

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Karakteristik desain lambung kapal sangat penting untuk diketahui dalam proses desain ulang lambung kapal maka pada bab 2 ini penulis menjabarkan beberapa penelitian terdahulu untuk mengetahui kekurangan dan kendala pada penelitian yang sudah ada. Hal ini berguna bagi penulis untuk memutuskan bentuk desain ulang lambung kapal pada penelitian yang akan dilakukan penulis. Pada bab 2 ini, penulis juga menjelaskan penelitian sekarang yang akan dilakukan oleh penulis serta dasar teori yang mendukung penelitian ini.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana hubungan penelitian-penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian yang sudah dilakukan dan menjadi dasar penelitian penulis adalah dari Pardi, Afriantoni (2013) , Eko Sasmito Hadi (2009), St. Aisyah Farhum (2010), Dong Jin Kim (2013), dan F. Pérez-Arribas (2014). Kelima penelitian di atas sama-sama meneliti tentang optimasi desain lambung kapal namun optimasi-optimasi tersebut dapat digabungkan untuk hasil yang lebih optimalnya dan detailnya dapat dijelaskan berikut ini :

Penelitian tentang lambung kapal sudah cukup banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Sebagai contohnya adalah Pardi (2013) tentang “analisis perencanaan bentuk dan penempatan *chain* upaya untuk memperkecil tahanan lambung kapal fiberglass”, membahas analisis tentang upaya memperkecil hambatan gesek sebuah kapal dengan memberikan *chine* (alur memanjang pada sisi lambung kapal). Penelitiannya dibuat dengan cara membuat desain bentuk dan penempatan *chine* yang bervariasi kemudian dianalisis di software *Hullspeed* untuk mengetahui besarnya hambatan dari masing-masing bentuk *chine* tersebut. Berdasarkan hasil analisis perhitungan tahanan tersebut ditemukan bentuk dan penempatan *chain* yang paling efektif. Bentuk dan ukuran *chine* yang paling efisien tersebut dibuat sebuah *prototype* lambung kapal berdasarkan hasil running tahanan yang paling optimal. Selain itu penelitian ini juga untuk melakukan pembuktian apakah dengan adanya *chine* tersebut akan merubah aliran *fluida* disekitar lambung kapal dari aliran *turbulen* menjadi aliran *laminer*.

Kegunaan hasil penelitian di atas, sangat penting penelitian ini dilakukan untuk mencari solusi dalam upaya menurunkan biaya operasional sebuah kapal.

Penelitian yang dilakukan Eko (2009) tentang “komparasi *hull performance* pada konsep design kapal ikan multi fungsi dengan lambung katamaran”, dibuat untuk memberikan sebuah konsep baru tentang kapal penangkap ikan yang mampu menekan penggunaan bahan bakar. Konsep kapal ikan ini merupakan pengembangan dari model kapal ikan sebelumnya yang telah dikembangkan oleh Laboratorium Desain kapal Fakultas Teknik UNDIP. Kapal ikan juga difungsikan pada kapal selain kapal penangkap ikan atau multifungsi. Penelitiannya ini juga akan menunjukkan komparasi *hull performance* (stabilitas dan tahanan) pada konsep design kapal ikan multifungsi dengan model lambung katamaran, dengan variabel peubahnya adalah jarak antar lambung (*demihull*) yang mempunyai nilai 1 B, 1,5 B dan 2 B (B adalah lebar tiap lambung). Maka permasalahan dan metode di atas akan digunakan sebagian untuk melakukan penelitian.

Penelitian yang dilakukan Aisyah (2010) tentang “kajian stabilitas empat tipe kasko kapal *pole and line*” dalam penelitiannya menganalisis perbandingan nilai stabilitas pada empat tipe kasko kapal *pole and line*, masing-masing *round bottom*, *round flat bottom*, *round sharp bottom* dan *u-v bottom*. Analisis nilai stabilitas dilakukan melalui perhitungan nilai stabilitas terhadap grafik stabilitas pada sudut kemiringan $0^\circ - 90^\circ$. Hasil analisis stabilitas masing-masing bentuk kasko kemudian dibandingkan dengan standar minimum kriteria stabilitas kapal perikanan yang dikeluarkan International Maritim Organization. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, keempat bentuk kasko kapal *pole and line* memiliki nilai stabilitas yang lebih besar dari kriteria stabilitas minimum IMO, dimana tipe kasko *round-sharp bottom* merupakan tipe kasko kapal yang memiliki nilai stabilitas yang lebih baik dibandingkan tipe kasko yang lain.. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa desain lambung kapal dapat dioptimalkan dengan menggunakan pendekatan ini.

Penelitian oleh Dong (2013) tentang “*design of high-speed planing hulls for the improvement of resistance and seakeeping performance*” menyatakan kapal berkecepatan tinggi memerlukan ketahanan dan performa *seakeeping* yang baik agar aman di kendalikan pada saat laut berombak tinggi. Penelitiannya ini dibuat untuk membandingkan model kapal terbaik dari 3 model dengan metode simulasi

dan komputasi. Model lambung kapal pada penelitiannya adalah model V yang diberikan variasi pada penambahan *chine* dan berubahan bentuk *keel* lambung kapal. Tahanan kapalnya diukur dari beberapa variasi kecepatan, dan tes pergerakan gelombang laut yang berguna untuk mengukur seberapa tinggi kapal terangkat ketika terkena hampasan ombak. Penelitiannya ini juga terdapat pengukuran pusat gravitasi dari model kapal yang berguna untuk mengukur percepatan kapal. Konsep-konsep dari penelitian diatas dapat dimanfaatkan untuk penelitian yang sekarang agar desain lambung kapal dapat lebih optimal pada gelombang laut yang tinggi.

Penelitian juga dilakukan oleh Pérez (2014) tentang "*parametric generation of planning hulls*" dalam penelitiannya menggunakan metode perhitungan matematis untuk memproduksi lambung kapal ikan bertipe *hard-chine* dengan data angka yang didapat pada fitur geometris lambung. Penelitiannya fokus pada desain kapal berlambung satu dan polos (tidak memiliki *step*).

Berdasarkan penelitian terdahulu, penulis melihat bahwa bentuk lambung kapal yang dibiarkan begitu saja dapat mengakibatkan konsumsi bahan bakar kapal berlebih. Hal ini menjadi salah satu permasalahan awal yang harus diselesaikan karena lambung kapal membutuhkan hambatan kapal yang kecil. Penelitian desain ulang lambung kapal sangat dibutuhkan dengan cara menghitung hambatan kapal. Penelitian Ratna (2012) sudah mencoba mengkonfigurasi jarak lambung kapal, tetapi belum sampai pada penambahan bentuk *chine* dan perubahan bentuk *keel* pada lambung kapal yang akan merubah aliran *fluida* disekitar lambung kapal dari aliran *turbulen* menjadi aliran *laminer*. Penulis melihat sebuah kesempatan untuk mendesain ulang lambung kapal dengan penambahan bentuk *chine* dan perubahan bentuk *keel* pada lambung kapal dengan dukungan dari sebuah penelitian yang telah dilakukan Dong. Bentuk *chine* dan perubahan bentuk *keel* pada lambung kapal yang optimal dapat dicapai apabila hambatan kapal berkurang. Maka pada penelitian ini, penulis akan mencari nilai hambatan kapal terkecil dari desain lambung kapal yang diberi penambahan bentuk *chine* dan perubahan bentuk *keel*.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Penelitian yang dilakukan sekarang lebih mengacu desain kapal yang optimum. Desain yang optimum didapatkan dengan cara memaksimalkan desain lambung kapal. Penelitian ini nantinya akan memberikan kontribusi pada penelitian

selanjutnya ataupun pada pengguna kapal ikan di daerah Tanjung Mas, Semarang. Dimana cara menentukan desain lambung kapal yang optimum dengan menghitung hambatan kapal. Letak keterbaruan yang didapat dari penelitian ini adalah adanya perpaduan dari penambahan bentuk *chine* dan perubahan bentuk *keel*, untuk mengetahui desain lambung kapal mana yang paling optimum. Namun ada kesamaan metode yang dipakai, yaitu penelitian ini memakai Metode simulasi komputasi untuk membuat desain lambung kapal dalam penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan parameter hambatan kapal, yang dari situ akan dipilih satu desain yang paling optimum. Dan di masa depan, bisa menjadi parameter yang dipakai pada pendesainan lambung kapal sebelum diproses pada pembuatannya, maupun untuk penelitian tugas akhir.

Perbedaan antara penelitian sekarang dengan penelitian yang sebelumnya akan lebih dijelaskan pada tabel 2.1. berikut ini :

Tabel 2. 1. Penelitian - Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan Penelitian	Objek Penelitian	Metode	Output
Pardi, Afriantoni (2013)	Mendapatkan desain <i>chain</i> lambung kapal yang dapat menurunkan besarnya tahanan kapal.	<i>Chain</i> lambung kapal	Metode <i>Holtrop</i>	Parameter hasil tahanan kapal
Eko Sasmito Hadi (2009)	Studi pengembangan design kapal ikan dan bagan apung dengan bentuk lambung katamaran	Lambung kapal dengan tipe kantamaran	Metode <i>Slender Body</i>	Komparasi <i>hull performance</i> (stabilitas, tahanan dan <i>seakeeping</i>)

Tabel 2.1. Lanjutan

Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan Penelitian	Objek Penelitian	Metode	Output
St. Aisyah Farhum (2010)	Menganalisis perbandingan nilai stabilitas pada empat tipe kasko kapal <i>pole and liner</i> .	Kasko kapal <i>pole and line</i>	-	Komparasi nilai stabilitas dengan nilai standar minimum yang ditetapkan oleh IMO
Dong Jin Kim (2013)	Meneliti tahanan dan performa seakeeping pada kapal dengan membuat variasi bentuk lambung kapal.	Lambung kapal cepat	Metode simulasi komputasi	Komparasi stabilitas kapal pada gelombang laut yang berbeda-beda
F. Pérez-Arribas (2014)	Meneliti lambung kapal yang bertipe <i>hard-chine</i> dengan metode matematika	Lambung kapal bertipe <i>hard-chine</i>	Metode campuran	Parameter grafik yang menghasilkan permukaan lambung

Tabel 2.1. Lanjutan

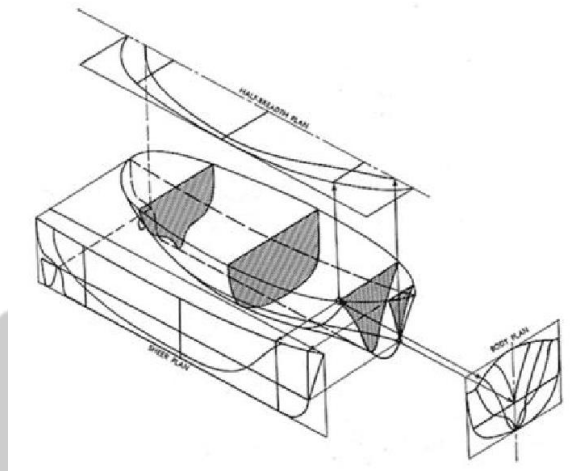
Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan Penelitian	Objek Penelitian	Metode	Output
Johan Pratama (2016)	Memperoleh desain lambung kapal ikan di daerah Tanjung Mas Semarang yang optimum dengan variasi <i>chine</i> dan <i>keel</i> lambung kapal.	Lambung kapal layar mesin pinisi	Metode simulasi komputasi	Parameter hasil tahanan kapal

2.2. Dasar Teori

Proses penelitian pembuatan skripsi mengenai permasalahan yang terjadi ketika akan menentukan desain lambung kapal yang optimum. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut penelitian ini mengacu pada referensi-referensi dari teori-teori yang selama ini sudah ada dan dikembangkan lebih lanjut agar menentukan parameter tahanan kapal dan stabilitas kapal dapat optimal. Dasar teori yang digunakan dijabarkan dalam sub-bab seperti berikut :

2.2.1. Geometri Kapal

Sisi luar lambung kapal berbentuk lengkung pada beberapa kasus terdapat tekukan, penggambaran lambung kapal pada sebidang kertas gambar dinamakan rencana garis (*lines plan / ship's lines / lines*), bentuk lambung kapal secara umum harus mengikuti kebutuhan daya apung, stabilitas, kecepatan, kekuatan mesin, olah gerak dan yang penting adalah kapal bisa dibangun.

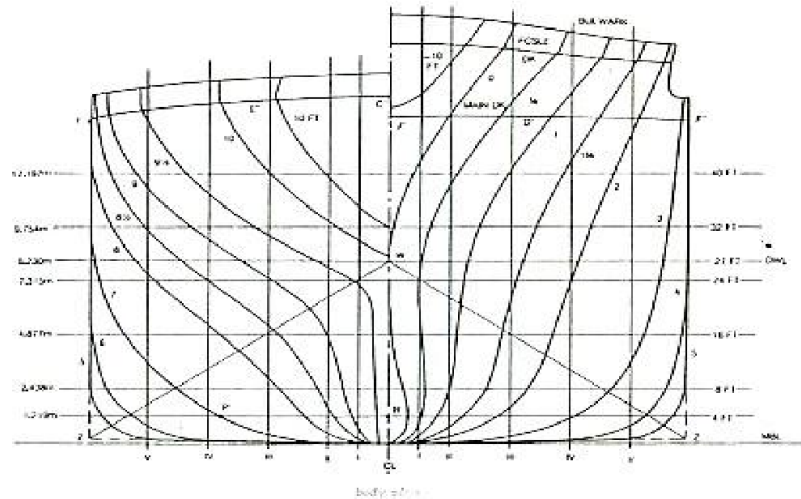


Gambar 2. 1. Contoh Perspective View dari Lines Plan

(Sumber: Eka dkk, 2009)

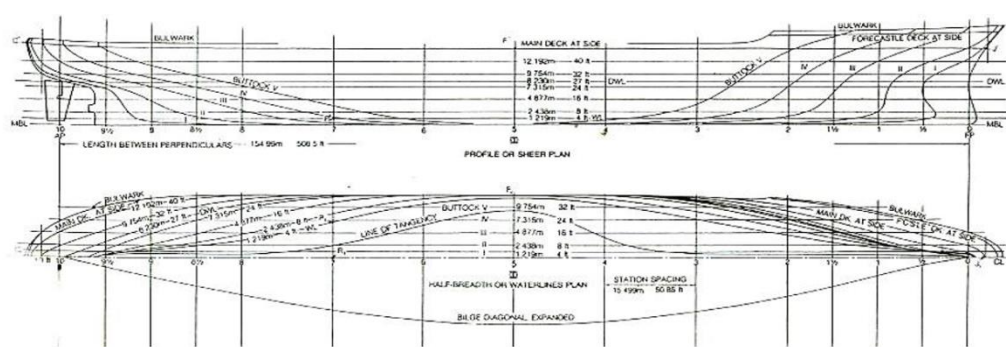
Gambar rencana garis (*lines plan*) terdiri dari proyeksi ortographis / siku-siku dari interseksi / perpotongan antara permukaan lambung kapal dan tiga set bidang yang saling tegak lurus. Rencana sheer / profil / *sheer plan* menunjukkan interseksi / perpotongan antara permukaan / *surface* lambung kapal dengan bidang tengah / *centreplane* – sebuah bidang vertical pada garis tengah / *centreline* kapal – dan bidang tegak / *buttockplane* yang sejajar dengannya (*centreplane*), Interseksi dengan bidang tengah akan menghasilkan profil haluan / bow dan buritan / *stern*.

Rencana sheer / *sheer plan* untuk kapal komersial digambar dengan meletakkan haluan kapal / bow section pada sisi kanan. Rencana garis air / *Half breadth / Waterlines plan* menunjukkan interseksi permukaan lambung kapal dengan bidang yang sejajar bidang dasar/baseplane horizontal, bidang dasar / *baseplane* adalah bidang horizontal yang melalui garis dasar / *baseline*. Interseksi dengan bidang-bidang tersebut akan menghasilkan Rencana garis air / *Waterlines plan*.



Gambar 2. 2. Contoh *Body Plan View* dari *Lines Plan*

(Sumber: Eka dkk, 2009)



Gambar 2. 3. Contoh *Profile View* dari *Lines Plan*

(Sumber: Eka dkk, 2009)

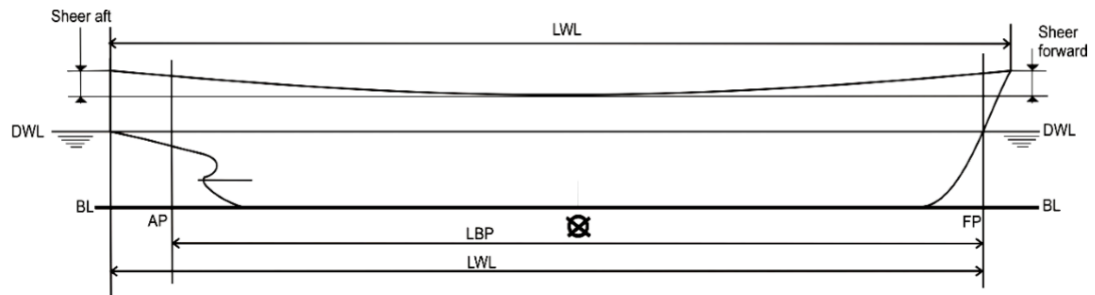
Body plan menunjukkan bentuk dari *station / section* yang merupakan interseksi antara permukaan lambung kapal dengan bidang yang tegak lurus dengan bidang tegak / *buttockplane* dan bidang garis air / *waterline plane*.

Pada umumnya penggambaran *body plan* dibagi 2 sisi kiri dan sisi kanan, sisi kiri untuk setengah bagian belakang dan sisi kanan untuk setengah bagian depan. Permukaan lambung kapal yang dimaksud diatas adalah permukaan *molded / molded surface* adalah permukaan yang dibentuk oleh sisi luar gading kapal atau sisi dalam kulit, hal ini berlaku untuk kapal baja, kapal aluminium dan kapal kayu untuk kapal *fibreglass / FRP* permukaan *molded* dibentuk oleh sisi luar kulit (lambung kapal).

Jumlah station/section pada umumnya 21 buah, antara garis tegak depan dan garis tegak belakang dibagi 20 interval, indentifikasi station dimulai dari AP (station nomor nol) hingga FP (station nomor 20).



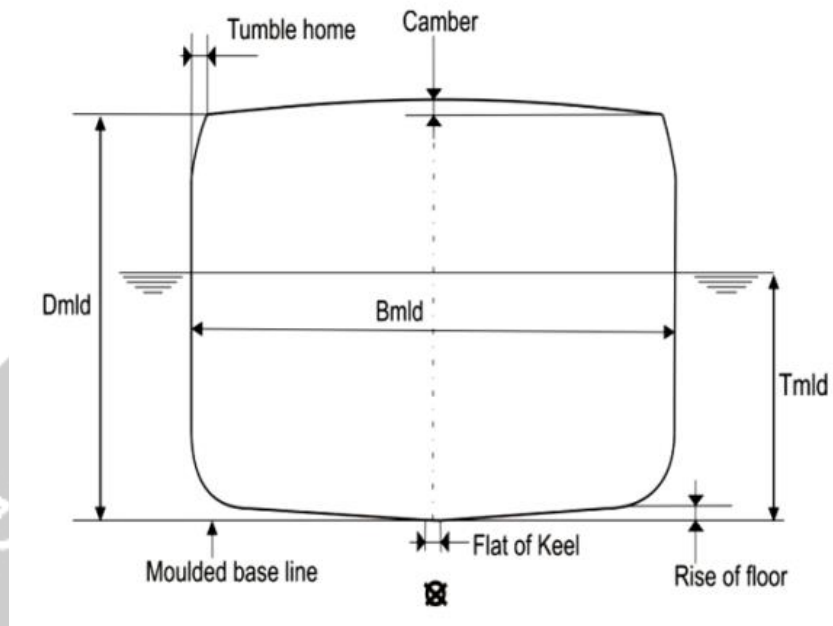
Naval arsitektur memiliki terminologi tersendiri yang berupa simbol atau singkatan kata.



Gambar 2. 4. Simbol-Simbol pada Naval Arsitektur dari *Perspective View*

(Sumber: Eka dkk, 2009)

1. Garis tegak buritan / *after perpendicular* (AP)
Adalah garis tegak yang terletak pada sisi belakang sterpost atau bila tidak ada sternpost, FP terletak pada sumbu poros kemudi.
2. Garis tegak haluan / *forward perpendicular* (FP)
Adalah garis tegak vertikal yang melalui interseksi antara garis air muat / garis air perencanaan / DWL dan sisi dalam linggi haluan.
3. Panjang antara garis tegak / *length between perpendicular* (LBP/LPP)
Adalah jarak horisontal antara AP dan FP.
4. Panjang garis air / *length of water lines* (LWL)
Adalah jarak horisontal antara FP dan interseksi antara sisi dalam linggi buritan dan garis air muat / garis air perencanaan / DWL.
5. Panjang keseluruhan / *length overall* (LOA)
Adalah panjang kapal yang diukur dari ujung haluan dan ujung buritan pada sisi dalam kulit.
6. Tengah kapal / *amidship*
Adalah titik tengah antara garis tegak haluan / FP dan garis tegak buritan / AP.
7. *Midship section*
Adalah station / *section* pada tengah kapal / *amidship*.

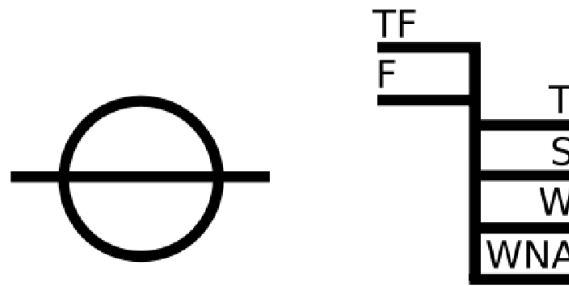


Gambar 2. 5. Simbol-Simbol pada Naval Arsitektur dari *Body Plan View*

(Sumber: Eka dkk, 2009)

8. Lebar kapal / *breadth molded* (Bmld)
Adalah lebar kapal molded yang diukur pada tengah kapal pada sisi luar gading / sisi dalam kulit.
9. Tinggi molded / *depth molded* (Dmld)
Adalah jarak vertikal pada amidship yang diukur dari sisi atas lunas / keel ke sisi bawah pelat geladak padaa tepi kapal.
10. Sarat molded / *draft molded* (Tmld)
Adalah jarak vertical yang diukur dari sisi atas lunas / keel ke garis air / WL.

11. *Sarat / draft (T)*
Adalah jarak vertical yang diukur dari sisi bawah Lunas/*keel* ke Garis air/WL.
12. *Titik lunas / keel point*
Adalah titik yang terletak pada tengah kapal / *amidship*, pada garis tengah / *centreline* dan sisi atas lunas / *keel*.
13. *Molded base line*
Adalah garis horizontal yang melalui *keel point*, garis ini digunakan sebagai garis referensi perhitungan hidrostatis.
14. *Sheer*
Adalah kelengkungan horizontal geladak kapal, diukur dari perbedaan tinggi berbagai posisi dan tinggi pada tengah kapal, pada umumnya *sheer* bagian depan lebih tinggi dibanding bagian belakang, desain kapal modern pada saat ini banyak kapal yang tidak memiliki *sheer*.
15. *Camber*
Adalah kelengkungan transversal geladak kapal, diukur dari perbedaan antara tinggi bagian tengah kapal dan tinggi pada sisi kapal.
16. *Bidang tengah / centreline plane / middle line plane*
Adalah bidang vertical pada garis tengah / *centreline* yang membagi kapal secara simetri.
17. *Bidang garis air / water planes*
Adalah bidang yang dibatasi oleh garis air.
18. *Lambung bebas / freeboard*
Adalah jarak vertical antara garis air yang diijinkan dan sisi atas geladak pada tepi geladak tengah kapal.



Gambar 2. 6. Simbol-Simbol *Freeboard Mark*

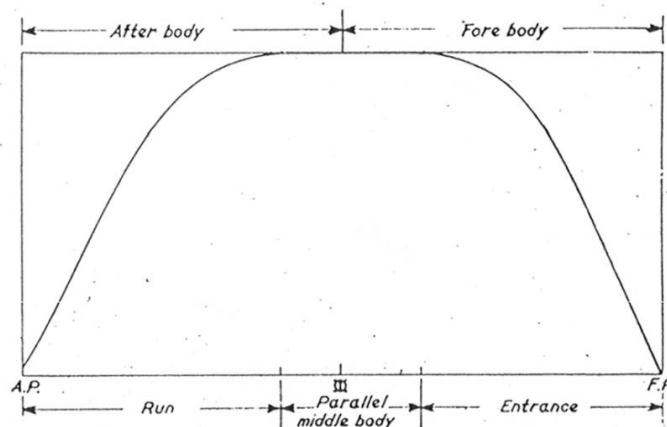
(Sumber: Eka dkk, 2009)

19. Merkah garis muat / *Freeboard mark* / *load line mark* / *plimsol mark*
 Adalah marka / tanda yang harus dipasang pada lambung kapal komersial pada tengah kapal dikedua sisi, marka ini menunjukkan sarat maksimum yang diijinkan untuk wilayah perairan dan musim tertentu,

Marka	S	untuk <i>Summer</i>
	W	untuk <i>Winter</i>
	T	untuk <i>Tropical</i>
	WNA	untuk <i>Winter North Atlantic</i>
	TF	untuk <i>Tropical Fresh Water</i>

20. *Parallel middle body* (PMB)

adalah panjang dimana station / *section* memiliki luas dan bentuk yang sama.

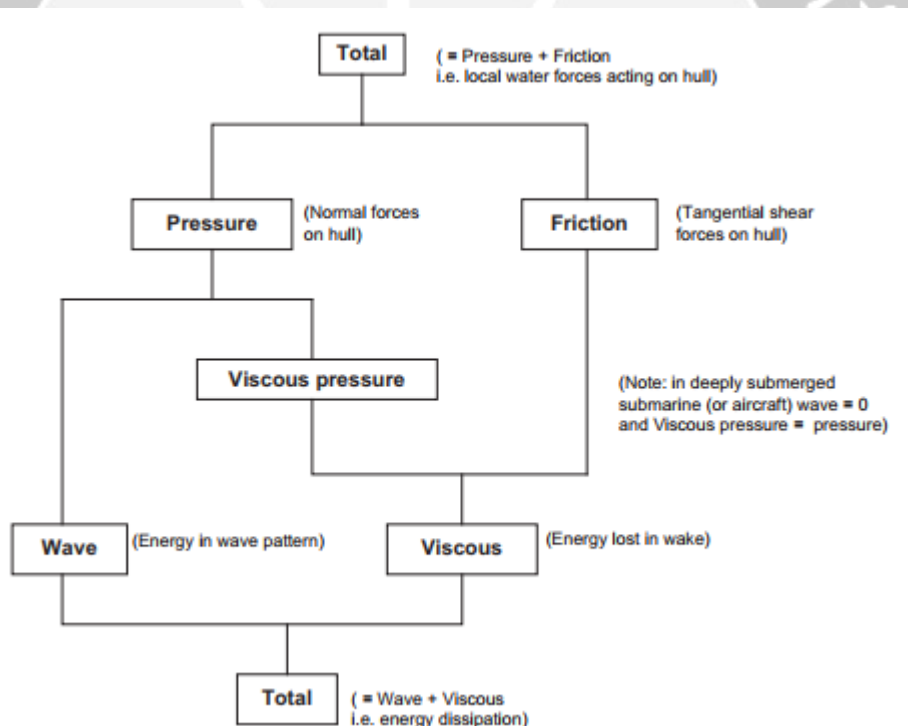


Gambar 2. 7. *Parallel Middle Body*

(Sumber: Eka dkk, 2009)

2.2.2. Komponen Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan atau *resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak kapal (V_s), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup dalam air (*displacement*), dan bentuk badan kapal (*hull form*). Berdasarkan pada proses fisiknya, Couser (1977) mengemukakan bahwa hambatan pada kapal yang bergerak di permukaan air terdiri dari dua komponen utama yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*tangential stress*). Tegangan normal berkaitan dengan hambatan gelombang (*wave making*) dan tegangan viskos. Sedangkan tegangan geser disebabkan oleh adanya viskositas fluida. Kemudian Molland (2008) menyederhanakan komponen hambatan dalam dua kelompok utama yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) dan hambatan gelombang (*wave resistance*).



Gambar 2. 8. Diagram Hambatan Komponen Hambatan Kapal

(Sumber: Molland, 2008)

Standar internasional dari ITTC meng-klasifikasikan hambatan kapal di air tenang (*calm water*), secara praktis dalam dua komponen hambatan utama yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) yang terkait dengan bilangan Reynolds dan hambatan gelombang (*wave making resistance*) yang bergantung pada

Froude, dimana korelasi kedua komponen tersebut diperlihatkan dalam persamaan berikut.

$$R_{T(R_e, F_r)} = R_{V(R_e)} + R_{W(F_r)} = (1 + k)_{(F_r)} R_{F(R_e)} + R_{W(F_r)} \quad (2.1)$$

Hambatan gelombang (R_w) mengandung komponen fluida ideal (*inviscid*) dan hambatan viskos atau kekentalan (R_v) meliputi hambatan akibat tegangan geser (*friction drag*) dan komponen tekanan kekentalan (*viscous pressure*).

Total hambatan kapal dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (2.2)$$

Keterangan

- ρ : massa jenis (kg/m^3)
- C_T : koefisien hambatan total
- WSA : luasan bidang basah (m)
- V : kecepatan kapal (m/s)

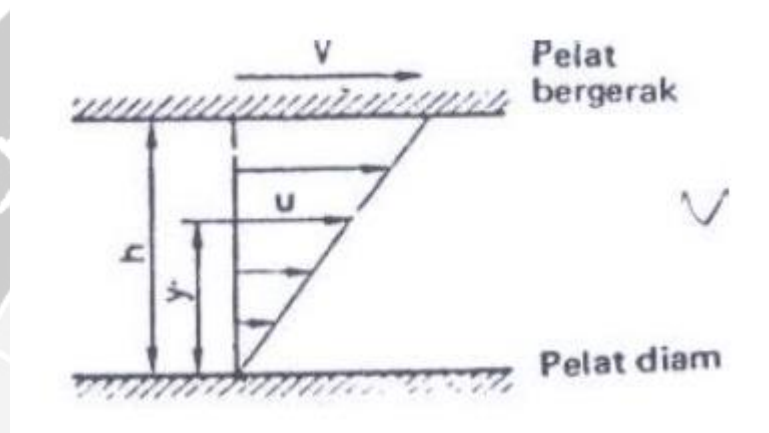
Komponen hambatan kapal dari total hambatan dapat diuraikan sebagai berikut :

2.2.2.1. Hambatan Gesek

Hambatan gesek adalah komponen hambatan yang diperoleh dengan cara mengintergralkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal (Harvald, 1983). Bagi suatu benda yang bergerak di dalam fluida, adanya viskositas akan menimbulkan gesekan. Penting tidaknya gesekan dalam situasi fisik ini tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya. Daerah fluida yang dekat dengan benda padat didefinisikan sebagai lapisan batas (*boundary layer*). Di dalam daerah ini gradien melintang kecepatannya sangat besar dibandingkan dengan variasi longitudinalnya, dan tegangan gesernya mempunyai makna yang sangat penting. Koefisien hambatan gesek C_F biasanya diperoleh melalui percobaan di tangki uji (*towing tank*), sehingga diperlukan suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya. Besar hambatan gesek pada dasarnya tergantung pada luas permukaan basah lambung kapal, tingkat kekasaran permukaan dan bilangan *Reynolds*, dimana bilangan ini dinyatakan dengan persamaan 2.3.

$$R_e = \frac{V L}{\nu} \quad (2.3)$$

Fluida yang berada di antara dua buah pelat sejajar dengan salah satu pelat bergerak sementara jarak (h) diantaranya konstan akan mempunyai profil kecepatan yang linier jika sepanjang pelat tersebut tidak ada gradien tekanan dalam arah gerakan kapal tersebut.



Gambar 2. 9. Aliran pada Dua Buah Plat

(Sumber: <http://www.maritimeworld.web.id/2011/05/hambatan-dan-propulsi-kapal.html>)

Penyelidikan menunjukkan bahwa fluida melekat pada kedua pelat tersebut dan antara fluida dan kedua pelat tersebut tidak terjadi slip. Fluida tersebut didesak sedemikian rupa sehingga berbagai lapisan fluida dapat saling bergeser secara seragam. Kecepatan lapisan yang berjarak (y) dari pelat yang diam dapat dinyatakan sebagai :

$$U = \frac{y}{h} V \quad (2.4)$$

Untuk mempertahankan gerakan, harus ada gaya yang bekerja pada pelat yang bergerak. Percobaan menunjukkan bahwa gaya (F) tersebut berbanding lurus dengan luas pelat (s) dan berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat (h). Ini dapat ditulis sebagai :

μ adalah koefisien viskositas dinamis. Gaya (F) secara numerik sama dengan hambatan yang dihasilkan oleh perpindahan pelat dan dapat dijelaskan dengan menganggap bahwa diseluruh fluida yang bergerak terdapat tegangan tangensial yang melawan perubahan bentuk yang terjadi. Dengan meninjau elemen kecil pada fluida yang sedang dalam keadaan bergeseran dengan lainnya maka dapat dituliskan:

$$\tau = \mu \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.5)$$

τ adalah tegangan geser dan adalah laju perubahan kecepatan sebagai fungsi dari jarak y . Hambatan gesek dipengaruhi oleh kecepatan benda (V), luas permukaan basah (S), dan massa jenis fluida (ρ). Dengan rumus :

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot C_F \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \quad (2.6)$$

Dengan C_F adalah hambatan gesek spesifik atau koefisien gesek

2.2.2.2. Koefisien Gesek

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai koefisien gesek yaitu sifat aliran, angka Reynolds, bentuk permukaan, sifat dan keadaan permukaan. Selanjutnya koefisien gesek didefinisikan sebagai :

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \quad (2.7)$$

William Froude melakukan percobaan dengan menggunakan sejumlah papan untuk diuji tarik di kolam dengan kecepatan berbeda-beda dan dilapisi dengan berbagai bahan. Hasil percobaan tersebut hambatan gesek permukaan bidang dinyatakan dalam rumus :

$$R_F = f \cdot S \cdot V^n \quad (2.8)$$

Keterangan

f : Koefisien gesek papan

S : Luas total permukaan

V : Kecepatan papan

n : Indeks yang merupakan pangkat kenaikan

Selanjutnya rumus tersebut dilengkapi oleh R.E Froude menjadi :

$$R_F = f \cdot S \cdot V^{1,825} \quad (2.9)$$

Setelah beberapa percobaan R.E Froude juga menyatakan bahwa permukaan yang dipernis dan mulus mempunyai kualitas gesekan yang sama. Rumus hambatan gesek tersebut kemudian dinyatakan dalam kilogram (gaya) sebagai:

$$R_F = \frac{\gamma \cdot \lambda}{1000} S \cdot V^{1,825} \quad (2.10)$$

Keterangan

γ : Berat jenis dalam kg/m

λ : Koefisien tahanan gesek

S : Luas permukaan basah

V : Kecepatan dalam m/detik

Le Besnaris menyatakan koefisien menyatakan koefisien gesekan pada suhu 15°C dalam rumus sebagai berikut :

$$\lambda = 0,1392 + \frac{0,258}{2,68 + L} \quad (2.11)$$

L adalah panjang model atau kapal dalam meter. Jika koefisien gesekan tersebut dipakai untuk suhu selain 15°C maka koreksi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\lambda_t = \lambda(1 + 0,0043\Delta t) \quad (2.12)$$

$$\Delta t = 15^{\circ}\text{C} - t \quad \text{Harga ini negatif jika } t < 15^{\circ}\text{C} \quad (2.13)$$

Hasil penggabungan persamaan (2.8) dengan (2.14) persamaan menghasilkan hubungan sebagai berikut :

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} = \frac{\left(\frac{y g \lambda}{1000}\right) \cdot S \cdot V^{1,825}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \quad (2.14)$$

$$C_F = 2 \times 10^{-3} \lambda \cdot g \cdot V^{-0,175} \quad (2.15)$$

g adalah percepatan gravitasi, harga ini harus diikuti dalam rumus tersebut sesuai definisi λ dan satuan yang dipakai.

Tangki percobaan di seluruh dunia telah memikirkan untuk membuat suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya. Banyak usulan yang dipelajari oleh The International Towing Tank Conference (ITTC) dan tahun 1957 memberikan persetujuan pada rumus berikut ini :

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2} \quad (2.16)$$

2.2.2.3. Hambatan Sisa

Bagian terbesar dari hambatan sisa adalah komponen hambatan gelombang (Harvald, 1983). Unsur lainnya adalah hambatan tekanan dan hambatan gesek tambahan sebagai akibat bentuk benda yang tiga dimensi. Dari kegiatan praktis di laboratorium, hambatan sisa adalah kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek.

2.2.2.4. Hambatan Viskos

Hambatan Viskos adalah penjumlahan dari beberapa komponen hambatan yakni hambatan bentuk (*viscous form resistance*), hambatan gesek lambung kapal (*naked hull skin friction*) dan hambatan lambung kapal (*appendage skin friction*).

Hambatan bentuk adalah integral dari gaya normal yang bekerja pada lambung, dimana besar hambatannya tergantung bentuk lambung dibawah permukaan air.

2.2.2.5. Hambatan Gelombang

Hambatan gelombang adalah komponen hambatan yang berkaitan dengan penggunaan energi untuk pembentukan gelombang gravitasi atau bekerjanya gaya normal fluida pada seluruh badan kapal. Komponen ini dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu hambatan pola gelombang (R_{WP}) dan hambatan gelombang pecah (R_{WH}) (Hogben dkk, 1975). Pada umumnya, yang diartikan sebagai hambatan gelombang adalah dengan mengabaikan hambatan gelombang pecah karena besarnya relatif kecil dan terjadi pada kecepatan tinggi (*high speed condition*). Hambatan gelombang terjadi disebabkan oleh tekanan fluida yang bekerja dalam arah normal terhadap lambung kapal.

2.2.3. Bilangan Reynolds

Bilangan reynolds merupakan paramater yang dapat menentukan suatu aliran itu laminar atau turbulen. Bilangan reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos di dalam fluida.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \quad (2.17)$$

$$Re = \frac{V \cdot L}{\theta} \quad (2.18)$$

Keterangan

- Re : Bilangan Reynolds
- V : Kecepatan Kapal (m/s)
- L : Panjang kapal (m)
- Θ : Viskositas kinematik (m²/s)

Re adalah Reynold's number dengan menggunakan referensi panjang garis air.

2.2.4. Bilangan Froude

Hambatan menurut Froude merupakan fungsi dari bentuk, kecepatan dan viskositas. Untuk menyatakan besarnya hambatan gesek maka berhubungan

dengan viskositas dan bilangan reynoldnya. Sedangkan untuk menyatakan besarnya gelombang yang terbentuk berhubungan dengan gaya gravitasi yang terjadi akibat dari bentuk lambung kapal. Maka untuk menyatakan besarnya hambatan bentuk atau hambatan sisa dapat menggunakan Froude's Number (Fn)

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (2.19)$$

Fn dipengaruhi oleh kecepatan (v), gaya gravitasi (g) dan panjang garis air kapal (Lwl).

2.3. Metode Perhitungan Hambatan Kapal

Hambatan KLMP diasumsikan sebagai penjumlahan hambatan gesek dan hambatan sisa yang didapat dengan perubahan bentuk *keel* dan *chine* pada lambung kapal. Metode yang digunakan pada pengujian lambung kapal yaitu dengan mengestimasi hambatan dengan dua formula. Kedua formula tersebut sama-sama untuk mendapatkan hambatan total kapal, namun terdapat perbedaan yang akan dibahas sebagai berikut :

2.3.1 Hambatan Kapal Menurut Delft Series (98)

Delft Series (98) menyajikan hambatan sisa dari lambung kapal pada termasuk pada bagian lunas kapal dan bagian kemudi kapal. Sehingga hambatan total dari Delft Series (98) tidak hanya sebatas lambung kapal polos. Selain itu Delft Series (98) juga meningkatkan kemungkinan untuk memprediksi kecepatan di nomor Froude yang lebih tinggi. Kelebihan lain mengenai hasil penerapan Delft Series (98) pada jangkauan yang lebih luas dari desain kapal adalah kemampuan untuk memperhitungkan efek dari buritan kapal yang overhang.

Rumus yang digunakan untuk hambatan sisa hanya pada lambung kapal :

$$\frac{Rrh}{\nabla c \cdot \rho \cdot g} = a_0 + \left(\begin{array}{l} a_1 \cdot \frac{LCB_{fpp}}{LWL} + a_2 \cdot Cp + \\ a_3 \cdot \frac{\nabla c^{2/3}}{Aw} + a_4 \cdot \frac{Bwl}{Lwl} + \\ a_5 \cdot \frac{LCB_{fpp}}{LCF_{fpp}} + a_6 \cdot \frac{Bwl}{Tc} + \\ a_7 \cdot Cm \end{array} \right) \cdot \frac{\nabla c^{1/3}}{Lwl} \quad (2.20)$$

Keterangan

Rrh	: Residual resistance of the bare hull	N
∇c	: Volume of displacement of canoe body	m ³
ρ	: Density of water	kg/m ³
g	: Gravitational acceleration	m/s ²
Lwl	: Length of waterline	m
Bwl	: Beam of waterline	m
Tc	: Draft of canoe body	m
LCB _{fpp}	: Longitudinal position centre of bouyancy to forward perpendicular	m
LCF _{fpp}	: Longitudinal position centre of flotation to forward perpendicular	m
Cp	: Prismatic Coefficient	-
Aw	: Waterplane area at zero speed	m ²
Cm	: Midship section coefficient	-

Di mana koefisien telah ditentukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil yang disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Koefisien Untuk Polinomial Pada Hambatan Sisa Hanya dari Lambung Kapal

Fn	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
a_0	-0,0005	-0,0003	-0,0002	-0,0009	-0,0026	-0,0064	-0,0218
a_1	0,0023	0,0059	-0,0156	0,0016	-0,0567	-0,4034	-0,5261
a_2	-0,0086	-0,0064	0,0031	0,0337	0,0446	-0,1250	-0,2945
a_3	-0,0015	0,0070	-0,0021	-0,0285	-0,1091	0,0273	0,2485
a_4	0,0061	0,0014	-0,0070	-0,0367	-0,0707	-0,1341	-0,2428
a_5	0,0010	0,0013	0,0148	0,0218	0,0914	0,3578	0,6293
a_6	0,0001	0,0005	0,0010	0,0015	0,0021	0,0045	0,0081
a_7	0,0052	-0,0020	-0,0043	-0,0172	-0,0078	0,1115	0,2086

Tabel 2.2. Lanjutan

F_n	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
a_0	-0,0388	-0,0347	-0,0361	0,0008	0,0108	0,1023
a_1	-0,5986	-0,4764	0,0037	0,3728	-0,1238	0,7726
a_2	-0,3038	-0,2361	-0,2960	-0,3667	-0,2026	0,5040
a_3	0,6033	0,8726	0,9661	1,3957	1,1282	1,7867
a_4	-0,0430	0,4219	0,6123	1,0343	1,1836	2,1934
a_5	0,8332	0,8990	0,7534	0,3230	0,4973	-1,5479
a_6	0,0106	0,0096	0,0100	0,0072	0,0038	-0,0115
a_7	0,1336	-0,2272	-0,3352	-0,4632	-0,4477	-0,0977

2.3.2. Hambatan Kapal Menurut John Winter

John Winter mengungkapkan bahwa lambung kapal memecah alur air menjadi dua pola gelombang. Pertama gelombang divergen, dimana hembusan air keluar dari haluan dan buritan dengan signifikansi yang kecil. Yang kedua gelombang transversal, yang terbentuk pada busur dan buritan kapal tetapi puncak mereka terletak pada tepat di sudut ke arah tujuan kapal melaju. Gelombang ini merupakan bukti nyata adanya energi yang hilang pada tekanan air yg keluar dari busur kapal dan penghisapan tekanan air pada buritan kapal yang mengembalikan ke alur air semula. Panjangnya gelombang ini (dari puncak ke puncak) sama dengan panjang alami gelombang hasil laju kapal pada kecepatan yang sama seperti yang ada pada lambung kapal. Kecepatan gelombang dalam knot sama dengan $1,34 \times L^{1/2}$ in feet. Pada teorinya efek dari lebar kapal pada pembuatan gelombang air terjadi jika di kuadratkan dengan panjang kapal ($Rr = B^2L$). Ini belum pasti, tapi sudah mendekati dari hasil eksperimen.