

Analisa Komparatif Pengaruh Pertambahan Panjang dan Lebar Kapal Terhadap *Lightweight*

Comparative Impact Analysis of Increasing Ship's Length and Breadth Toward Lightweight

Soegeng Hardjono*

Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung Teknologi 2, Lt 3, PUSPITEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314
E-mail: *soegenghardjono@yahoo.com

Diterima : 4 April 2017, revisi 1: 6 April 2017, revisi 2: 5 Mei 2017, disetujui: 17 Mei 2017

ABSTRACT

Determination of ship's main dimensions, especially ship's length (L) and breadth (B) at preliminary design stage has a significant influence on the LWT value change, production cost, and ship price. This condition can often be a serious discussion between the owner and designer. To find out how much the LWT value changes that occur in line with the ship's length and breadth changes, it necessary to perform research on the changing of the LWT value. Due to the changing of the ship's length and breadth for the ship's length (L)<100m using transverse framing system and ship's length (L)>100m using longitudinal framing system by utilizing statistical analysis method through regression formula. The analysis result shows that the increasing Lwt value due to the growing ship's breadth (B) is higher rather than the rising ship's length (L) which is about 30% compared to 12% for ship's length (L)<100m and 21% compared to 17% for ship's length (L)>100m. The significant difference of Lwt values between 30% and 21% is a result of implementing transverse framing system at the ship with length (L)<100m having heavier structural weight compared to the implementing longitudinal framing system for the same ship's length.

Keywords : *Ship dimension, regresion formula, lightweight, transverse framing system, longitudinal framing system.*

ABSTRAK

Penentuan ukuran utama kapal khususnya dimensi panjang (L) dan lebar (B) kapal pada tahap *preliminary design* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai Lwt, biaya produksi dan harga kapal. Hal ini kerap menjadi bahan diskusi serius antara *owner* dan *designer*. Untuk mengetahui seberapa besar perubahan Lwt yang terjadi akibat perubahan panjang dan lebar kapal, maka perlu dilakukan penelitian terhadap berat Lwt akibat perubahan panjang dan lebar kapal untuk kapal dengan panjang (L)<100m menggunakan sistem konstruksi melintang dan kapal (L)>100 m dengan sistem konstruksi memanjang dengan metode analisa statistik melalui formula regresi. Hasil analisa menunjukkan bahwa pertambahan Lwt akibat pertambahan dimensi lebar kapal (B) per meter lebih besar bila dibandingkan pertambahan Lwt akibat pertambahan dimensi panjang kapal (L) yaitu 30% berbanding 12% untuk kapal dengan (L)<100m dan 21% berbanding 18% untuk kapal dengan (L)>100m. Pertambahan Lwt 30% lebih besar dari 21% disebabkan kapal dengan (L)<100m menggunakan konstruksi sistem melintang yang mempunyai berat struktur lebih besar untuk panjang kapal yang sama.

Kata kunci : Dimensi kapal, formula regresi, *lightweight*, sistem konstruksi melintang, sistem konstruksi memanjang.

Pendahuluan

Penentuan besarnya dimensi utama kapal ditahap *preliminary design* memerlukan pertimbangan yang matang baik dari sisi teknis khususnya terhadap pengaruh kekuatan dan tahanan kapal (*ship strength* dan *resistance*) maupun sisi ekonomis terhadap biaya pembangunan dan pengoperasian kapal (*building and operational cost*). Meskipun ada derajat kebebasan dalam penentuan dimensi kapal baik panjang (L), lebar (B), sarat kapal (T) dan dimensi yang lain, namun masih harus tetap berada dalam batas proposi tertentu setiap jenis kapal yang diatur dalam batasan dimensi rasio L/B, B/T, H/T, dst. Dari pengalaman dilapangan antara *designer* dan *ship owner* sering dihadapkan pada permasalahan penentuan dimensi panjang (L) dan lebar (B) kapal yang optimal untuk suatu kapasitas muat tertentu (Dwt) yang berpengaruh langsung terhadap berat kapal kosong atau *lightweight* (Lwt). *Lightweight* (Lwt) merupakan berat gabungan dari tiga komponen meliputi berat struktur baja lambung kapal, berat baja *Out fit* (fondasi mesin, tiang mast, tangga, dsb (Ws), berat perlengkapan (mesin geladak/*winch*), dsb (W_E), dan semua berat permesinan yang ada diruang mesin (W_M) sehingga formulasi $Lwt = WS + WE + WM$. Sedangkan *displacement* merupakan berat gabungan antara *Lightweight* (Lwt) dan *Deadweight* (Dwt). Dwt sendiri merupakan berat gabungan antara berat muatan sendiri (*cargo deadweight*) dan berat semua material yang bisa habis terpakai seperti bahan bakar, air tawar, air *ballast* dsb (*ship's own deadweight*) Manuel Ventura (2009) [1].

Berat Lwt pada dua buah kapal bisa berbeda untuk panjang kapal berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan sistem konstruksi yang digunakan, apakah dengan menggunakan sistem konstruksi melintang atau sistem konstruksi memanjang. Umumnya kapal dengan panjang 100 m ke atas menggunakan sistem konstruksi memanjang (*longitudinal framing system*) dan dibawah 100 m menggunakan sistem konstruksi melintang (*transverse framing system*). Sistem konstruksi kapal merupakan pola penguatan konstruksi kapal (*framing systems*) tergantung dari misi yang diemban oleh kapal itu sendiri. Tidak ada *framing systems* yang sempurna disetiap kapal, namun suatu pola *framing system* merupakan hasil optimalisasi

dari *ship structural designer* tentang perencanaan kekuatan struktur untuk mengatasi beban internal maupun eksternal seperti beban muatan maupun gelombang, cuaca dan sebagainya. Disamping itu ada pula sistem konstruksi kombinasi (*combination/ mixed framing system*). Sistem kombinasi ini digunakan pada situasi tertentu bila menguntungkan dari segi teknis dan ekonomis seperti misal didaerah ruas tengah badan kapal (*parallel middle body*) yang sering menggunakan sistem konstruksi memanjang sedangkan bagian ujung belakang dan depan kapal (*aft and fore end parts*) menggunakan konstruksi melintang dengan alasan bahwa dibagian ujung-ujung kapal beban momen lengkung sudah mengecil serta mempermudah proses pengerjaan untuk bentuk permukaan lambung yang umumnya lebih kompleks terlebih dilengkapi dengan *bulbous bow*. Pada umumnya sistem kombinasi diaplikasikan pada bagian struktur tengah kapal dimana pada bagian alas dan geladak menggunakan sistem memanjang sedangkan bagian sisi lambung kapal menggunakan sistem melintang. Pada dasarnya pemilihan bentuk sistem konstruksi ditentukan oleh ukuran panjang kapal karena berhubungan dengan kekuatan memanjang serta dasar-dasar pertimbangan lainnya seperti fungsi dan misi kapal. Ukuran setiap elemen struktur kekuatan kapal sebanding dengan ukuran dimensi utama kapal seperti diatur dan telah ditentukan dalam peraturan klasifikasi. Ukuran panjang kapal dan sistem konstruksi telah diatur dalam peraturan klasifikasi kapal. Di Negara Inggris peraturan ini termuat dalam Rule LR (*Lloyd's Register*) yaitu *Rules and Regulations for The Classification of Ships, Part4, Ch.1* (2016) [2], dimana ukuran setiap elemen konstruksi baik sistem *Longitudinal framing* maupun *Transverse framing* ditentukan berdasarkan ukuran panjang kapal yaitu kapal dengan panjang dibawah 295 *feets* ($L < 90$ m) dan panjang diatas 295 *feets* ($L \geq 90$ m). Di Negara Amerika peraturan klasifikasi ini ditetapkan dalam Rule ABS (*American Bureau of Shipping*) *Rules For Building And Classing Steel Vessels, "Hull Construction and Equipment", Pt3, Ch2* (2016) [3]. Menurut ABS, penentuan ukuran setiap elemen konstruksi kapal berdasarkan ukuran panjang kapal yaitu kapal dengan panjang dibawah 295 *feets* ($L < 90$ m) dan panjang diatas 295 *feets* ($L \geq 90$ m). Badan klasifikasi yang lain adalah DNV-GL

Rules For Classification of Ships, "Hull Structural Design" Pt3, Ch1&Ch2 (2013)^[4] adalah gabungan dari dua badan klasifikasi dua negara yaitu DNV (*Det Norske Veritas*)-Norwegia dan GL (*Germanischer Lloyd*)- German telah menetapkan ukuran elemen konstruksi kapal berdasarkan panjang kapal yang terbagi dalam dua kelas yaitu kapal dengan panjang dibawah 100 m ($L < 100$ m) dan panjang diatas 100 m ($L \geq 100$ m).

Untuk dapat memberikan informasi baik kepada *designer* maupun *ship owner*, maka perlu dilakukan penelitian melalui analisa komparatif pengaruh pertambahan setiap meter dimensi panjang (L) dan lebar (B) terhadap pertambahan Lwt maupun Dwt kapal dengan sistem konstruksi melintang maupun memanjang. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi informasi yang bermanfaat bagi *designer* maupun *ship owner* untuk mengetahui seberapa besar perbedaan pertambahan berat Lwt maupun Dwt kapal yang nantinya akan berpengaruh pada besarnya biaya pembangunan kapal sebagai konsekuensi dari berat material dan waktu penyelesaian pembangunan. Walaupun demikian penelitian ini hanya dibatasi pada masalah teknis saja yaitu pengaruh pertambahan dimensi panjang (L) dan lebar (B) kapal terhadap berat Lwt dan Dwt baik untuk kapal dengan sistem konstruksi memanjang (*longitudinal framing system*) maupun melintang (*transverse framing system*).

Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi metode pengumpulan data, pengolahan dan analisa data. Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur untuk memperoleh data informasi tentang tipe sistem konstruksi kapal baik kelebihan maupun kekurangan pada masing-masing tipe. Disamping itu dibutuhkan data tentang spesifikasi teknis kapal yang mempunyai panjang dibawah 100 m ($L < 100$ m) khususnya tipe kapal *general cargo* dan spesifikasi teknis kapal dengan panjang diatas 100 m ($L > 100$ m) khususnya tipe kapal kontainer diperoleh melalui kunjungan ke instansi terkait antara lain Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Sedangkan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode statistik melalui *plotting* hubungan antara lebar (B) dan panjang kapal (L) terhadap *Displacement*, *Deadweight*, dan *Lightweight* kapal.

Sedangkan analisa data menggunakan penarikan formula regresi dalam bentuk persamaan eksponensial dari data kapal meliputi persamaan *Displacement*, *Dwt* dan *Lwt* fungsi dari panjang dan lebar kapal, baik untuk tipe kapal *general cargo* dengan konstruksi melintang dan tipe kapal Kontainer dengan menggunakan sistem konstruksi memanjang. Hasil analisa diharapkan dapat mengidentifikasi perbedaan berat *Lwt* dan *Dwt* kapal untuk setiap pertambahan dimensi panjang dan lebar kapal per satuan meter antara kapal dengan konstruksi memanjang dan melintang.

Analisis dan Pembahasan

A. Data Kapal Dengan Panjang (L)<100 m

Berdasarkan hasil survey pengumpulan data, diperoleh data 25 kapal tipe *general cargo* dengan panjang $L < 100$ m terdiri dari data *Displacement*, *Dwt* dan *Lwt* dari buku register kapal (*Register of Ship*) dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) dapat di tabulasikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Dwt & Lwt Kapal *General Cargo* ($L < 100$ m)

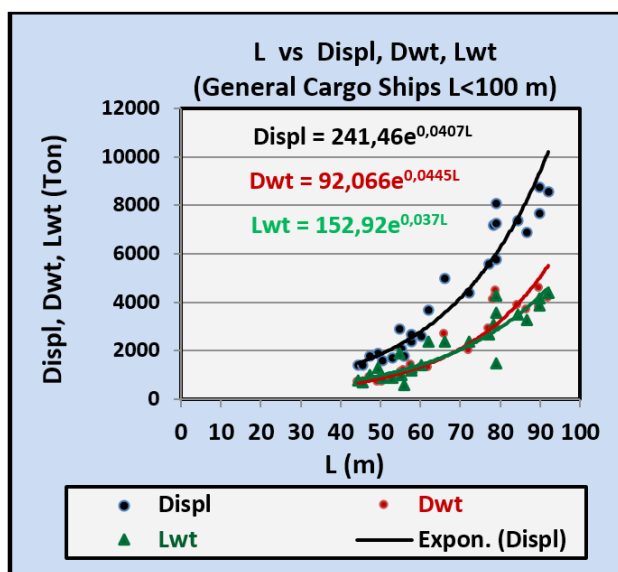
No	L	B	Dwt	Lwt
1	49,43	8,14	640	7039
2	49,20	8,80	670	5554
3	52,98	9,00	680	9706
4	54,50	9,20	700	8034
5	47,24	9,00	862	9089
6	59,45	10,40	1100	11676
7	53,18	9,30	800	8150
8	54,86	10,00	1016	16326
9	56,00	9,80	1164	6746
10	58,00	10,00	1249	9397
11	58,00	10,20	1376	11981
12	60,00	10,00	1228	10534
13	61,99	11,00	1306	21987
14	65,96	12,00	2660	33941
15	72,00	12,50	2013	28789
16	78,20	14,40	4048	46761
17	77,00	12,82	2850	32231
18	78,60	15,00	4314	39771
19	78,60	15,00	3021	52361
20	79,05	14,80	4499	58171
21	84,03	14,80	3900	47408

No	L	B	Dwt	Lwt
22	87,00	15,50	3675	46776
23	89,95	17,20	4584	63884
24	89,50	15,00	3748	55058
25	92,00	16,50	4180	62570

Sumber : *Register of Ships*, BKI 2014^[6]

1. Pengaruh Pertambahan L terhadap berat Lwt dan Dwt Kapal (L<100 m.)

Dengan melakukan langkah *plotting* data dari dimensi panjang kapal (L) terhadap Lwt dan Dwt ke dalam kurva statistik (Gambar 1),



Gambar 1. Grafik L vs Displ, Dwt & Lwt

maka dapat dilakukan identifikasi kurva pertambahan berat per meter panjang kapal (L) terhadap berat Lwt, Dwt dan *Displacement*.

Terlihat bahwa perilaku kurva ketiga unsur tersebut (Displ, Dwt & Lwt) menggambarkan pengaruh yang *significant* atas pertambahan setiap meter panjang L terhadap Displ, Dwt, dan lwt dengan membentuk persamaan eksponensial sebagai berikut:

- (a). Displ. = $579,4.e^{0,0542.L}$
- (b). Lwt = $506,93.e^{0,0549.L}$
- (c). Dwt = $75,864.e^{0,0468.L}$

Untuk mengetahui berapa besar prosentase pertambahan berat khususnya Lwt dan Dwt akibat pertambahan per meter panjang L kapal. Maka langkah yang dilakukan adalah mengambil

5 (satu) sampel ukuran kapal dari 25 sampel kapal yang tersedia seperti terlihat dalam Tabel 2 yang memuat hasil perhitungan pertambahan nilai Lwt dan Dwt untuk setiap pertambahan 1 meter L dengan menggunakan formula regresi dalam bentuk persamaan Exponensial (b) dan (c). Dengan menambahkan nilai 1 pada nilai absis pada exponen formula semula, maka formula (b) dan (c) menjadi:

- (b). $Lwt_2 = 506,93.e^{0,0549.(L+1)}$ dan
- (c). $Dwt_2 = 75,864.e^{0,0468.(L+1)}$

dimana $\Delta Lwt(\%)$ dan $\Delta Dwt(\%)$ merupakan nilai pertambahan Lwt dan Dwt dalam prosentase (%) dimana:

$$\Delta Lwt(\%) = ((Lwt_2 - Lwt) / Lwt) \times 100\%$$

$$\Delta Dwt(\%) = ((Dwt_2 - Dwt) / Dwt) \times 100\%$$

Lwt dan Dwt adalah berat Lwt dan Dwt awal.

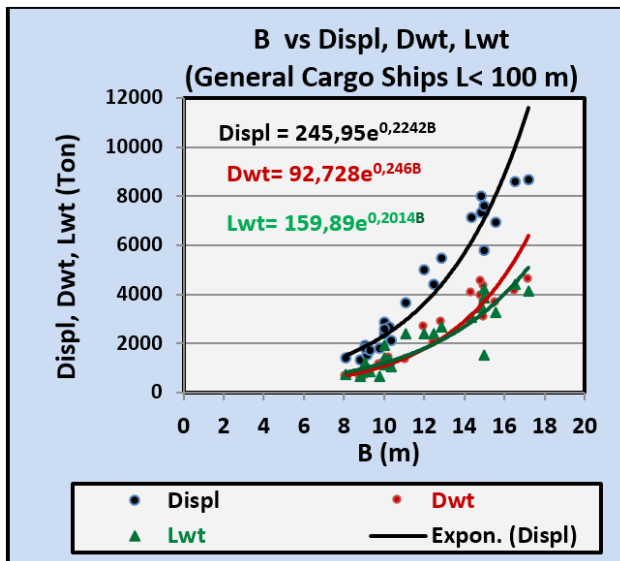
Tabel 2. Pertambahan L terhadap Lwt & Dwt (%) Kpl. General Cargo (L<100 m.)

No	L	Lwt	Dwt	$\Delta Lwt\%$	$\Delta Dwt\%$
1	44,35	766	640	6,8	8,2
2	50,30	865	700	17,9	28,9
3	84,03	3430	3900	3,6	3,8
4	87,00	3236	3675	22,5	25,7
5	92,00	4378	4180	9,0	38,1
Nilai rata				12,0	20,9

Dari Tabel 2. nampak bahwa pertambahan berat Lwt kapal akibat pertambahan panjang L per meter lebih kecil dari pertambahan berat Dwt. Hal ini dapat diartikan bahwa kapal *general cargo* dibawah panjang L 100 m akan lebih diuntungkan untuk menambah berat muatan barang yang diangkut (Dwt) yaitu sekitar 21% dari Dwt semula sementara penambahan berat Lwt 12% dari Lwt semula.

2. Pengaruh Pertambahan lebar B terhadap berat Lwt dan Dwt kapal (L<100 m.)

Dengan melakukan langkah *plotting* data dari dimensi lebar kapal (B) terhadap Lwt dan Dwt kedalam kurva statistik, maka dapat dilakukan identifikasi kurva pertambahan berat per meter lebar kapal (B) terhadap berat Lwt, Dwt dan *Displacement* (gambar 2).



Gambar 2. Grafik B vs Displ, Dwt & Lwt

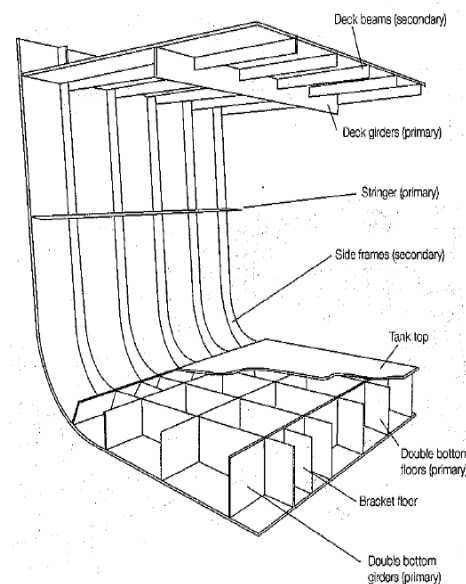
Tabel 3. Pertambahan B terhadap Lwt & Dwt (%) Kpl. General Cargo (L<100 m.)

No	B	Lwt	Dwt	Δ Lwt %	Δ Dwt %
1	8,14	766	640	31,5	37,2
2	9,20	865	700	44,1	62,8
3	14,80	3430	3900	12,3	15,9
4	15,50	3236	3675	37,0	46,1
5	16,50	4378	4180	23,9	64,2
Nilai rata				29,8	45,2

Dari Tabel 3. nampak pula bahwa pertambahan berat Lwt kapal lebih kecil dari pertambahan berat Dwt akibat pertambahan lebar kapal B per meter. Hal ini dapat diartikan bahwa kapal *General Cargo* dengan panjang $L < 100$ m akan lebih diuntungkan untuk menambah berat muatan barang yang diangkut (Dwt) yaitu sekitar 45% dari Dwt semula sedangkan penambahan berat Lwt 30% dari Lwt semula.

Kedua fenomena diatas, menunjukkan bahwa nilai pertambahan berat Dwt kapal *General Cargo* < 100 m selalu lebih besar dari nilai pertambahan Lwt akibat pertambahan L maupun B. Hal ini disebabkan oleh sistem konstruksi yang digunakan yaitu sistem konstruksi melintang bagi umumnya kapal dengan panjang dibawah 100m ($L < 100$ m). Dalam sistem konstruksi melintang, elemen-elemen konstruksi yang dipasang membujur jauh lebih sedikit jumlahnya dari pada elemen-elemen konstruksi yang merupakan bagian dari penguatan melintang. Sistem konstruksi melintang mempunyai peran

menahan beban khususnya beban hidrostatik yaitu beban yang bekerja dan diterima oleh konstruksi pelat kulit dan didistribusikan ke konstruksi hubungan kaku balok – balok yang terletak melintang kapal. Sistem konstruksi ini umumnya digunakan pada kapal berukuran kecil dengan $L < 100$ m dengan bentuk badan kapal (*hullform*) cenderung lebih kompleks dengan panjang *parallel middle body* relatif pendek. Komponen – komponen yang mendukung sistem konstruksi melintang ini meliputi *side frame* (gading), *side girder*, *floor*, *deck beam* dan *platings* yang berperan untuk menahan beban khususnya beban hidrostatik (gambar 3).



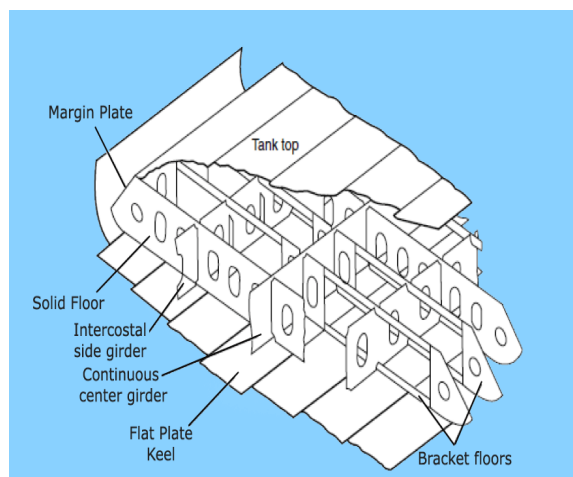
Sumber : Arnott.D, SNAME (2008) [5].

Gambar 3. Transverse Framing System

Dimana *double bottom floors* (wrangs), *side frames* dan *deck beams* membentuk konstruksi *ring* atau cincin yang ditempatkan saling berdekatan sesuai jarak antar *frame*. Dalam sistem ini, *side frame* atau gading-gading dipasang vertikal mengikuti bentuk *body plan* dengan jarak satu sama lainnya ke arah memanjang kapal sekitar antara 600 mm – 900 mm tergantung panjang kapal. Sedangkan pada geladak lainnya dipasang balok-balok kekuatan dan geladak (*deck beam*) dengan jarak sama dengan jarak gading-gading. Alas dipasang *wrang-wrang* sesuai dengan jarak gading-gading, sehingga *wrang*, gading-gading dan balok geladak membentuk sebuah rangkaian yang saling berhubungan seperti cincin (*frame ring*)

sepanjang kapal. Posisi *frame ring* pada tempat yang sama dapat digantikan oleh sekat melintang atau rangkaian gading-gading besar (*web frame*) yang mempunyai bilah (*web*) jauh lebih besar dibandingkan bilah gading-gading utama. Gading-gading besar ini dihubungkan ujung-ujungnya dengan balok geladak (*web beam*). Gading-gading besar ini umumnya hanya ditempatkan pada ruangan-ruangan tertentu misalnya kamar mesin atau dalam ruang muat untuk tambahan penguatan melintang bila diperlukan dengan jarak antara umumnya sekitar 3 – 5 m. Sedangkan elemen-elemen yang dipasang membujur dalam sistem melintang ini meliputi tiga bidang antara lain pada bidang alas, sisi, dan geladak kapal.

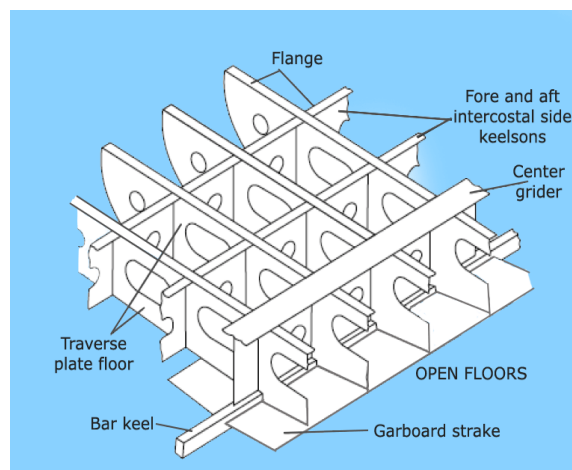
Pada bidang alas terdiri dari elemen penumpu tengah (*center girder*) dan penumpu samping (*side girder*). Penumpu tengah (*center girder*) adalah pelat yang dipasang vertikal memanjang kapal tepat pada bidang paruh (*centerline*). Dalam alas ganda (*double bottom*) tinggi penumpu tengah ini merupakan tinggi alas ganda (gambar 4). Dalam alas tunggal (gambar 5) (*single bottom*) penumpu alas ini dinamakan juga “*keelson*” (alas dalam). Penumpu alas ini memotong *wrang-wrang* tepat pada bidang paruh.



Sumber : Soumya Chakraborty, (2008) ^[6].

Gambar 4. Double Bottom (*transversely framed*)

Penumpu samping (*side girder*, atau *side keelson*) juga merupakan pelat vertikal yang dipasang membujur pada alas.



Sumber : Soumya Chakraborty, (2008) ^[6]

Gambar 5. Single Bottom (*transversely framed*)

Penumpu (gambar 5) dipasang di sebelah penumpu tengah dengan jarak satu sama lain dibatasi maksimum sekitar 1,8 m – 3,5 m. Pada bidang sisi terdiri dari elemen pembujur sisi (*side stringer*). Pembujur sisi pada umumnya dipasang pada tempat-tempat tertentu seperti ruang ceruk dan kamar mesin dan dalam ruang muat tergantung kebutuhan. Jarak antara pembujur sisi diatur dalam *classification rules*. Seperti misal pada dalam kamar mesin dan ceruk-ceruk dibatasi minimum 2,6 m (Biro Klasifikasi Indonesia, 2014) [7].

Pada geladak terdiri dari elemen penumpu geladak (*deck girder* atau *carling*). Untuk kapal barang dengan satu buah lubang palkah pada tiap ruang muat pada geladak yang bersangkutan, dapat dipasang 1-3 buah penumpu geladak, tergantung lebarnya. Penumpu geladak di pasang tepat pada bidang paruh dan/atau menerus dengan penumpu bujur lubang palkah (*hatchside girder*), yaitu penumpu-penumpu yang tepat berada di bawah ambang palkah yang membujur.

B. Data Kapal dengan Panjang (L) >100 m

Berdasarkan hasil survei pengumpulan data, diperoleh data 30 kapal tipe Kapal Kontainer dengan panjang $L > 100$ m dari beberapa sumber baik dari *Register of ship* - BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) maupun dari sumber lain melalui *website shipping on line* terdiri dari data *Displacement*, *Dwt* dan *Lwt* seperti terlihat pada Tabel 4.

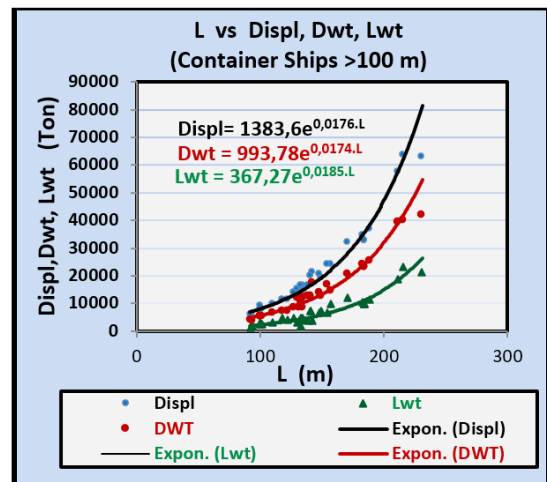
Tabel 4. Data Lwt & Dwt Kapal Kontainer (L>100 m)

No.	L	B	Lwt	DWT
1	133,39	15,90	1775	8860
2	100,59	16,20	2348	5292
3	109,57	17,80	2916	6576
4	100,93	18,00	2615	5480
5	121,94	18,60	4397	7233
6	100,58	18,80	3318	5575
7	131,55	18,80	3332	8737
8	129,60	18,90	2800	12150
9	117,92	19,40	4676	7054
10	133,58	19,40	4780	8691
11	134,15	20,40	4131	11934
12	134,15	20,40	4263	11957
13	126,63	20,50	5095	8675
14	138,07	21,00	3661	12.744
15	142,81	21,50	3504	17538
16	149,63	22,30	6992	12525
17	132,80	22,70	5140	11.064
18	140,42	23,08	7329	12612
19	140,55	23,08	7348	12612
20	148,00	223,25	6828	13858
21	157,12	23,50	9621	14.665
22	154,52	24,50	6914	17.183
23	170,15	24,80	11937	20444
24	183,91	25,30	9473	23106
25	183,96	25,30	9571	22984
26	184,04	26,30	9702	22900
27	188,55	26,50	11655	25450
28	182,83	28,00	10368	24136
29	215,00	32,20	23351	40301
30	231,00	32,20	21068	42060

Sumber: BKI 2014 dan www.shipseller.net/

1. Pengaruh Pertambahan L terhadap berat Lwt dan Dwt Kapal Kontainer (L>100 m.)

Berdasarkan data dari Tabel 4, dilakukan *plotting* kedalam kurva statistik dalam bentuk persamaan regresi polynomial yang menggambarkan hubungan antara dimensi panjang kapal (L) terhadap Lwt dan Dwt untuk mengidentifikasi kurva pertambahan berat per meter panjang (L) terhadap berat Lwt, Dwt dan *Displacement* (gambar 6).



Gambar 6. Grafik L vs Displ, Dwt & Lwt

Nampak bahwa ketiga unsur tersebut (Displ., Dwt & Lwt) mengalami pertambahan berat yang *significant* akibat pertambahan setiap meter panjang L terhadap Displ, Dwt, dan Lwt dengan membentuk persamaan polynomial sebagai berikut:

$$(d). \quad \text{Displ.} = 1383,6.e^{0,0176.L}$$

$$(e). \quad \text{Lwt} = 367,27.e^{0,0185.L}$$

$$(f). \quad \text{Dwt} = 993,78.e^{0,0174.L}$$

Besar prosentase pertambahan berat khususnya Lwt dan Dwt akibat pertambahan per meter dimensi panjang L kapal dilakukan dengan menggunakan pengambilan secara acak 5 (lima) sampel ukuran kapal dari 30 sampel kapal yang tersedia dengan ukuran kecil hingga yang lebih besar seperti terlihat dalam Tabel 5. Perhitungan pertambahan nilai Lwt dan Dwt untuk setiap pertambahan 1 meter L dilakukan menggunakan formula regresi dalam bentuk persamaan Polynomial (e) dan (f).

Dengan menambahkan nilai 1 pada absis di exponen formula semula, maka formula (e) dan (f) menjadi:

$$(e). \quad \text{Lwt}_2 = 367,27.e^{0,0185.(L+1)}$$

$$(f). \quad \text{Dwt}_2 = 993,78.e^{0,0174.(L+1)}$$

dimana $\Delta\text{Lwt}(\%)$ dan $\Delta\text{Dwt}(\%)$ merupakan nilai pertambahan Lwt dan Dwt dalam prosentase (%) dimana:

$$\Delta\text{Lwt}(\%) = ((\text{Lwt}_2 - \text{Lwt}) / \text{Lwt}) \times 100\%$$

$$\Delta\text{Dwt}(\%) = ((\text{Dwt}_2 - \text{Dwt}) / \text{Dwt}) \times 100\%$$

Lwt dan Dwt adalah berat Lwt dan Dwt awal.

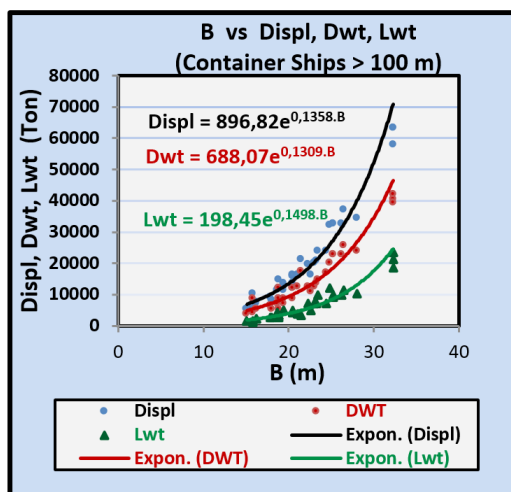
Tabel 5. Pertambahan L terhadap Lwt & Dwt (%) Kpl. Kontainer (L>100 m)

No	L	Lwt	Dwt	Δ Lwt%	Δ Dwt%
1	100,59	7640	5292	2,4	10,0
2	100,00	7333	5185	10,8	11,1
3	131,55	12069	8737	28,0	14,1
4	184,04	32602	22900	16,1	8,5
5	231,00	63128	42060	27,4	33,8
Nilai rata				16,9	15,5

Dari Tabel 5. nampak bahwa pertambahan berat Lwt kapal akibat pertambahan panjang L per meter pada kapal kontainer dengan panjang L>100 m lebih besar dari pertambahan berat Dwt. Hal ini dapat diartikan bahwa kapal Kontainer dengan panjang L>100m dengan konstruksi memanjang menghasilkan pertambahan Dwt lebih kecil dari pertambahan Lwt. Yang berarti bahwa kenaikan nilai Displacement (berat total) kapal lebih banyak disebabkan oleh pertambahan kenaikan berat Lwt sekitar (17%) lebih besar dari pada pertambahan berat Dwt sekitar (16%).

2. Pengaruh Pertambahan lebar B terhadap berat Lwt dan Dwt kapal (L>100 m)

Dari data dalam Tabel 6, dilakukan *plotting* data kedalam kurva statistik yang menggambarkan hubungan antara dimensi lebar kapal (B) terhadap Lwt dan Dwt untuk mengidentifikasi kurva pertambahan berat per meter lebar (B) terhadap berat Lwt, Dwt dan *Displacement* (gambar 7).



Gambar 7. Grafik B vs Displ, Dwt & Lwt

Tabel 6. Pertambahan B terhadap Lwt & Dwt (%) Kpl. Kontainer (L>100 m.)

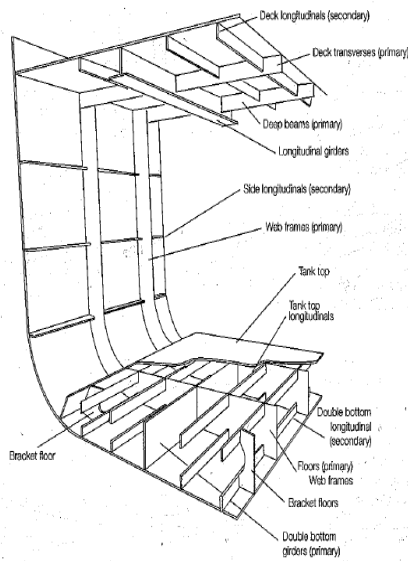
No	B	Lwt	Dwt	Δ Lwt%	Δ Dwt%
1	16,2	7640	5292	11,1	23,5
2	16,2	7333	5185	21,5	26,1
3	18,8	12069	8737	15,6	5,1
4	26,3	32602	22900	22,1	7,1
5	32,2	63128	42060	36,1	26,2
Nilai rata				21,3	17,6

Dari Tabel 6. nampak pula bahwa pertambahan berat Lwt kapal lebih besar dari pertambahan berat Dwt akibat pertambahan lebar kapal B per meter. Hal ini dapat diartikan bahwa kapal Kontainer dengan panjang L>100m dengan konstruksi memanjang menghasilkan pertambahan Dwt lebih kecil dari pertambahan Lwt. Hal ini terjadi sama dengan yang diakibatkan oleh perpanjangan L dimana kenaikan nilai Displacement (berat total) kapal lebih banyak disebabkan oleh pertambahan kenaikan berat Lwt sekitar (21%) lebih besar dari pada pertambahan berat Dwt sekitar (18%).

Kedua fenomena diatas, menunjukkan bahwa nilai pertambahan berat Dwt kapal Kontainer >100m selalu lebih kecil dari nilai pertambahan Lwt akibat pertambahan L maupun B.

Sebuah hasil studi yang telah dilakukan oleh James Roy (2008) ^[8] tentang perbedaan berat penggunaan sistem konstruksi memanjang dan sistem konstruksi melintang pada kapal dengan panjang (L) sama yaitu sekitar 71 meter diidentifikasi bahwa berat konstruksi dengan sistem memanjang (longitudinal) lebih ringan sekitar 20% dibandingkan konstruksi sistem melintang (transversal) sehingga penggunaan sistem konstruksi memanjang bermanfaat untuk meningkatkan nilai Dwt lebih optimum dan dapat mengurangi biaya produksi dan harga kapal sebagai fungsi dari berat material yang digunakan dalam ton. Sistem konstruksi memanjang banyak digunakan pada kapal-kapal besar. Sistem konstruksi ini mempunyai peran utama untuk menahan beban yang menimbulkan momen lengkung akibat gaya sagging dan hogging. Element penguat konstruksi melintangnya terdiri dari lingkaran kekuatan (*reinforcement rings*) yang dibentuk oleh *floors*, *deck beams* dan *web frames* yang disebut dengan gading-gading besar (web frames) atau pelintang sisi (*side transverse*)

berfungsi menggantikan gading-gading (*frames*) dengan jarak 3-5 m. Sedangkan kekuatan memanjang dibentuk oleh elemen *center girder*, *side girder*, *side deck girder*, *center deck girder*, *longitudinal deck frame*, *longitudinal hull frame* atau *side longitudinals*, *longitudinal bottom* and *inner bottom*, *side stringer* (gambar 8). Ukuran elemen *longitudinal* lebih kecil tapi jauh lebih banyak dalam jumlah karena penempatannya lebih rapat antara satu dengan lainnya.



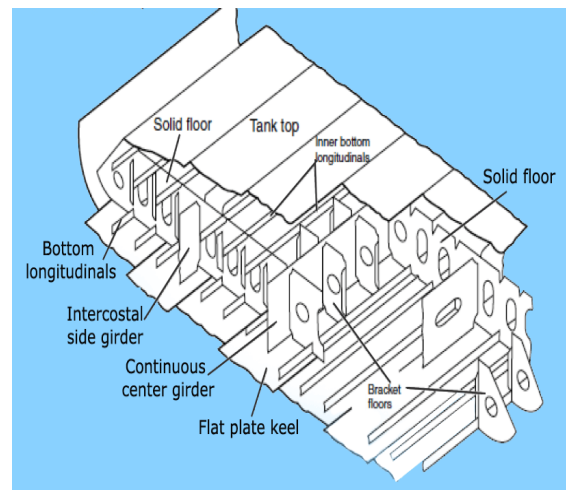
Sumber : Arnott.D. (2008) ^[5].

Gambar 8. Longitudinal Framing System

Secara keseluruhan konstruksi memanjang ini mempunyai dampak terhadap berat Lwt lebih ringan. Sehingga kapal dengan displacement (berat total) tertentu menggunakan sistem konstruksi ini dapat memberikan kapasitas muatan (Dwt) lebih besar dan lebih menguntungkan bagi ship owner dari sisi ekonomi seperti yang disampaikan oleh Arnott.D. (2008) ^[5] dalam penelitiannya tentang sistem konstruksi memanjang (*longitudinal framing system*) yang dikenal dengan Isherwood *framing system* dalam bukunya *Design and Construction of Steel Merchant Ships*. Disamping itu, keuntungan lain dari *longitudinal framing system* ini adalah disamping memberikan manfaat terhadap berat konstruksi yang lebih ringan juga memberikan kemudahan dalam proses pengerjaan dilapangan khususnya bagi kapal dengan panjang *parallel middlebody* yang significant dengan sedikit bentuk lengkungan. Hal ini disampaikan oleh Walton Thomas (2008) ^[9] tentang manfaat antara struktur sistem melintang dan memanjang

(*transverse versus longitudinal*) dan pentingnya struktur memanjang untuk kekuatan memanjang kapal (*longitudinal strength*) seiring semakin besarnya ukuran panjang kapal.

Konstruksi pada alas dan alas dalam dipasang pembujur-pembujur. Pembujur-pembujur ini dinamakan pembujur alas (*bottom longitudinal*) dan pada alas dalam dinamakan pembujur alas dalam (*inner bottom/top longitudinals*) (gambar 9). Pada alas juga dipasang *wrang-wrang*, dan dihubungkan pada pelintang-pelintang sisi. Tetapi umumnya tidak pada tiap pelintang sisi: yaitu setiap dua, atau lebih, pelintang sisi. *Wrang-wrang* pada sistem membujur juga dinamakan pelintang alas (*bottom transverse*).



Sumber : Soumya Chakraborty, (2016) ^[6].

Gambar 9. Double Bottom (longitudinally framed)

Penumpu tengah dan penumpu samping sama halnya seperti pada sistem melintang. Pada geladak juga dipasang pembujur - pembujur yang dinamakan pembujur geladak (*deck longitudinal*). Balok-balok geladak dengan bilah yang besar yang disebut pelintang geladak (*deck transverse*) dipasang pada setiap pelintang sisi (gambar 4).

Dengan demikian terlihat bahwa elemen-elemen kerangka yang dipasang membujur jauh lebih banyak jumlahnya dari elemen-elemen yang dipasang untuk konstruksi kekuatan melintang.

C. Sistem Konstruksi Kombinasi

Sistem kombinasi ini merupakan perpaduan antara konstruksi melintang dan memanjang dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang optimal baik dari sisi kekuatan maupun proses pengerjaan yang lebih mudah. Dalam

kenyataan, khususnya didaerah tengah kapal (*parallel midle body*) struktur konstruksi di geladak dan alas menggunakan sistem konstruksi memanjang untuk mengatasi beban momen lengkung akibat beban *sagging* dan *hogging* sedangkan sisi lambung menggunakan sistem konstruksi melintang dengan tujuan untuk mengatasi beban hidrostatis walaupun sebenarnya juga untuk mengatasi beban momen lengkung walaupun kurang *significant*. Konstruksi melintang banyak diterapkan pada daerah-daerah ujung belakang dan depan kapal terutama bila kapal menggunakan *bulbous bow* dengan tujuan untuk memudahkan pengerjaan dan mengatasi momen lengkung yang mengecil dibagian ujung-ujung kapal seperti penelitian yang dilakukan oleh M.Mano. (2009) ^[10] tentang desain struktur konstruksi yang efektif dihaluan dan buritan kapal.

Kesimpulan

Dari uraian analisa diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pertambahan berat Lwt kapal lebih besar akibat perpanjangan dimensi lebar kapal (B) dibandingkan perpanjangan dimensi panjang kapal (L), yaitu sekitar 30% dibanding 12% untuk kapal dengan panjang (L)<100m dan 21% dibanding 17% untuk kapal dengan panjang (L)>100m. Perbedaan pertambahan berat Lwt yang cukup *significant* akibat pertambahan B dan L pada kapal dengan panjang (L)<100m dan kapal dengan panjang (L)>100m disebabkan karena sistem konstruksi pada kapal kecil dengan (L)<100m menggunakan sistem konstruksi melintang (*transverse framing system*) dimana jumlah elemen konstruksinya lebih banyak dan berakibat lebih berat untuk kapal dengan ukuran panjang maupun *displacement* sama.

Rekomendasi

Untuk mendapatkan hasil konstruksi yang optimum disarankan untuk menggunakan konstruksi kombinasi (*combined framing system*) dengan ketentuan bahwa setiap ukuran elemen telah memenuhi persyaratan perhitungan kekuatan struktur yang telah ditetapkan sesuai rules konstruksi yang berlaku.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayahNya sehingga penelitian kami ini dapat terselesaikan dengan baik. Kami sampaikan pula ucapan terima kasih untuk rekan-rekan di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI-Jakarta atas data informasinya yang bermanfaat sebagai bahan analisa dalam penelitian ini. Demikian pula dengan penuh rasa hormat dan terima kasih kami sampaikan kepada Yang Terhormat segenap jajaran Dewan Redaksi dan Redaktur Warta Penelitian Perhubungan atas segala perhatian dan bantuannya untuk menyempurnakan hasil penelitian ini. Semoga karya tulis ilmiah ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Daftar Pustaka

- [1]. Manuel Ventura. (2011). "Estimation methods for basic ship design", Instituto Superior Tecnico, Technical University of Lisbon, Portugal.
- [2]. Lloyd's Register. (2016). "Ship structures, rules and regulations for the classification of ships", Part 3, London, UK.
- [3]. American Bureau of Shipping. (2016). "Hull construction and equipment", Rules For Building And Classing Steel Vessels, "Pt3, Ch2 , USA.
- [4]. Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd. (2013). "Hull structural design" Rules For Classification of Ships Pt3, Ch1&Ch2, Norway.
- [5]. Arnott,D.(2008). "Design & construction of steel merchant ships (SNAME)", National Association of Watersport Industries (HISWA) Symposium, Amsterdam, Netherlands.
- [6]. Soumya Chakraborty. (2016). "Designing a ship's bottom structure" – A General Overview, India.
- [7]. Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). "Rules for hull, section-IVb", Classification Bureau of Indonesia, Indonesia.
- [8]. James Roy. (2008). "Longitudinal vs transversely framed structures for large displacement motor yachts", Netherlands.
- [9]. Walton Thomas. (2008). "Steel ships: their construction and maintenance, a manual for shipbuilders, students and marine engineers", London.
- [10].tM. Mano. (2009). "Design Of Ship Hull Structures", A Practical Guide For Engineers, Berlin.