

SKRIPSI

**ANALISIS KELAYAKAN PEMASANGAN KONSTRUKSI GELADAK
*TRUNK PADA CRUDE PALM OIL (CPO) BARGE***

Disusun dan diajukan oleh :

MOHAMMAD ALVIAN MANOPPO

D031191070



**PROGRAM SARJANA TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL SKRIPSI

ANALISIS KELAYAKAN PEMASANGAN KONSTRUKSI GELADAK TRUNK PADA CRUDE PALM OIL (CPO) BARGE

Disusun dan diajukan oleh:

MOHAMMAD ALVIAN MANOPPO

D031191070

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 29 September 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ir. Syamsul Asri, MT
NIP. 19650318 199103 1 003

Pembimbing II,



Ir. Farianto Fachruddin, ST.MT
NIP. 19700426 199412 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT
NIP. 19730206 200012 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : MOHAMMAD ALVIAN MANOPPO
NIM : D031191070
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS KELAYAKAN PEMASANGAN KONSTRUKSI GELADAK *TRUNK* PADA *CRUDE PALM OIL (CPO) BARGE*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 29 September, 2023

Yang Menyatakan



Mohammad Alvian Manoppo

ANALISIS KELAYAKAN PEMASANGAN KONSTRUKSI GELADAK *TRUNK* PADA *CRUDE PALM OIL (CPO) BARGE*

Mohammad Alvian Manoppo, Syamsul Asri & Farianto Fachruddin L.

Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa
Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

ABSTRAK

Kelayakan merupakan hasil dari penelitian yang bertujuan untuk menentukan apakah sebuah usaha yang dijalankan dapat menghasilkan keuntungan yang cukup besar untuk mengatasi biaya modal awal yang telah dikeluarkan sebelumnya. *Trunk* merupakan bangunan yang berada di atas geladak utama kapal dengan tidak membentang sampai ke sisi kapal yang dimana berfungsi untuk menyimpan muatan cair. Untuk memenuhi peraturan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 24 Tahun 2022 dimana mengharuskan kapal memenuhi ketentuan konstruksi dasar ganda dan lambung ganda dalam hal ini dilakukan pada kapal CPO *Barge* maka akan berpengaruh pada berkurangnya kapasitas ruang muat. Bagi kapal tangki minyak yang masih tidak memenuhi ketentuan konstruksi dasar ganda dan lambung ganda, maka tidak dapat beroperasi terhitung tanggal 1 Juli 2026. Rancangan untuk menambah kapasitas ruang muat pada CPO *barge* dapat dilakukan dengan melakukan pemasangan konstruksi geladak *trunk* pada konstruksi geladak. Volume maksimal kapasitas ruang muat pada kapal CPO *barge* dapat bertambah sebesar 1254,02 m³. Hasil perhitungan lambung timbul sesuai dengan PM 39 Tahun 2016 dimana lambung timbul masih memenuhi kriteria lambung timbul minimum dan didapatkan nilai lambung timbul minimum yaitu *sea water freeboard* sebesar 502 mm dan *fresh water freeboard* sebesar 397 mm. Kebutuhan material pelat dan profil untuk pemasangan konstruksi geladak *trunk* yaitu pelat ukuran 8 mm x 5' x 20' sebanyak 31 lembar, pelat ukuran 9 mm x 5' x 20' sebanyak 7 lembar, pelat ukuran 12 mm x 5' x 20' sebanyak 38 lembar dan kebutuhan elektroda yaitu sebanyak 4982,14 batang elektroda atau 273,2 kg. Nilai investasi yang harus dikeluarkan untuk pemasangan konstruksi geladak *trunk* yaitu senilai Rp 1,813,506,888. Analisis stabilitas pada kondisi kapal kosong dan kapal muatan penuh telah memenuhi kriteria yang disyaratkan IMO yang dihitung menggunakan maxsurf stability.

Kata kunci : *Kelayakan, CPO Barge, Lambung timbul, Trunk, Pelat dan Profil, Elektroda, Nilai investasi, Stabilitas*

ANALYSIS OF FEASIBILITY FOR INTALLING A TRUNK DECK CONTRUCTION ON CRUDE PALM OIL (CPO) BARGE

Mohammad Alvian Manoppo, Syamsul Asri & Farianto Fachruddin L.

Naval Architecture Department
Faculty Of Engineering Hasanuddin University, Gowa
Poros Malino Street, Gowa Regency, South Sulawesi 92119

ABSTRACT

Feasibility is the result of research aimed at determining whether a business can generate a profit significant enough to cover the initial capital costs incurred. A trunk is a structure located above the main deck of a ship, not extending to the sides of the ship, which serves to store liquid cargo. To comply with the regulations of the Minister of Transportation Regulation Number PM 24 of 2022, which requires ships to meet the requirements of double bottom and double hull construction, this is carried out on CPO Barge ships, which may reduce cargo hold capacity. For oil tankers that do not yet meet the double bottom and double hull construction requirements, they will not be able to operate from July 1, 2026. The design to increase cargo hold capacity on the CPO barge can be achieved by installing trunk deck construction. The maximum volume of cargo hold capacity on the CPO Barge can increase by 1254.02 m³. The calculated freeboard according to PM 39 of 2016 still meets the minimum freeboard criteria, with a sea water freeboard value of 502 mm and a fresh water freeboard of 397 mm. The material requirements for the installation of trunk deck construction include 31 sheets of 8 mm x 5' x 20' plates, 7 sheets of 9 mm x 5' x 20' plates, 38 sheets of 12 mm x 5' x 20' plates, and the need for electrodes, which is 4982.14 electrode rods or 273.2 kg. The investment value required for the installation of trunk deck construction is approximately IDR 1,813,506,888. Stability analysis under lightship and full load conditions has met the IMO criteria, calculated using maxsurf stability.

Keywords: Feasibility, CPO Barge, Freeboard, Trunk, Plates and Profiles, Electrodes, Investment value, Stability

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	2
PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Kapal <i>Crude Oil Palm (CPO) Barge</i>	5
2.2. Sistem Konstruksi.....	6
2.2.1. Sistem Konstruksi Melintang.....	6
2.2.2. Sistem Konstruksi Membujur	9
2.2.3. Sistem Konstruksi Kombinasi.....	11
2.2.4. Konstruksi Geladak.....	12
2.2.5. Trunk.....	14
2.4. Lambung Timbul.....	16
2.4.1. Marka Garis Muat Kapal.....	16
2.4.2. Tinggi Ambang Palka, Pintu Jalan Masuk dan Ventilator.....	19
2.4.3. Bukaan di Geladak Lambung Timbul dan Geladak Bangunan Atas	19
2.4.4. Ventilator di Geladak Lambung Timbul dan Geladak Bangunan Atas	20
2.4.5. Pipa Udara di Geladak Lambung Timbul dan Geladak Bangunan Atas	21
2.4.6. Metode Perhitungan Lambung Timbul	22

2.5 Metode Nesting	26
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	30
3.2. Variabel Penelitian	30
3.3. Teknik Pengumpulan Data	30
3.4. Teknik Analisis.....	30
3.5. Kerangka Pikir.....	33
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Data Kapal <i>Crude Palm Oil Barge</i>	34
4.2. Perhitungan Lambung Timbul Kapal Tipe A.....	34
4.3. Perhitungan Penambahan Sarat	37
4.4. Perhitungan Penambahan Displacement	37
4.5. Perhitungan Desain <i>Trunk</i>	38
4.6. Evaluasi Lambung Timbul	39
4.7. Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 1.....	42
4.8. Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 1.....	43
4.9. Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 1	43
4.10. Evaluasi Lambung Timbul Variasi 1	44
4.11. Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 2.....	48
4.12. Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 2	48
4.13. Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 2.....	49
4.14. Evaluasi Lambung Timbul Variasi 2	50
4.15. Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 3.....	53
4.16. Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 3	54
4.17. Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 3.....	55
4.18. Evaluasi Lambung Timbul Variasi 3	56
4.19. Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 4.....	59
4.20. Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 4	60
4.21. Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 4.....	60
4.22. Evaluasi Lambung Timbul Variasi 4.....	61
4.23. Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 5.....	65
4.24. Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 5	65
4.25. Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 5.....	66

4.26.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 5	67
4.27.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 6	70
4.28.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 6	71
4.29.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 6	71
4.30.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 6	72
4.31.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 7	76
4.32.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 7	76
4.33.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 7	77
4.34.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 7	78
4.35.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 8	81
4.36.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 8	82
4.37.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 8	82
4.38.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 8	83
4.39.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 9	87
4.40.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 9	87
4.41.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 9	88
4.42.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 9	89
4.43.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 10	92
4.44.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 10	93
4.45.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 10	93
4.46.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 10	94
4.47.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 11	98
4.48.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 11	98
4.49.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 11	99
4.50.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 11	100
4.51.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 12	103
4.52.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 12	104
4.53.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 12	104
4.54.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 12	105
4.55.	Perhitungan Penambahan Sarat Variasi 13	109
4.56.	Perhitungan Penambahan Displacement Variasi 13	109
4.57.	Perhitungan Desain <i>Trunk</i> Variasi 13	110
4.58.	Evaluasi Lambung Timbul Variasi 13	111

4.59	Analisis Tinggi Trunk terhadap Lambung Timbul, Sarat dan Pertambahan Displacement	114
4.60	Perhitungan Pengurangan Muatan Akibat Konstruksi	117
4.61	Perhitungan Kebutuhan Pelat dan Profil	118
4.61	Perhitungan Kebutuhan Elektroda.....	130
4.62.	Perhitungan Nilai Investasi.....	132
4.62.1.	Perhitungan Biaya Kebutuhan Pelat dan Profil.....	132
4.62.2.	Perhitungan Biaya Elektroda.....	132
4.62.3.	Perhitungan Biaya Pekerjaan	133
4.63.	Permodelan Kapal Dengan Software Maxsurf Modeller.....	133
4.64.	Permodelan Tangki – Tangki Dengan Software Maxsurf Stability.....	134
4.65.	Analisis Hidrostatik	135
4.66.	Analisis Stabilitas	138
4.67.	Kriteria Penilaian Stabilitas Menurut IMO.....	140
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		146
5.1.	Kesimpulan.....	146
5.2.	Saran	149
DAFTAR PUSTAKA		150
LAMPIRAN.....		151

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kerangka samping pada konstruksi melintang.....	7
Gambar 2. 2 Sistem konstruksi melintang pada kapal tanker	10
Gambar 2. 3 Sistem konstruksi kombinasi.....	12
Gambar 2. 4 Deck Support.....	13
Gambar 2. 5 Konstruksi geladak (Deck construction).....	14
Gambar 2. 6 Penampang midship kapal minyak lebih dari 5000 DWT dengan trunk.	15
Gambar 2. 7 Marka garis muat untuk kapal panjang $L < 15$ meter	17
Gambar 2. 8 Marka garis muat untuk kapal panjang $15 \leq L < 24$ meter	17
Gambar 2. 9 Marka garis muat untuk kapal panjang $L = 24$ meter atau lebih.....	18
Gambar 2. 10 Marka garis muat untuk kapal panjang $L = 24$ meter atau lebih.....	18
Gambar 2. 11 Diagram kerja/ kesimpulan cara kerja dari pada pengaturan dasar sistim heuristic (rule-based heuristic nesting system)	27
Gambar 2. 12 Layout pengaturan dasar heuristic pada pola beraturan	27
Gambar 2. 13 Layout pengaturan dasar heuristic pada pola tidak beraturan	28
Gambar 2. 14 Layout pengaturan peletakan dari pola yang besar hingga yang kecil dari pola tidak beraturan.....	28
Gambar 2. 15 Pola pemotongan pada satu lembaran pelat	29
Gambar 4. 1 Analisis Desain Trunk terhadap Lambung Timbul, Sarat dan Pertambahan Displacement.....	116
Gambar 4. 2 Konstruksi Geladak Trunk	119
Gambar 4. 3 Informasi Pelat 12 mm Lembar 1-6	121
Gambar 4. 4 Informasi Pelat 12 mm Lembar 7.....	121
Gambar 4. 5 Informasi Pelat 12 mm Lembar 8.....	122
Gambar 4. 6 Informasi Pelat 12 mm Lembar 9-32	122
Gambar 4. 7 Informasi Pelat 12 mm Lembar 33-37	123
Gambar 4. 8 Informasi Pelat 12 mm Lembar 38.....	123
Gambar 4. 9 Informasi Pelat 9 mm Lembar 39.....	124
Gambar 4. 10 Informasi Pelat 9 mm Lembar 40.....	124
Gambar 4. 11 Informasi Pelat 9 mm Lembar 41.....	125
Gambar 4. 12 Informasi Pelat 9 mm Lembar 42.....	125
Gambar 4. 13 Informasi Pelat 9 mm Lembar 43-44	126
Gambar 4. 14 Informasi Pelat 9 mm Lembar 45.....	126
Gambar 4. 13 Informasi Pelat 8 mm Lembar 46-57	127
Gambar 4. 16 Informasi Pelat 8 mm Lembar 58-62	127
Gambar 4. 17 Informasi Pelat 8 mm Lembar 63.....	128
Gambar 4. 18 Informasi Pelat 8 mm Lembar 64-65	128
Gambar 4. 19 Informasi Pelat 8 mm Lembar 66-74	129

Gambar 4. 20 Informasi Pelat 8 mm Lembar 75.....	129
Gambar 4. 21 Informasi Pelat 8 mm Lembar 76.....	130
Gambar 4. 22 Lines plan	134
Gambar 4. 23 Permodelan kapal dengan software maxsurf modeller	134
Gambar 4. 24 Permodelan CPO Barge dengan Maxsurf Stability.....	135
Gambar 4. 25 Kurva hidrostatik.....	137
Gambar 4. 26 Kurva koefisien bentuk	138
Gambar 4. 27 Kurva stabilitas statis kondisi kapal kosong	139
Gambar 4. 28 Kurva stabilitas statis kondisi muatan penuh (full load).....	139

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koreksi koefisien blok (Kb).....	23
Tabel 2. 2 Pengurangan lambung timbul	24
Tabel 2. 3 Hasil dari Nesting berdasarkan metode heuristik	28
Tabel 4. 1 Ukuran Utama Kapal CPO Barge	34
Tabel 4. 2 Analisis Tinggi Trunk terhadap Lambung Timbul, Sarat dan Pertambahan Displacement.....	115
Tabel 4. 3 Perhitungan Pengurangan Muatan Akibat Konstruksi.....	117
Tabel 4. 4 Perhitungan Berat Pelat dan Profil.....	119
Tabel 4. 5 Informasi Pelat 12 mm Lembar 1-6.....	121
Tabel 4. 6 Informasi Pelat 12 mm Lembar 7	121
Tabel 4. 7 Informasi Pelat 12 mm Lembar 8	122
Tabel 4. 8 Informasi Pelat 12 mm Lembar 9-32	122
Tabel 4. 9 Informasi Pelat 12 mm Lembar 33-37	123
Tabel 4. 10 Informasi Pelat 12 mm Lembar 38	123
Tabel 4. 11 Informasi Pelat 9 mm Lembar 39	124
Tabel 4. 12 Informasi Pelat 9 mm Lembar 40	124
Tabel 4. 13 Informasi Pelat 9 mm Lembar 41	125
Tabel 4. 14 Informasi Pelat 9 mm Lembar 42	125
Tabel 4. 15 Informasi Pelat 9 mm Lembar 43-44	126
Tabel 4. 16 Informasi Pelat 9 mm Lembar 45	126
Tabel 4. 15 Informasi Pelat 8 mm Lembar 46-57	127
Tabel 4. 18 Informasi Pelat 8 mm Lembar 58-62	127
Tabel 4. 19 Informasi Pelat 8 mm Lembar 63	128
Tabel 4. 20 Informasi Pelat 8 mm Lembar 64-65	128
Tabel 4. 21 Informasi Pelat 8 mm Lembar 66-74	129
Tabel 4. 22 Informasi Pelat 8 mm Lembar 75	129
Tabel 4. 23 Informasi Pelat 8 mm Lembar 76	130
Tabel 4. 24 Jumlah Kebutuhan Pelat dan Profil.....	130
Tabel 4. 25 Perhitungan Kebutuhan Elektoda.....	131
Tabel 4. 26 Perhitungan biaya kebutuhan pelat dan profil.....	132
Tabel 4. 27 Perhitungan KG kapal kosong	135
Tabel 4. 28 Perhitungan hidrostatis	136
Tabel 4. 29 Kriteria stabilitas menurut IMO pada kondisi kapal kapal kosong.....	140
Tabel 4. 30 Kriteria stabilitas menurut IMO pada kondisi kapal muatan penuh	143

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Linesplan.....	152
Lampiran 2 Gambar Transversal Web Section	153
Lampiran 3 Gambar Profil Contruction	154
Lampiran 4 Gambar General Arrangement.....	155
Lampiran 5 Intact Stability Booklet.....	156
Lampiran 6 Ukuran Tanki-tanki Model CPO Barge.....	157
Lampiran 7 Analisis Hidrostatik	158
Lampiran 8 Analisis Stabilitas Kondisi Kapal Kosong (lightship).....	169
Lampiran 9 Analisis Stabilitas Kondisi Kapal Muatan Penuh (full load).....	171

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat, hidayah, serta karunia-Nya. Shalawat dan Salam tak lupa penulis kirimkan kepada junjungan Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam. Sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul " Analisis Kelayakan Pemasangan Konstruksi Geladak *Trunk* pada *Crude Palm Oil (CPO) Barge* " Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S1) pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada banyak pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan dorongan dalam menyelesaikan skripsi ini. Terutama kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Mama Siti Aminah dan Papa Julius Noviano Manoppo yang telah memberikan kasih sayang serta mendidik penulis dari dalam kandungan hingga sampai saat ini. Terima kasih sebesar-besarnya atas segala doa, dukungan, motivasi dan dukungan materil sehingga penulis mendapatkan kemudahan dalam kehidupan kampus terutama dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih juga untuk adik penulis Charissa Putri Manoppo dan Muhammad Algalvian Manoppo yang menjadi salah satu motivasi penulis agar dapat menyelesaikan kuliah tepat waktu.
2. Bapak Dr. Ir Syamsul Asri, MT selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan arahan, saran dan kritik kepada penulis dari awal mencari judul skripsi hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Farianto Fachruddin L, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan arahan, saran dan kritik kepada penulis dari awal mencari judul skripsi hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT., M.Eng dan Bapak Muhammad Akbar Asis, ST., MT. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan ilmu, saran dan kritik yang dalam upaya penyempurnaan skripsi ini.

5. Seluruh Dosen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu dan juga Dosen Labo Rancang Bangun Kapal, atas kesabaran dan keikhlasan telah membagi serta menyampaikan ilmunya yang sangat bermanfaat bagi penulis.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajaran stafnya.
7. Seluruh Staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu, nasihat, dan pelayanan administrasinya kepada penulis.
8. Seluruh keluarga besar penulis (Alm) Bapak aji, Mama aji, Om Heri, Om Rizky, Tante Mega yang telah memberikan doa, saran, motivasi serta menjadi sponsor kedua dalam segi materil untuk penulis selama perkuliahan.
9. Saudara – saudari ZTARBOARD 2019 yang terus mendukung, memberi semangat, kekompakan, kebersamaan dan terima kasih atas rasa persaudaraan yang kalian tunjukkan selama berproses di Teknik.
10. Sahabat – sahabat penulis Waode syz, Yaldot, Aira Maharani dan Anak Apart yang selalu menemani dan selalu memberikan dukungan hingga saat ini.
11. Kanda Jiadan, ST, Fachruddin, ST, dan Syarifuddin Yamin, ST yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi, memberikan saran serta membantu dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
12. Teman-teman Labo REBEKA 2019 yang telah memberikan saran dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca yang membutuhkan informasi mengenai topik yang dibahas. saya berharap, semangat penelitian ini dapat terus berkembang dan memberikan kontribusi positif dalam dunia akademik dan praktis.

Gowa, September 2023

Mohammad Alvian Manoppo

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelayakan merupakan hasil dari penelitian yang bertujuan untuk menentukan apakah sebuah usaha yang dijalankan dapat menghasilkan keuntungan yang cukup besar untuk mengatasi biaya modal awal yang telah dikeluarkan sebelumnya. Dalam menilai apakah suatu usaha pantas atau tidak, kita harus mempertimbangkan berbagai aspek yang berperan. Setiap aspek harus memenuhi sejumlah kriteria tertentu agar dianggap pantas, namun keputusan penilaian tidak boleh terpaku hanya pada satu aspek saja. Penilaian kelayakan harus memperhitungkan seluruh aspek yang akan dinilai. (Kasmir dan Jakfar, 2003)

Pelaksanaan proyek yang memerlukan dana besar dan memiliki dampak jangka panjang terhadap perusahaan harus diiringi dengan studi kelayakan yang cermat. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi manfaat yang mungkin diperoleh dari proyek tersebut, sehingga dapat diukur sejauh mana potensi keuntungannya. Melalui studi kelayakan, penting untuk memastikan bahwa proyek yang memerlukan investasi besar ini tidak hanya mendapatkan modal, tetapi juga menghasilkan keuntungan yang memadai. Studi kelayakan juga membantu mengidentifikasi risiko serta merencanakan pelaksanaan proyek dengan lebih baik. (Ekowati & dkk, 2016)

Trunk merupakan bangunan yang berada diatas geladak utama kapal dengan tidak membentang sampai ke sisi kapal yang dimana berfungsi untuk menyimpan muatan cair. Ruang muat kapal yang mengangkut muatan cair dapat terjadi pemuaian, dengan adanya *trunk* maka dapat mengurangi pemuaian tanpa resiko regangan yang berlebihan pada lambung kapal.

Dalam upaya pencegahan dan penanganan pencemaran air, Pemerintah Indonesia menetapkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 24 Tahun 2022 tentang kapal tangki minyak yang mengangkut minyak dengan bobot mati

(*Deadweight*) DWT 600 atau lebih wajib memenuhi ketentuan dasar ganda dan bobot mati (*Deadweight*) DWT 5000 atau lebih wajib memenuhi ketentuan konstruksi dasar ganda dan lambung ganda. Bagi kapal tangki minyak yang masih tidak memenuhi ketentuan konstruksi dasar ganda dan lambung ganda, maka tidak dapat beroperasi terhitung tanggal 1 Juli 2026.

Untuk memenuhi peraturan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 24 Tahun 2022 dimana mengharuskan kapal memenuhi ketentuan konstruksi dasar ganda dan lambung ganda dalam hal ini dilakukan pada kapal CPO *Barge* maka akan berpengaruh pada berkurangnya kapasitas ruang muat. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kegiatan operasional pemilik kapal. Salah satu solusi agar aspek operasional pemilik kapal tetap dapat diperhitungkan yaitu dengan menambah kapasitas ruang muat. Rancangan untuk menambah kapasitas ruang muat pada CPO *barge* dapat dilakukan dengan melakukan pemasangan konstruksi geladak *trunk* pada konstruksi geladak. Pada penelitian ini nantinya akan mendapatkan berupa analisis kelayakan pemasangan konstruksi *trunk* pada CPO *barge*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang penulisan maka rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa volume maksimal kapasitas ruang muat yang dapat bertambah ?
2. Berapa ukuran elemen konstruksi geladak *trunk* ?
3. Apakah lambung timbul masih memenuhi kriteria lambung timbul minimum setelah dilakukan pemasangan konstruksi geladak *trunk* ?
4. Berapa kebutuhan material langsung (Pelat, Profil, dan Elektroda) konstruksi geladak *trunk*?
5. Berapa nilai investasi pemasangan konstruksi geladak *trunk* ?
6. Apakah stabilitas kapal masih memenuhi kriteria keselamatan berdasarkan aturan standar keselamatan *International Maritime Organization* (IMO) ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Menentukan volume maksimal kapasitas ruang muat yang dapat bertambah.
2. Menentukan ukuran elemen konstruksi geladak *trunk*.
3. Menentukan lambung timbul minimum sesuai dengan kriteria lambung timbul minimum setelah dilakukan pemasangan konstruksi geladak *trunk*.
4. Menentukan kebutuhan material langsung (Pelat, Profil, dan Elektroda) konstruksi geladak *trunk*.
5. Mendapatkan data nilai investasi pemasangan konstruksi geladak *trunk*.
6. Menentukan stabilitas kapal masih memenuhi kriteria keselamatan berdasarkan aturan standar keselamatan *International Maritime Organization* (IMO).

1.4. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi mahasiswa, pemilik kapal dan peneliti, sehingga peneliti mengharapkan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa, penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi bagi mahasiswa yang ingin menghitung lambung timbul, kebutuhan material, stabilitas kapal, dan nilai investasi.
2. Bagi pemilik kapal, penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi jika ingin melakukan penambahan volume ruang muat untuk kapal CPO *barge*.
3. Bagi peneliti, penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dan bisa dikembangkan lebih sempurna.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang menjadi batasan pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya menggunakan metode perhitungan dalam negeri untuk menghitung lambung timbul minimum.
2. Penelitian ini hanya membahas penambahan konstruksi geladak *trunk* pada kapal CPO *Barge* dan tidak merubah konstruksi yang telah ada.
3. Penelitian ini tidak membahas aspek-aspek tegangan konstruksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal *Crude Oil Palm (CPO) Barge*

Tongkang (*Barge*) adalah jenis kapal berlambung datar atau kotak besar yang digunakan untuk mengangkut barang dan untuk ditarik oleh kapal tunda untuk pengangkut pasokan peralatan, platform derek, dan basis akomodasi pendukung dalam pengeboran lepas pantai. Sebagian besar tongkang harus ditarik atau didorong ke tujuannya dengan kapal tunda. (Samson & dkk, 2013)

Karena tongkang pada umumnya tidak memiliki sistem permesinan untuk mesin pendorong (*propulsion*), maka tongkang dalam pengoperasiannya ditarik dengan kapal tunda/ kapal tug boat. Tongkang biasanya digunakan untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar seperti kayu, batu bara, pasir dan lain-lain. Berdasarkan fungsinya, tongkang dibagi menjadi :

a. *Flat Top Barge.*

Tongkang memiliki bentuk yang paling sederhana (seperti kotak korek api) dan rata di atasnya.

b. *Cargo Barge.*

Merupakan tongkang yang berbentuk kapal biasa tetapi tidak memiliki tempat mesin karena kapal tersebut tidak memiliki mesin induk. Ini dimaksudkan untuk menjadi identik dengan kapal biasa karena memiliki ruang kargo atau palka.

c. *Oil Barge.*

Tongkang yang digunakan khusus untuk mengangkut minyak. Barge jenis ini juga berkonstruksi ganda, yaitu dibagian bawahnya digunakan untuk membawa minyak, sedangkan diatas untuk jenis cargo lainnya.

d. *Construction Barge.*

Tongkang datar yang dipasang di laut lepas dengan geladak dan biasanya dilengkapi dengan akomodasi untuk para pekerja.

e. *Self-Propelled Barge*

Tongkang ini berbeda karena memiliki tenaga penggerak sendiri dan kapalnya memiliki dasar yang sama dengan tongkang. *Self-propelled barge* juga seperti *oil barge* biasanya dioperasikan pada perairan dangkal atau sungai.

2.2. Sistem Konstruksi

Sistem konstruksi kapal (*framing system*) dibedakan menjadi dua jenis yaitu sistem kerangka melintang (*transverse framing system*) dan sistem kerangka membujur (*longitudinal framing system*). Adapun sistem kerangka kombinasi (*combination/mixed framing system*) dimana sistem kerangka ini kombinasi antara sistem kerangka melintang (*transverse framing system*) dan sistem kerangka membujur (*longitudinal framing system*). (Sofi'i & Djaja, 2008).

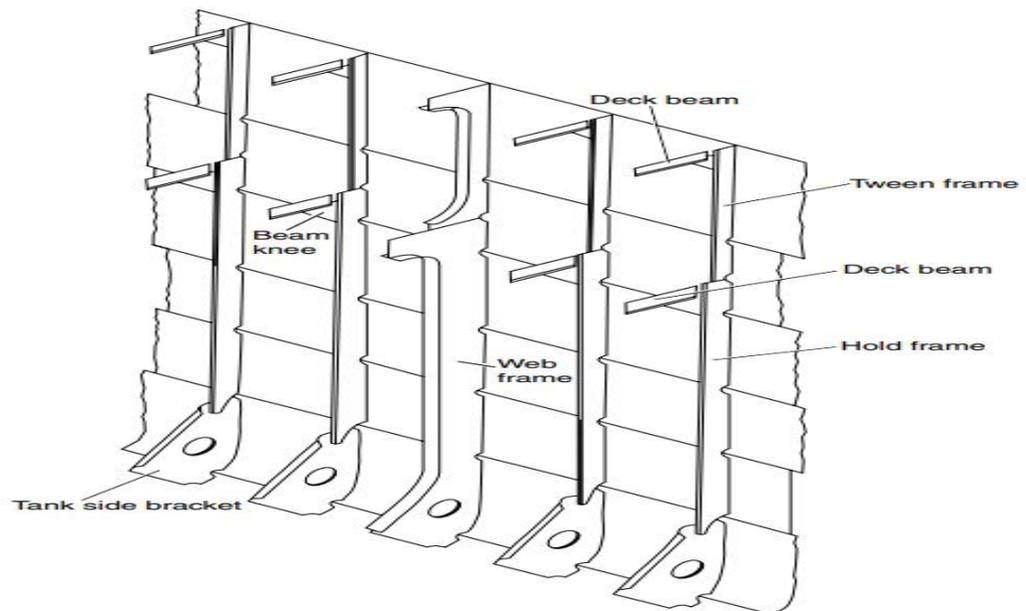
Pada sistem kerangka memanjang (*longitudinal framing system*) umumnya untuk kapal yang berukuran besar dan ketika panjang kapal melebihi 120 meter. Pada bagian konstruksi alas dapat menggunakan sistem kerangka melintang atau membujur, begitu juga dengan kerangka samping kapal. Sistem kerangka melintang banyak diadopsi pada kapal kargo yang utamanya memiliki kapasitas bal maksimum. Kapasitas bal seringkali sangat berkurang dimana jika sistem kerangka melintang dipasang untuk mendukung sistem kerangka membujur. (Eyres, 2007)

2.2.1. Sistem Konstruksi Melintang

Sistem konstruksi melintang adalah metode bangunan di mana beban yang bekerja pada struktur diterima oleh pelat kulit dan dibagikan melalui sambungan-sambungan yang kokoh, seperti balok-balok yang menyeberang melintasi kapal. Pada metode ini, titik-titik pendukung kuat untuk balok-balok melintang di dasar kapal termasuk lambung kapal, dinding sekat yang berjalan sepanjang kapal, dan penopang tangki tengah. Beban yang diterima oleh struktur geladak juga dialirkan

melalui balok geladak ke titik-titik pendukung yang kuat seperti lambung kapal dan dinding sekat yang panjang. (Prakoso, Chrismianto, & Amiruddin, 2015)

Pada sistem ini, gading-gading dipasang tegak mengikuti bentuk rencana lambung kapal. Jarak antara gading-gading ini berkisar sekitar 500 mm hingga 1000 mm, tergantung pada panjang kapal. Pada geladak, baik itu geladak struktural maupun geladak-geladak lainnya, terdapat balok-balok geladak yang ditempatkan dengan jarak yang serupa dengan gading-gading. Ujung-ujung balok geladak ini ditopang oleh gading-gading yang memiliki posisi vertikal yang sama. Di bagian bawah kapal, terdapat wrang-wrang yang ditempatkan dengan jarak yang sebanding dengan jarak antara gading-gading. Ini dilakukan agar setiap wrang, gading-gading, dan balok geladak membentuk struktur berhubungan yang berada dalam satu bidang vertikal sesuai dengan penampang melintang kapal di tempat tersebut. Dengan cara ini, rangkaian-rangkaian ini berperan sepanjang kapal dengan jarak yang dekat, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Rangkaian ini hanya dihapus jika sudah ada sekat melintang atau rangkaian lain yang dipasang di tempat yang sama, seperti gading-gading besar. (Sofi'i & Djaja, 2008)



Gambar 2. 1 Kerangka samping pada konstruksi melintang
Sumber : (Eyes, 2007)

Menurut (Sofi'i & Djaja, 2008) Gading besar, yang juga disebut sebagai web frame, merujuk pada gading dengan bilah (*web*) yang memiliki dimensi yang signifikan lebih besar dibandingkan dengan gading utama. Gading-gading besar ini juga dihubungkan pada ujung-ujungnya dengan balok geladak yang memiliki dimensi bilah yang juga besar. Biasanya, gading-gading besar hanya ditempatkan dalam ruangan-ruangan tertentu seperti ruang mesin pada kapal. Namun, dalam situasi tertentu, mereka juga bisa dipasang dalam ruang muat kapal jika diperlukan untuk memberikan penguatan tambahan secara melintang. Jarak antara gading-gading besar ini biasanya berkisar antara 3 hingga 5 meter, tergantung pada kebutuhan. Komponen-komponen yang ditempatkan sepanjang sistem konstruksi melintang meliputi:

a. Penumpu tengah (*center girder*) dan penumpu samping (*side girder*).

Terdapat pelat vertikal yang disebut penumpu tengah yang dipasang secara vertikal memanjang di bagian bawah kapal mengikuti garis tengahnya. Fungsinya adalah untuk memberikan stabilitas vertikal dan menjaga dasar kapal. Pada bagian alas ganda, penumpu tengah memiliki ketinggian yang sama dengan ketinggian alas ganda. Dalam kasus alas tunggal, penumpu ini juga disebut "keeleon" dan berfungsi sebagai penopang dalam untuk alas. Penumpu ini memotong struktur yang disebut wrang-wrang pada garis tengah kapal. Selain itu, ada juga penumpu samping, yang merupakan pelat vertikal lainnya yang ditempatkan sejajar dengan alas kapal, tetapi tidak sejajar dengan garis tengah seperti penumpu tengah. Penumpu samping ditempatkan di sebelah penumpu tengah dan berperan dalam meningkatkan kekuatan struktural kapal serta membantu mengontrol lenturan kapal. Pada setiap sisi kapal, mungkin terdapat satu atau beberapa penumpu samping, tergantung pada lebar kapal. Posisi dan jarak antara penumpu samping, jarak antara penumpu samping dengan penumpu tengah, dan jarak antara penumpu samping dengan tepi kapal memiliki batasan kisaran sekitar 1,8 hingga 3,5 meter dalam desain kapal. Semua elemen ini bersama-sama membentuk dasar struktural yang kuat dan memainkan peran penting dalam kinerja keseluruhan serta keamanan kapal di

perairan. Dalam perencanaan kapal, semua faktor ini harus dipertimbangkan secara matang untuk memastikan struktur yang kuat dan stabilitas optimal.

b. Senta sisi (*side stringer*)

Senta-senta sisi umumnya hanya dipasang pada lokasi-lokasi tertentu pada kapal, khususnya di bagian ceruk kapal dan ruang mesin, dan kadang-kadang juga di dalam ruang muat sesuai kebutuhan. Penentuan jarak antara senta-senta sisi yang terpasang seperti ini sangat bergantung pada kebutuhan spesifik pada area tersebut dan dapat disesuaikan sesuai dengan persyaratan teknis.

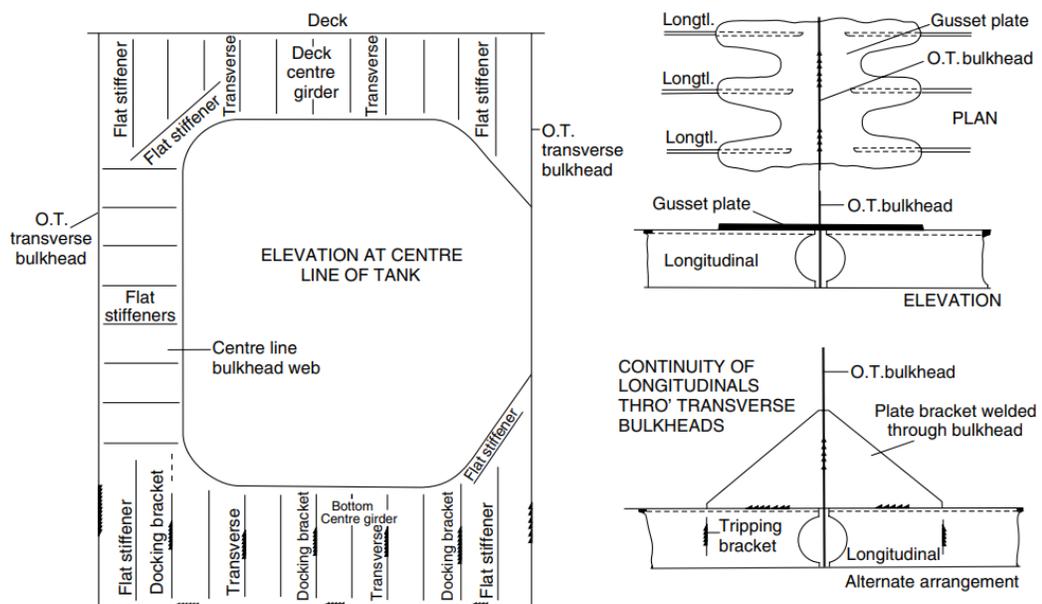
c. Penumpu geladak (*deck girder*)

Pada kapal kargo dengan satu lubang palkah di setiap ruang muat di geladak yang bersangkutan, penempatan 1 hingga 3 penyangga geladak dapat disesuaikan tergantung pada lebar lubang palkah. Penyangga geladak ini dipasang secara tepat di sekitar area tengah lubang palkah dan/atau berdampingan dengan penyangga sisi lubang palkah (*hatchside girder*), yang berada tepat di bawah ambang palkah yang membujur. Fungsi penyangga geladak adalah untuk memberikan dukungan struktural pada geladak kapal di sekitar lubang palkah, mengamankan integritas kapal, dan memastikan keamanan selama proses muat dan bongkar kargo. Penempatan dan jumlah penyangga geladak ini perlu disesuaikan dengan karakteristik kapal dan distribusi beban muatan.

2.2.2. Sistem Konstruksi Membujur

Sistem konstruksi membujur adalah cara konstruksi di mana beban yang diterima oleh rangka konstruksi diurai atau didistribusikan melalui koneksi yang kuat secara horizontal di sepanjang kapal, dengan menggunakan balok membujur. Dalam jenis konstruksi ini, bahkan jika terdapat balok-balok horizontal melintang, jika balok-balok tersebut memiliki tingkat kekakuan yang terbatas dalam mendukung atau menahan balok-balok membujur, sistem konstruksi masih tetap disebut sebagai sistem konstruksi membujur. (Prakoso, Chrismianto, & Amiruddin, 2015)

Dalam sistem ini, gading-gading utama tidak ditempatkan secara vertikal, melainkan dipasang horizontal di sisi kapal dengan jarak tertentu yang diukur secara vertikal, biasanya sekitar 700 mm hingga 1000 mm. Gading-gading ini disebut sebagai pembujur sisi (*side longitudinal*). Pada interval yang ditentukan, biasanya setiap 3 hingga 5 meter, gading-gading besar juga dipasang, serupa dengan gading-gading besar dalam sistem melintang, dan dikenal sebagai pelintang sisi (*side transverse*). (Sofi'i & Djaja, 2008)



Gambar 2. 2 Sistem konstruksi melintang pada kapal tanker
Sumber : (Eyres, 2007)

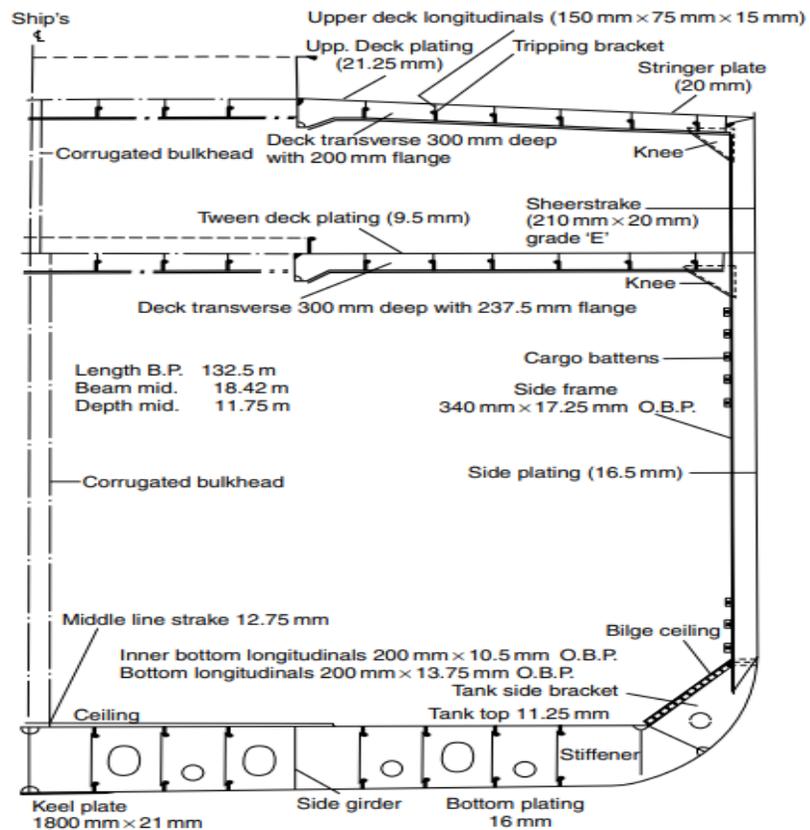
Pada bagian dasar kapal dan bagian dalamnya, juga terdapat pembujur yang ditempatkan serupa dengan pembujur sisi yang telah dijelaskan sebelumnya, dengan jarak yang sama seperti pembujur sisi. Pembujur-pembujur ini disebut sebagai pembujur alas (*bottom longitudinal*), dan di dalam bagian yang lebih dalam, disebut sebagai pembujur dalam dasar (*inner bottom longitudinal*). Pada bagian dasar kapal juga terdapat wrang-wrang yang terhubung dengan pelintang-pelintang sisi. Namun, umumnya tidak terhubung ke setiap pelintang sisi, melainkan ke setiap dua atau lebih pelintang sisi. Wrang-wrang dalam sistem

konstruksi membujur ini juga dikenal sebagai pelintang alas (*bottom transverse*). Penggunaan penumpu tengah dan penumpu samping dalam sistem ini mirip dengan penggunaannya dalam sistem konstruksi melintang. (Sofi'i & Djaja, 2008)

Di geladak kapal, terdapat elemen struktural yang dipasang sejajar dengan panjang kapal yang disebut pembujur geladak. Mereka berfungsi untuk memberikan kekuatan dalam arah membujur kapal. Selain itu, terdapat juga elemen struktural yang dipasang dari sisi ke sisi kapal yang dikenal sebagai pelintang geladak. Pelintang geladak membantu menguatkan geladak dan menopang beban horizontal. Balok geladak yang besar digunakan dalam konstruksi geladak dan ditempatkan melintang di atas pelintang geladak. Selain itu, terdapat penumpu geladak dan sekat-sekat yang memainkan peran penting dalam memperkuat geladak kapal dan memisahkan berbagai ruang di dalamnya. Dalam hal ini, elemen-elemen yang dipasang sejajar dengan panjang kapal (pembujur geladak) jauh lebih banyak daripada elemen-elemen yang dipasang dari sisi ke sisi kapal (pelintang geladak). Konstruksi ini dirancang untuk memberikan kekuatan dan stabilitas yang diperlukan untuk menghadapi beban dan tekanan saat kapal berlayar di laut. (Sofi'i & Djaja, 2008)

2.2.3. Sistem Konstruksi Kombinasi

Sistem gabungan ini mengacu pada penggunaan sistem melintang dan membujur secara bersamaan dalam kerangka badan kapal. Dalam pendekatan ini, geladak dan dasar kapal dibangun sesuai dengan sistem membujur, dengan panjang sejajar dengan arah kapal, sementara sisinya mengikuti pendekatan melintang. Ini berarti sisi kapal diperkuat dengan elemen-elemen melintang yang ditempatkan dengan jarak rapat, serupa dengan yang digunakan dalam pendekatan melintang. Sementara itu, dasar dan geladak kapal diperkuat dengan elemen-elemen membujur yang ditempatkan sejajar dengan panjang kapal. (Sofi'i & Djaja, 2008)



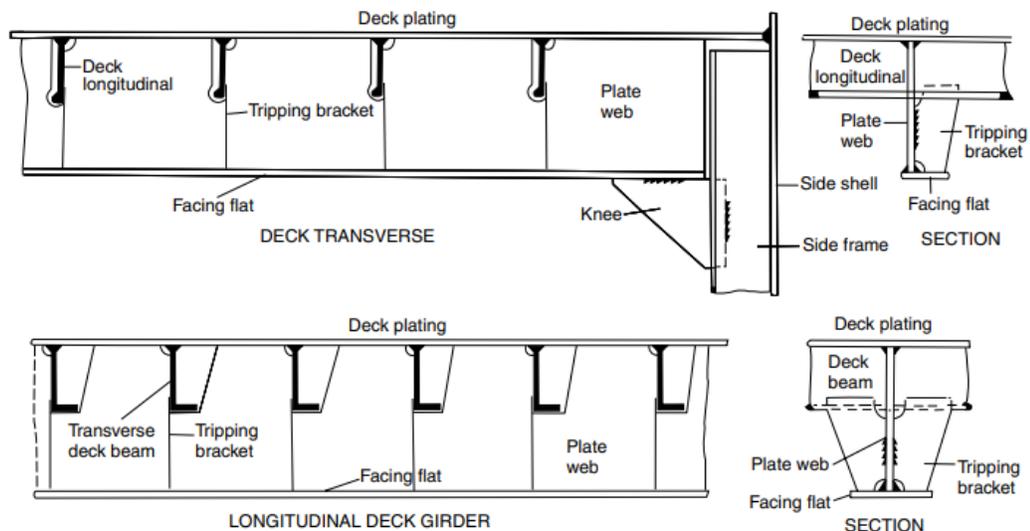
Gambar 2. 3 Sistem konstruksi kombinasi
 Sumber : (Eyres, 2007)

2.2.4. Konstruksi Geladak

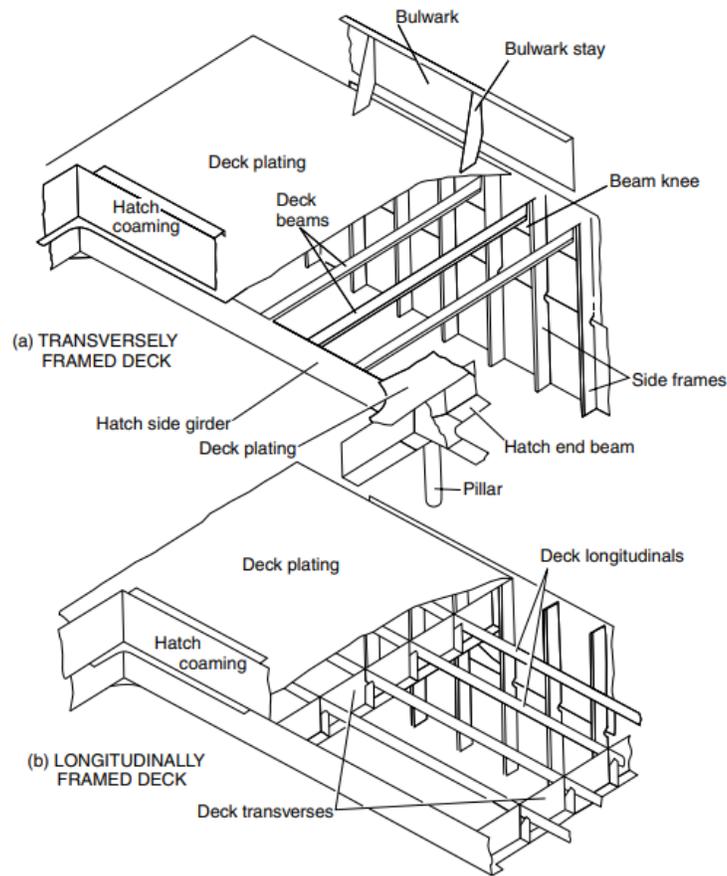
Geladak pada tingkat yang berbeda di sebuah kapal melayani berbagai fungsi, bisa berupa geladak kedap air, geladak kekuatan, atau geladak akomodasi kargo dan penumpang. Geladak kedap air dipasang untuk menjaga integritas lambung kedap air utama, dan yang paling penting adalah geladak lambung timbul yang merupakan geladak paling atas yang memiliki sarana permanen untuk menutup semua bukaan di bagian geladak yang terbuka. Meskipun semua geladak berkontribusi pada kekuatan kapal sampai batas tertentu, yang paling penting adalah yang dibagian atas lambung utama, yang disebut “dek kekuatan”. Dek yang lebih ringan yang tidak kedap air dapat dipasang untuk menyediakan platform akomodasi penumpang dan memungkinkan pengaturan pemuatan kargo yang lebih fleksibel. (Eyres, 2007)

Pada umumnya kapal kargo, geladak yang lebih ringan ini membentuk *tweens* yang menyediakan ruang di mana barang dapat disimpan tanpa dihancurkan oleh sejumlah besar kargo lain yang disimpan di atasnya. Untuk memungkinkan pemuatan dan pembongkaran kargo, bukaan harus dipotong di geladak, dan ini dapat ditutup dengan palka yang tidak kedap air atau kedap air. Bukaan lain diperlukan untuk akses pribadi melalui geladak dan di jalan bukaan selubung ruang mesin disediakan yang memungkinkan pemindahan barang-barang mesin bila perlu, dan juga menyediakan cahaya dan udara ke ruang ini. Bukaan ini dilindungi oleh rumah geladak atau superstruktur, yang diperluas untuk menyediakan ruang akomodasi dan navigasi. (Eyres, 2007)

Geladak cuaca kapal berbentuk melengkung (*chambered*), lengkungannya parabola atau lurus. Mungkin ada keuntungan dalam memasang geladak horizontal di beberapa kapal, terutama jika peti kemas diangkat dan diinginkan penampang melintang yang teratur. Panjang bagian dalam yang pendek biasanya horizontal. Dek disusun dalam panel pelat dengan pengakuan (*stiffening*) melintang atau memanjang, dan pengakuan lokal pada setiap bukaan. Gelagar geladak longitudinal dapat menopang kerangka melintang, dan melintang dalam kerangka memanjang. (Eyres, 2007)



Gambar 2. 4 *Deck Support*
Sumber : (Eyres, 2007)



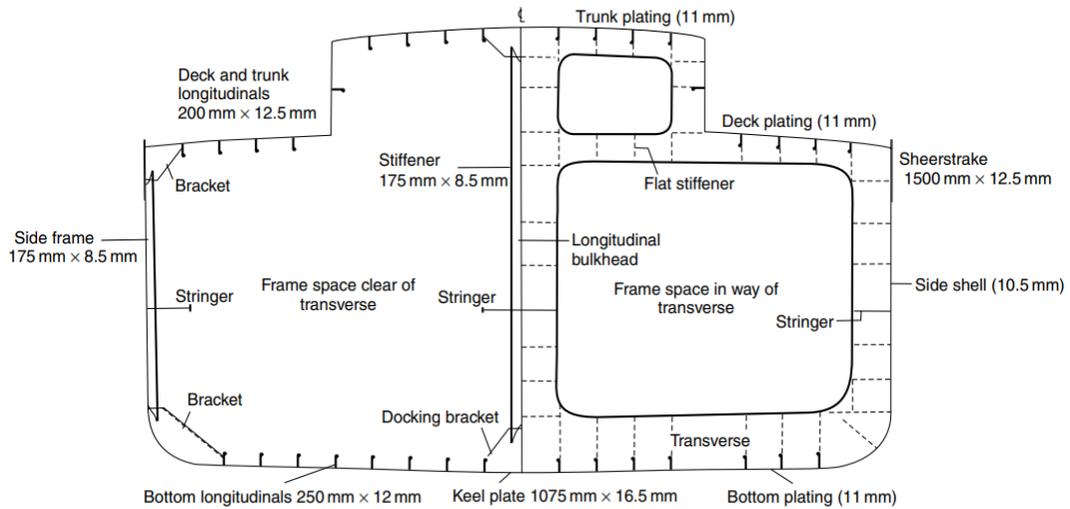
Gambar 2. 5 Konstruksi geladak (*Deck construction*)

Sumber : (Eyres, 2007)

2.2.5. Trunk

Trunk merupakan bangunan yang berada diatas geladak utama kapal dengan tidak membentang sampai ke sisi kapal yang dimana berfungsi untuk menyimpan muatan cair. Ruang muat kapal yang mengangkat muatan cair dapat terjadi pemuain, dengan adanya trunks maka dapat mengurangi pemuain tanpa resiko regangan yang berlebihan pada lambung kapal. Panjang efektif trunk dihitung dengan mengalikan perbandingan panjang dan lebar rata-rata *trunk* terhadap lebar kapal (B), dimana panjang kapal diambil dari panjang keseluruhan *trunk*. Selain dari geladak penggal yang ditinggikan, tinggi trunk merupakan tinggi yang diambil dari tinggi standar bangunan atas. Pada ambang bukaan pada geladak *trunk* harus

memenuhi yang disyaratkan, jika tinggi *trunk* sebenarnya tidak memenuhi persyaratan maka tinggi *trunk* sebenarnya harus dikurangi dengan hasil pengurangan tinggi *trunk* yang disyaratkan dengan tinggi *trunk* sebenarnya.



Gambar 2. 6 Penampang midship kapal minyak lebih dari 5000 DWT dengan trunk.
Sumber : (Eyres, 2007)

Bedasarkan *International Convention On Load Lines 1966* bahwa *trunk* dapat memenuhi persyaratan jika :

- a. Kekuatannya sekurang-kurangnya sama dengan bangunan atas;
- b. Lubang laluan pada geladak *trunk*, ambang lubang laluan dan penutupnya memenuhi syarat ketentuan ini yang memiliki lebar dari pelat tepi geladak *trunk* merupakan jembatan dengan penguat sisi yang cukup dan lubang masuk yang kecil dengan tutup kedap air diperbolehkan pada geladak lambung timbul;
- c. Lantai kerja (*platform*) di haluan dan buritan dipasang pagar pengaman pada geladak *trunk* atau pada *trunk* yang terpisah yang berhubungan dengan bangunan atas melalui jembatan;
- d. Ventilator yang terlindungi oleh *trunk*, oleh penutup kedap air atau oleh cara lain yang sepadan;
- e. Selubung mesin yang terlindungi oleh *trunk*, oleh bangunan atas yang mempunyai tinggi sekurang kurangnya sama dengan tinggi standar, atau oleh rurnah geladak dengan tinggi yang sama dan mempunyai kekuatan sepadan;

- f. Lebar dari *trunks* paling sedikit 60% (enam puluh per seratus) dari lebar kapal; dan
- g. Tidak terdapat bangunan atas, panjang *trunk* paling sedikit 0,6 dari panjang kapal (L).

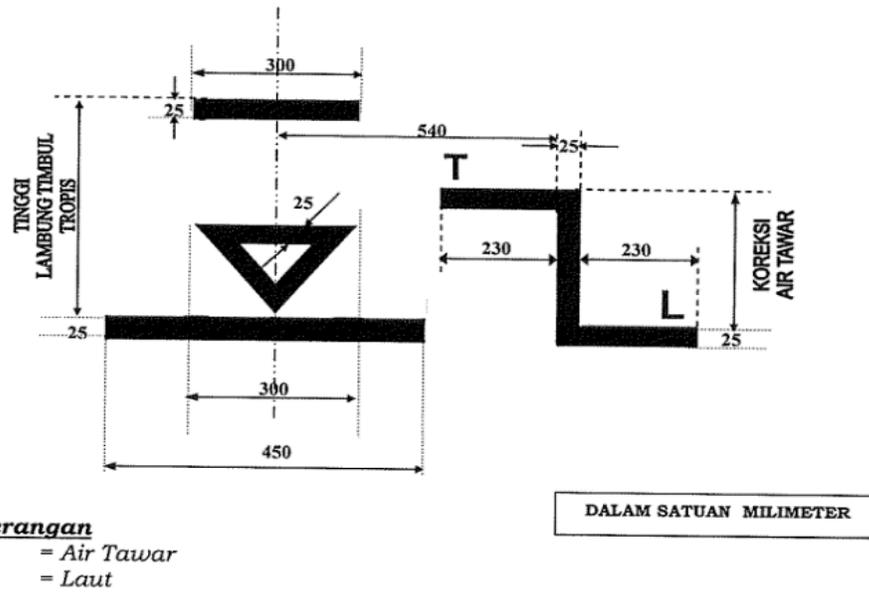
2.4. Lambung Timbul

Bedasarkan *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan* bahwa Garis muat adalah jarak vertikal yang diukur pada tengah kapal dari sisi atas garis geladak lambung timbul kearah bawah hingga sisi atas garis muat. Geladak lambung timbul adalah geladak teratas yang menyeluruh dan terbuka secara langsung (*exposed deck*) terhadap cuaca dan air laut dan mempunyai cara penutupan yang tetap dan kedap cuaca untuk untuk bukaan-bukaan di atas geladak dan kedap air untuk bukan-bukaan dibawah geladak, bagian terendah dari geladak terbuka dan perpanjangan garis ini sejajar dengan bagian geladak yang atas, diambil sebagai geladak lambung timbul, pada kapal yang mempunyai geladak teratas terpenggal atau geladak yang lebih rendah dari geladak teratas asalkan geladak tersebut menyeluruh dan permanen dari arah belakang ke depan, sekurang-kurangnya antara kamar mesin dan sekat tubrukan.

2.4.1. Marka Garis Muat Kapal

Marka garis muat kapal sesuai dengan *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan* yaitu :

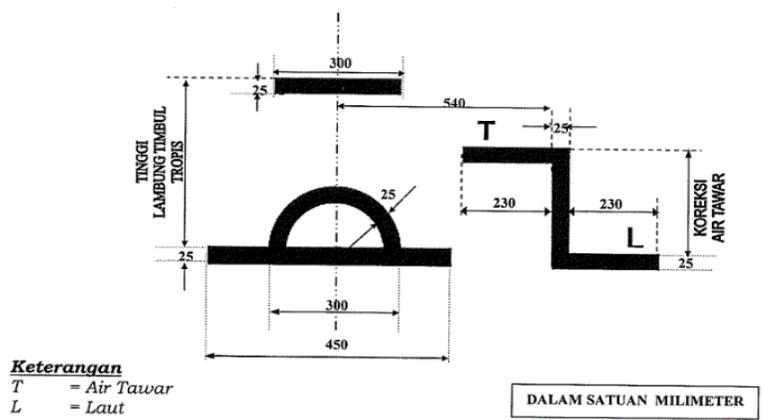
- a. Marka garis muat untuk kapal panjang $L < 15$ meter, berlayar didalam pelayaran kawasan Indonesia.



Gambar 2. 7 Marka garis muat untuk kapal panjang $L < 15$ meter

Sumber : (PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan)

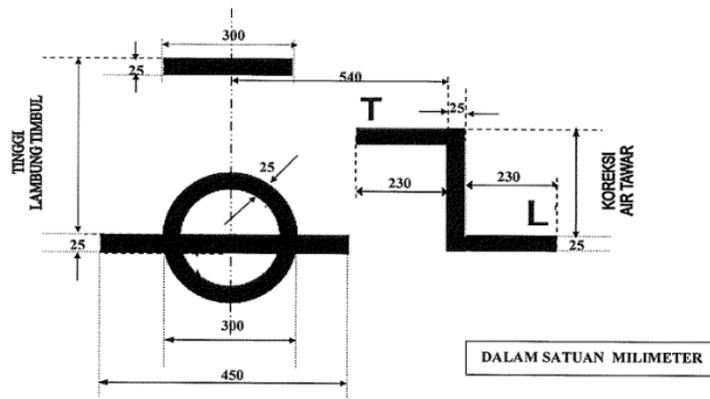
b. Marka garis muat untuk kapal panjang $15 \leq L < 24$ meter, berlayar didalam pelayaran kawasan Indonesia.



Gambar 2. 8 Marka garis muat untuk kapal panjang $15 \leq L < 24$ meter

Sumber : (PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan)

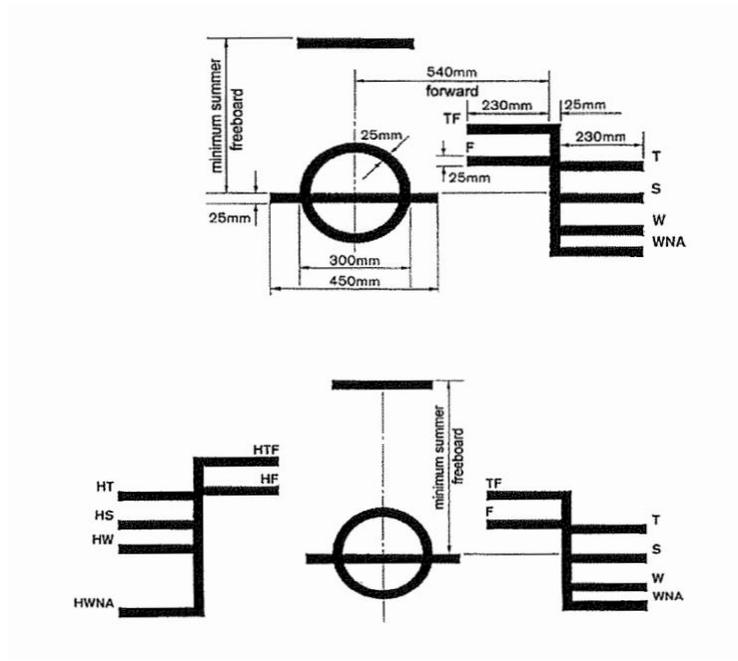
c. Marka garis muat untuk kapal panjang $L = 24$ meter atau lebih, berlayar didalam pelayaran kawasan Indonesia.



Keterangan
T = Air Tawar
L = Laut

Gambar 2. 9 Marka garis muat untuk kapal panjang $L = 24$ meter atau lebih
 Sumber : (PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan)

d. Marka garis muat untuk kapal panjang $L = 24$ meter atau lebih dan/atau kapal dengan tonase kotor GT 150 atau lebih, berlayar di pelayaran Internasional.



Gambar 2. 10 Marka garis muat untuk kapal panjang $L = 24$ meter atau lebih
 Sumber : (PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan)

2.4.2. Tinggi Ambang Palka, Pintu Jalan Masuk dan Ventilator

Tinggi ambang palka, pintu jalan masuk dan ventilator harus disesuaikan dengan kedudukan masing-masing sesuai dengan *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan* yaitu :

- a. Kedudukan 1 (satu) yaitu ambang palka, pintu jalan masuk dan ventilator yang berada di atas geladak lambung timbul, geladak penggal yang tidak terlindung dan diatas geladak bangunan atas yang tidak terlindung yang terletak di depan dari titik yang terletak pada seperempat panjang kapal diukur dari garis tegak depan; dan
- b. Kedudukan 2 (dua) yaitu ambang palka, pintu jalan masuk dan ventilator yang berada di atas geladak bangunan atas yang tidak terlindung yang terletak di belakang seperempat panjang kapal diukur dari garis tegak depan ke belakang, dimana tinggi bangunan atas tersebut tidak kurang dari tinggi standar bangunan atas.

2.4.3. Bukaannya di Geladak Lambung Timbul dan Geladak Bangunan Atas

Bukaan di geladak lambung timbul dan geladak bangunan atas harus memenuhi persyaratan sesuai dengan *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan* yaitu :

- a. Bukaannya-bukaan tempat orang lewat (manholes) dan tingkap air bilas (flush scuttles) dalam kedudukan 1 (satu) dan 2 (dua) di dalam bangunan atas yang tertutup, harus ditutup dengan tutup yang kuat dan kedap air, kecuali jika ditutup dengan baut-baut yang berjarak dekat, tutup harus dipasang permanen;
- b. Bukaannya-bukaan di geladak lambung timbul selain dari lubang palka, lubang masuk ruang mesin, lubang lalu orang dan tingkap air bilas, harus dilindungi oleh bangunan atas yang tertutup atau oleh rumah geladak atau dengan kekuatan dan kededapan cuaca yang sepadan dan tiap lubang tersebut di geladak bangunan

atas yang tidak terlindung atau di puncak dari rumah geladak di geladak lambung timbul atau ruangan di. dalam bangunan atas yang tertutup harus dilindungi oleh rumah geladak atau oleh jenjang (companionways) harus dilengkapi dengan pintu-pintu yang memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 11; dan

- c. Tinggi ambang pintu masuk rumah geladak atau ambang pintu jenjang (companionways) sekurang-kurangnya:
 1. 600 mm (enam ratus milimeter) pada kedudukan 1 (satu); dan
 2. 380 mm (tiga ratus delapan puluh milimeter) pada kedudukan 2 (dua).

2.4.4. Ventilator di Geladak Lambung Timbul dan Geladak Bangunan Atas

Ventilator di geladak lambung timbul dan geladak bangunan atas harus memenuhi persyaratan sesuai dengan *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan* yaitu :

- a. Ventilator pada kedudukan 1 (satu) dan 2 (dua) menuju ruangan di bawah geladak lambung timbul atau menembus geladak bangunan atas yang tertutup, harus mempunyai ambang dari baja atau bahan lain yang sepadan dengan konstruksi yang kuat dan disambungkan secara baik ke geladak, dan apabila tinggi ambang dari tiap ventilator melebihi 900 mm (Sembilan ratus milimeter) maka ambang ini harus diberi penguat khusus.
- b. Ventilator yang menembus bangunan atas, kecuali bangunan atas yang tertutup harus mempunyai ambang dari baja atau bahan lain yang sepadan dengan konstruksi yang kuat di geladak lambung timbul.
- c. Ventilator pada kedudukan 1 (satu) yang tinggi ambangnya lebih dari 4,5 m (empat koma lima meter) di atas geladak, dan pada kedudukan 2 (dua) yang tinggi ambangnya lebih dari 2,3 m (dua koma tiga meter) di atas geladak, tidak perlu diberi penutup kecuali jika disyaratkan khusus oleh Direktur Jenderal.

- d. Ventilator pada kedudukan 1 (satu) harus mempunyai tinggi ambang sekurang-kurangnya 900 mm (sembilan ratus milimeter) dan pada kedudukan 2 (dua) tinggi ambang sekurang-kurangnya 760 mm (tujuh ratus enam puluh milimeter).
- e. Ventilator pada kapal kecepatan tinggi yang berukuran panjang 30 m (tiga puluh meter) atau lebih harus mempunyai tinggi ambang sekurang-kurangnya 380 mm (tiga ratus delapan puluh milimeter) pada kedudukan 1 (satu) dan 100 mm (seratus milimeter) pada kedudukan 2 (dua).
- f. Tinggi ambang ventilator pada kapal dengan ukuran panjang kurang dari 30 m (tiga puluh meter) dapat dikurangi dengan mempertimbangkan aspek keselamatan dan keamanan kapal.

2.4.5. Pipa Udara di Geladak Lambung Timbul dan Geladak Bangunan Atas

Pipa udara di geladak lambung timbul dan geladak bangunan atas harus memenuhi persyaratan sesuai dengan *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan* yaitu :

- a. Pipa udara untuk tangki balas dan tangki lainnya harus mempunyai tinggi sekurang-kurangnya 760 mm (tujuh ratus enam puluh milimeter) di atas geladak lambung timbul dan 450 mm (empat ratus lima puluh milimeter) di atas geladak bangunan atas.
- b. Untuk kapal kecepatan tinggi semua pipa udara yang menerus sampai dengan geladak terbuka (exposed deck) harus memiliki tinggi sekurang-kurangnya 300 mm (tiga ratus milimeter), apabila tinggi geladak terbuka kurang dari 0,05 panjang kapal (L) dari garis air rancangan, 150 mm (seratus lima puluh milimeter) pada geladak yang lain.
- c. Apabila ketinggian pipa udara sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) merintangai pekerjaan di kapal, ketinggian dapat dikurangi dengan persetujuan Direktur Jenderal.

- d. Pipa udara yang tidak terlindungi harus dipasang dengan konstruksi yang kuat dan dilengkapi dengan alat penutup permanen.

2.4.6. Metode Perhitungan Lambung Timbul

Perhitungan lambung timbul kapal untuk kapal dengan panjang lebih dari 15 meter sesuai dengan *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan* yaitu :

1. Lambung Timbul Awal (fb) Untuk Kapal Tipe 'A'

$$fb = 0,5 L \text{ cm} \quad \text{untuk } L \text{ sampai dengan } 50 \text{ m} \quad (2.3)$$

$$fb = 0,8 (L/10)^2 + L/10 \quad \text{untuk } L \text{ lebih dari } 50 \text{ m} \quad (2.4)$$

dimana,

L = Panjang kapal (m)

2. Lambung Timbul Awal (fb) Untuk Kapal Tipe 'B'

$$fb = 0,8 L \text{ cm} \quad \text{untuk } L \text{ sampai dengan } 50 \text{ m} \quad (2.5)$$

$$fb = (L/10)^2 + (L/10) + 10 \text{ cm} \quad \text{untuk } L \text{ lebih dari } 50 \text{ m} \quad (2.6)$$

dimana,

L = Panjang kapal (m)

3. Koreksi Koefisien Blok (Kb)

Apabila Kb lebih besar dari 0,68; maka fb harus dikalikan dengan faktor:

$$\frac{0,68+Kb}{1,36} \quad (2.7)$$

dimana,

Nilai KB tidak lebih dari 1

Besarnya koefisien blok diambil dari data Tabel Hidrostatik atau menggunakan Tabel 2.4.

Tabel 2. 1 Koreksi koefisien blok (Kb)

No	Tipe Kapal	Koefisien Blok
1	Barge	0.87 - 0.95
2	Landing Craft Tank dan Self Propelled Oil Barge	0.76 - 0.84
3	Crude Oil Carrier	0.82 - 0.86
4	Product Carrier	0.78 - 0.83
5	Dry Bulk Carrier	0.75 - 0.84
6	Cargo Ship	0.60 - 0.75
7	Passenger Ship	0.58 - 0.62
8	Container Ship	0.60 - 0.64
9	Ferries	0.55 - 0.60
10	Frigate	0.45 - 0.48
11	Tug	0.54 - 0.58
12	Yacht	0.15 - 0.20

Sumber : (PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan)

4. Koreksi tinggi (D)

Apabila D lebih besar dari $(L/15)$, lambung timbul ditambah dengan :

$$20 (D - L/15) \text{ cm} \quad \text{untuk } L \text{ sampai dengan } 50 \text{ m} \quad (2.8)$$

$$(0,1L + 15) (D - L/15) \text{ cm} \quad \text{untuk } L \text{ lebih dari } 50 \text{ m sampai dengan } 100 \text{ m} \quad (2.9)$$

$$25 (D - L/15) \text{ cm} \quad \text{untuk } L \text{ lebih dari } 100 \text{ m} \quad (2.10)$$

dimana,

L = Panjang kapal (m)

D = Tinggi kapal (m)

Apabila D lebih kecil dari $(L/15)$, tidak ada Koreksi terhadap lambung timbul.

5. Koreksi lengkung memanjang

Koreksi lengkung memanjang kapal ditetapkan dengan cara sebagai berikut:

$$A = 1/6 [2,5 (L+30) - 100 (Sf + Sa)] [0,75 - (S/2L)] \text{ cm} \quad (2.11)$$

$$B = 0,125 L \text{ cm} \quad (2.12)$$

Koreksi lengkung memanjang kapal ditetapkan sebagai berikut :

1. A lebih besar 0, Koreksi ditetapkan = A cm

2. A lebih kecil 0, dan harga mutlak A lebih besar B, Koreksi ditetapkan = - B cm
3. A lebih kecil 0, dan harga mutlak A lebih kecil B, Koreksi ditetapkan = A cm

dimana,

L = Panjang kapal (m)

Sf = Tinggi lengkung memanjang pada posisi garik tegak depan (FP) (m)

Sa = Tinggi lengkung memanjang pada posisi garis tegak belakanh (AP) (m)

S = Panjang seluruh bangunan atas tertutup (m)

6. Pengurangan Lambung Timbul

Apabila pada kapal tipe 'B' dilengkapi dengan penutup palka baja, lambung timbul kapal dikurangi sesuai Tabel 2.5.

Tabel 2. 2 Pengurangan lambung timbul

Panjang (L)	≤ 100 m	110 m	120 m	≥ 130 m
Pengurangan (cm)	4	5	8	12

Sumber : (PM 39 tahun 2016 tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan)

Besarnya pengurangan untuk panjang kapal diantaranya didapat dengan Interpolasi linear.

7. Lambung Timbul Minimum

- a. Lambung timbul minimum Air Laut (L) untuk Kapal tipe 'A' adalah lambung timbul setelah dikoreksi dengan penambahan atau pengurangan; Besarnya Lambung timbul tidak boleh kurang dari 5 (lima) cm;
- b. Lambung timbul minimum Air Laut (L) untuk Kapal tipe 'B' adalah lambung timbul setelah dikoreksi dengan penambahan atau pengurangan; Besarnya lambung timbul tidak boleh kurang dari 15 (lima belas) cm.

8. Koreksi Tinggi Haluan Minimum

$$F_b = 0,35 \times [6075(L/100) - 1875 (L/100)^2 + 200(L/100)^3] \times [2,08 + 0,609 C_b - 1,603C_{wf} - 0,0129 (L/d_1)] \quad (2.13)$$

dimana,

F_b = Perhitungan tinggi haluan minimum (mm)

L = Panjang kapal (m)

B = Lebar kapal (m)

d_1 = Sarat pada 85% tinggi kapal (m)

C_b = Koefisien Blok

C_{wf} = Koefisien garus air didepan $L/2$

A_{wf} = Luas bidang air didepan $L/2$ pada sarat d_1 (m²)

9. Koreksi Air Tawar

Koreksi air tawar terhadap lambung timbul minimum air laut dihitung dengan

rumus :

$$\frac{\Delta}{40 TPC} \text{ cm} \quad (2.14)$$

dimana,

Berat jenis air tawar ditetapkan sama dengan 1 (satu)

Δ = berat benaman pada garis muat air laut (ton)

TPC = ton per sentimeter pembedaman dalam laut, pada garis muat air laut

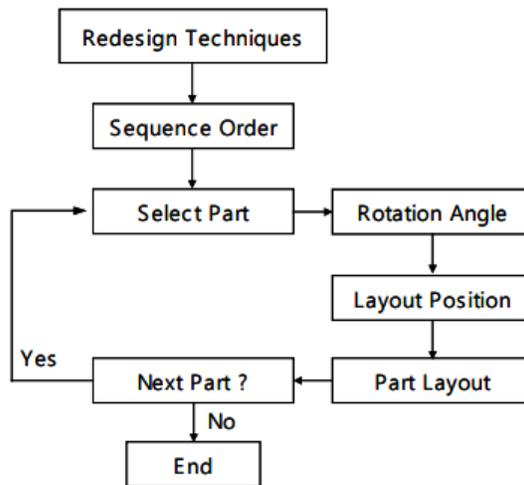
Jika berat benaman pada garis muat air laut (Δ) tidak dapat ditentukan, koreksi air tawar ditetapkan 1/48 (seperempat puluh delapan) dari sarat air laut pada pusat lingkaran marka garis muat.

2.5 Metode Nesting

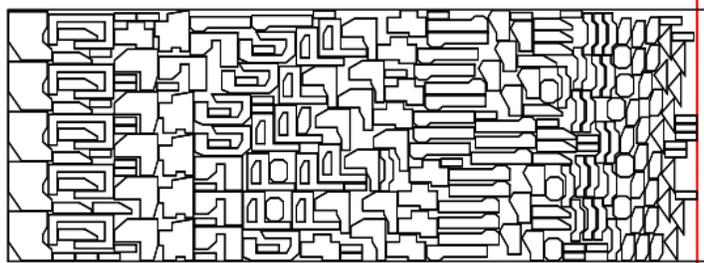
Mengatur pola nesting secara otomatis berdasarkan pendekatan penyesuaian heuristik dengan sangat cepat tanpa intervensi manual atau mempertimbangkan sisa area potongan pada pola pemotongan. Metode untuk mengevaluasi pola pemotongan panel secara berulang untuk hasil yang optimal dan efisien, atau pendekatan heuristik berbasis aturan. (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)

Pendekatan heuristik digunakan untuk mendapatkan hasil yang sempurna dari beberapa fitur bentuk pola, penempatan pola dengan fitur yang sama, dan nomor pola yang berdekatan. Pada akhirnya, keseluruhan denah bergantung pada komposisi tata letak pola utama. Jika Anda dapat menempatkan pola kecil di antara pola yang lebih besar, itu tidak akan banyak mempengaruhi keseluruhan desain. Sebelum proses nesting, pola harus dipisahkan terlebih dahulu dari fitur yang besar menjadi fitur yang lebih kecil. Pemisahan dilakukan agar proses penempatan dapat mengidentifikasi di mana pola besar harus ditempatkan terlebih dahulu. Setelah menempatkan pola besar di atas sisanya, Anda perlu menempatkan pola besar di ruang yang tersisa. Oleh karena itu, perencanaan akhir tata letak sarang bergantung pada komposisi atau penempatan pola-pola besar. Pola kecil kurang penting karena pola yang lebih kecil dapat ditempatkan di atas pola yang lebih besar. Tempatkan pola dalam proses perencanaan dengan memindahkan pola yang dibuat di sistem AutoCAD. (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)

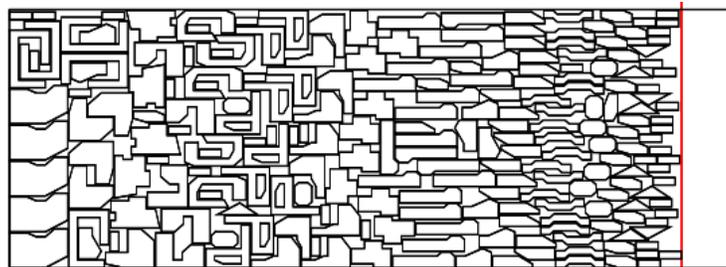
Sistim heuristik nesting berdasar pada aturan tata letak dua dimensi dengan menggunakan “Teknik peletakan pola secara geometric” dan “strategi efisiensi layout”. Pada Gambar 2.11 merupakan diagram kerja/ kesimpulan cara kerja dari pada pengaturan dasar sistim heuristik (*rule-based heuristic nesting system*) pada Gambar 2.12 merupakan gambar dari pengaturan dasar sistim heuristic nesting. Pada Gambar 2.13 merupakan gambar dari pengaturan dasar sistim heuristic nesting pada pola tidak beraturan. Pada Gambar 2.14 merupakan gambar dari pengaturan peletakan dari pola yang besar hingga yang kecil dari pola tidak beraturan.



Gambar 2. 11 Diagram kerja/ kesimpulan cara kerja dari pada pengaturan dasar sistim heuristic (*rule-based heuristic nesting system*)
 Sumber : (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)

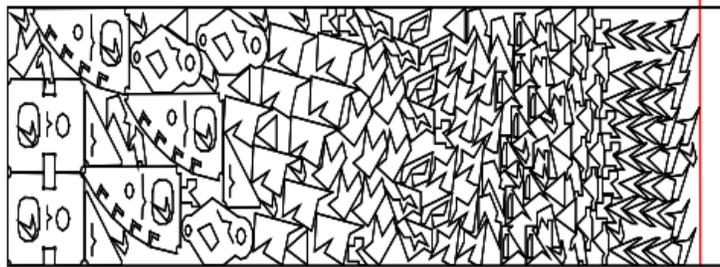


(b) Tanpa memperhatikan sudut daripada pola.

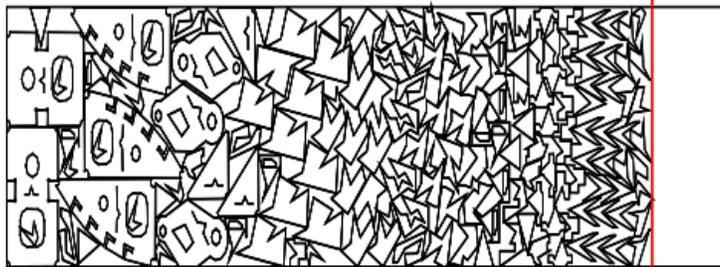


(b) Memperhatikan sudut daripada pola.

Gambar 2. 12 Layout pengaturan dasar heuristic pada pola beraturan
 Sumber : (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)

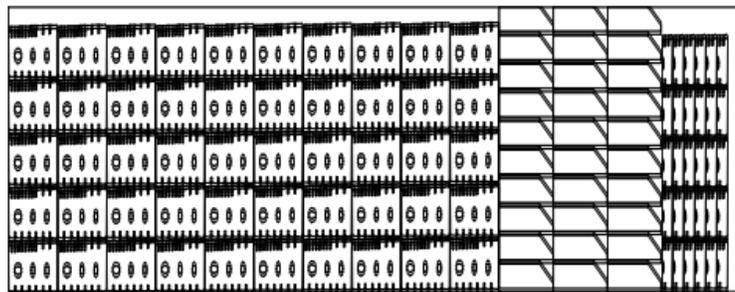


(b) Tanpa memperhatikan sudut daripada pola.



(b) Memperhatikan sudut daripada pola.

Gambar 2. 13 Layout pengaturan dasar 28 heuristic pada pola tidak beraturan
 Sumber : (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)



Gambar 2. 14 Layout pengaturan peletakan dari pola yang besar hingga yang kecil dari pola tidak beraturan

Sumber : (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)

Tabel 2. 3 Hasil dari Nesting berdasarkan metode heuristik

Hasil dari nesting berdasarkan metode heuristik			
Bentuk benda	Banyak bentuk	Sudut perputaran bentuk	Utilasi rasio (%)
Beraturan	220	Tidak diperhatikan	12,997 %
		Diperhatikan	17,45 %
Tidak beraturan	156	Tidak diperhatikan	7,552 %
		Diperhatikan	14,310%
Beraturan dan tidak beraturan	110	0	2,800

Sumber : (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)

Nesting Gambar 2.12, dimana rasio utilisasi atau penempatan mencapai 12,977 % dan 17,45 %. Gambar 2.13, dimana rasio utilisasi atau penempatan mencapai 7.552 % dan 14,31 %. Gambar 2.14 dimana rasio utilisasi atau penempatan mencapai 2,8 %. Dimana Gambar 2.12, Gambar 2.13, dan Gambar 2.14 adalah sebagai contoh, dimana semakin kecil semakin efisien hasilnya.

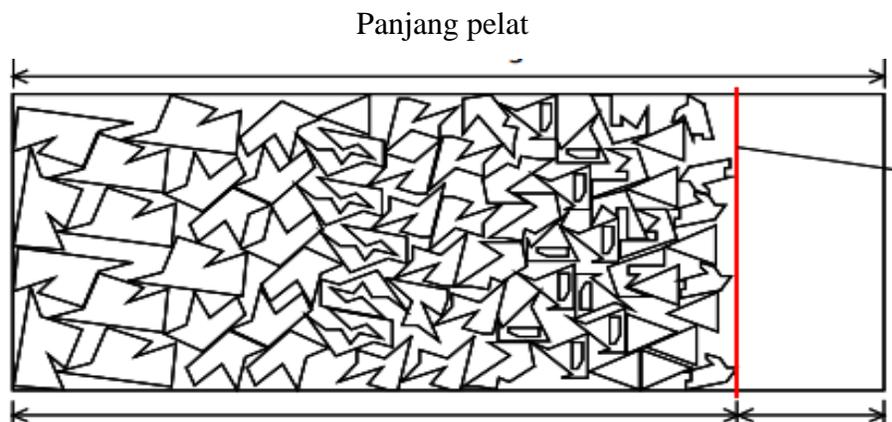
Tujuan dari nesting adalah untuk meminimalkan area yang tersisa dalam pola dua dimensi. Jika seluruh area sampel konstan, maka fungsi objektifitas tidak perlu dihitung, karena sisanya dibuat di ujung daerah yang data dikerjakan dibuat setelah kolom daerah yang telah dikerjakan, dimana peletakannya berada di sebelah kanan lembaran pelat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.

Adapun cara untuk mengevaluasi pemanfaatan pelat terpakai, dihitung dengan menggunakan rumus sebagaimana pada persamaan 2.1:

$$\eta = (W_L \times 100) / P_L \quad (2.1)$$

Dimana:

- η = Parameter efisiensi
- W_L = Panjang sisa daerah dapat dikerjakan
- P_L = Panjang pelat utama



Gambar 2. 15 Pola pemotongan pada satu lembaran pelat
 Sumber : (Yinyoung, Koji, & Masahiro, 2003)