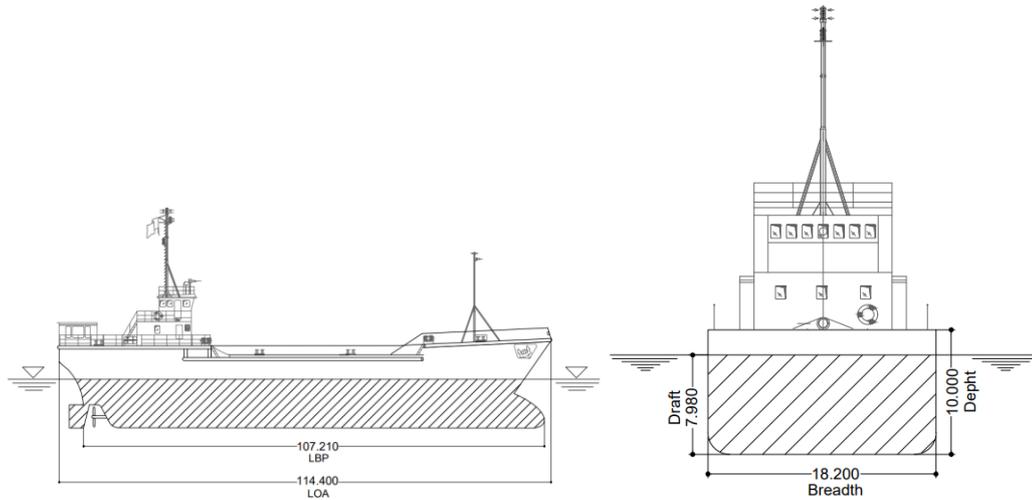
R_w = gaya akibat angin (kg)

P_a = tekanan angin (kg/m^2)

V = kecepatan angin (m/d)

A_w = proyeksi bidang yang tertiuap angin (m^2)

3) Gaya akibat arus yang berkerja pada kapal



Gambar 3.17 Badan Kapal Terendam Air

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Arus yang bekerja pada kapal bagian yang terendam air akan menyebabkan gaya pada kapal. Kemudian gaya tersebut diteruskan pada alat penambat dan dermaga. Tekanan akibat arus pada kapal yang tertambat dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_c = C_c \times \gamma_w \times A_c \times \frac{V_c^2}{2 \times g} \quad (3.16)$$

keterangan:

R_c = gaya akibat arus (kgf)

γ_w = berat jenis air laut (1,025 t/m³)

A_c = luasan kapal di bawah permukaan air (m²)

V_c = kecepatan arus (m/dt)

C_c = koefisien tekanan arus yang besarnya diambil sebagai berikut :

a) Untuk arah arus dari samping

$C_c = 1-1,5$ → untuk perairan dalam

$C_c = 2$ → untuk (kedalaman perairan / *draft* kapal) = 2

$C_c = 3$ → untuk (kedalaman perairan / *draft* kapal) = 1,5

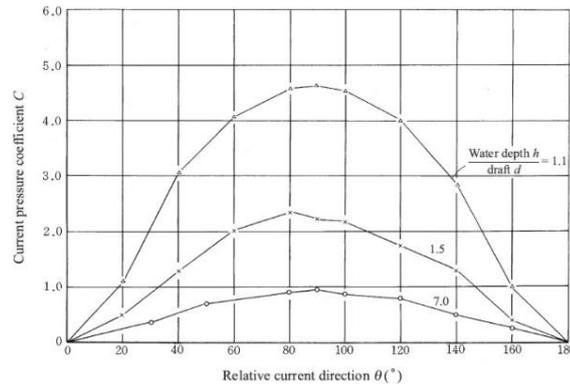
$C_c = 5$ → untuk (kedalaman perairan / *draft* kapal) = 1,1

b) Untuk arah arus searah dengan kapal (dermaga)

$C_c = 2$ → untuk perairan dalam

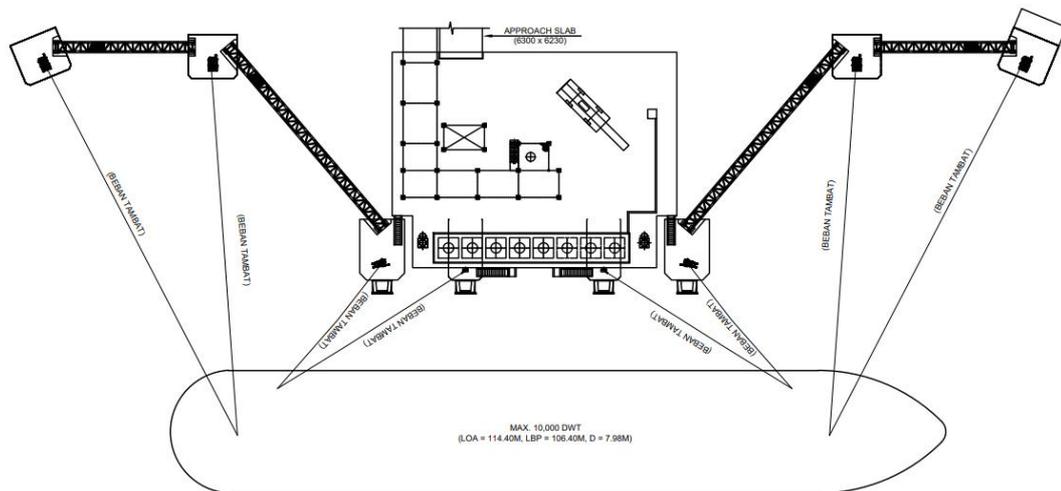
$C_c = 6$ → untuk (kedalaman perairan / *draft* kapal) = 1,1

Nilai C_c juga bisa diperoleh dari grafik pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Koefisien Kuat Arus (C)

(Sumber: *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2002, hal. 25)



Gambar 3.19 Gaya Tambat pada Struktur *Breasting Dolphin* dan *Mooring Dolphin*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

e. Beban gempa

Dermaga harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Gerakan tanah akibat gempa biasanya terdeteksi di atas permukaan tanah yang tidak terikat. Dalam analisis dan desain struktur tahan gempa, penting untuk menentukan beban yang bekerja pada struktur dan mengetahui periode dasar tanah yang sesuai dengan respons maksimum yang terjadi. Berdasarkan kondisi

geologi dan riwayat gempa yang terjadi, percepatan tanah maksimum akibat gempa ditetapkan berdasarkan tiap gempa yang mungkin terjadi.

Respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur, lawan respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Perhitungan beban gempa didasarkan pada SNI 03-1726-2019. Perhitungan dilakukan dengan metode statik ekuivalen menggunakan program bantu SAP2000. Berikut dijabarkan tahapan-tahapan untuk memperoleh desain respons spektrum.

1) Klasifikasi tanah

Berdasarkan sifat tanah, situs harus diklasifikasikan sebagai klasifikasi tanah A, B, C, D, E, atau F. Apabila sifat tanah tidak diketahui detail, untuk menentukan klasifikasi tanah, harus digunakan klasifikasi tanah D kecuali jika diperoleh data geoteknik untuk menentukan klasifikasi tanah E atau F. Pengklasifikasian tanah ditentukan berdasarkan kondisi tanah sesuai tabel berikut :

Tabel 3.7 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

(Sumber: SNI 1726-2019)

2) PGA, S_s dan S_1

Parameter-parameter ini dapat diperoleh dari website resmi RSA Cipta Karya dalam bentuk peta gempa Indonesia. Perbedaan nilai PGA atau percepatan respons spektral, S_s dan S_1 ditunjukkan dengan perbedaan warna.

Parameter PGA, S_s dan S_1 ditentukan oleh lokasi yang ditinjau, periode ulang gempa dan klasifikasi situs.

3) Koefisien Situs F_a dan F_v

Nilai F_a dan F_v didefinisikan dalam tabel berikut :

Tabel 3.8 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(1)}$					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 3.9 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(1)}$					

(Sumber : SNI 1726:2019)

4) Parameter percepatan respons spektral SM_s , SM_1

Percepatan respons spektral untuk periode singkat (SM_s) dan pada periode 1 detik (SM_1) dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$SM_s = F_a \times S_s \quad (3.17)$$

$$SM_1 = F_v \times S_1 \quad (3.18)$$

5) Parameter percepatan desain spektra S_{DS} dan S_{D1}

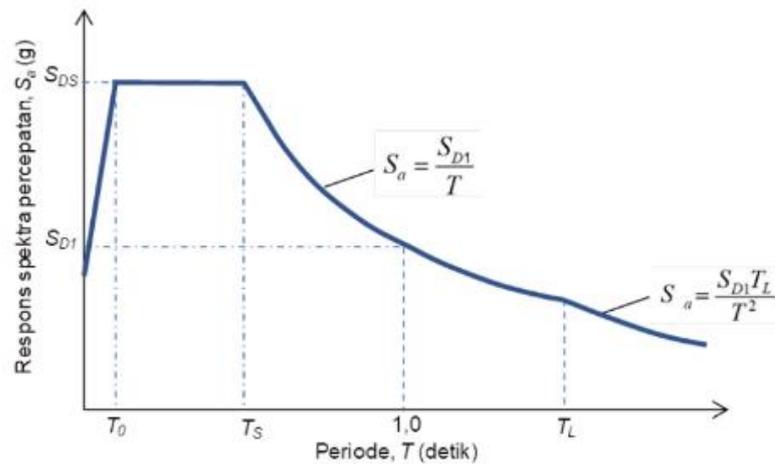
Percepatan desain spektra pada period pendek, S_{DS} , dan pada period 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times SM_s \quad (3.19)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times SM_1 \quad (3.20)$$

6) Desain respons spektrum

Respons spektrum ditentukan sebagai fungsi periode (T) terhadap percepatan respons spektrum (g). Nilai T mempengaruhi nilai g seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3.20 Kurva Respons Spektrum

(Sumber : SNI 1726:2019)

dimana,

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{DL}}{S_{DS}} \quad (3.21)$$

$$T_S = \frac{S_{DL}}{S_{DS}} \quad (3.22)$$

$$T_L = \text{Periode diatas 1 detik} \quad (3.23)$$

3.9 Kombinasi Pembebanan

Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan ketentuan. Pada dasarnya pembebanan struktur yang ada sangat perlu dikombinasikan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya beberapa gabungan beban yang bekerja. Kombinasi beban ini dilakukan untuk memperoleh kondisi pembebanan maksimum pada struktur *dolphin*. Berikut merupakan kombinasi pembebanan service dan ultimit yang diberikan pada permodelan berdasarkan Buku Perencanaan Pelabuhan oleh Bambang Triatmodjo hal 231 dan SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung:

- a. Kombinasi pembebanan service
 - 1) $D + SDL + LL + Env$
 - 2) $D + SDL + LL + Env + B$
 - 3) $D + SDL + LL + Env + M$
 - 4) $D + SDL + LL + E$
- b. Kombinasi pembebanan ultimit
 - 1) $1,4D + 1,4SDL + 1,6LL + 1,4Env$
 - 2) $1,4D + 1,4SDL + 1,6LL + 1,4Env + 1,2B$
 - 3) $1,4D + 1,4SDL + 1,6LL + 1,4Env + 1,2M$
 - 4) $1,2D + 1,2SDL + LL + E$

keterangan:

- B = beban *berthing*
 D = beban mati
 E = beban gempa
 Env = beban lingkungan
 LL = beban hidup
 M = beban *mooring*
 SDL = beban mati tambahan

3.10 Struktur *Dolphin*

3.10.1 *Deck on Pile*

Analisis konstruksi pada struktur atas dermaga tipe *jetty* PT. XYZ Kota Cilegon ini menggunakan struktur *deck on pile*. Struktur *deck on pile* merupakan (*open type structure*) menggunakan serangkaian tiang pancang (*piles*) sebagai pondasi untuk lantai dermaga. Seluruh beban di lantai dermaga diterima sistem lantai dermaga dan tiang pancang tersebut. Bahan yang digunakan untuk struktur *deck on pile* adalah beton bertulang. Pada struktur *deck on pile* dikonstruksi *dolphin* ini menggunakan beton pracetak. Kemiringan tanah dibuat sesuai dengan kemiringan alaminya serta dilapisi dengan perkuatan (*revetment*) untuk mencegah tergerusnya tanah akibat gerakan air yang disebabkan oleh manuver kapal. Untuk menahan gaya lateral yang cukup besar akibat *berthing* dan *mooring* kapal, jika diperlukan dapat dilakukan pemasangan tiang pancang miring (Edianto & Ashury, 2019).

3.10.2 Pondasi

Pada struktur *dolphin* bagian bawah digunakan tiang pancang untuk menyalurkan beban permukaan ke dalam tanah. Tiang pancang dapat dipasang secara *single* maupun *group* dan bisa tertanam penuh atau tertanam sebagian. Pondasi tiang pancang digunakan apabila tanah pada kedalaman normal tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup sehingga tidak mampu memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya terletak pada kedalaman yang sangat dalam (Hardiyatmo, 2002).

Parameter tanah yang berhubungan dengan kekuatan tanah dalam menopang dan menahan beban di atasnya disebut dengan daya dukung. Daya dukung tanah merupakan faktor terpenting dalam perencanaan pondasi serta perencanaan struktur bangunan di atasnya, daya dukung yang diharapkan untuk mendukung fondasi adalah daya dukung yang dapat menopang struktur tanpa mengalami penurunan (Santoso & Kawanda, 2022). Kapasitas daya dukung ultimit menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya (Hardiyatmo, 2011).

Pondasi tiang termasuk jenis pondasi dalam. Berikut merupakan langkah yang harus dilakukan dalam perencanaan pondasi tiang pancang :

a. Menentukan daya dukung aksial tiang

Daya dukung aksial tiang adalah beban izin yang dapat ditanggung oleh 1 buah tiang yang ditancapkan pada suatu lokasi dan pada kedalaman tertentu. Akibat momen yang besar dari struktur atas, tiang dapat mengalami gaya tarik ke atas. Daya dukung izin tiang ditinjau berdasarkan izin tekan dan kekuatan izin Tarik. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi tanah dan kekuatan material tiang itu sendiri.

1) Daya dukung izin tekan

Analisis daya dukung izin tekan berdasarkan data N-SPT (Mayerhof) terhadap kekuatan tanah menggunakan formula sebagai berikut

$$Q_{tekan} = Q_p + Q_s \quad (3.25)$$

Keterangan :

Q_{tekan} = kapasitas daya dukung izin tekan tiang (ton)

Q_p = daya dukung ujung tiang (ton/m²)

Q_s = daya dukung selimut tiang (ton/m²)

2) Daya dukung izin tarik

Analisis daya dukung izin tarik berdasarkan data N-SPT (Mayerhof) terhadap kekuatan tanah menggunakan formula sebagai berikut

$$Q_{tarik} = 0,7 \times Q_s + W_p \quad (3.26)$$

Keterangan :

Q_{tarik} = kapasitas daya dukung izin tarik tiang (ton)

Q_s = daya dukung selimut tiang (ton/m²)

W_p = Berat tiang (ton/m²)

b. Menentukan jumlah kebutuhan tiang

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban DL + LL (beban tak terfaktor). Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$np = \frac{P}{P_{all}} \quad (3.27)$$

Keterangan :

np = jumlah tiang

P = gaya aksial yang terjadi (ton)

P_{all} = daya dukung izin tekan tiang (ton)

c. Mengecek efisiensi dalam kelompok tiang

Daya dukung sebuah tiang yang berada pada suatu kelompok tiang akan berkurang. Hal ini disebabkan tanah di sekitar tiang terdesak oleh tiang lain. Pengurangan ini biasanya dinyatakan dalam suatu angka efisiensi. Agar daya dukung tersebut tidak berkurang, setidaknya dibutuhkan jarak $3 \times$ diameter antar tiang satu dengan lainnya. Hal ini tentu saja akan mengakibatkan pemborosan tempat. Agar optimal, biasanya diatur dengan jarak antara $2,3-3 \times$ diameter tiang. Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbarre* dari *Uniform Building Code AASHTO* adalah sebagai berikut :

$$Eg = 1 - \Theta \times \frac{(n - 1) \times 2 + (m - 1) \times 2}{90 \times m \times n} \quad (3.27)$$

Keterangan :

Eg = efisiensi kelompok tiang

Θ = arc tan $\left(\frac{D}{S}\right)$

D = ukuran penampang tiang (cm)

s = jarak antar tiang (as ke as) (cm)

m = jumlah tiang dalam 1 kolom (buah)

n = jumlah tiang dalam 1 baris (buah)

d. Menentukan nilai tegangan lentur tiang

Tegangan lentur merupakan tegangan sebanding dengan momen lentur dan berbanding terbalik dengan momen inersia penampang. Rumus tegangan lentur maksimum adalah sebagai berikut :

$$\sigma_l = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x \times C_1}{I_x} \pm \frac{M_y \times C_2}{I_y} \quad (3.28)$$

Keterangan :

P = gaya aksial yang terjadi

A = luas penampang

M_x = momen yang bekerja tegak lurus sumbu x

M_y = momen yang bekerja tegak lurus sumbu y

C_1 = jarak tiang arah sumbu x terjauh

C_2 = jarak tiang arah sumbu y terjauh

I_x = momen inersia penampang x

I_y = momen inersia penampang y

3.11 Program SAP2000

Structure Analysis Program 2000 (SAP2000) merupakan salah satu program analisis struktur yang memiliki prinsip utama pemodelan struktur, eksekusi analisis dan pemeriksaan atau optimasi desain yang semuanya dilakukan dalam satu tampilan. Tampilan berupa model secara *real time* sehingga memudahkan pengguna untuk melakukan pemodelan secara menyeluruh dalam waktu singkat namun dengan hasil yang tepat (Simatupang, Sir, & Wadu, 2020).