

---

---

## BAB II

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 *Heavy Marine Transport*

Dalam pelayaran *heavy marine*, kargo dimuat ke kapal, diangkut ke luar negeri dan diturunkan dari kapal. Bisnis *Heavy Marine Transport* (HMT) melayani pasar yang dapat dibagi menjadi dua industri yang berbeda. Industri pertama didorong oleh konsumsi energi. Dockwise melayani energi dan sumber daya, E & R, minyak, gas, dan pasar energi dan sumber daya lainnya yang disebut dalam buku ini sebagai industri. Industri lainnya adalah pelabuhan dan lautan, P&M didorong oleh perdagangan dunia. Selain dua industri besar ini, kami juga melayani pelanggan militer, industri kecil dan luar biasa. Area bisnis HMT mencakup semua berbagai proses bongkar muat untuk transportasi individu dari jenis kargo yang paling beragam. Fleksibilitas merupakan fokus penting dari kapal yang beroperasi di sektor ini. Operasi HMT serbaguna ini berbeda secara signifikan antara kargo apung dan non-apung. Persyaratan desain yang paling penting adalah ruang dek vertikal yang cukup dan efisien serta stabilitas yang memadai terhadap beban VCG tinggi yang relatif berat (Banen, 2015).

##### 2.1.1. *Heavy Lift Vessel (HLV)*

*Heavy Lift Ship* di rancang khusus untuk membawa muatan yang besar dan juga memiliki berat yang tidak dapat dimuat dalam sebuah kapal. Untuk mengakomodasi jenis muatan yang kompleks dibutuhkan derek dan juga *crane* yang berkapasitas tinggi. Sebuah kapal khusus yang mampu mengangkut kargo berat non-standar. Mereka dapat dibagi menjadi empat kategori utama: kapal kargo proyek, kapal kargo dek terbuka, kapal dermaga dan *semi-submersible*. (Mohanasundaram, 2009)

Sebagian besar benda berat bersifat unik dan pengelolaannya memerlukan perencanaan dan koordinasi yang sangat cermat dalam setiap detailnya. Informasi rinci tentang lokasi pengangkutan dan bongkar muat

sering diperiksa selama tahap persiapan, bahkan sebelum pesanan yang sebenarnya ditempatkan.

Banyak proyek memerlukan prosedur operasi rinci yang memerlukan persetujuan klien dan ahli. Semua rencana penyimpanan dan pengangkatan dibuat dalam sistem CAD 2D dan 3D, memungkinkan untuk mensimulasikan situasi pengangkatan yang rumit secara bertahap.

- Kapal Kargo Proyek Kapal yang relatif kecil, seringkali dengan pegangan berbentuk kotak besar, digunakan untuk mengangkut mesin kecil, peralatan pelabuhan, lokomotif, derek yang robek, kapal kecil dan yacht (Sihombing, 2017).
- Kapal Kargo Dek Terbuka Kapal jenis Roro dengan suprastruktur depan. Mereka dirancang untuk mengangkut modul besar, derek kontainer yang dirakit penuh. di dek kargo terbuka besar yang diakses melalui landai buritan lebar penuh(Sihombing, 2017).
- Kapal *Dock* memiliki dinding samping yang melindungi area kargo. Pengisian muatan dapat dilakukan dengan menggunakan cara *float-in/float-out* dengan cara menenggelamkan kapal sampai geladak terendam, *lift-on/lift-off* menggunakan crane, dan *roll-on/roll-off* pada bagian belakang ramp kapal(Sihombing, 2017).
- *Semi-submersible* Kapal yang dapat tenggelam secara horizontal sampai geladak utama tenggelam hingga kedalaman 20 hingga 45 ft (6 hingga 14 m) dan dapat memuat kargo besar dengan menggunakan metode *float-off*. Dalam hal ini, kargo harus dimuat di tongkang atau mengapung sendiri. Kapal itu sendiri tenggelam seperti dermaga apung, dan muatannya mengambang di kapal. Kargo khas adalah rig minyak, pabrik terapung, peralatan pengerukan, struktur lepas pantai, *floating dock* dan kapal lainnya. (Demeshko, Pazukhin and Sandrevskaya, 2020). Pada Gambar 2.1 terlihat jenis *Heavy Lift Vessel* berjenis *Crane*



Sumber : shippingwatch.com

Gambar 2. 1 *Heavy Lift Vessel*

### 2.1.2. *Semi Submersible Heavy Lift Vessel (SSHLV)*

*Semi Submersible Heavy Lift* merupakan kapal yang memiliki karakteristik khusus yaitu dengan mampu menenggelamkan sebagian lambungnya. Tidak seperti kapal selam yang keseluruhan lambungnya di dalam air, kapal ini harus menenggelamkan lambungnya dengan memperhatikan posisi trim kapal. Oleh karena itu kapal ini tidak terlalu terpengaruh oleh gelombang dari kapal lain. *Semi Submersible Heavy Lift* memiliki dek yang panjang dan juga luas untuk memuat kargo dengan cara mengisi tanki *ballast* untuk menurunkan dek berada di bawah air yang memungkinkan kargo atau barang dapat dipindahkan ke posisi pemuatan, dan tanki *ballast* akan dikosongkan untuk menaikan lambung dan menaikan kargo. Penggunaan Kapal *Semi Submersible Heavy Lift* dalam membawa muatan yang berat dan besar ini akan membantu dalam memangkas waktu dan biaya *transportation* muatan menuju lokasi produksi (Mohanasundaram, 2009).

kapal ini disebut multiguna karena dapat mengangkut kargo besar seperti konstruksi derek lepas pantai, yacht. Dek utama kapal angkat berat semi-submersible ini dapat tenggelam di dan membawa *float on dan float-off* (masuk dan keluar dari ) kargo. Tentunya hal ini mengurangi risiko kecelakaan saat bongkar muat dibandingkan dengan *crane*. Situasi ini bahkan memungkinkan kontak dengan muatan ketika geladak muncul ke permukaan. Pada Gambar 2.2 merupakan contoh dari kapal *Semi*

---

*Submersible Heavy Lift* yang dimiliki oleh perusahaan Boskalis bernama *BOKA Vanguard* (Sharma *et al.*, 2010).

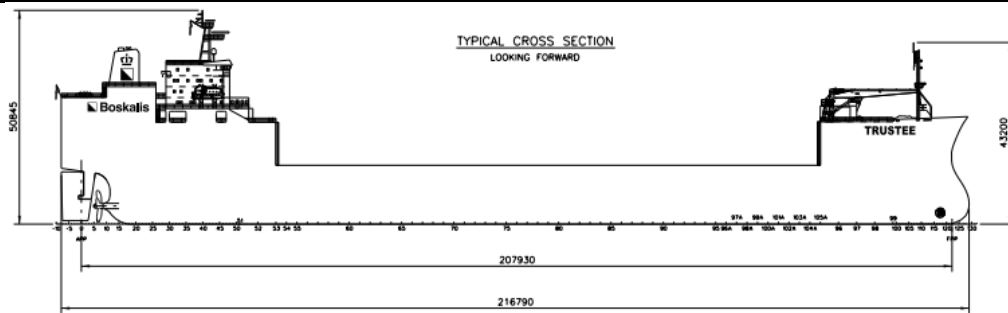


Sumber : Boskalis.com

Gambar 2. 2 *Semi Submersible Heavy Lift Vessel*

### 2.1.3. *S-Class Semi Submersible Heavy Lift Vessel*

Kapal *S-Class* awalnya dirancang untuk industri perkapalan berat dan pengangkutan kargo cair. Saat ini, kapal hanya dapat mengangkut kargo di geladak. Pembebanan ini dapat dilakukan dengan cara menurunkan geladak kapal, mengangkatnya menggunakan derek *eksternal*, atau dengan cara pelampung dengan cara menggelinding/*skiding* dari sisi dermaga. fungsi kapal, CAPEX, OPEX, dan potensi pasar membuat profil operasional. Ini diringkas di bagian berikutnya. Kapal kelas S dapat melayani pasar HMT dan perusahaan LM dengan penerapan FSP. Kapal kelas S biasanya tidak termasuk dalam proyek instalasi karena haluan kapal seringkali terlalu berat dan buritan tidak terbuka untuk kelas S. Menyediakan berbagai struktur laut yang dapat diangkut dari satu galangan ke galangan lainnya, dari galangan kapal ke lokasi, dan dari satu lokasi ke lokasi lain. Cabang ini mencakup rig (*jack-up, semi-sub*, kapal bor, tongkang bor), modul (bagian dari LM), *topsides* (bagian dari keson kelas-S T & I dengan lambung TLP dan modul terpasang di FSP). Pada Gambar 2.3 merupakan salah satu kapal *S-Class Semi Submersible Heavy Lift* yang dimiliki oleh perusahaan Boskalis yang bernama *Trustee* dengan 54.000 DWT (Banen, 2015).



Sumber : Boskalis.com

Gambar 2. 3 S-Class Semi Submersible Heavy Lift Vessel

#### 2.1.4. *Open Deck Ship*

Kapal dek terbuka memuat kargo ke dalam suprastruktur bagian buritan (buritan kapal) dan bagian depan. Bangunan atas yang terletak di bagian depan memudahkan kapal pengangkut untuk menavigasi saat membawa kargo besar. Seperti semua area di atas kapal, baik area untuk bekerja, naik, penyelamatan, atau *winch*, dek terbuka memiliki persyaratan khusus untuk peralatan yang dilengkapi dengannya. Selain itu, visibilitas kapal itu sendiri dan sekitarnya harus diperhatikan (Dewangkoro, Zakki and Kiryanto, 2016).

Kapal kargo dek terbuka umumnya memiliki dek kargo datar tanpa dinding untuk menampung kargo yang lebih besar dari kapal itu sendiri. Muatan di muat dari buritan ke geladak kapal menggunakan metode *roll-on/roll-off* (atau yang biasa dikenal dengan “Ro-Ro”) atau derek. Kapal dek terbuka memiliki muatan yang sangat berat sehingga dilengkapi dengan kerangka logam yang stabil dan seimbang. Kargo yang dapat diangkat ke geladak dengan cara di atas dapat diangkat oleh kapal ini. Barang-barang ini termasuk *crane*, perahu kecil, mesin konstruksi dan banyak lagi. Pada Gambar 2.4 merupakan jenis kapal yang memiliki *Open Deck Ship* yang memiliki luasan yang sangat besar untuk muatan (Peters, 2013).



Sumber : Shutterstock.com

Gambar 2. 4 *Open Deck Ship*

### 2.1.5. *Yacht Carriers*

Beberapa kapal angkat berat *semi-submersible* asli sudah dipindahkan ke usaha transportasi kapal pesiar, segmen pasar khusus. Sebagai perusahaan patungan antara *Wijsmuller Transport & Dock Express*, *United Yacht Transport (UYT)* dimulai dalam tahun 1992 menggunakan transportasi kapal pesiar glamor memakai *Super Servant 3*. Pada tahun 1995, *Super Servant 4* diubah buat perdagangan kapal pesiar menggunakan menambahkan bagian tengah kapal sepanjang 30,0 m & dinding sayap. *Dock Express 12 & Explorer ( Smit Explorer)* pula ke armada kapal induk kapal pesiar. Perusahaan ini lalu berganti nama Pada Oktober 2007, kapal pesiar pertama yang dibuat khusus *Yacht Express* dikirim ke *Dockwise Yacht Transport (DYT)*. Kapal ini *semi-submersible* buat mengampung pada *yacht* pada pada teluk dermaga selebar 31,0 m. *Yacht Express* 11.000 DWT mempunyai panjang 209,0 m & lebar 32 m, sebagai akibatnya dapat transit terusan Panama. Dengan pembangkit listrik energi diesel dua x 8.700 Kw, kecepatan transit desain merupakan 18 knot. Pada Gambar 2.5 Merupakan *Yacht Carriers* yang dimiliki oleh DYT (Hoorn, 2008).



Sumber : (Hoorn, 2008)

Gambar 2. 5 *Yacht Express loaded with luxury yachts*



---

### 2.1.6. Kapal Kargo Proyek

Kapal Kargo Proyek adalah kapal *non-submersible* tujuan umum. *Lift* berat dengan satu atau lebih *crane* untuk mengangkat kargo dari dermaga dan menyimpannya di palka atau penutup palka. Ruang kargo memiliki dek perantara yang dapat dipasang pada berbagai ketinggian dan (sebagian) dilepas. Beberapa kapal diizinkan untuk berlayar dengan dek atas terbuka di *draft* dangkal, memungkinkan kargo besar untuk disimpan di palka. Penutup palka dapat digunakan untuk memperluas ruang dek dan membawa kargo dengan yang besar. *BigLift Shipping BV* (ex Mammoet Shipping) adalah Armada besar kapal kargo proyek, termasuk kapal kargo proyek 13.740 DWT *Happy Buccaneer*, yang telah digunakan sejak 1984.

Pada pertengahan 2007, *BigLift* memesan dua kapal angkat berat baru. Untuk pengiriman tahun 2009 dan 2010, Larsen & Tubro, India. Setiap kapal berukuran 18.680 DWT akan dilengkapi dengan dua derek tiang seberat 900 ton dengan kapasitas angkat tandem 1.800 ton. Penutup palka di dek atas dioperasikan secara hidrolik. Kapal itu adalah Klasifikasi Finlandia 1A. Pada Gambar 2.6 merupakan Kapal Beluga Endeavour yang sedang beroperasi untuk mengangkut muatan khusus seperti *crane* (Hoorn, 2008).



Sumber : (Hoorn, 2008)

Gambar 2. 6 Beluga Endeavour dengan 3 RTG di dek

---

## 2.2 Muatan Kapal

Muatan Kapal merupakan salah satu objek angkutan dalam sistem angkutan laut, dengan mengangkut barang, pelayaran niaga dapat memperoleh penghasilan berupa pendapatan (*freight*), hal ini sangat menentukan keberadaan usaha dan pembiayaan pelabuhan. operasi.

Pengertian Tonase kapal menurut Sudjatmiko (1995: 64) adalah sebagai berikut: “Tonase kapal adalah semua barang dan barang yang diserahkan kepada pengangkut untuk diangkut dengan kapal, diserahkan kepada orang/muatan di pelabuhan atau pelabuhan tujuan”(Pengertian Muatan, 2011).

Pengertian kargo laut menurut PT Pelindo II (1998: 9) adalah: “*Marine cargo* adalah setiap komoditi yang dapat dimuat ke kapal dan diangkut ke tempat lain, baik sebagai bahan mentah maupun sebagai produk. Hasil dari “proses modifikasi” (Pengertian Muatan, 2011).

Menurut Arwinas (2001:9), muatan laut dikelompokkan atau dibedakan menjadi beberapa kelompok menurut jenis kiriman, jenis kemasan dan sifat barangnya. ”(Pengertian Muatan, 2011).

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Tentang Garis Muat Kapal Dan Pemuatan. “Muatan kapal adalah penumpang, barang, termasuk hewan yang diangkut di atas kapal” (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2011).

Dan berikut adalah muatan atau *cargo* yang dapat dimuat dalam Heavy Lift Vessel :

### 2.2.1 Offshore Platform

*Platform* lepas pantai adalah baja besar atau struktur beton yang digunakan untuk eksplorasi dan minyak dan gas dari dasar bumi.. *Platform* minyak dan gas lepas pantai umumnya terdiri dari tingkat baja yang berbeda dari baja ringan hingga baja baja tinggi, tetapi struktur yang lebih lama terdiri dari beton bertulang. Kategori *platform* baja memiliki berbagai jenis struktur, tergantung pada penggunaan. *Platform* Lepas Pantai sangat berat dan merupakan salah satu struktur buatan manusia



tertinggi di planet ini. Minyak dan gas akan dipisahkan di anjungan dan diangkut melalui darat melalui jaringan pipa atau kapal tanker (Sadeghi, 2007).



Sumber : <https://www.marineinsight.com/>

Gambar 2. 7 SSHV membawa *Offshore Platform*

### 2.2.2 FPSO

*Floating Production Storage and Offloading (FPSO)* adalah penyimpanan *offload* dan produk terapung, merupakan konsep yang dapat menghasilkan perkembangan dan ladang yang jauh di perairan yang lebih dalam, seperti minyak dan Industri gas bergerak ke perairan yang lebih dalam (Suardin *et al.*, 2009) .

FPSO biasanya didasarkan pada kapal dengan peralatan modul terintegrasi kemudian diposisikan di dek, FPSO menerima cairan produksi dari a atau beberapa tangki minyak di bawah air melalui pipa pengangkat. Kemudian dipisahkan di permukaan (dek) menjadi minyak, gas dan negara, Minyak disimpan di lambung dan kemudian dimuat pada kapal tanker minyak secara berkala. Gas diproduksi, berbentuk gas atau diekspor, atau disuntikkan kembali, atau digunakan sebagai bahan bakar, atau kombinasi di atas. Karena itu didasarkan pada kapal, FPSO memiliki beberapa keunggulan (Suardin *et al.*, 2009).

FPSO membangun lebih cepat dari struktur terapung lainnya seperti seperti *Tension Leg Platform (TLP)*, *spar*, *semisub*. Oleh karena itu, FPSO menghemat waktu siklus produksi dan proyek. FPSO memiliki kemampuan beradaptasi dengan kedalaman air yang berbeda, mobilitas

dan Mudah dibawa-bawa dan dapat disesuaikan untuk bekerja dengan atau tanpa fasilitas sebagai platform (Suardin *et al.*, 2009).

Karena FPSO berfungsi Sebagai penyimpanan, tidak perlu pipa mahal untuk sampai ke daratan dan oleh karena itu proyek di daerah terpencil lebih mungkin untuk berkembang(Suardin *et al.*, 2009). Pada Gambar 2.8 merupakan salah satu contoh *dry transport FPSO* menggunakan kapal *Semi Submersible Heavy Lift*.

Tabel 2. 1 181 FPSO Per Wilayah Sedang Beroperasi

Region	Unit
Asia/Far East	42
West Africa	41
South america	39
Europe	25
Austarlia/New Zealand	13
Mediterranean/ Balck Sea	5
US Gulf Mexico	3
Canada	2
Indian Ocean	1
Idle	10
Total	181

Sumber : (Terpstra and Hellinga, 2013)



Sumber : (Terpstra and Hellinga, 2013)

Gambar 2. 8 *Dry Transport FPSO*

---

### 2.2.3 *Semi-Submersible Platforms*

adalah kapal yang digunakan untuk menyelidiki, membuat, dan mengebor sumur. Sejak tahun 1950, lebih dari 120.000 sumur telah dibor di lepas pantai, dan dalam dekade terakhir, sekitar 3.500 sumur lepas pantai telah dibor setiap tahun, yang sebagian besar dibor dengan MODU. Platform MODU diklasifikasikan menjadi platform yang mengambang.

*Rig semi-submersible* menciptakan rig yang stabil untuk pengeboran minyak dan gas lepas pantai. Anjungan akan ditarik ke lokasi dengan kapal tunda dan berlabuh. Selain itu, beberapa *semi-submersible* dapat dipindahkan ke posisinya menggunakan pendorong *azimuth* mereka sendiri dengan pemosisian dinamis. *Azimuth thruster* adalah susunan baling-baling laut raksasa yang ditempatkan di jari-jari yang dapat diputar ke sudut horizontal pada penggunaan kemudi dan memberikan kemampuan manuver yang lebih baik. Pada Gambar 2.9 merupakan kegiatan *dry transport semi-submersible drilling rig* dengan menggunakan *Mighty Servant 3* yang dimiliki oleh perusahaan Boskalis (Ramakrishnan, 2015).



Sumber : (Ramakrishnan, 2015)

Gambar 2. 9 menunjukkan contoh aplikasi MODU

### 2.2.4 *Jackup Rigs*

*Jackup Rig* mirip dengan *drill barge*, dengan satu perbedaan. Setelah *jackup rig* ditarik ke posisi pengeboran, diturunkan sampai tiga atau empat "kaki" bertumpu di dasar laut. Hal ini memungkinkan rig untuk tetap mengambang, tidak seperti *floating barge*. Namun, *rig jack-up* hanya

cocok untuk perairan yang lebih dangkal, karena tidak mungkin meregangkan kaki ini terlalu dalam. Rig tipe ini hanya bisa beroperasi di kedalaman air 500 kaki. Rig ini umumnya lebih aman untuk dioperasikan daripada tongkang bor karena *platform* ditinggikan di atas permukaan air. Pada Gambar 2.10 *Mighty Servant 3* mengangkut 2 *Jackup Rigs* menuju lokasi pengeboran (Sadeghi, 2007).



Sumber : <https://www.istockphoto.com/>

Gambar 2. 10 SSHV Dry Transport Jackup Rigs

### 2.2.5 Fixed Platforms

Dalam beberapa kasus, di perairan dangkal, alas dapat secara fisik melekat pada dasar laut. Inilah yang ditunjukkan di atas sebagai *platform* tetap. *Tension leg* dibuat dari beton atau baja, memanjang ke bawah dari alas, dan dipasang ke dasar laut dengan pancang. Dengan beberapa struktur beton, berat *Tension leg* bagian bawah dan tumpuan sangat besar sehingga tidak perlu diikat ke dasar laut tetapi cukup bertumpu pada beratnya sendiri. Ada banyak desain untuk *platform* permanen dan permanen ini. Keuntungan utama dari jenis *platform* ini adalah stabilitasnya; karena mereka melekat pada dasar laut, membatasi gerakan dari kekuatan angin dan air. Namun, rig ini tidak dapat digunakan di perairan yang sangat dalam. Hanya saja tidak ekonomis untuk membangun *fixed platforms* karena begitu lama. Pada Gambar 2.11 merupakan *dry transport* bangunan atas dari *fixed platform* (Sadeghi, 2007).



Sumber : <https://www.istockphoto.com/>

Gambar 2. 11 SSHV Dry Transport Oil Platform

### 2.2.6 Rig Spar

*Rig Spar* adalah salah satu rig lepas pantai terbesar yang beroperasi. Platform besar ini terdiri dari silinder besar yang mendukung platform tetap stabil. Silinder tidak menyentuh hingga dasar laut, tetapi menggunakan sistem *mooring* yang khusus. Silinder besar berfungsi untuk menstabilkan platform pada air dan memungkinkan gerakan untuk mengurangi dari kekuatan badai yang berpotensi. Platform spar pertama di Teluk Meksiko dipasang pada September 1996. Silinder panjang 770 ft dan dengan diameter 70 ft dan platform dieksploitasi pada kedalaman 1.930 ft. Pada Gambar 2.12 *Mighty Servant 3* membawa Spar yang akan menuju Gulf, Meksiko (Sadeghi, 2007).



Sumber : <https://www.istockphoto.com/>

Gambar 2. 12 SSHV Dry Transport Spar to Gulf of Mexico

---

### 2.2.7 Kargo Non-Standar

*Heavy loads* termasuk produk-produk seperti bagian turbin angin, fasilitas terowongan, pesawat, *crane* berat, kargo proyek. Jenis produk ini ditandai dengan fitur yang sangat istimewa, sering ditandai dengan fungsi yang sangat spesial, seringkali produk berkualitas sangat tinggi. Seperti pada Gambar 2.13 SSHV memuat *Container Cranes* yang digunakan untuk Pelabuhan *container*. *Heavy loads* memiliki dimensi yang sangat besar, seluruh komponen sesuai dengan kebutuhan pelanggan, termasuk distribusi kargo, *center of gravity*, inersia, *transverse moment*, getaran, stabilitas dari muatan, dan stabilitas geometris kargo itu sendiri sangat penting, tetapi beban slider kapal harus diatasi pada tahap awal prosedur transportasi poin-poin berikut merangkum informasi penting untuk masalah mengangkut beban berat (Wuest *et al.*, 2015)

- Standar Lingkungan (misalnya, gerakan dalam proses pemuatan)
- Transportasi yang tepat untuk massa dan dimensi muatan.
- Stabilitas selama transportasi saat memuat / membongkar.
- Kekuatan transportasi ekstrem.
- Jejak kargo.
- Sensitivitas terhadap kerusakan.
- Cribbing dan pengikat (lashing, rantai, sling, hook).
- Biaya Transportasi & Asuransi.



Sumber : <https://www.istockphoto.com/>

Gambar 2. 13 SSHV Dry Transport Container Cranes

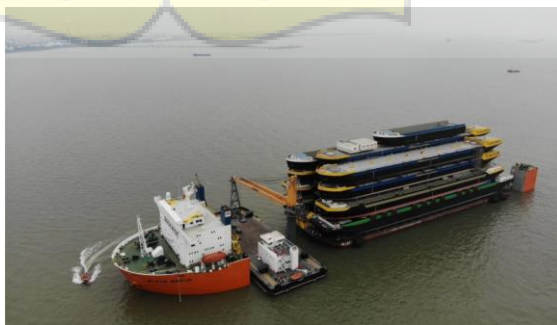


---

### 2.2.8 Ship/Hull

*Semi Submersible Heavy Lift Black Marlin* tiba di Port Rotterdam. Terdiri dari 17 kapal transportasi domestik dan tongkang. Tongkang *crane* dan tongkang dibangun di Cina dan *ditransfer* ke Rotterdam untuk perlengkapan di Concordia Damen dan galangan kapal lokal lainnya. Tongkang *crane* akan tiba Gorinchem galangan kapal Damen. lambung bangun di Cina, kemudian mengangkat mereka ke Eropa, di mana ada pasar yang lebih besar untuk kapal-kapal ini, yang hemat biaya. "Mengirim menggunakan kapal besar, jauh lebih efisien daripada mengirim menggunakan beberapa kapal kecil," Bert Duijzer, Direktur Teknis Concordia Damen (Mike Schuler, 2019)

"Dengan cara ini, kita dapat keuntungan biaya dari pengiriman, kami telah mencapai dalam membangun pelanggan di Eropa, bersama dengan mengurangi jejak lingkungan dari kegiatan kami." Meskipun tongkang Damen *Crane* dibangun untuk persediaan. " Untuk pengiriman khusus ini, salah satu lambung untuk persediaan, tetapi sebagian besar lambung sudah dibeli., Dengan cara ini, proses ini juga pelanggan dapat menerima pesanan dengan sangat cepat untuk kapal baru mereka." Menurut Rotterdam *Port, Black Marlin* akan ditambatkan di Maasvlakte dan kapal akan dibongkar. Pada Gambar 2.14 17 tongkang dan tongkang crane dikirim secara bersamaan menggunakan SSHV untuk menghemat biaya pengiriman dan juga waktu (Mike Schuler, 2019).



Sumber : Gcaptain.com

Gambar 2. 14 SSHV Dry Transport 18 Hull

Tabel 2. 2 Deskripsi Kargo Kapal

	<i>Market Segment</i>	<i>Description</i>
<i>E&amp;R</i>	<i>Jack-Ups</i>	<i>Three or four legged self-elevating rigs with a floating hull</i>
	<i>Topsides for lift-off</i>	<i>Cargo indicated as topside production platform is only transported and installed via lift off operation by a dedicated crane barge</i>
	<i>Modules on FSP Modules</i>	<i>for chemical, LNG, refinery, regasification, desalination, mining and power plants in this case transported on a FSP</i>
	<i>Exploration &amp; Development or Production</i>	<i>All other miscellaneous E&amp;R cargo e.g. drillships, semi-submersible rigs and fixed, floating or gravity based production structures</i>
<i>P&amp;M</i>	<i>Barges</i>	<i>Hopper and tank barges transported as one package including tugs as part of port &amp; offshore services</i>
	<i>Cranes</i>	<i>Container cranes transported in groups of three to four e.g. rail- mounted-gantry, rubber-tyred-gantry and ship-to-shore cranes.</i>
	<i>Liftboats Port &amp; offshore</i>	<i>related three or four legged self-elevating work barges or construction vessels</i>
	<i>Single Barges</i>	<i>crane barges, sheerleg, work barges, derrick barges and pipe lay barges as part of port &amp; offshore Services</i>
	<i>Dredging Vessel</i>	<i>Vessels E.g. Backhoe dredgers, cutter suction dredgers and suction dredgers River and Coastal vessels E.g. river vessels, ferries, casino boats</i>
	<i>Port &amp; Offshore</i>	<i>Construction All other miscellaneous P&amp;M cargo e.g. bridges, caissons, logs, tugs, floatels, supply vessels</i>
<i>Military</i>		<i>Military vessels, submarines and military sealift command projects</i>

Sumber : (Banen, 2015)

### 2.3 Jenis Metode *Load-out*

*Loadout*, sesuai dengan namanya, berarti memuat suatu objek dari asalnya ke dalam transportasi dan mengangkutnya ke tujuannya di. Istilah *loadout* biasanya digunakan dalam industri pengangkutan barang berat ketika berurusan dengan struktur berat yang diangkut dari tempat pembuatan ke kapal *voyage* ( kapal atau tongkang) untuk diangkut ke

---

tujuan akhirnya. Ada banyak cara untuk memuat kargo secara teratur. Misalnya, *forklift, crane, trolleys, conveyors*. Namun, saat mengangkat benda berat, ada beberapa metode yang digunakan untuk melakukan tugas tersebut. Metode *Load-out* untuk skala sebesar itu adalah: (Mohanasundaram, 2009).

1. *Lifting*
2. *Ro-Ro using Modular trailers*
3. *Float on dan Float off*
4. *Skidding method*

### 2.3.1. *Lifting*

Memuat benda berat dengan gantry atau *crane* disebut mengangkat. *Gantry* perangkat yang biasanya digunakan untuk memiringkan objek pada posisi yang sama dapat memindahkan objek yang diangkat *horizontal*. Derek berbeda dari dongkrak dan kerekan sederhana. Fungsi yang tidak hanya mengangkat barang bawaan, tetapi juga memindahkan barang bawaan secara horizontal dan meletakkannya kembali. Atau operasi biasanya dilakukan dengan menggunakan kait dan garis di atas benda bergerak. Ini dapat dibagi menjadi beberapa kategori besar seperti . *Mobile crane, tower crane, crane, Bridge / gantry crane, container crane, marine crane, crane menara* dan. Desain *crane* menara dan *crane* bergerak terus ditingkatkan, dan pengangkatan sangat ditingkatkan. Ini memiliki kapasitas besar dan merupakan alat yang sangat berharga. (Mavroyenis, 2018). Pada Gambar 2.15 merupakan kegiatan bongkar muat berjenis *lifting* yang menggunakan *crane* kapal untuk pemuatan ke kapal tersebut.



Sumber : Joc.com

Gambar 2. 15 *Lifting Cargo to Ship*

### 2.3.2. *Ro-Ro using Modular trailers*

*Roll on / Roll off* (Roro) adalah kendaraan yang dirancang untuk pengangkutan *rolling cargo* seperti: Kendaraan, truk, *trailer* traktor, *trailer* yang berjalan di dalam dan di luar kapal di atas roda sendiri. Dalam skenario beban berat, kendaraan beroda diganti dengan *trailer modular* yang terlihat seperti pada Gambar 2.16 membawa barang bawaan yang sangat berat. *Trailer modular* terbaru disebut *Self Propelled Modular Transporters (SPMT)*. Pembawa modular *self-propelled* atau SPMT adalah pembawa kapasitas tinggi dengan *flatbed* 4-sumbu atau 6-sumbu. Setiap baris dapat membawa beban 30 ton. Setiap poros dipasang untuk mencegah tikungan tajam.

Dapat melakukan gerakan menyamping dan memutar. Menggunakan komputer terintegrasi kontroler untuk menghitung semua gerakan yang dimaksudkan hingga setiap sumbu disetel dengan benar. Suspensi hidrolik memungkinkan gerakan yang sangat lambat dan pemosisian beban dalam toleransi milimeter. Atau desain modular memungkinkan SPMT individu untuk digabungkan menjadi konfigurasi besar. *Trailer modular* dapat dikonfigurasi untuk membawa muatan yang berbeda, tetapi ada satu hal yang membatasi. Kargo harus didongkrak hingga ketinggian lebih tinggi dari tinggi *trailer* yang akan dimuat. (Mohanasundaram, 2009).



Sumber : Structural Analysis Of A Heavy-Lift Vessel, 2009

Gambar 2. 16 *Ro-Ro using Modular trailers*

### 2.3.3. *Float on dan Float off*

Operasi *Float/Float* atau “flo/flo” atau kapal *semi-submersible*, menyediakan kemampuan untuk memuat, mengangkut, dan membongkar muatan besar secara independen dari fasilitas pelabuhan yang digunakan. Kapal-kapal ini dirancang untuk mengambil air sebagai pemberat menuju tangki penyimpanan membuat kapal dapat tengelam dan sebagian air menggenangi kapal. Kargo kemudian akan mengapung ke bagian dek kapal, yang akan diturunkan dan mengapung di atas kapal. Setelah kapal selesai mengapung, kargo akan diamankan langsung untuk pengiriman. (Mavroyenis, 2018). Seperti pada Gambar 2.17 merupakan proses *loading* menggunakan metode *Float/Float* untuk pemuatan. Dan pada Gambar 2.18 merupakan skema yang biasanya digunakan dalam proses pemuatan pada kapal SSHV.



Sumber : Reddit.com

Gambar 2. 17 *Float On Semi Submersible Heavy Lift Vessel*

---

### 2.3.4. *Skidding Method*

*Skidding Method* standar hanya menggunakan dua *beam* luncur untuk menopang beban berat seperti, pusat gravitasi beban berada di tengah dan bebannya sama. *Beam* juga disebar yang berfungsi untuk mendistribusikan beban pada *beam* ke struktur kapal. *Skidding* dapat dibagi lagi menjadi dua kategori berdasarkan kondisi beban (Mohanasundaram, 2009).

#### 1. *Standard Skidding*

*Skidding* standar adalah jenis normal tanpa peralatan tambahan. Beban diletakkan pada skid *beam* dan *roller* ditempatkan di antara benda berat (beban) dan *beam*. Untuk mengurangi gesekan, dan tenaga hidrolik diterapkan untuk memindahkan beban. Beban pada *beam* berjalan bersamaan dengan muatan saat dipindahkan. (Mohanasundaram, 2009).

#### 2. *Skidding By Uniform Loading Using Hydraulics*

memeriksa dan dalam distribusi massa dari selip dapat di analisa dengan *smart skidding system* hidrolik secara merata di sepanjang *beam*. hidrolik muatan ditempatkan di sepanjang garis antara penyangga kargo dan roda sebagai berikut pada Gambar 2.19 Beban di bawahnya sehingga merata di sepanjang *beam*. Seperti yang ditunjukkan pada metode ini lebih banyak peralatan dan membutuhkan waktu untuk melakukan operasi *skidding* dan memakan biaya yang sangat mahal. (Mohanasundaram, 2009)





Sumber : Structural Analysis Of A Heavy-Lift Vessel, 2009

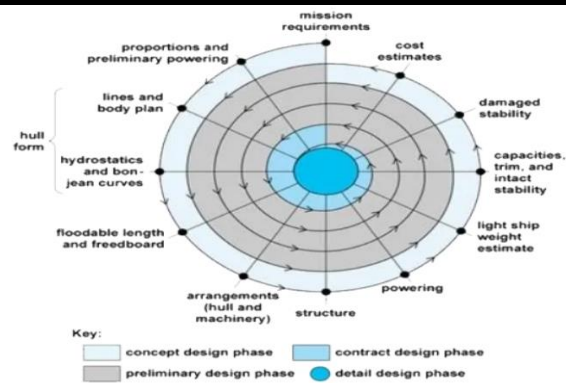
Gambar 2. 18 *Skidding By Uniform Loading Using Hydraulic Cylinders*

## 2.4 Proses Desain Kapal

Klasifikasi desain menunjukkan bahwa variasi dari beberapa desain dapat dibedakan tergantung pada apakah suatu penemuan atau perbaikan diterapkan dalam proses desain (Beitz, Wolfgang & Pahl, 1998).

- 1) Desain asli, adalah desain kreatif dan melibatkan penggunaan prinsip-prinsip solusi asli untuk merancang masalah untuk membentuk produk baru.
- 2) Desain adaptif, khususnya desain inovatif, dan melibatkan proses mengadaptasi produk desain yang ada ke produk baru dengan menggunakan prinsip resolusi dan bagian dari produk yang sudah ada.
- 3) *Variant design*, adalah gaya desain kreatif yang melibatkan perubahan ukuran atau tata letak beberapa aspek desain produk yang ada untuk membentuk produk baru dengan menggunakan prinsip-prinsip produk yang mengganggu produk lama.

Menurut (Taggart, 1980), proses desain adalah proses berulang untuk mencapai hasil desain yang diinginkan dengan mengevaluasi setiap desain. Dari persyaratan pemilik hingga detail desain dan manufaktur. *Spiral design* adalah metode desain dalam desain kapal dimana semua variabel yang saling terkait digunakan untuk membuat konsep desain yang efisien dan efektif. Seperti pada Gambar 2.19 Desain *spiral* membagi semua proses sebagai 4 tahapan, yaitu *Concept Design, Preliminary Design, Contract Design, & Detail Design*.



Sumber : Inameq.com

Gambar 2. 19 *Spiral Design*

#### 2.4.1. *Concept Design*

*Concept design* atau konsep desain kapal adalah tindakan lanjutan sehabis adanya *Owner requirement*. Konsep desain kapal adalah tugas atau misi seorang *desainer* yang mendefinisikan objek untuk memenuhi persyaratan misi dan mengatasi hambatan yang ada.. Konsep dibentuk menggunakan memakai rumus pendekatan, kurva ataupun pengalaman untuk menciptakan asumsi-asumsi awal yang bertujuan untuk menerima perkiraan konstruksi, permesinan kapal & alat-alat dan perlengkapan kapal. Hasil menurut tahapan konsep desain ini biasanya berupa gambar atau sketsa, baik sebagian ataupun secara lengkap. (Siddall, 2019).

#### 2.4.2. *Preliminary Design*

*Preliminary design* merupakan bisnis teknis lebih lanjut yang akan menaruh lebih jelasnya dalam konsep desain. Dalam hubungannya menggunakan diagram spiral, *preliminary design* ini adalah perulangan ke 2 atau s dikatakan adalah lintasan ke 2 dalam diagram spiral. Adapun yang dimaksud mencakup fitur-fitur yang menaruh impact signifikan dalam kapal, termasuk pula pendekatan awal yang akan dibutuhkan. Seperti perhitungan kekuatan memanjang kapal, pengembangan bagian *midship* kapal, perhitungan yang lebih seksama tentang berat & titik berat kapal, sarat, stabilitas (Siddall, 2019).

---

### 2.4.3. *Contract Design*

Tahap *contract design* merupakan proses lanjutan sehabis *preliminary design*, yakni proses pengembangan perancangan kapal pada bentuk yang lebih mendetail memungkinkan pembangun kapal wajib diketahui untuk kapal yang akan dibentuk & mengestimasi secara seksama semua bagian dari pembuatan kapal. Tujuan primer dalam kontrak desain merupakan pembuatan dokumen yang menggambarkan kapal yang akan dibentuk. Selanjutnya dokumen tadi akan sebagai dasar pada kontrak atau perjanjian pembangunan antara pemilik kapal & pihak galangan kapal. Adapun komponen menurut *contract drawing & contract specification* mencakup :

- *Arrangement Drawing.*
- *Structural Drawing.*
- *Structural Details.*
- *Propulsion Arrangement*
- *Machinery Selection.*
- *Propeller Selection.*
- *Generator Selection.*
- *Electrical Selection.*

Komponen-komponen diatas tadi dianggap pula menggunakan *key plan drawing*. *Key plan drawing* tadi wajib mempresentasikan secara lebih jelasnya fitur-fitur kapal sesuai dengan permintaan pemilik kapal atau *ship owner* (Siddall, 2019).

### 2.4.4. *Detail Design*

*Detail design* merupakan proses terakhir menurut proses mendesain kapal. Pada proses ini *output* menurut tahapan sebelumnya dikembangkan sebagai gambar kerja yang lebih lebih jelasnya secara menyeluruh. Tahapan ini meliputi seluruh *planning & perhitungan* yang diharapkan untuk proses konstruksi & operasional kapal. Sebagian besar pekerjaan ini adalah pembuatan gambar kerja yang diperlukan untuk proses manufaktur (Siddall, 2019).

---

## 2.5 Geometri Kapal

### 2.5.1. Dimensi Kapal

Dimensi kapal utama dikumpulkan dari metode perbandingan kapal menggunakan *software Microsoft Excel*, kemudian akan dihasilkan diagram tata letak perkiraan dari desain umum. Dari metode ini, dimensi utama yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- LBP (Panjang Antar Garis Tegak Lurus) Panjang terukur antara dua garis vertikal, yaitu jarak mendatar antara garis vertikal belakang (Tegak lurus belakang / AP) dan garis vertikal depan (Persegi) sudut / FP).
- LOA Panjang keseluruhan, yaitu jarak horizontal yang diukur dari titik terluar haluan sampai titik terluar buritan.
- Ldeck (panjang keseluruhan dek) Panjang keseluruhan, yaitu jarak horizontal yang diukur dari titik terdepan dek sampai titik terluar buritan

Pada umumnya panjang kapal ditentukan dari ukuran kapal yang sama, atau rumus/teorema dan bagan yang diturunkan dari database kapal yang sama.

- B (Lebar) Lebar maksimum yang diukur pada bagian tengah kapal antara dua sisi dalam lambung untuk kapal baja. Untuk kapal yang terbuat dari kayu atau bahan bukan logam lainnya, diukur antara dua sisi luar lambung kapal.

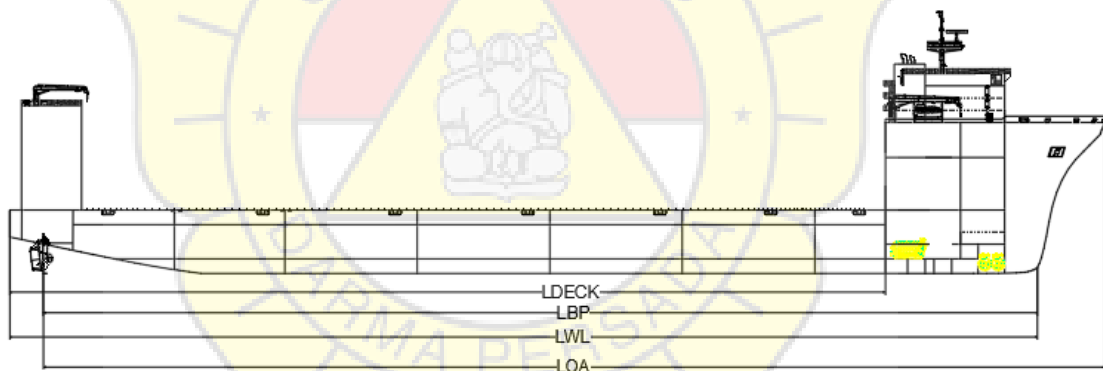
Lebar kapal berpengaruh signifikan terhadap stabilitas dan biaya produksi/operasional. Menambahkan lebar kapal untuk perpindahan yang sama menciptakan hambatan tambahan dan kebutuhan tenaga mesin tambahan untuk kapal, meningkatkan berat baja kapal. Poin-poin di atas akan menghasilkan biaya produksi yang lebih tinggi, Peningkatan stabilitas awal KM akan meningkat dan KG akan menurun, Kurva stabilitas akan menjadi lebih curam pada gradien awal dan jangkauan dapat menurun.

- H (Tinggi) Jarak vertikal diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai puncak balok geladak di sisi kapal.

Tinggi kapal berpengaruh terhadap *volume* kapal & *freeboard*, tinggi kapal memilik produksi, kenaikan 10% tinggi kapal mengakibatkan penambahan 8% berat baja dalam  $L/D = 10$  & 4% dalam  $L/D=14$ . Tinggi kapal pula berpengaruh terhadap kekuatan memanjang, apabila tinggi kapal diperkecil, *flens* wajib diperkuat buat menjaga modulus penampang, lambung kapal pula wajib diperkuat supaya bisa menyalurkan *shear forces* . Kapal menggunakan tinggi yang lebih rendah akan mengalami penyimpangan sanggup menyebabkan kerusakan pipa pipa, poros, *ceiling* & komponen lainnya.

- T (Draft) Jarak yang diukur antara bagian atas lunas dan permukaan air.

*Draft* kapal seringkali dibatasi oleh kedalaman air laut. Ada keuntungan untuk kapal dengan *draft* dalam, Baling-baling dengan *draft* rendah dapat dipasang dengan diameter yang lebih kecil.(Suhardjito, 2006).



Sumber : Data Hasil Olahan

Gambar 2. 20 Ukuran Utama Kapal

---

### 2.5.2. Berat Dan Tonase Kapal

*Displacement* adalah Adalah tonase air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tenggelam. Biasanya dinyatakan dalam long ton atau metrik ton.

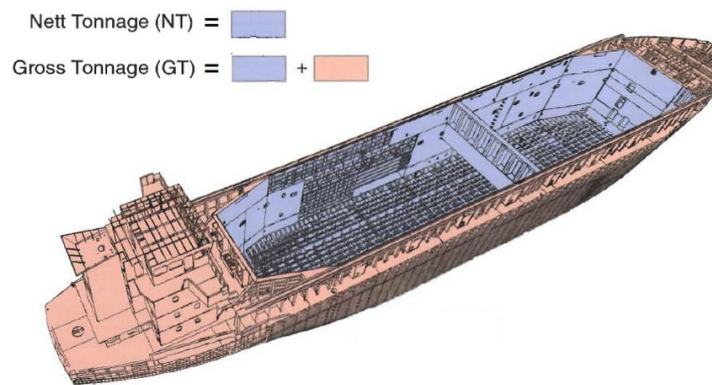
*Deadweight tonnage/DWT* adalah berat kargo, bahan bakar, minyak pelumas, air tawar, *ballast*, bahan makanan, penumpang dan awak kapal (ABK), atau berat total kapal dalam keadaan penuh muatan lengkap dan siap untuk melaut.(Suhardjito, 2006).

*LWT/ Light Weight Ship* adalah berat kapal kosong yang terdiri dari mesin, perpipaan, dan kulit kapal (Suhardjito, 2006).

*Gross Register Tonnage (GRT)* Hasil penerapan peraturan nasional dan internasional yang relevan dan formulir pengukuran tonase. Informasi penting tentang ukuran (jumlah total yang ditanggung) Kapal yang diukur. Nilai ini sesuai dengan volume tertutup semua tertutup ruang kapal (bukan hanya ruang tunggu), Menentukan secara matematis dengan mengecualikan ruang tertentu (misalnya depan / Tangki buritan, tangki pemberat, ruang kemudi, dapur, tempat umum). Biasanya menjadi dasar untuk menentukan ketinggian, Komposisi awak kapal, penerapan aturan keselamatan, penentuan biaya kelas kapal dan biaya lainnya (pajak, asuransi, biaya transportasi).  $1RT = 100 \text{ ft}^3 = 2.832 \text{ m}^3$  (Papanikolaou, 2014).

*Net Register Tonnage (NRT)* Didefinisikan sebagai jumlah total (g), NRT adalah karena penerapan aturan pengukuran yang relevan dan merupakan nilai yang mewakili nilai ekonomi (kegunaan komersial) kapal. Tonase bersih dihitung dari total tonase. Dikurangi oleh ruang "pengurangan" yang tidak dapat digunakan untuk kargo transportasi (misalnya ruang mesin, ruang pompa/ruang mesin bantu, dan asrama kru). Kapasitas bersih harus minimal 30% Jumlah tonase kotor. Jumlah tonase kotor untuk menghitung berbagai biaya, biaya Pelabuhan (Papanikolaou, 2014).





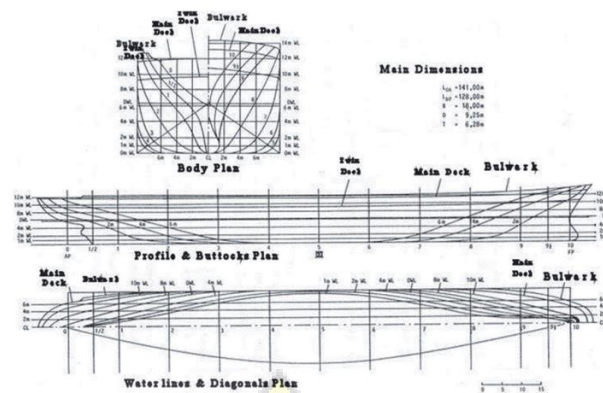
Sumber : <https://www.akademiasuransi.org/>

Gambar 2. 21 Ruangan GRT dan NRT

### 2.5.3. Rencana Garis

Rencana Garis atau *Lines Plan* yang secara grafis mewakili bentuk lambung kapal dari *body plan*, *sheer plan*, *half breadh plan* menjadi dasar untuk memproses prosedur desain kapal seperti berikut :

- Perhitungan tekanan hidrostatik: Membuat serangkaian peta tekanan hidrostatik dan kurva stabilitas
- Kontruksi model kapal skala penuh untuk eksperimen propulsi kedap air yang tenang dan perawatan kapal pada tangki penarik atau model lambung kapal di laut.
- Membuat denah menurut bentuk lambung kapal (kurva volume, diagram tata letak umum).
- Pengembangan lambung kapal, pengembangan pola panel, rangka cetakan (*Lofting*), Alat inspeksi untuk mengontrol bentuk elemen yang terkait dengan lambung,
- Perhitungan volume palka dan distribusi volume ruang dapat diturunkan dari "kurva volume/kapasitas" jika setidaknya ada rencana awal (atau sketsa) aliran kapal dari kapal yang bersangkutan tersedia (Papanikolaou, 2014).



Sumber : (Papanikolaou, 2014)

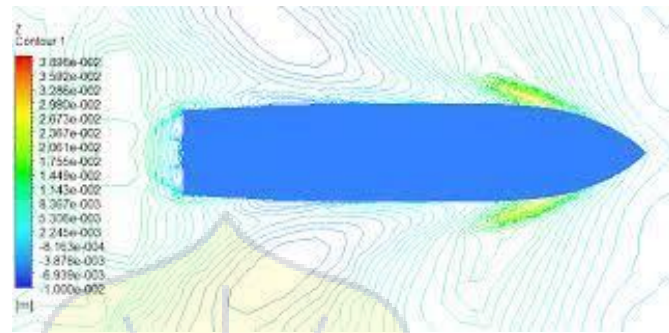
Gambar 2. 22 *Lines Plan* Kapal

#### 2.5.4. Hambatan Kapal

Hambatan adalah gaya yang melawan gerak kapal ketika bergerak dengan kecepatan tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya gaya hambat adalah kecepatan kapal ( $V_s$ ), berat air yang dipindahkan oleh kecepatan kapal (*displacement*), dan bentuk lambung kapal (*hull shape*). Berdasarkan proses fisik, gaya hambat pada kapal. Sedangkan tegangan gesek disebabkan oleh kekentalan fluida. Kemudian hambatan disederhanakan lagi dengan komponen *resistif* dalam dua kelompok utama, resistensi viskos dan resistensi gelombang (Asep Kurniawan Nugraha, 2017).

Perhitungan hambatan dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf* dengan metode Holtrop. Kekuatan total kapal dapat dibagi menjadi tiga, yaitu tahanan viskos ( $R_v$ ), tahanan gelombang ( $R_w$ ) dan tahanan udara ( $R_a$ ). Karena nilai hambatan udara sangat rendah, perannya sering diabaikan. Metode Holtrop dan Mennen adalah metode yang paling umum untuk memperkirakan hambatan dan kinerja kapal bergerak. Hal ini didasarkan pada analisis regresi pengujian model *ekstensif* dan data eksperimen menyediakan berbagai penerapan. itu adalah- Sejauh yang

diketahui, satu-satunya metode yang diadopsi menggunakan ITTC faktor bentuk . Resistansi dihitung sebagai kekuatan dimensi. Prosedur juga akan disediakan pengurangan dorong resmi untuk memperkirakan parameter interaksi lambung-baling-baling, selesai skala tingkat bangun dan efisiensi rotasi *relative* (Birk, 2019).



Sumber : <https://www.istockphoto.com/>

Gambar 2. 23 Hambatan Gelombang Pada Kapal

Tabel 2. 3 Hasil Analisa Jurnal Hambatan

Sumber	Banen (2015)	Banen (2015)	Banen (2015)	Banen (2015)	Banen (2015)	Dewangkoro (2016)
<i>Displacement (t)</i>	40067	41125	41837	41669	42303	42703
<i>DeadWeight (t)</i>	28967	30399	30399	30399	30399	32092
<i>Power Installed (kW)</i>	9630	10411	10365	10468	10557	7716,53
<i>Speed (knots)</i>	14	14	14	14	14	14
Metode	Holtrop	Holtrop	Holtrop	Holtrop	Holtrop	Holtrop

Sumber : Data Hasil Olahan

Dari data Tabel 2.3 dapat disimpulkan bahwa penggunaan perhitungan hambatan dengan jenis kapal yang sama dominan menggunakan metode Holtrop.

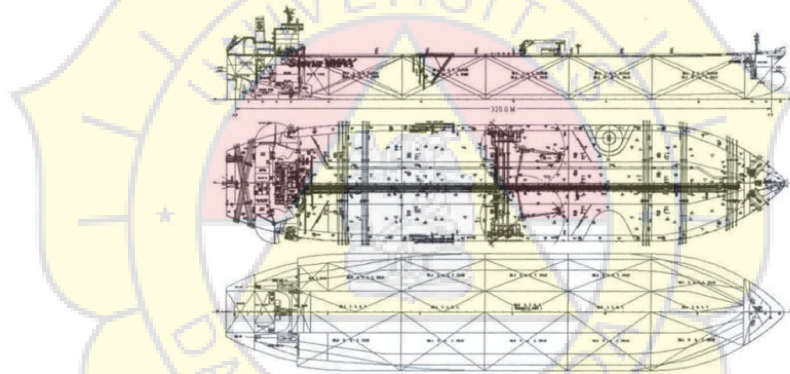
### 2.5.5. Rencana Umum

*General Arrangement (GA)* mencakup penempatan ruang dan penempatan peralatan dan gudang utama di kapal. Perencanaan Ruang Umum Tata letak umum ruang kapal adalah hasil penelitian, termasuk menentukan dan menyelidiki kebutuhan ruang untuk setiap fungsi dasar kapal, dan menentukan antarmuka fisik antara ruang desain yang

diperlukan untuk pesanan. Operasi kapal. Perencanaan ruang dan desain antarmuka fisik ruang meliputi:

- Pembatas ruangan untuk fungsi dasar kapal
- Perencanaan yang wajar dari operasi fungsi
- Mengidentifikasi organisasi/hubungan yang beroperasi di kapal • Penentuan berbagai sistem suplai/distribusi di dalam kendaraan (energi, air, limbah)
- Menentukan akses ke ruang fungsional dan antarmukanya

Hasil dari proses umum perencanaan ruang kapal adalah membagi volume tertutup kapal vertikal melalui geladak horizontal, horizontal dan vertikal dengan sekat dan dinding menjadi kompartemen yang melakukan fungsi tertentu, antara geladak dan kompartemen (Papanikolaou, 2014).



Sumber : (Papanikolaou, 2014)

Gambar 2. 24 *General Arrangement* Kapal

## 2.6 Stabilitas *Semi Submersible Heavy Lift*

*Semi-submersible* diklasifikasikan sebagai berikut : Dengan profesional dan peraturan dari badan klasifikasi tujuan desain adalah untuk mencapai yang maksimal dalam tingkat stabilitas. Pendekatan linier atau non-linier Hubungan dengan momen pemulihan, Perpindahan (GM) dapat menggunakan nilai dan sudut (misalnya linier) Perkiraananya cukup akurat Sudut 15-17,5 derajat dan non-linear hanya dibutuhkan untuk yang lebih tinggi Sudut (17,5-30). Baik linier maupun Nilai GM *non* linier sangat penting. (Royal Institute of Naval Architecture, 2009).

---

*Heave, pitch and roll* Karena karakteristik kinetik mempengaruhi kondisi kemampuan mesin, diinginkan untuk menjaganya tetap minimum di bawah kondisi pengeboran maksimum dan kondisi operasi. *heave minimum* (HM), *pitch motion* (PM), dan *roll motion* (RM) ditentukan dengan menentukan batas kompensator bor dan operasi yang diizinkan. HM / PM / RM tergantung pada periode alami dan perendaman *floaters*. Ada berbagai formulasi yang menghubungkan nilai-nilai. Proses optimasi pertama-tama memilih periode alami dan kemudian menghitung *respons* puncak kedua / ketiga / keempat. Nilai optimum adalah yang dihitung dengan asumsi 2 / 3. Analisis berbasis *motion* memastikan bahwa kondisi pengoperasian ditentukan dalam rangkaian khusus untuk kondisi lingkungan. (Royal Institute of Naval Architecture, 2009).

Aturan dan peraturan stabilitas untuk operasi *submerging* sebagai domain yang relatif baru, tidak memiliki banyak peraturan tentang aktivitas *submerging heavy lift semi-submersible*. "Rules on Offshore Service Vessels, Tugs, and Special Ships" dari DNV GL27 dan "Guidelines for submersible pontoons handling cargo at sea" dari Netherlands. Kriteria stabilitas oleh DNV GL memerlukan hal berikut selama operasi *submerging*: (Wang and Ko, 2019)

- Dalam GMT tinggi *transverse metacentric* dalam keseimbangan tidak boleh kurang dari 0,3 m
- Di sudut di mana *righting arm* maksimum terjadi tidak boleh kurang dari  $7^\circ$
- Dalam kisaran *positif* kurva GZ (*righting arm*) tidak boleh kurang dari  $15^\circ$
- Di dalam ketinggian kurva GZ tidak boleh kurang dari 0,1 m dalam kisaran di atas.

Namun, Belanda memerlukan hal-hal berikut dalam operasi *submerging*: (Wang and Ko, 2019)

- Area di bawah kurva GZ tidak boleh kurang dari 0,075 m rad
- Sudut kemiringan harus kurang dari  $5^\circ$ .

---

### 2.6.1. *Calculation Of Intact Stability During Transport*

- Stabilitas awal maupun stabilitas dinamis dihitung. Stabilitas awal dinilai dari tinggi metasentrik (GM) dengan efek permukaan bebas yang dikoreksi. *Internasional Maritime Organization* (IMO) membutuhkan nilai GM minimum 0,15 m. Nilai GM yang jauh lebih besar diperlukan untuk jenis kapal ini untuk menahan beban angin dan gelombang. Namun jika nilai GM besar maka kapal akan kaku dalam hal *roll*. Kondisi pengisian harus dioptimalkan untuk persyaratan stabilitas dan respons operasional. Stabilitas dinamis *keel* pada sudut tertentu sama dengan luas area di bawah kurva tuas pemulihan hingga sudut tersebut dikalikan dengan *displacement*.
- Lembaga klasifikasi kapal, surveyor, dan badan pengatur masing-masing memiliki persyaratan sendiri yang harus dipenuhi oleh kurva stabilitas. *heavy lift vessel* Perusahaan menerima kriteria stabilitas yang diterima secara umum dari *American Bureau of Shipping (ABS)* kriteria stabilitas di bawah gaya angin, yaitu bahwa area di bawah kurva momen tegak pada atau sebelum sudut intersep kedua atau sudut *down flooding*, mana yang lebih kecil, tidak boleh kurang dari 40% lebih dari area di bawah kurva momen heeling angin ke sudut pembatas yang sama.
- Stabilitas dinamis *heavy lift vessel* dihitung termasuk kontribusi *buoyancy* muatan digabungkan ke badan hidrostatis untuk perhitungan stabilitas statis utuh.(Van Hoorn and Devoy, 1990).

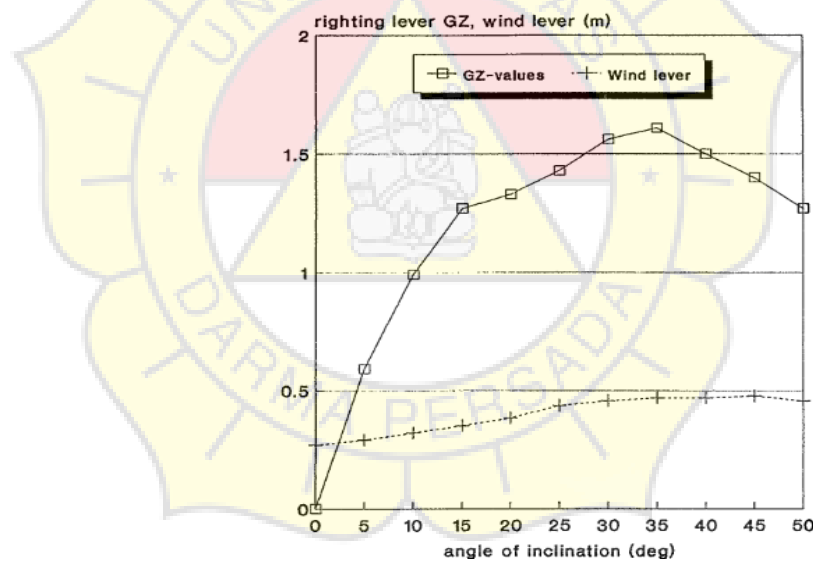


### 2.6.2. Calculation Of Stability During On-Loading/Off-Loading

Menghitung stabilitas pemuatan TLWP untuk menentukan urutan *deballast* yang optimal. Metacenter KM dihitung untuk trim 0, 2, 4, dan 6 meter di buritan pada rentang perpindahan .

Memplot ini dalam kombinasi dengan KG *center vertical* menunjukkan wilayah kritis di mana stabilitas (GM) negative. Di wilayah perpindahan kritis 60.000-58.000 T (tepat sebelum dek utama memecah air), trim harus setidaknya 6 meter untuk memastikan stabilitas yang andal 0,5 meter..

Stabilitas dinamis telah diuji dan ternyata cukup untuk nilai GZ terus meningkat seiring dengan meningkatnya jangkauan kritis, sudut tumpit. Proses pengosongan adalah kebalikan dari proses pengisian.



Sumber : (Van Hoorn and Devoy, 1990).

Gambar 2. 25 *Dynamic Stability Curve/Wind Lever.*

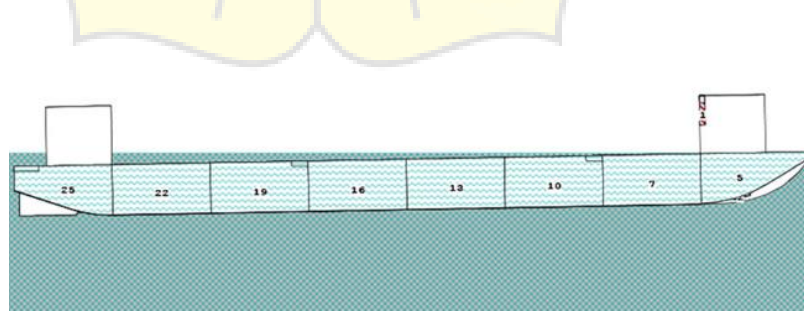
Gambar 2.25 merangkum hasil perhitungan stabilitas dinamis berdasarkan keberangkatan aktual. *Righting lever* maksimum adalah 1,61 meter pada 35 derajat. Pada sudut turun 50 derajat untuk *downflooding*, *Righting lever* masih 1,27 meter. Persimpangan pertama dengan level angin adalah 2,4 derajat. Pada rasio area 3,10 jauh di atas standar ABS.

## 2.7 *Ballast System*

Sistem *ballast* adalah sistem berbasis pompa. Sistem ini dipilih dengan mempertimbangkan potensi masa depan dari untuk beradaptasi dengan pengolahan air *ballast*. Saat ini tidak ada sistem seperti itu dipasang karena kurangnya sistem yang sesuai dengan kapasitas yang memadai. Untuk redundansi yang memadai, sistem terdiri dari *dual ring line* dan ruang pompa ganda yang melayani semua tangki. Sistem mematuhi peraturan terbaru, seperti menghindari banjir silang dengan saluran ventilasi jika terjadi skenario berhenti. Untuk tujuan ini, semua saluran ventilasi diarahkan ke zona aman sebelum ventilasi saluran pusat. Saluran pusat tetap kering (Terpstra and Hellinga, 2013).

IMO telah menetapkan “Area Risiko yang Sama” (SRA) untuk bekerja pada pengelolaan air balas untuk kapal yang hanya beroperasi di perairan setempat. Aturan SRA berlaku ketika HLV melakukan operasi kargo, termasuk ballast dan deballasting air dalam jumlah besar di zona operasi kargo. Saat ballast dan deballasting air dengan SRA, tidak perlu mengolah air ballast karena air lokal tidak tercampur dengan air asing.

Jika terjadi kegagalan, yang disebut tangki pembuangan dibangun di ujung depan dan belakang kapal untuk menghindari peningkatan tekanan di tangki dan genangan air di sistem ventilasi. Pada Gambar 2.25 merupakan contoh penggunaan *ballast tank* yang diisi dengan air laut untuk membuat kapal dalam kondisi *trim* (Peters, 2013).



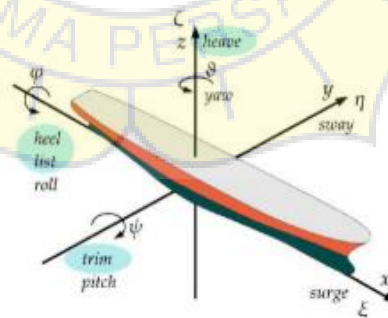
Sumber : (Zhang and Tian, 2015)

Gambar 2. 26 *Ballast Water For Trim Ship*

## 2.8 *Seakeeping Heavy Lift Vessel*

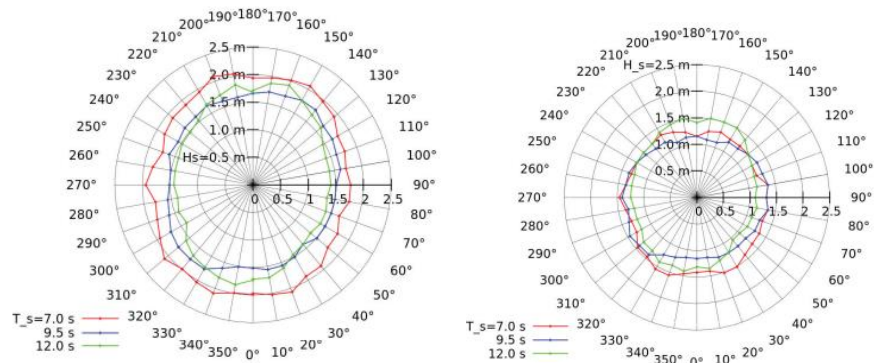
Prediksi gerakan kapal, gaya hambat, dan efek dinamis seperti di laut sangat penting dalam semua operasi laut, transportasi tugas berat, dan lepas pantai. Hal ini membuat pelayaran penting. Cara langsung dan mudah untuk mendapatkan hasil eksploitasi laut adalah dengan menjalankan uji model. Hasil yang diperoleh sangat akurat, tetapi prosesnya mahal dan memakan waktu, dan pengujian tangki laut tidak cocok untuk sebagian besar proyek dunia nyata. Sebuah metode alternatif dan populer saat ini adalah dengan menggunakan kode komputer untuk melakukan pekerjaan memprediksi pelayaran. Namun, perangkat lunak yang berbeda dapat memberikan hasil yang berbeda di bawah kondisi lingkungan yang sama.

Disajikan di sini beberapa perangkat lunak akan terlibat dalam perbandingan berikut. gerakan (*surge, sway, heave, roll, pitch and yaw*), gerakan dan percepatan titik-titik tertentu pada lambung, dan beban yang disebabkan oleh gelombang (gaya dan momen). ) di waktu yang ditentukan. bagian kapal. Selain itu, kode tersebut memberikan tekanan hidrodinamik di sepanjang permukaan basah lambung yang bergerak bebas, sebagai respons terhadap kereta api dengan gelombang masuk yang sering (Wang, 2015).



Sumber : (Wang, 2015)

Gambar 2. 27 *Ship Motion With 6 Degrees Of Freedom*

Sumber : (Hatecke *et al.*, 2014)Gambar 2. 28 Kurva Polar *Relative* dan *Absolute* RMS Deviation 0,2 m/s

Pada Gambar 2.28 menunjukkan bahwa gerakan beban relatif atau kecepatan beban umumnya lebih rendah untuk poros yang lebih pendek. Di laut samping gerakan beban relatif umumnya lebih besar daripada di laut di atas atau di belakang. Selanjutnya, perbandingan dengan Gambar *Absolute* RMS jelas menunjukkan peningkatan keseluruhan dalam gerakan beban absolut. Oleh karena itu, dari sudut pandang ini, lebih penting untuk menjaga muatan tetap di tempatnya daripada mengangkatnya dari geladak muatan kapal. Juga, dari *G Absolute* RMS, dapat dilihat bahwa kecepatan *transfer* beban absolut tidak banyak berubah sehubungan dengan periode gelombang yang signifikan. Bahkan dengan penggunaan alat numerik canggih untuk meningkatkan konvergensi pencarian puncak ambang batas, dua plot kemampuan pada gambar masih memerlukan waktu simulasi lebih dari satu tahun. Waktu komputasi yang dibutuhkan kurang dari 15 menit pada CPU standar. Fakta ini menunjukkan kebutuhan yang jelas akan metode navigasi yang cepat.

## 2.9 Deck Wetness

Frekuensi gelombang memiliki nilai amplitudo yang tinggi, sehingga air masuk ke geladak kapal. Hal ini berimplikasi pada keselamatan kapal, semakin tinggi amplitudo gelombang maka semakin besar pula gelombang yang naik.

Probabilitas konseptual dari pembasahan dek dalam kaitannya dengan kelengkungan lambung dan tinggi gelombang yang signifikan Laut kasar ditentukan sebagai fungsi dari periode gelombang rata-rata, pos dan sudut kapal kecepatan. Kemudian probabilitas jangka panjang dari "navigasi dek basah", di

mana probabilitas jangka pendek kebasahan dek 1/10, dapat diprediksi pada musim yang berbeda dan angin yang berbeda Intensitas menggunakan statistik gelombang jangka panjang untuk Atlantik Utara. Tren basah dek berikut terkait dengan bug freeboard berasal dari prediksi. hasil:

- Probabilitas pembasahan dek tinggi di bagian atas dan haluan dan rendah di bagian berikutnya. Lautan akomodasi dan *beam seas*.
- Penurunan kecepatan kapal mengurangi kemungkinan pembasahan geladak, tetapi efeknya adalah kecepatan kapal cenderung melambat pada kecepatan di atas 10 knot.
- Kapal yang lebih besar memiliki kemungkinan lebih rendah untuk membasahi geladak.
- Kapal yang penuh cenderung tidak membasahi geladaknya.
- Probabilitas jangka panjang dari pelayaran 'dek basah' yang besar di musim dingin dan pelayaran yang lebih kecil di musim panas. di Atlantik Utara.
- Probabilitas jangka panjang dari navigasi dek basah meningkat dengan meningkatnya kecepatan angin Namun, tren ini kurang menonjol dalam cuaca yang sangat buruk (Fukuda,2014)