

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Perairan Laut Jawa

Perairan Laut Jawa merupakan bagian dari Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Indonesia yang memiliki posisi strategis di jalur pelayaran dan perdagangan nasional maupun internasional, sehingga tingkat mobilitas kapal di wilayah ini sangat tinggi. Hal ini menjadikan Laut Jawa selain sebagai pusat distribusi barang dan transportasi laut, juga sebagai kawasan yang rentan terhadap pelanggaran maritim seperti penangkapan ikan ilegal (*illegal Fishing*) serta aktivitas lain yang mengancam daya kelautan. Kondisi tersebut menimbulkan tantangan serius dalam pengawasan laut karena luasnya wilayah dan kompleksitas di perairan tersebut.



Gambar 2. 1 Perairan Laut Jawa

Sumber : <https://www.sonora.id/read/423539449/batas-laut-pulau-jawa-salah-satu-pulau-terbesar-di-indonesia>

2.2 Kasus di Perairan Laut Jawa

Data dari Direktorat Jenderal Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan (PSDKP) Kementerian Kelautan dan Perikanan menunjukkan bahwa sepanjang periode Januari sampai November 2025, sejumlah 41 kapal penangkap ikan ilegal berhasil diamankan di wilayah perairan Indonesia, termasuk enam kapal berbendera asing yang ditangkap di perairan Kepulauan Riau dan Natuna Utara sebagai dari upaya menekan praktik *Illegal fishing*. Total kapal yang diamankan di seluruh perairan

nasional sepanjang tahun ini mencapai 225 unit, dengan 22 diantaranya merupakan kapal berbendera asing yang ketahuan beroperasi tanpa izin. Penindakan ini juga berhasil menyelamatkan potensi kerugian negara akibat praktik tersebut, yang diperkirakan mencapai ratusan miliar rupiah dalam beberapa bulan pertama tahun 2025. (News, 2025)

Karena ancaman pelanggaran laut terus berlangsung, pengawasan perairan Indonesia, termasuk wilayah Laut Jawa, memerlukan armada kapal patroli yang mampu bertindak efektif di berbagai kondisi operasional. Desain kapal patroli yang dibutuhkan harus mempertimbangkan kecepatan tinggi untuk melakukan pengejaran terhadap kapal yang melanggar, daya jelajah (*endurance*) yang cukup panjang agar dapat melakukan operasi berkelanjutan, serta manuverabilitas yang baik di perairan dengan kepadatan lalu lintas tinggi.

Dengan latar belakang tersebut, kebutuhan desain kapal patroli yang cepat, responsif, dan efisien menjadi aspek krusial dalam strategi pengamanan laut Indonesia, terutama untuk mendukung efektivitas pengawasan di Laut Jawa dan wilayah laut lainnya yang rawan terhadap aktivitas ilegal.

2.3 Kapal Patroli (*Patrol Boat*)

Kapal patroli adalah kapal operasional yang digunakan untuk mendukung kegiatan keamanan dan pengawasan di wilayah maritim suatu negara. Berukuran kecil hingga sedang yang digunakan oleh militer, kepolisian laut, atau badan pengawas maritim guna melaksanakan kegiatan patroli, pengawasan serta penegakan hukum pada kawasan perairan tertentu. Kapal jenis ini dituntut memiliki kemampuan manuver tinggi, kecepatan optimal, dan ketahanan struktural untuk berbagai kondisi laut. Biasanya, mereka berpartisipasi pada berbagai macam tugas pengamanan wilayah perbatasan, seperti penanggulangan penyelundupan, pencegahan aksi pembajakan, pengawasan aktivitas perikanan serta penegakan hukum imigrasi. Seringkali, mereka juga dipanggil untuk melakukan operasi penyelamatan.

TNI AL (Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut) dan Badan

Keamanan Laut (Bakamla) menggunakan berbagai kapal patroli di Indonesia untuk menjaga kedaulatan laut, melindungi perikanan, dan melakukan tindakan hukum di perairan Indonesia.

2.2.1 *Inshore patrol Vessel (IPV)*

Inshore patrol vessel (IPV) adalah kapal patroli militer yang dirancang khusus untuk operasi di perairan dekat pantai, seperti laut teritorial, selat, penjaga pantai, atau lembaga keamanan maritim untuk menjalankan berbagai misi, antara lain:

- Mengawasi perbatasan laut dan pencegahan penyelundupan.
- Menjaga sumber daya kelautan dan mengawasi aktivitas penangkapan ikan.
- Melakukan operasi pencarian dan penyelamatan (SAR).
- Membantu penegakan hukum di laut dan mendukung tugas lembaga sipil.

Secara umum, IPV memiliki ukuran yang lebih kecil dari pada kapal patroli, biasanya dengan Panjang 20 – 60 meter dan kecepatan 50 knot. Kapal ini mampu beroperasi dalam jarak sekitar 24 mil laut dari Pantai, serta memiliki kemampuan manuver tinggi/ideal untuk daerah dangkal dan sempit. Meskipun ukurannya lebih kecil, kapal ini tetap mampu menjalankan misi multi-peran dengan efisisensi tinggi.



Gambar 2. 2 *Inshore patrol Vessel (IPV)*

sumber : [Inshore patrol vessel hi-res stock photography and images - Alamy](#)

2.2.2 *Offshore Patrol Vessel (OPV)*

Offshore patrol vessel (OPV) adalah kapal patrol militer yang dirancang untuk beroperasi di perairan lepas Pantai, termasuk zona ekonomi eksklusif (ZEE) dan laut terbuka. Kapal ini digunakan oleh Angkatan laut dan penjaga pantai untuk berbagai misi strategis, seperti:

- Pengawasan wilayah maritim dan perlindungan ZEE.
- Pencegahan penyelundupan dan kejahatan lintas laut.
- Operasi pencarian dan penyelamatan (SAR).
- Dukungan kemanusiaan dan bantuan bencana.
- Pengawalan kapal dan kehadiran militer di laut.

Secara umum, OPV lebih besar dan memiliki jangkauan lebih jauh dibanding *Inshore Patrol Vessel*. Panjangnya bisa mencapai 80-110 meter, dengan kecepatan sekitar 20-25 knot dan daya jelajah hingga 5.500 mil laut. Kapal ini mampu beroperasi selama 20-35 hari tanpa pengisian ulang logistik. Beberapa fitur khas OPV meliputi:

- Dek helicopter untuk pendaratan dan pengisian bahan bakar helicopter ukuran sedang.
- Sistem senjata otomatis seperti 76mm dan senjata kaliber kecil.
- Kapal cepat (RIB) untuk boarding atau penyelamatan.
- Ruang akomodasi tambahan untuk pasukan khusus, ilmun, atau tim medis.



Gambar 2. 3 *Offshore Patrol Vessel (OPV)*

sumber : [OPV 1800 Coast Guard - Offshore Patrol Vessel - Damen](#)

2.2.3 *Interceptor / Fast Patrol Boat (FPB)*

Interceptor / Fast Patrol Boat (FPB) adalah kapal patroli berkecepatan tinggi yang dirancang untuk misi cepat di wilayah pesisir dan laut terbuka. Kapal ini digunakan oleh angkatan laut, penjaga pantai, dan lembaga penegak hukum untuk :

- Mengejar dan mencegat kapal mencurigakan.
- Melawan penyelundupan, pembajakan, dan perdagangan ilegal
- Operasi khusus untuk dukungan pasukan elit.
- Pencarian dan penyelamatan cepat (SAR).

Karakteristik umum :

- Panjang 12-30 meter.
- Material aluminium atau komposit ringan.
- Propulsi mesin diesel dengan *waterjet* atau *surface drive*.
- Persenjataan senapan mesin ringan hingga meriam otomatis (20-30mm), kadang dilengkapi sistem kendali jarak jauh.
- Kapasitas kru 4-10 orang, tergantung ukuran misi.

★ Kapal jenis ini sangat efektif di wilayah rawan penyelundupan atau perairan sempit karena kecepatannya dan kemampuan manuver tinggi.



Gambar 2. 4 Kapal *Interceptor / Fast Patrol Boat (FPB)*

Sumber : [DV15 RWS 30](#)

2.4 Sistem Persenjataan

Sebagai elemen penambah dalam peran kapal patroli bertugas, sistem persenjataan yang di pasang serta efektivitas penggunaannya

menjadi aspek krusial yang harus di perhatikan. Sistem ini mencakup berbagai komponen seperti senjata utama, perangkat sonar, sistem kendali dan komando, teknologi elektronik persenjataan, serta komunikasi internal dan eksternal kapal. Tantangan utama dalam tahap perancangan kapal patroli adalah menentukan apakah kapal akan difokuskan pada satu jenis kemampuan saja, atau dirancang sebagai kapal multi-peran dengan kapabilitas.

Menurut artikel indomiliter.com, Bakamla merujuk pengaplikasian senjata kaliber 12,7 mm dan 30 mm yang digunakan pada kapal patroli TNI AD maupun TNI AL umumnya telah dilengkapi dengan sistem senjata kendali jarak jauh (*Remote Control Weapons System/RCWS*). Sistem ini memungkinkan pengoperasian senjata secara otomatis dari dalam ruang kendali kapal, sehingga meningkatkan keselamatan personel serta efektivitas dalam menghadapi ancaman di laut.

2.3.1 *Kongsberg Sea Protector MK50 (12,7 mm)*

Senapan mesin berat (SMB) tipe *Browning M2HB* kaliber 12,7 mm dipasang pada dudukan *Remote Control Weapon System (RCWS)*. Dengan konfigurasi ini, M2HB dapat dioperasikan baik secara manual maupun otomatis. Pengoperasian otomatis memungkinkan senjata dikendalikan dari jarak jauh oleh operator, menggunakan bantuan sensor dan sistem kamera sebagai panduan penembakan .



Gambar 2. 5 Kongsberg Sea Protector MK50 (12,7 mm)

Sumber : <https://www.indomiliter.com/menhan-prabowo-izinkan-kapal-patroli-bakamla-dilengkapi-senjata-kaliber-127-dan-30mm-inilah-pilihannya/>

2.3.2 *Marlin WS (30 mm)*

Marlin WS memiliki karakteristik utama berupa kemampuan pengoperasian secara mandiri melalui konsol kendali jarak jauh yang terintegrasi di Pusat Informasi Tempur (PIT). Sistem senjata ini sepenuhnya terhubung dalam sistem kendali tembakan (*Fire Control System/FCS*), yang didukung oleh radar penjejak serta teknologi pelacakan berbasis video.



Gambar 2. 6 Marlin WS (30 mm)

Sumber : <https://www.indomiliter.com/menhan-prabowo-izinkan-kapal-patrol-pakamla-dilengkapi-senjata-kaliber-127-dan-30mm-inilah-pilihannya/>

2.3.3 *Seahawk LW30M A1 (30mm)*

LW30M A1 merupakan produksi *MSI-Defence system* (MSI-DS), perusahaan manufaktur persenjataan asal Inggris. Senjata ini memiliki keunggulan dalam fleksibilitas operasional, yakni dapat dikendalikan melalui sistem remote lokal, terintegrasi secara otomatis dengan *Combat Management System* (CMS) di pusat Informasi Tempur (PIT), maupun dioperasikan secara manual oleh seorang juru tembak (*gunner*)



Gambar 2. 7 Seahawk LW30M A1 (30mm)

Sumber : <https://www.indomiliter.com/menhan-prabowo-izinkan-kapal-patrol-bakamla-dilengkapi-senjata-kaliber-127-dan-30mm-inilah-pilihannya/>

2.3.4 Aselsan SMASH (30 mm)

SMASH kaliber 30 mm sempat dipamerkan dalam ajang Indo Defence 2018 pada awal November. Sistem ini merupakan modul senjata kendali jarak jauh (RCWS) yang secara fungsi dan desain mirip dengan *Marlin WS*. Komponen utama SMASH adalah kanon *MK44 Bushmaster* yang diproduksi oleh *Northrop Grumman Armament Systems*, Amerika Serikat (sebelumnya *ATK Armament Systems*). Berdasarkan spesifikasinya, senjata ini mampu menembakkan hingga 200 peluru per menit, dengan sistem pengumpanan amunisi model ganda (*dual feed*). Setiap magasin mampu menampung 75 butir peluru.



Gambar 2. 8 Aselsan SMASH (30 mm)

Sumber : <https://www.indomiliter.com/menhan-prabowo-izinkan-kapal-patrol-bakamla-dilengkapi-senjata-kaliber-127-dan-30mm-inilah-pilihannya/>

2.5 Dasar hukum / Regulasi

2.4.1 *High-Speed Craft* (HSC) dan Regulasi Internasional

Mengacu pada (IMO, International Code of Safety for High-Speed Craft (HSC Code), 2000 Edition., 2001) *High-Speed Craft* (HSC) merupakan kapal dengan karakteristik operasi tinggi, displacement ringan, dan desain lambung khusus. Kriteria HSC menurut International Maritime Organization (IMO) ditentukan melalui persamaan rasio kecepatan-panjang berikut:

$$V \leq 3.7\sqrt{L}$$

Dengan V Adalah kecepatan kapal (knots) dan L panjang garis air (*length at waterline*) dalam meter. Kapal yang memenuhi kriteria ini wajib mengikuti ketentuan keselamatan dalam *International Code of Safety for High-Speed Craft* (HSC Code)

Regulasi HSC terdiri dari dua edisi besar, yaitu HSC Code 1994 dan HSC code 2000 merupakan standar modern yang banyak digunakan untuk desain kapal patrol cepat.

2.4.2 HSC Code 2000

HSC Code 2000 merupakan standar keselamatan yang mengatur perancangann, kontruksi, perlengkapan, proteksi keakaran, stabilitas, dan operasional kapal cepat. Standar ini bersifat *performance-based* sehingga dapat mengakomodasi penggunaan material ringan seperti aluminium dan FRP.

Cakupan HSC Code 2000 meliputi:

- Stabilittas (Intact & damage stability)
- Struktur & material
- Proteksi kebakaran
- Sistem mesin & kelistrikan
- Peralatan keselamatan jiwa
- Persyaratan operasional

Parameter	Rumus
Laju pengembali (GZ)	$GZ = KN - KG \cdot \sin\theta$
GM	$GM = KB + BM - KG$
BM	$BM = I / \nabla$

2.6 Ukuran Utama

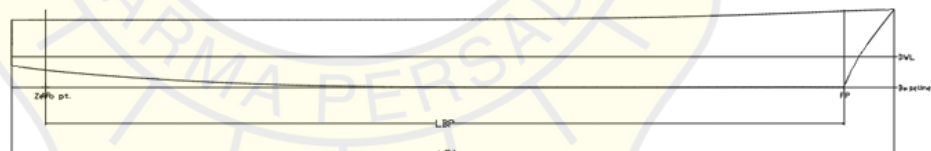
Dimensi utama kapal diperoleh melalui metode komparatif dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel, yang kemudian dilanjutkan dengan penyusunan layout estimatif dari rancangan umum kapal. Berdasarkan pendekatan tersebut, diperoleh ukuran utama kapal sebagai berikut:

A. LBP (*length Between Perpendiculars*)

Merupakan panjang kapal yang diukur secara horizontal antara dua garis tegak, yaitu antara garis tegak buritan (*after Perpendicular/AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/FP*)

B. LOA (*Length Overall*)

Panjang keseluruhan kapal yang diukur secara horizontal dari titik terdepan haluan hingga titik terluar buritan. Ukuran ini mencerminkan panjang maksimum kapal dari ujung ke ujung.



Gambar 2. 9 Contoh LOA/LBP kapal rancangan

Sumber : Pribadi

C. B (*Breadth*)

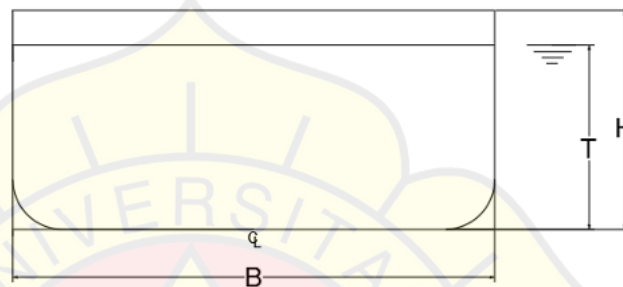
Lebar kapal (*Breadth*) diukur pada bidang tengah kapal. Untuk kapal berbahan logam, pengukuran dilakukan antara sisi dalam kulit lambung bagian kiri dan kanan. Sementara itu, pada kapal berbahan kayu atau non-logam lainnya, pengukuran dilakukan dari sisi terluar kulit lambung.

D. H (*Height*)

Merupakan ukuran vertikal kapal yang diukur dari titik terendah lambung (*keel*) hingga permukaan geladak utama (*main deck*). Nilai ini menunjukkan tinggi konstruksi utama kapal dan digunakan dalam perhitungan stabilitas serta ruang muat.

E. T (*Draft*)

Jarak vertical antara permukaan air dengan titik terendah lambung kapal, yaitu lunas (*Keel*).



Gambar 2. 10 Contoh B/T/H kapal rancangan

Sumber : Pribadi

2.7 Lambung Kapal

Menurut penelitian (Rahman, 2021) Lambung kapal merupakan struktur utama yang berperan dalam menghasilkan daya apung. Bentuk lambung sangat memengaruhi kemampuan kapal untuk mengapung dan bergerak di air. Oleh karena itu, desain lambung disesuaikan dengan karakteristik performa yang diinginkan berdasarkan fungsi operasional kapal. Secara umum, tipe lambung diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu *Displacement hull*, *semi-planning hull*, dan *planning hull*.

- *Displacement Hull*

Untuk pelayaran dengan kecepatan relatif rendah, tipe lambung *displacement (Displacement Hull)* sering menjadi pilihan. Jenis lambung ini bekerja dengan menggeser air saat kapal bergerak, sehingga menghasilkan hambatan gelombang yang membatasi kecepatan maksimum. Kecepatan maksimum kapal *displacement* umumnya bergantung pada panjang garis air, yang sering dinyatakan

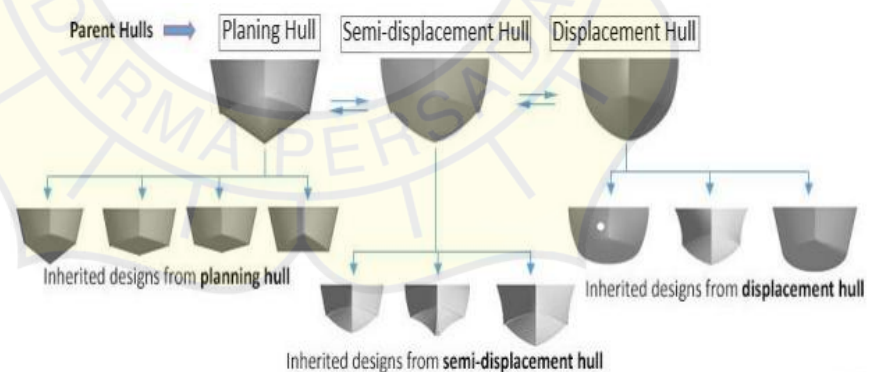
dalam bentuk rasio antara kecepatan dan Panjang lambung (*speed-length ratio*). Secara sederhana, semakin panjang lambung kapal, maka semakin tinggi kecepatan maksimumnya.

- *Semi-displacement hull*

Lambung jenis *semi-displacement* merupakan perpaduan antara karakteristik stabilitas dan kemampuan *manuver* dari *displacement hull*, dengan kecepatan yang mendekati performa *planing hull*. Pada kecepatan tertentu, kapal dengan lambung ini mengalami perubahan *displacement* yang relatif kecil. Konsekuensinya, kapal cenderung mengalami *trim*, yaitu perbedaan sarat antara bagian haluan dan buritan.

- *Planing hull*

Planing hull merupakan tipe lambung kapal yang dirancang untuk memungkinkan kapal melaju dengan kecepatan tinggi di atas permukaan air. Pada jenis lambung ini, sebagian besar berat kapal didukung oleh gaya angkat hidrodinamik saat bergerak, bukan hanya oleh daya apung statis. Hal ini menghasilkan perbedaan signifikan antara kondisi kapal saat diam dan saat melaju, memungkinkan kecepatan jelajah yang jauh lebih tinggi. (Rahman, 2021)



Gambar 2. 11 Bentuk lambung kapal displacement hull, planning hull, semi-planning hull

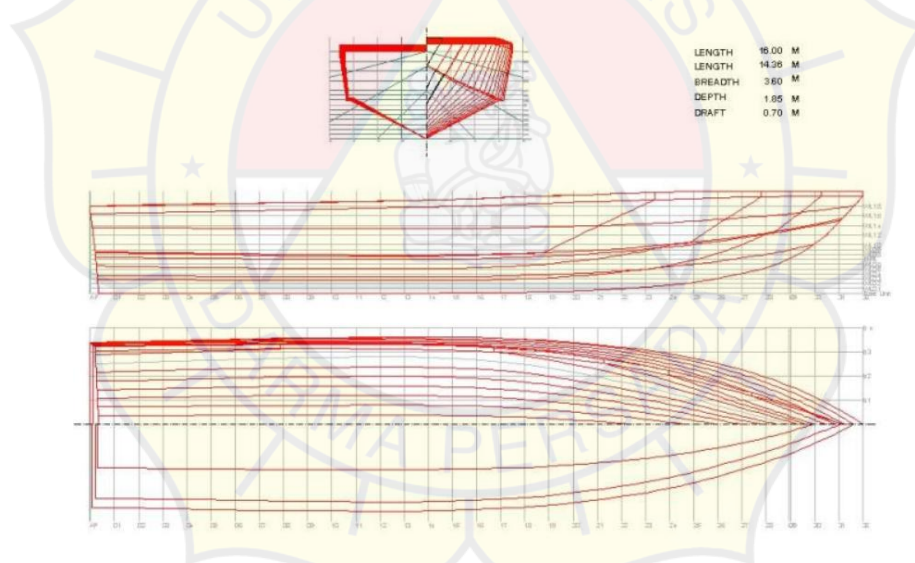
sumber : <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/4208/>

Lambung semi *catamaran* adalah kombinasi antara *monohull* dan *catamaran*, biasanya terdiri dari lambung utama tunggal (*monohull*) yang diperlebar atau memiliki dua lunas kecil pendukung. Tujuannya :

- Meningkatkan stabilitas lateral (seperti *catamaran*).
- Mempertahankan performa dan struktur sederhana (seperti *monohull*).
- Mengurangi hambatan gelombang dan memperbaiki efisiensi hidrodinamika.

2.8 *Lines Plan*

Lines plan kapal merupakan representasi teknis yang menggambarkan bentuk geometris lambung kapal secara detail. Gambar ini membantu perancangan dalam memahami konfigurasi fisik kapal yang akan dibangun. Penyusunan *lines plan* dilakukan sebagai tahapan lanjutan dalam proses perancangan kapal, dengan mengacu pada data desain yang telah tersedia sebelumnya. Tujuan utamanya adalah untuk memberikan visualisasi yang jelas mengenai bentuk badan kapal, terutama pada bagian yang berada di bawah garis air. (Aditya Chandra et al., 2017)



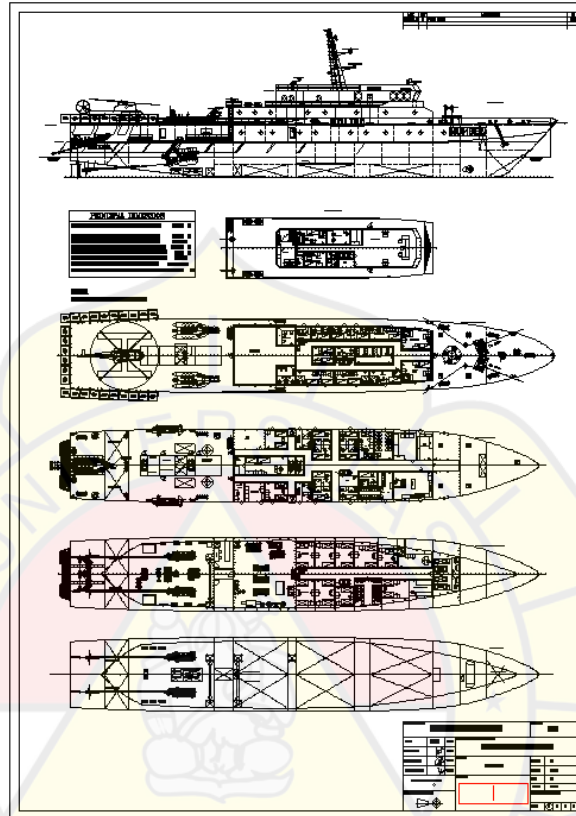
Gambar 2. 12 Contoh gambar *lines plan*

sumber : <https://desainkapal.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/02/lines-plan-patrol.jpg>

2.9 *General Arrangement*

General Arrangement adalah gambar rencana umum tata letak kapal yang menunjuk distribusi ruang-ruang utama di atas dan dibawah geladak. GA mencakup penempatan ruang mesin, ruang muat, akomodasi awak, tangki bahan bakar dan air, ruang navigasi, serta fasilitas keselamatan. Gambar ini mejadi acuan penting dalam desain, konstruksi, dan modifikasi

kapal karena memengaruhi stabilitas, fungsi operasional, dan kenyamanan. Ga di gunakan sebagai dasar dalam proses konversi kapal karena perubahan tata letak ruangan akan memengaruhi distribusi berat dan karakteristik stabilitas kapal. (al A. e., 2019)



Gambar 2. 13 Contoh gambar General Arrangement

sumber : <https://id.pinterest.com/search/pins/?q=linesplan%20kapal%20cepst&rs=typed>

2.10 Hambatan Kapal

Hambatan, atau yang juga dikenal sebagai resistansi, merupakan gaya yang bekerja berlawanan arah dengan gerak maju kapal, disebabkan oleh interaksi fluida dengan permukaan badan kapal. Dalam Tugas Akhir ini, perhitungan hambatan dilakukan menggunakan metode Holtrop dan Savitsky, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan resistansi yang diperoleh melalui perangkat lunak Maxsurf, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{Tot} [C_F(1+k) + C_A] + R_w/W \times W$$

- Koefisien Hambatan Gesek (C_f)

Ketika suatu benda bergerak dalam fluida yang memiliki viskositas (kekentalan), maka interaksi antara permukaan benda dan fluida akan menimbulkan gaya gesekan. Gaya ini dikenal sebagai hambatan gesek (*frictional resistance*). Besarnya koefisien hambatan gesek (*frictional resistance coefficient*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$CF = 0,075 / (\log Re - 2)^2$$

- Luas Permukaan Basah (STot)

Luas permukaan basah merupakan total area dari bagian lambung kapal yang terendam air, termasuk komponen tambahan seperti kemudi (*rudder*), *bilge keel*, dan elemen lainnya yang berada di bawah garis air. Besarnya luas permukaan basah berpengaruh langsung terhadap nilai hambatan gesek yang dialami kapal, semakin besar area permukaan basah, maka hambatan yang dihasilkan juga akan semakin besar.

- Koefisien Bentuk (1+k)

Nilai koefisien bentuk badan kapal (*form factor*) dapat ditentukan sebagai berikut.

$$(1+k) = (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] S_{app} / S_{tot}$$

Dimana :

(1+k₁) = merupakan koefisien bentuk badan kapal utama (*form factor*), yang mencerminkan pengaruh bentuk lambung terhadap hambatan total.

(1+k₂) = adalah koefisien bentuk untuk komponen tambahan (*appendages*) yang terendam air, seperti kemudi, *bilge keel*, atau *shaft bracket*, yang turut memberikan kontribusi terhadap hambatan total kapal.

- Coleration Allowance (CA)

Penentuan nilai *coleration allowance* (CA) dapat dilakukan dengan membandingkan nilai sarat kapal (T) terhadap panjang garis air (LWL). Nilai ini dihitung menggunakan persamaan sederhana sebagai berikut:

$$CA = T / Lwl$$

- Koefisien Hambatan Gelombang (RW)

Hambatan gelombang (*wave resistance*) merupakan salah satu komponen gaya resistansi yang bekerja melawan gerakan maju kapal, diakibatkan oleh energi yang terbuang untuk membentuk gelombang permukaan saat kapal bergerak. Besarnya hambatan gelombang (Rw) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{R_w}{W} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\{m_1 Fn^d + m_2 \cos(\lambda Fn^{-2})\}}$$

- Gaya Berat (W)

Berdasarkan Hukum Newton II, maka gaya berat suatu kapal dihitung sebagai hasil perkalian antara berat perpindahan kapal (displacement) dalam satuan ton dan percepatan gravitasi (m/s^2)

2.11 Stabilitas

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi keseimbangannya semula saat mengalami gangguan, khususnya dalam kondisi perairan tenang. Secara umum, faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas kapal dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, yaitu:

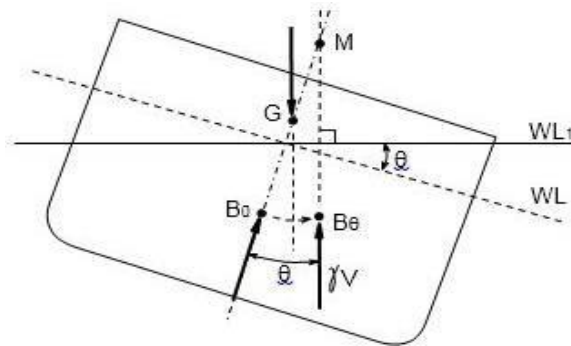
- Faktor internal, seperti distribusi muatan (*cargo*), bentuk dan dimensi kapal, serta kerusakan struktur seperti kebocoran akibat kandas atau tubrukan.
- Faktor eksternal, meliputi pengaruh lingkungan luar seperti angin, gelombang, arus, dan badai.

2.11.1 Keadaan Stabilitas

Pada dasarnya, kondisi stabilitas kapal dapat dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu:

1. Stabil (*Stable Equilibrium*)

Kapal dikatakan stabil apabila setelah mengalami gangguan kecil, ia mampu kembali ke posisi semula secara otomatis. Hal ini terjadi ketika metacenter (M) berada di atas titik berat kapal (G).



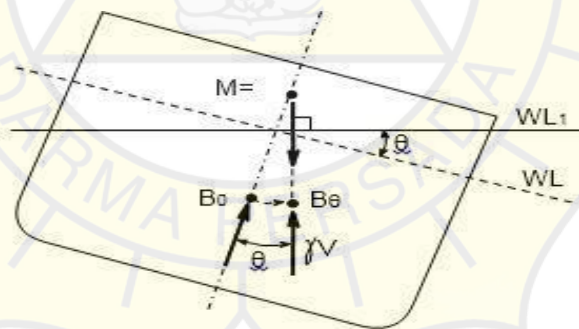
Gambar 2. 14 Stabil (Stable Equilibrium)

sumber :Tugas akhir ITS, 2020

Gambar 2.14 menunjukkan kondisi stabilitas positif, dimana posisi titik metacenter (M) berada lebih tinggi dibandingkan titik berat kapal (G). Dalam kondisi ini, kapal memiliki kecenderungan untuk Kembali ke posisi tegak setelah mengalami gangguan, yang menandakan bahwa kapal berada dalam keadaan stabil.

2. Netral (Neutral Equilibrium)

Kapal dalam kondisi netral tidak akan Kembali ke posisi awal, namun juga tidak akan semakin miring. Ini terjadi Ketika titik metacenter (M) berimpit dengan titik berat (G)



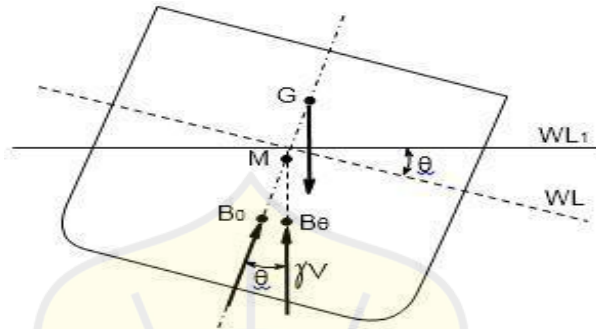
Gambar 2. 15 Netral (Neutral Equilibrium)

sumber :Tugas akhir ITS, 2020

Gambar 2.15 menggambarkan kondisi stabilitas netral, Dimana posisi titik metacenter (M) sejajar atau berimpit dengan titik berat kapal (G). Dalam keadaan ini, jika kapal mengalami gangguan, ia tidak akan kembali ke posisi semula maupun semakin miring, melainkan tetap berada pada posisi barunya.

3. Tidak stabil (*Unstable Equilibrium*)

Kapal berada dalam keadaan tidak stabil jika setelah terganggu, iya cenderung terus miring dan tidak dapat Kembali ke posisi tegak semula. Ini terjadi jika titik berat kapal (G) lebih tinggi dari metacenter (M).



Gambar 2. 16 Tidak stabil (*Unstable Equilibrium*)

sumber : Tugas akhir ITS, 2020

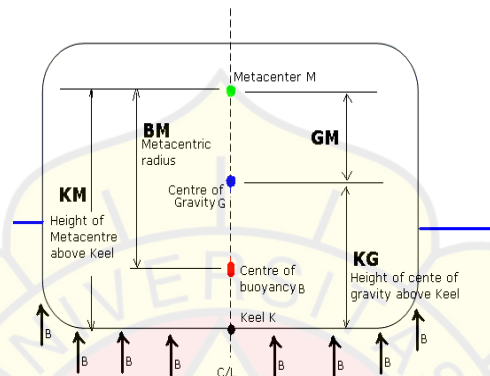
Gambar 2.16 menggambarkan kondisi stabilitas negative, yaitu keadaan di mana titik berat kapal (G) berada di atas titik metacenter (M). Dalam kondisi ini, kapal cenderung kehilangan keseimbangan dan terus miring saat terganggu, sehingga sangat berbahaya dan harus dihindari dalam perancangan kapal.

2.11.2 Analisa Stabilitas

Analisa stabilitas yang dilakukan mengacu pada kriteria stabilitas sebagaimana tercantum dalam *IMO code on Intact stability A.749 (18), Ch 3 – Design Criteria Applicable to All Ships*. Kode ini menetapkan sejumlah persyaratan minimum terhadap area di bawah kurva GZ (*righting arm*), yaitu:

- (A) Luas area di bawah kurva GZ (GZ Curve Area):
1. Minimal 0,055 meter-radian hingga sudut kemiringan 30° .
 2. Minimal 0,09 meter-radian hingga sudut 40° atau hingga sudut masuk air (*downflooding angle*), tergantung mana yang lebih kecil.
 3. Luas area antara 30° hingga 40° (atau hingga sudut masuk air) tidak boleh kurang dari 0,03 meter-radian.

- (B) Sudut maksimum GZ (lengan pemulih) harus dicapai pada sudut kemiringan tidak kurang dari 25° .
- (C) Sudut masuk air (*downflooding angle*) tidak boleh kurang dari 40° , kecuali jika desain kapal mengharuskan sebaliknya.
- (D) Stabilitas awal (GM) dan bentuk kurva GZ harus menunjukkan kemampuan pemulihan yang memadai terhadap gangguan kemiringan.



Gambar 2. 17 Komponen Stabilitas Kapal

Sumber : Tugas Akhir ITS, 2020

Berdasarkan gambar 2.17, dapat diidentifikasi sejumlah komponen penting yang berkaitan dengan stabilitas kapal, antara lain:

- KM: Jarak vertikal dari lunas (keel) kapal hingga titik metacenter (M).
- KB: Jarak verikal dari lunas ke titik buoyancy (B) yang dapat berubah tergantung pada kondisi sarat muatan.
- BM: Jarak vertikal antara titik buoyancy (B) dan titik metacenter (M).
- KG: Ketinggian titik berat (G) dari lunas kapal.
- GM, Jarak vertikal antara titik pusat gravitasi (G) dan titik metacenter (M), yang dikenal sebagai *metacentric height*, indikator utama stabilitas awal kapal.
- Momen Penegak (*Righting Moment*) dan lengan penegak (*Righting Arms*): Gaya dan jarak yang bekerja untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak setelah mengalami

gangguan akibat pengaruh eksternal, seperti angin atau gelombang, ketiga gaya-gaya tersebut berhenti bekerja.

2.11.3 *Stability Self-Righting*

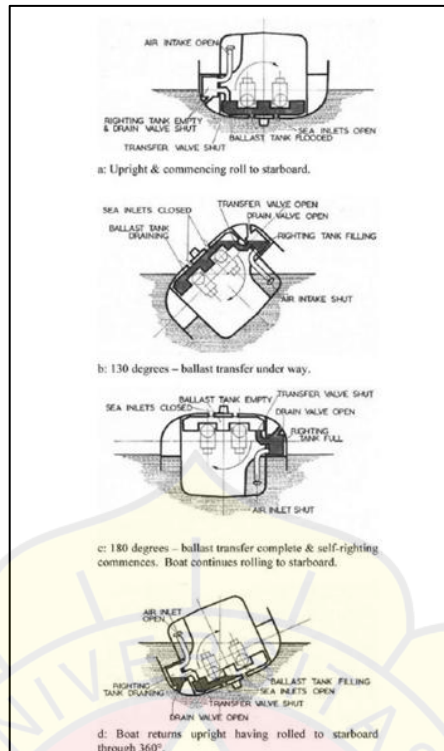
Menurut Akyıldız & Şimşek (2016). Istilah *Self-Righting Stability* telah lama dikenal dalam sejarah arsitektur kapal, namun penerapannya secara praktis tergolong baru. Pada kapal yang memiliki kemampuan *Self-Righting*, kurva GZ (gaya pemulih) tetap bernilai positif sepanjang siklus kemiringan 360° , artinya kapal tidak memiliki titik dimana gaya pemulih menjadi negatif.

Sebaliknya, kapal konvensional memiliki sudut kemiringan tertentu dimana gaya pemulih menurun hingga nol, dikenal sebagai *Point of Vanishing Stability* (PVS). Titik ini sering kali baru tercapai saat kapal benar-benar terbalik. Namun, jika kapal memiliki daya apung yang cukup untuk tetap mengapung, maka sudut kemiringan melebihi PVS akan memicu rotasi hingga kapal kembali ke posisi seimbang. Dalam kondisi ini, kapal justru lebih stabil saat tegak.

Untuk mencapai desain kapal yang memulihkan diri, diperlukan tiga syarat utama:

1. Memiliki kurva GZ yang tetap positif sepanjang rotasi 360° , sehingga tidak ada titik PVS
2. Menjadi tidak stabil saat terbalik, agar proses pemulihan dapat terjadi secara alami.
3. Tetap memiliki daya apung dan kedap air

(Hakan Akyıldız, 2016)



Gambar 2. 18 self-righting sequence capsizes.

Sumber : (Hakan Akyıldız, 2016)

2.11.4 Self-Righting Methods

Menurut Richard Birmingham (2004). Untuk memenuhi kriteria pada sub-bab 2.9.3, kapal *Self-Righting* umumnya dirancang dengan lambung yang tidak mudah kemasukan air dan memiliki volume apung yang ditempatkan secara strategis agar kapal menjadi tidak stabil saat terbalik. Pada kapal besar, superstruktur yang besar biasanya cukup untuk menghasilkan daya apung tambahan, asalkan semua bukaan lambung bersifat kedap air atau menutup otomatis.

Kapal seperti ini memiliki kemampuan *Self-Righting* yang bersifat *inheren* dalam desainnya. Namun, pada kapal kecil, keterbatasan ruangan membuat superstruktur besar tidak memungkinkan. Oleh karena itu, metode alternatif digunakan seperti:

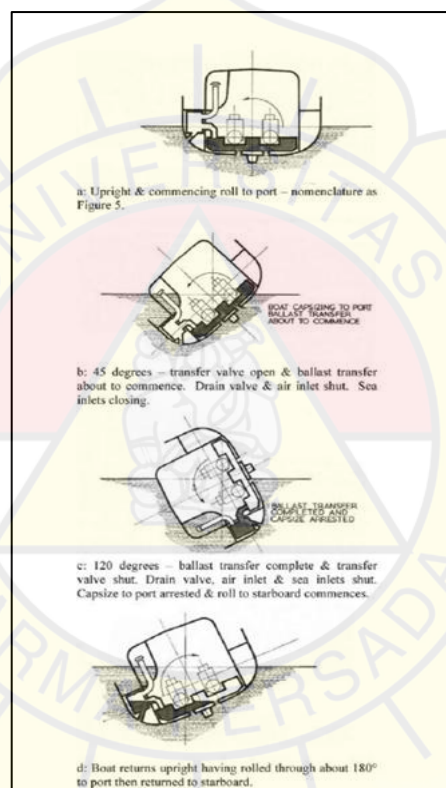
- Kantung tiup (Inflatable Bag)

Dapat di aktifkan secara otomatis atau manual saat kapal terbalik

- Bobot Bergerak (Moveable Ballast)

Biasanya berupa air ballast yang dipindahkan untuk menciptakan ketidakstabilan saat terbalik, sehingga menghasilkan momen pemulih positif.

Perlu di catat bahwa Infatable Bag maupun Moveable Ballast tidak mencegah kapal terbalik. Metode ini digunakan setelah melwati titik PVS untuk memastikan kapal menjadi tidak stabil dan akhirnya Kembali tegak. Setelah kapal kembalike posisi normal, barulah kriteria stabilitas konvensional berlaku. (Birmingham, 2004)



Gambar 2. 19 Boat rolls to approx 180 degrees and returns.

Sumber : (Hakan Akyildiz, 2016)