

PERANCANGAN RC (*REMOTE CONTROL*) BOAT PATROL 80 CM DENGAN PROPULSI WATERJET

Wiwin Sulistyawati¹⁾ dan Purwo Joko Suranto²⁾

Program Studi Teknik Perkapalan, UPN "Veteran" Jakarta Selatan, Indonesia^{1,2}

Email : w12n_sby@yahoo.com

Abstrack

The government is still struggling to secure all the waters of the archipelago in maintaining and overseeing the security of its territory. This is due to the many islands that need human resources (HR) and require a lot of high-tech ships. So it is necessary to design a robot Electric Remote Control Waterjet Patrol 80 (ERC_WP 80) which could serve as patrol boats and destroyers. Waterjet propulsion drive system has a motion if the vessel was excellent at relatively high speed boats and has good acceleration capabilities. Boats with jet propulsion system can operate in very shallow waters. This is due to all parts of the engine located under the hull, including propeller, shaft and shaft house. Waterjet advantages compared with the steering system / rudder is conventional waterjet propulsion system is able to turn the steering wheel with a smaller angle. Maneuverability and good seakeeping of a ship is strongly influenced by the shape of the hull. Selection of the hull shape is designed to perform parametric studies hull of the vessel Fast Patrol Boats comparator (KPC) 14 1 228 m and the vessel JS Patrol. On the back of the boat is made with a slope angle (chine angle) of about 20 degrees in order to gain the necessary lifting force without reducing the stability of the ship. While at the front end of the ship made a slope angle of about 30 degrees with the intent facilitate ship moving at high speed and reduce the impact when the waves break. Unmanned patrol boats are designed using radio control GensAce 4S 3300mAh

Keywords: roboboat, seakeeping, manouvering, waterjet, radio control

Latar Belakang

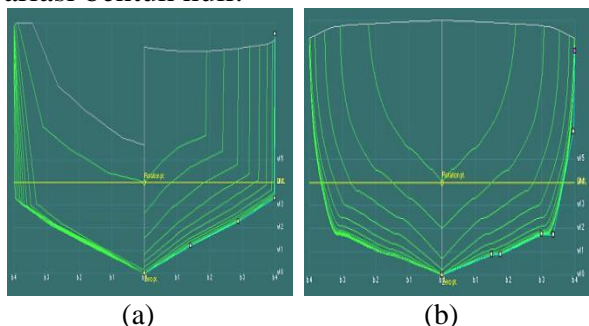
Indonesia adalah negara kepulauan dengan beribu-ribu pulau yang memiliki berbagai potensi. Untuk mengamankan seluruh perairan nusantara diperlukan kapal patroli dengan kemampuan sebagai pengamanan laut untuk kondisi gelombang tertentu pada kecepatan tinggi dan kemampuan manuver yang baik. Kualitas manuver kapal sangat ditentukan oleh kestabilan kapal terhadap lintasannya. Suatu kapal dapat dikatakan stabil dalam berbagai kondisi setimbang baik dalam keadaan tenang maupun bergerak, jika mendapat gangguan sesaat oleh gaya atau momen dari luar, maka ia akan cenderung bergerak kembali ke kondisi setimbang. Dimana kemampuan kapal bermanuver dan *seakeeping* kapal yang baik sangat dipengaruhi oleh bentuk badan kapal.

Perancangan bentuk badan kapal sangat dipengaruhi oleh kondisi laut, kecepatan dan radius pelayaran yang ditempuh. Dalam mengembangkan model lambung kapal patroli yang harus diperhitungkan adalah bentuk lambung kapal yang memiliki hambatan yang

kecil dan *seakeeping* yang baik. Bentuk lambung "V" diketahui mempunyai keuntungan dibandingkan dengan bentuk "U", yaitu: daya mesin yang dibutuhkan lebih kecil dengan kemampuan *seakeeping* dan *manouvering* kapal lebih baik. Untuk itu maka rancangan kapal yang akan dibuat memiliki haluan "*vee-shape*" (berbentuk V) dengan bentuk yang ramping dan runcing serta dengan bidang dasar yang rata sehingga memiliki kecepatan dan kemampuan manuver yang baik.

Pemilihan bentuk lambung kapal patroli yang dirancang dengan melakukan studi parametrik *hull* dari kapal pembanding Kapal Patroli Cepat (KPC) 14 m dan kapal JS 1228 Patrol sebagaimana pada Gambar 1. Studi parametrik *hull form* adalah dengan melakukan perubahan geometrik desain dengan proses *blending hull* dengan menggunakan Maxsurf 13.01. Metode *blending hull* ini diterapkan dengan cara menempatkan dua desain utama dari kapal pembanding yang memiliki karakteristik sehingga dapat menghasilkan bentuk lambung

yang optimal. Studi parametrik dilakukan dengan cara proses *generate hull* parametrik melalui Maxsurf 13.01 untuk mendapatkan variasi bentuk hull.



Gambar 1. Bentuk lambung kapal KPC 14 m (a), kapal JS 1228 Patro 1 (b)

Rancangan Desain

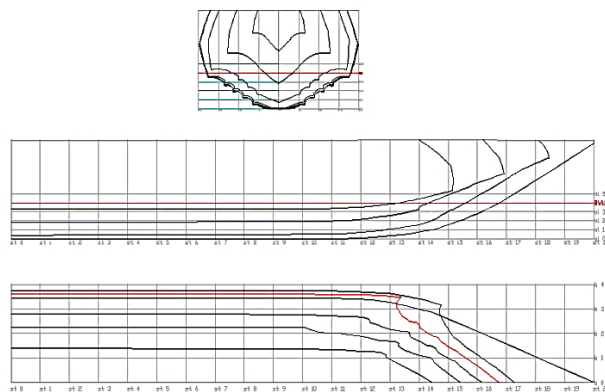
Ukuran utama kapal dirancang dengan mempertimbangkan pengaruhnya terhadap kecepatan dan stabilitas kapal. Maka *Electric Remote Control Waterjet Patrol 80 (ERC_WP 80)* memiliki ukuran utama sebagai berikut:

- Panjang total (*length over all*): 80 cm
- Lebar (*beam over all*) : 22 cm
- Tinggi (*depth moulded*) : 11 cm
- Sarat (*draught*) : 4 cm

Lines plan dari kapal pembanding dilakukan perubahan *parametric transformation* dari menu program Maxsurf 13.01. Studi parametrik *hull form* dilakukan perubahan rasio terhadap *control point surface* dari model, dengan penentuan ratio. Hasil proses *blending hull* maka dihasilkan bentuk model yang ke 3 seperti pada Gambar 2. *Lines plan* kapal ERC_WP 80 memiliki karakteristik hull sebagai berikut:

1. Bentuk lambung dengan sudut masuk air 34 derajat (pada sarat air).
2. Bottom pada haluan adalah *deep V hull*
3. Bagian depan gading no. Ap – 10 dibuat dengan sudut kemiringan (*chine angle*) sekitar 30⁰ guna mendapatkan gaya angkat tanpa mengurangi stabilitas kapal.

Bentuk Bottom bagian belakang semi U dengan flat bottom pada bagian tengah dengan sudut kemiringan sekitar 20⁰ dengan maksud untuk memudahkan kapal bergerak dengan kecepatan tinggi dan mengurangi benturan pada badan kapal pada saat memecah ombak.



Gambar 2. Lines Plan kapal patroli ERC-WP 80

Analisa Model

Untuk penentuan model yang paling optimal dipilih berdasarkan pada nilai hambatan minimum dan kriteria stabilitas yang memenuhi IMO. Untuk perhitungan hambatan pada penelitian ini dengan menggunakan *software Hullspeed*, untuk analisa stabilitas dengan menggunakan *software Hydromax*.

1. Perhitungan hambatan

Dikarenakan RC ini termasuk dalam kapal cepat maka perhitungan hambatan menggunakan software “*hullspeed*” dengan *analysis method*: savitsky pre-planning dan savitsky planning. Pada perhitungan hambatan dengan *hullspeed* model diskalakan 10:1 dengan analisa kecepatan 0-20 knot. Hasil perhitungan hambatan ditabulasikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Resistance analysis method savitsky pre-planning

V knot	Model KPC		Model Javanese		Model ERC_WP	
	kN	kW	kN	kW	kN	kW
7	--	--	--	--	--	--
7,5	2,43	15,65	2,49	16,02	1,47	9,43
8	3,20	21,97	3,62	24,8	1,90	13,03
8,5	3,64	26,51	4,43	32,26	2,20	16,06
9	3,83	29,55	4,94	38,09	2,39	18,47
9,5	3,96	32,28	5,03	40,98	2,56	20,87
10	4,12	35,31	5,18	44,42	2,73	23,39
10,5	3,99	35,93	5,37	48,34	2,57	23,16
11	3,96	37,31	5,13	48,40	2,49	23,47
11,5	4,05	39,94	5,09	50,2	2,48	24,45
12	4,03	41,43	5,22	53,71	2,58	26,54
12,5	4,02	43,10	5,17	55,41	2,64	28,33
13	4,03	44,88	5,14	57,33	2,68	29,86
13,5	4,02	46,53	5,14	59,48	2,68	31,00
14	4,05	48,64	5,11	61,40	2,66	31,94
14,5	--	--	5,13	63,78	--	--
15	--	--	--	--	--	--

Tabel 2. Resistance analysis method savitsky planning

V knot	Model KPC		Model Javanese		Model ERC_WP	
	kN	kW	kN	kW	kN	kW
12	3,25	33,42	3,56	36,61	3,46	35,55
12,5	3,34	35,78	3,67	39,38	3,58	38,32
13	3,42	38,1	3,79	42,21	3,69	41,12
13,5	3,49	40,37	3,90	45,09	3,79	43,91
14	3,55	42,58	4,00	47,98	3,89	46,68
14,5	3,60	44,70	4,09	50,87	3,97	49,40
15	3,64	46,75	4,18	53,74	4,05	52,06
15,5	3,67	48,73	4,26	56,55	4,11	54,65
16	3,69	50,65	4,32	59,31	4,17	57,18
16,5	3,71	52,51	4,38	62,00	4,22	59,63
17	3,73	54,32	4,43	64,62	4,26	62,02
17,5	3,74	56,10	4,48	67,16	4,29	64,36
18	3,75	57,86	4,51	69,63	4,32	66,65
18,5	3,76	59,6	4,54	72,03	4,34	68,91
19	3,77	61,35	4,57	74,38	4,37	71,14
19,5	3,77	63,10	4,59	76,67	4,39	73,35
20	3,78	64,88	4,60	78,94	4,41	75,57

2. Analisa stabilitas

Parameter utama dalam menentukan kualitas stabilitas statis kapal adalah besarnya gaya yang bekerja untuk mengembalikan posisi kapal (lengan penegak GZ). Kurva GZ menunjukkan hubungan antara lengan penegak GZ pada berbagai variasi sudut kemiringan pada perubahan berat konstan. Dengan menggunakan *Hydromax* perhitungan stabilitas dilakukan dengan kriteria stabilitas IMO A.749 (18), Chapter 3.1. Analisa stabilitas dengan *software Hydromax* tercantum pada Tabel 3-Tabel 5.

Tabel 3. Hasil stabilitas model KPC dengan menggunakan “*hydromax*”

Criteria IMO	Required	Actual	Status
3.1.2.1 Area 0-30 deg	≥ 3,151 m.deg	2,096 m.deg	fail
3.1.2.1 Area 0-40 deg	≥ 5,157 m.deg	2,804 m.deg	fail
3.1.2.1 Area 30-40 deg	≥ 1,719 m.deg	0,708 m.deg	fail
3.1.2.2 Max GZ@>30 deg	≥ 0,20 m.deg	0,09 m.deg	fail
3.1.2.3 Angle of maximum GZ	≥ 25,00 deg	24,50 deg	fail
3.1.2.4 Initial GMt heel angle	≥ 0,15 m	0,39 m	pass

Tabel 4. Hasil stabilitas model Javanese dengan menggunakan “*hydromax*”

Criteria IMO	Required	Actual	Status
3.1.2.1 Area 0-30 deg	≥ 3,151 m.deg	1,839 m.deg	fail
3.1.2.1 Area 0-40 deg	≥ 5,157 m.deg	2,392 m.deg	fail
3.1.2.1 Area 30-40 deg	≥ 1,719 m.deg	0,553 m.deg	fail
3.1.2.2 Max GZ@>30 deg	≥ 0,20 m.deg	0,08 m.deg	fail
3.1.2.3 Angle of maximum GZ	≥ 25,00 deg	22,70 deg	fail
3.1.2.4 Initial GMt heel angle	≥ 0,15 m	0,31 m	pass

Tabel 5. Hasil stabilitas model ERC_WP dengan menggunakan “*hydromax*”

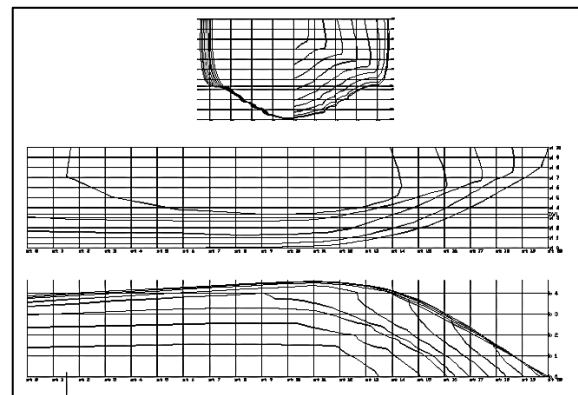
Criteria IMO	Required	Actual	Status
3.1.2.1 Area 0-30 deg	≥ 3,151 m.deg	3,488 m.deg	pass
3.1.2.1 Area 0-40 deg	≥ 5,157 m.deg	5,525 m.deg	pass
3.1.2.1 Area 30-40 deg	≥ 1,719 m.deg	2,036 m.deg	pass
3.1.2.2 Max GZ@>30 deg	≥ 0,20 m.deg	0,21 m.deg	pass
3.1.2.3 Angle of maximum GZ	≥ 25,00 deg	36,40 deg	pass
3.1.2.4 Initial GMt heel angle	≥ 0,15 m	0,53 m	pass

Dari hasil analisa hambatan dan stabilitas menunjukkan bahwa model untuk ERC_WP mempunyai hambatan paling minimum dan kriteria stabilitas kapal terpenuhi.

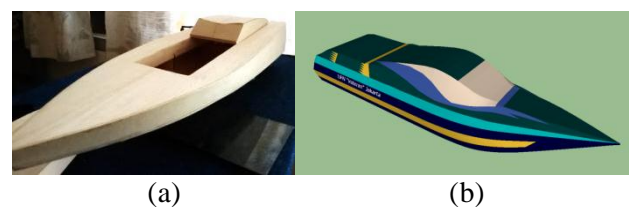
Model ERC_WP 80

Dalam prosesnya pembuatan kapal ERC_WP 80 dilakukan perubahan linesplan dan ukuran utama diakibatkan dari propulsi waterjet yang didapat. Perubahan desain perencanaan dan desain yang telah dibuat seperti pada Gambar 4. Desain baru yang dibuat seperti pada Gambar 3 dengan ukuran utama sebagai berikut:

- Panjang total (*length over all*) : 78 cm
- Lebar (*beam over all*) : 25 cm
- Tinggi (*depth moulded*) : 15 cm
- Sarat (*draught*) : 5 cm



Gambar 3. Linesplan kapal ERC_WP 80



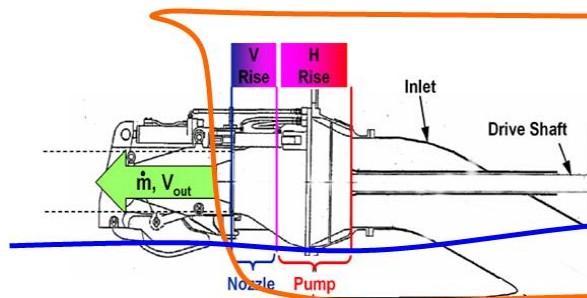
Gambar 4. Desain kapal ERC_WP perencanaan (a), desain kapal ERC_WP yang dibuat (b)

ERC_WP 80 dibuat dengan menggunakan kayu balsa dengan pertimbangan material kayu ini lebih ringan dibandingkan dengan menggunakan fiberglass dan proses pembuatan hull lebih cepat. Dimana dengan material fiberglass yang menggunakan propulsi waterjet maka sarat kapal mengalami peningkatan lebih dari 10% akibat dari berat propulsi sehingga berat ini mengakibatkan speed kapal menurun.

Pada perencanaan awal digunakan 2 waterjet, tetapi dalam pelaksanaannya propulsi ini sangat sulit didapatkan begitu pula dengan kesesuaian motor yang digunakan. Sehingga

akhirnya diputuskan menggunakan 1 waterjet dengan spesifikasi jet propulsion unit 50 mm adalah sebagai berikut:

- *Length* : 265mm
- *Width approx* : 76 mm
- *Height approx* : 85 mm
- *Flange approx* : 76 mm
- *Shaft approx* : 6 mm
- *Impeller approx* : 49 m
- *Weight approx* : 375



Gambar 5. Sistem propulsi waterjet (<http://www.ce.utexas.edu>)

Pada prinsipnya, sistem propulsi ini terdiri dari pompa yang menghisap air dari sebuah lubang di dasar perahu, akselerasi dilakukan melalui impeller dan kemudian air dipaksa keluar lagi melalui sebuah lubang di buritan. Pada sistem propulsi waterjet ini, air yang dihisap akan terdorong keluar dari belakang kapal dimana hal ini menghasilkan gaya gerakan kapal ke depan. Kemudi/ rudder pada waterjet ini menyatu dengan pipa saluran, dimana air yang terdorong keluar dari belakang kapal dimanfaatkan bukan hanya untuk mendorong kapal bergerak maju, namun juga mendorong kapal berbelok. Sistem kemudi propulsi waterjet memiliki kelebihan, dimana kapal mampu berbelok dengan sudut yang lebih kecil dibanding kemudi/ rudder konvensional. Gerakan linier dari waterjet juga menghilangkan kecondongan karakteristik perahu/ kapal yang menggunakan baling-baling konvensional. Sedangkan untuk spesifikasi motor yang digunakan adalah:

- Tipe : Brushless Motor
- Seri : FC5506
- KV : 750KV
- Lipo batt : 4 -6S
- Running Current A : 50
- Max permissible A : 58
- Weight : 275g.
- Shaft diameter : 6 mm
- Max pull (kg) : 4.5 kg



Gambar 6. Model ERC_WP 80 yang telah dibuat

Kesimpulan

1. Dalam proses perencanaan model RC dan propulsi yang digunakan harus juga dipertimbangkan ketersediaan spare part model sehingga meminimalisasi pembengkakan biaya sebagai akibat perubahan desain dan motor.
2. Model dengan material fiberglass yang menggunakan propulsi waterjet maka sarat kapal mengalami peningkatan lebih dari 10% akibat dari berat propulsi sehingga berat ini mengakibatkan speed kapal menurun.

Referensi

- Hafinuddien, Yusuf et. al, 2014, Analisa Penggunaan Waterjet pada Sistem Propulsi Kapal Perang Missile Boat dengan Kecepatan 50 knot, Jurnal Teknik POMITS vol 3, No. 1, Fakultas Teknik Kelautan ITS
- Ping, Z., De-xiang, Z., Wen-hao, L., 2008, "Parametric Approach to Design of Hull Forms", Elsevier, Journal of Hydrodynamic, 20(6): 804-810.
- Pitowarno, Endra. 2006, Robotika:Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan, Penerbit Andi Yogyakarta, Yogyakarta
- Utina, Ridwan, 2010, Rancang Bangun Kapal Patroli Cepat 57 M melalui kajian Hidrodinamika secara Komprehensif untuk Mencapai Tingkat Operabilitas Tinggi di Laut, UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, Progran Intensif Terapan Kementerian Negara Riset dan Teknologi.
- Stephan, H., 1998, "Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms", Ph.D. Dissertation, Institute of Naval Architecture and Ocean Engineering, Technische Universität Berlin; Mensch & Buch Verlag, Berlin, ISBN 3-933346-24-X.
- Adji, Surjo W, *Water Jet Propulsion System*, Surabaya
- Yan Meng, 2012, "Autonomous Surface Vehicle", Senior Design Group #8

PERHITUNGAN BEBAN RANCANGAN (*DESIGN LOAD*) KONSTRUKSI KAPAL BARANG UMUM 12.000 DWT BERBAHAN BAJA MENURUT REGULASI KELAS

Iswadi Nur

Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jakarta, Jakarta Selatan, Indonesia
iswadi.tp@gmail.com

Abstract

The ship's design load to be affected by some factors such as; the inside force of ship, the outside force of ship, the kind of ship, the ship's length, the comparison of ship's dimension, the sea water waves, and the corrosion of steel. The design load of ship's weather deck area (P_D), the design load of ship's bottom area (P_B), although the design load of ship's side area (P_S) becomes parameter factor to calculate the ship's construction. The subject of design load calculation is the general cargo ships with main dimension as : $Loa = 131,273$ m, $Lpp = 122,360$ m, $B = 19,50$ m, $H = 11,138$ m, $T = 8,77$ m, $Cb = 0,74$, $dwt = 12.000$ tons, $displacement = 15.875$ tons, $speed = 13$ knots, $Cm = 0,98$, $Cw = 0,83$, $ME = 6.700$ hp. The calculation of ship's design load had many results such as : the design load of weather deck (P_D) likes; the mean of $P_D = 107,851$ kN/m², the P_D of after peak area = 9,99 % more than the P_D of middle area, because the super structures likes ; poop deck, bridge deck, navigation deck, and wheel house to be supported by the deck plate of after peak area. Also the P_D of fore peak area = 64,00 % more than the P_D of middle area, because location of the deck plate of fore peak area to the fore castle deck although the windlass to be close to one another, of course the deck plate of fore peak area support both of them. The design load of ship's bottom area (P_B) likes ; the mean of $P_B = 126,515$ kN/m², the P_B of after peak area = 13,93 % more than the P_B of middle area, because location of the after peak bottom plate to the engine room, the propeller, although the rudder to be close to one another, of course the bottom plate of after peak area can absorb the main engine vibration, the propeller vibration, although the rudder vibration. The P_B of fore peak area = 29,50 % more than the P_B of middle area, because part of the bottom plate of fore peak area becomes the stem plate, and then the stem plate to be striked by the sea water waves when the ship voyage on the sea. The design load of ship's side area (P_S) likes ; the mean of $P_S = 98,471$ kN/m², the P_S of after peak area = 11,53 % more than the P_S of middle area, and the P_S of fore peak area = 20,80 % more than the P_S of middle area. The reason of them to be same with P_D although P_B before. More over, the mean value of P_B more than the value of P_D although P_S , the deferences value to be affected by the factor of steel corrosion and the factor of sea water wave. Also the mean P_S value less than the mean value of P_B although P_D , the deferences value to be affected by distance of the ship's side plate to the ship's longitudinal netral axis to be close to one another.

Keywords : ship's construction, design load, general cargo.

Pendahuluan

Pada penelitian terdahulu dengan judul "Faktor-faktor yang mempengaruhi beban rancangan (*design load*) terkait dengan perhitungan konstruksi kapal niaga berbahan baja menurut regulasi kelas", (Iswadi Nur, Bina Teknika edisi bulan Juni 2015, volume 11 nomor 1), menyimpulkan bahwa sistem konstruksi kapal baja harus dapat menahan terhadap gaya –gaya yang bekerja dari dalam kapal maupun gaya dari luar kapal. Gaya dari dalam berhubungan dengan resultan gaya berat

komponen kapal kosong (*light weight*) kapal maupun resultan gaya berat komponen bobot mati (*dead weight*) kapal. Sedangkan gaya yang berasal dari luar antara lain gelombang air laut dan tiupan angin yang menerpa badan kapal pada saat kapal berlayar.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi beban rancangan (*design load*) dari perhitungan konstruksi kapal adalah; jenis kapal, jenis tumpuan beban pada lambung kapal, daerah pelayaran, perbandingan ukuran utama kapal, jenis baja, faktor korosi baja,

konstanta yang berhubungan panjang kapal seperti konstanta daerah buritan kapal, konstanta daerah tengah kapal, serta konstanta daerah haluan kapal. Tahapan perancangan awal kapal adalah; penentuan ukuran utama, penentuan komponen dwt dan lwt, penentuan tahanan dan propulsi, penentuan stabilitas dan trim, rencana umum, bagan kapasitas dan *gross tonnage*, tahapan perancangan lanjut adalah; rencana garis, rencana umum dan spesifikasi, hidrostatis, bonjean, konstruksi, kekuatan, tahanan dan propulsi, stabilitas dan trim.

Pada perhitungan perancangan kapal dalam pemilihan sistem konstruksi kapal atau pemilihan sistem gading-gading kapal berdasarkan atas jenis dan ukuran utama kapal. Sistem konstruksi yang dipilih tersebut harus dapat menahan dan kuat terhadap pengaruh gaya dari dalam kapal maupun pengaruh gaya dari luar kapal. Untuk pengaruh gaya dari dalam kapal adalah berat kapal kosong dan berat daya angkut, sedangkan untuk pengaruh gaya dari luar kapal adalah kondisi gelombang air laut (ombak) dan tiupan angin yang menerpa badan kapal pada saat berlayar. Secara teori pengaruh angin tidak terlalu diperhitungkan tetapi pengaruh gelombang air laut sangat diperhitungkan. Untuk pengaruh gelombang air laut dalam perhitungan konstruksi dan kekuatan bahwa kapal diasumsikan berada dalam 2 (dua) kondisi gelombang yang ekstrim yaitu pertama kapal berlayar pada kondisi satu puncak gelombang (*hogging*), letak kamar mesin berada di bagian tengah kapal, kedua kapal berlayar pada kondisi dua puncak gelombang (*sagging*), letak kamar mesin berada di buritan.

Pada penelitian kali ini dijelaskan beberapa faktor-faktor yang akan mempengaruhi perhitungan konstruksi kapal dalam hal penentuan beban rancangan (*design load*) pada kapal niaga berbahan baja berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia, dimana pada perhitungan beban rancangan dipilih adalah kapal barang umum 12.000 ton. Perhitungan beban rancangan (*design load*) konstruksi kapal barang umum berbahan baja menurut regulasi kelas tersebut dimaksudkan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan perhitungan beban rancangan sepanjang kapal antara daerah

buritan, daerah tengah, serta daerah haluan kapal. Metode penilaian adalah membandingkan besarnya (persentase) beban rancangan (*design load*) yang paling tinggi terhadap besarnya beban rancangan yang paling rendah, selanjutnya dijelaskan faktor yang menyebabkan perbedaan antara keduanya.

Tujuan

Untuk mengetahui perhitungan beban rancangan (*design load*) konstruksi kapal barang umum 12.000 dwt berbahan baja berdasarkan regulasi BKI.

Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan beban rancangan (*design load*) konstruksi kapal berbahan baja.

Untuk memberikan materi pembelajaran mahasiswa pada mata kuliah Perancangan Kapal II.

Perumusan Masalah

Perhitungan beban rancangan (*design load*) konstruksi kapal barang umum 12.000 dwt berbahan baja menurut regulasi kelas dimaksudkan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil perhitungan beban rancangan sepanjang kapal antara daerah buritan, daerah tengah, serta daerah haluan kapal.

Metode Penelitian

Metode penilaian adalah membandingkan besarnya (persentase) beban rancangan (*design load*) yang paling tinggi terhadap besarnya beban rancangan (*design load*) yang paling rendah, selanjutnya dijelaskan faktor yang menyebabkan perbedaan antara keduanya.

Tinjauan Pustaka atau Acuan Perhitungan

Pada bagian pendahuluan telah disebutkan beberapa faktor yang mempengaruhi perhitungan beban rancangan kapal berbahan baja, salah satunya adalah nilai perbandingan ukuran utama. Untuk menjelaskan nilai perbandingan ukuran utama sesuai dengan parameter besar dan kecilnya kapal adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Ukuran Utama

NO.	TIPE KAPAL	HARGA L/B	HARGA T/B	HARGA B/H	HARGA T/H	HARGA L/H
1.	Kapal Cepat Besar Vd = 22 knots	8,50 – 9,90	0,37 – 0,43	1,45 – 1,55	0,58 – 0,66	12,80 – 14,90
2.	Kapal Barang Besar Vd = 15-18 knots	8,90 – 9,00	0,40 – 0,50	1,50 – 1,70	0,64 – 0,80	13,30 – 15,00
3.	Kapal Barang Besar Vd = 10 -15 knots	7,00 – 8,50	0,40 – 0,50	1,50 – 1,80	0,66 – 0,82	11,60 – 14,00
4.	Kapal Sedang	6,00 – 8,00	0,40 – 0,50	1,55 – 2,20	0,70 – 0,99	11,00 – 15,40
5.	Kapal Cepat Jarak Pendek. Vd = 16 – 23 knots	7,50 – 8,50	0,25 – 0,35	1,60 – 1,70	0,41 – 0,58	12,40 – 14,00
6.	Kapal Ikan	5,00 – 6,00	0,45 – 0,48	1,60 – 1,80	0,74 – 0,84	8,50 – 10,00
7.	Kapal Tunda Samudra	4,50 – 6,00	0,37 – 0,47	1,65 – 1,85	0,65 – 0,82	7,90 – 10,50
8.	Kapal Tunda Pelabuhan	3,50 – 5,50	0,37 – 0,46	1,73 – 2,20	0,73 – 0,90	7,80 – 10,00
9.	Kapal-kapal Kecil	6,00 – 8,50	0,35 – 0,45	1,50 – 1,70	0,56 – 0,72	9,60 – 13,60
10.	Kapal-kapal Motor Kecil (Layar)	3,20 – 6,30	0,30 – 0,50	-----	0,60 – 0,80	6,00 – 11,00

Sumber : Teori Bangunan Kapal, I Gusti Made Santoso dkk.

Konstanta Panjang Kapal (C_D)

Tabel konstanta panjang kapal (C_D) juga termasuk faktor yang mempengaruhi perhitungan beban rancangan konstruksi kapal, konstanta tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Tabel konstanta panjang kapal (C_D)

Daerah	Faktor C_D	Faktor C_F
Buritan A $0 \leq \frac{x}{L} \leq$	$1,2 - \frac{x}{L}$	$1,0 + \frac{5}{CB} [0,2 - \frac{x}{L}]$
Tengah M $0,2 \leq \frac{x}{L} \leq 0,7$	1,0	1,0
Haluan F $0,7 \leq \frac{x}{L} \leq 1,0$	$1,0 + \frac{c}{3} [\frac{x}{L} - 0,7]$ c = 0,15 L - 10 dimana $L_{min} = 100$ m $L_{max} = 250$ m	$1,0 + \frac{20}{CB} [\frac{x}{L} - 0,7]^2$

Di dalam daerah A rasio $\frac{x}{L}$ tidak perlu diambil kurang dari 0,1, dan di dalam daerah F rasio $\frac{x}{L}$ tidak perlu diambil lebih besar dari 0,93

Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia 2009

Konstanta Tegangan Luluh Bahan Baja dan Korosi

Dalam perhitungan konstruksi kapal berbahan baja yang dihubungkan dengan kekuatan memanjang kapal, maka diasumsikan bahwa kapal harus dapat menahan dua kondisi gelombang air laut yang ekstrim yaitu kapal berada dalam kondisi satu puncak gelombang (*hogging*) dan kapal berada dalam kondisi dua puncak gelombang (*sagging*), artinya konstruksi kapal dapat menahan tegangan yang terjadi pada badan kapal akibat gelombang tersebut di atas. Pada saat kondisi *hogging* pelat dasar daerah tengah kapal mengalami tegangan tekan, dan pelat geladak daerah tengah kapal mengalami tegangan tarik. Sebaliknya pada saat kondisi

sagging pelat dasar mengalami tegangan tarik, dan pelat geladak mengalami tegangan tekan. Menurut regulasi klasifikasi Bab 2, Bagian B. 2 tentang baja konstruksi lambung kekuatan tinggi, halaman 2 -1, ditentukan dengan harga tegangan luluh dan faktor keamanan k, sebagai berikut:

Tabel 3. Faktor Bahan

ReH (N/mm ²)	k
265	0,91
315	0,78
355	0,72
390	0,66

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia, 2004

Sedangkan untuk konstanta korosi dari bahan baja harus sesuai dengan Bab 3, Bagian K. 1, tentang margin korosi (t_K) tidak boleh kurang dari t_K yang terdapat pada tabel 3.6, sebagai berikut:

Tabel 4. Margin Korosi Minimum

Daerah	t_K min (mm)
Dalam tangki balas dimana geladak cuaca menjadi atap tangki, 1,5 m di bawah atap tangki ¹⁾	2,5
Dalam tangki minyak muatan dimana geladak cuaca menjadi atapnya, 1,5 m di bawah atap tangki. Bagian horizontal dalam tangki minyak muatan dan tangki bahan bakar.	2,0
Pelat geladak di bawah rumah geladak yang dipasang secara elastis	3,0
$t_K = 2,5$ untuk semua konstruksi di dalam tangki sayap atas kapal curah.	
Sekat bujur terbuka terhadap operasi cengkram dan diberi notasi G, maka margin korosi $t_K = 2,5$ mm.	

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia, 2004

Jenis Kapal

Jenis atau macam kapal juga dapat mempengaruhi perhitungan beban rancangan akibat dari bentuk rencana umum dan sistem konstruksinya, adapun jenis kapal dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Kapal Penumpang.
2. Kapal Tambangan.
3. Kapal Tarik.
4. Kapal Dorong.
5. Kapal Tangki.
6. Kapal Muatan Curah.
7. Kapal Peti Kemas.
8. Kapal Barang Umum, dll

Berdasarkan pembagian jenis kapal tersebut pasti mempengaruhi perhitungan beban rancangannya karena masing-masing jenis kapal memiliki karakteristik yang berbeda antara jenis kapal satu dengan jenis kapal lainnya.

Jenis Tumpuan Beban di Kapal

Jenis balok tumpuan pada konstruksi kapal dipengaruhi oleh bentuk dan sistem konstruksinya. Jenis balok tumpuan pada kapal tersebut hampir sama dengan jenis tumpuan pada bangunan sipil, sehingga perlu mengetahui jenis balok tumpuannya untuk mempermudah dalam perhitungan beban rancangan konstruksi kapal, terdapat beberapa jenis tumpuan yang dikenal, antara lain;

- a. Rol (Penghubung)
- b. Pasak (Pin).
- c. Tumpuan Jepit
- d. Balok dengan tumpuan sederhana
- e. Balok Jepit
- f. Balok Kantilever.
- g. Balok Tergantung/*Overhanged*
- h. Balok Kontinyu.

Pembahasan:

Dipilih Kapal Barang Umum dengan ukuran utama (*main dimension*) sebagai berikut:

Tabel 5. Main Dimension

Main Dimension	Satuan
Loa	131,273 m
Lpp	122,360 m
B	19,500 m
D (H)	11,138 m
T (d)	8,770 m
Cb	0,740
DWT	12.000,00 ton
Δ	15.875,02 ton
Vd	13,650 knots
Vp	14,742 knots
ME	6700 hp
Cm	0,98

Cw	0,83
Cp	0,7551

Sumber : Data skripsi mahasiswa Teknik Perkapalan

Beban rancangan (*design load*) yang dihitung adalah :

- a. Beban geladak cuaca
- b. Beban pada dasar (alas) kapal.
- c. Beban pada sisi kapal.

Hasil Perhitungan:

a. Beban rancangan pada geladak cuaca (P_D), Bab 4

Rumus beban rancangan adalah:

$$P_D = P_O \frac{20 T}{(10+z-T)H} C_D \{ \text{kN/m}^2 \}$$

Konstanta C_D adalah konstanta daerah buritan, konstanta daerah tengah kapal, dan konstanta daerah haluan kapal.

$C_D = 1,2 - \frac{x}{L}$; untuk daerah A (*after peak* = buritan kapal) sesuai tabel 4.1

$$C_D = 1,2 - 0,10 \rightarrow \frac{x}{L} = 0,10$$

$$C_D = 1,1$$

$C_D = 1,0$; untuk daerah M (*middle ship* = tengah kapal)

$C_D = 1,0 + \frac{C}{3} (\frac{x}{L} - 0,7)$; untuk daerah F (*fore peak* = haluan kapal)

$$C = 0,15 L - 10$$

$$C = 0,15 \times 122,360 - 10 = 18,354 - 10 = 8,354$$

$$C_D = 1,0 + \frac{8,354}{3} (0,93 - 0,7) \dots \dots \dots > \frac{x}{L} = 0,93$$

$$C_D = 1,0 + 0,640$$

$$C_D = 1,640$$

$P_O = 2,1 (C_B + 0,7) \times C_O \times C_L \times f \times C_{WR}$ (kN/m²), sesuai Bab 4 A. 2.2.

Dimana:

C_B = koefisien blok kapal = 0,74

C_O = koefisien gelombang

$C_O = 10,75 - \{ \frac{300-L}{100} \}^{1.5}$ untuk $90 \text{ m} \leq L \leq 300 \text{ m}$

$$L = L_{pp} = 122,36 \text{ m}$$

$$C_O = 10,75 - \{ \frac{300-L}{100} \}^{1.5}$$

$$C_O = 10,75 - \{ \frac{300-122,36}{100} \}^{1.5}$$

$$C_O = 10,75 - 2,367 = 8,383$$

$C_L = 1,0$ untuk $L \geq 90 \text{ m}$ sesuai Bab 4.A.2.2.

$C_{WR} = 1,00$ untuk daerah pelayaran Tak Terbatas

$C_{WR} = 0,90$ untuk daerah pelayaran P (Samudera Terbatas)

$C_{WR} = 0,75$ untuk daerah pelayaran L (Lokal)

$C_{WR} = 0,60$ untuk daerah pelayaran T (Tenang)

f = faktor peluang

$f = 1,0$ untuk panel pelat lambung luar (pelat kulit, geladak cuaca)

$f = 0,75$ untuk bagian penguat sekunder lambung luar (gading-gading, balok geladak) tetapi tidak kurang f_Q , sesuai Bab 5. D.1

$f = 0,60$ untuk penumpu dan sistem penumpu lambung luar (gading besar, senta, sisten kisi) tetapi tidak kurang dari $f_Q/1,25$.

$P_O = 2,1 (0,74 + 0,7) \times 8,383 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,90$ (kN/m²)

$P_O = 22,815$ kN/m²

Beban rancangan geladak daerah buritan kapal (After Peak = A):

$$P_D = P_O \frac{20 T}{(10+z-T)H} CD \quad \{\text{kN/m}^2\},$$

.....> $P_O = 22,815$

Sarat air kapal $T = 8,770$ m

Jarak vertikal pusat beban konstruksi di atas garis dasar $Z = 1/3 \times 8,77 = 2,923$ m

Maka :

Beban rancangan geladak daerah buritan kapal (After Peak = A)

$$P_D = P_O \frac{20 T}{(10+z-T)H} CD \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

$$P_D = 22,815 \times 3,7919 \times 1,1 = 95,163 \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

Beban rancangan geladak daerah tengah kapal (Middle Ship = M):

$$P_D = P_O \frac{20 T}{(10+z-T)H} CD \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

$$P_D = 22,815 \times 3,7919 \times 1,0 = 86,51219 \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

Beban rancangan geladak daerah haluan kapal (Fore Peak = F):

$$P_D = 22,815 \frac{20 \cdot 8,77}{(10+2,923-8,77)11,138} \times 1,640 \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

$$P_D = 22,815 \times 3,7919 \times 1,640 = 141,880 \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

Tabel 6. Perbedaan Beban Rancangan (*Design Load*) Geladak Kapal

No.	Faktor C_D ; Daerah Sepanjang Kapal	Beban Rancangan Geladak Kapal (P_D) {kN/m ² }	Perbedaan Dihitung Dari Daerah Tengah Kapal
1.	Beban rancangan geladak daerah buritan kapal (A) $P_D = \{\text{kN/m}^2\}$	95,163	8,651 = 9,999 % lebih besar dari P_D tengah kapal
2.	Beban rancangan geladak daerah tengah kapal (M) $P_D = \{\text{kN/m}^2\}$	86,512	0
3.	Beban rancangan geladak daerah haluan kapal (F) $P_D = \{\text{kN/m}^2\}$	141,880	55,368 = 64,00 % lebih besar dari P_D tengah kapal
4.	Rata-rata P_D	$\Sigma = 323,555$	$\Sigma/3 = 107,851$

b. Beban rancangan dasar kapal

$$P_B = 10 T + P_O C_F \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

Dimana $P_O = 22,815$ {kN/m²}

C_F sesuai tabel 4.1 adalah konstanta daerah buritan, konstanta daerah tengah kapal, dan konstanta daerah haluan (sama dengan sisi kapal).

Daerah buritan kapal (*After Peak = A*)

$$C_F = 1,0 + \frac{5}{CB} (0,2 - \frac{x}{L}), \text{ dimana } \frac{x}{L} = 0,10$$

$$C_F = 1,0 + \frac{5}{0,74} (0,2 - 0,10) = 1,0 + 0,675 = 1,675$$

Daerah tengah kapal (*Middle Ship = M*):

$$C_F = 1,0$$

Daerah haluan kapal (*Fore Peak = F*):

$$C_F = 1,0 + \frac{20}{CB} (\frac{x}{L} - 0,7)^2, \text{ dimana } \frac{x}{L} = 0,93$$

$$C_F = 1,0 + \frac{20}{0,74} (0,93 - 0,7)^2 = 1,0 + 1,429 = 2,429, \text{ maka:}$$

Beban rancangan dasar daerah buritan kapal (A)

$$P_B = 10 T + P_O C_F \quad \{\text{kN/m}^2\}$$

$$P_B = 10 \times 8,77 + 22,815 \times 1,675 \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_B = 125,915 \text{ {kN/m}^2}$$

Beban rancangan dasar daerah tengah kapal (M)

$$P_B = 10 T + P_O C_F \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_B = 10 \times 8,77 + 22,815 \times 1,0 \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_B = 110,515 \text{ {kN/m}^2}$$

Beban rancangan dasar daerah haluan kapal (F)

$$P_B = 10 T + P_O C_F \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_B = 10 \times 8,77 + 22,815 \times 2,429 \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_B = 143,117 \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_S = 99,140 \text{ {kN/m}^2}$$

Beban rancangan sisi daerah tengah kapal (M)

$$P_S = 10 (T - z) + P_O \cdot C_F (1 + \frac{z}{T}) \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_S = 10 (8,77 - 2,923) + 22,815 \cdot 1,0 (1 + \frac{2,923}{8,77}) \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_S = 88,889 \text{ {kN/m}^2}$$

Beban rancangan sisi daerah haluan kapal (F)

$$P_S = 10 (T - z) + P_O \cdot C_F (1 + \frac{z}{T}) \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_S = 10 (8,77 - 2,923) + 22,815 \cdot (1 + \frac{2,923}{8,77}) \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_S = 107,383 \text{ {kN/m}^2}$$

Tabel 7. Perbedaan Beban Rancangan (*Design Load*) Dasar Kapal

No.	Konstanta C_F ; Daerah Sepanjang Kapal	Beban Rancangan Dasar Kapal (P_B) {kN/m ² }	Perbedaan Dihitung Dari Daerah Tengah Kapal
1.	Beban rancangan geladak daerah buritan kapal (A) $P_B = \text{{kN/m}^2}$	125,915	15,400 = 13,934 % lebih besar dari P_B tengah kapal
2.	Beban rancangan geladak daerah tengah kapal (M) $P_B = \text{{kN/m}^2}$	110,515	0
3.	Beban rancangan geladak daerah haluan kapal (F) $P_B = \text{{kN/m}^2}$	143,117	32,602 = 29,500 % lebih besar dari P_B tengah kapal
4.	Rata-rata P_B	$\Sigma = 379,547$	$\Sigma/3 = 126,515$

Tabel 8. Perbedaan Beban Rancangan (*Design Load*) Sisi Kapal

No.	konstanta C_F ; Daerah Sepanjang Kapal	Beban Rancangan Dasar Kapal (P_S) {kN/m ² }	Perbedaan Dihitung Dari Daerah Tengah Kapal
1.	Beban rancangan geladak daerah buritan kapal (A) $P_S = \text{{kN/m}^2}$	99,140	10,251 = 11,532 % lebih besar dari P_S tengah kapal
2.	Beban rancangan geladak daerah tengah kapal (M) $P_S = \text{{kN/m}^2}$	88,889	0
3.	Beban rancangan geladak daerah haluan kapal (F) $P_S = \text{{kN/m}^2}$	107,383	18,494 = 20,805 % lebih besar dari P_S tengah kapal
4.	Rata-rata P_S	$\Sigma = 295,412$	$\Sigma/3 = 98,471$

Tabel 9. Rata-rata Beban Rancangan Kapal:

No.	Konstanta C_D, C_F ; Daerah Sepanjang Kapal	Rata-rata Beban Rancangan Kapal {kN/m ² }	Perbedaan Rata-rata dari Rerata Beban Rancangan Kapal
1.	Rata-rata beban rancangan geladak kapal (P_D) $P_D = \text{{kN/m}^2}$	107,851	$\frac{(107,851 - 110,945)}{110,945} \times 100\% = -2,788\%$
2.	Rata-rata beban rancangan dasar kapal (P_B)	126,515	$\frac{(126,515 - 110,945)}{110,945} \times 100\% = 14,033\%$

c. Beban rancangan sisi kapal

$$P = P_S \text{ atau } P_e$$

$$P_S = 10 (T - z) + P_O \cdot C_F (1 + \frac{z}{T}), \text{ untuk arah gelombang yang searah atau berlawanan dengan arah maju kapal}$$

Beban rancangan sisi daerah buritan kapal (A)

$$P_S = 10 (T - z) + P_O \cdot C_F (1 + \frac{z}{T}) \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_S = 10 (8,77 - 2,923) + 22,815 \cdot 1,675 (1 + \frac{2,923}{8,77}) \text{ {kN/m}^2}$$

$$P_S = 10$$

	$P_B = \{kN/m^2\}$		
3.	Rata-rata beban rancangan sisi kapal (P_S) $P_S = \{kN/m^2\}$	98,471	$\frac{(98,471-110,945)}{110,945} \times 100\%$ = - 11,243 %
4.	Rata-rata dari rerata beban rancangan	$\Sigma = 332,837$	$\Sigma/3 = 110,945$

Kesimpulan:

1. Hasil perhitungan beban rancangan (*design load*) kapal dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ; gaya dari dalam kapal, gaya dari luar kapal, jenis kapal, panjang kapal, perbandingan ukuran utama, gelombang air laut, dan korosi baja baja.
2. Dalam perhitungan beban rancangan konstruksi kapal dipilih kapal barang umum dengan ukuran utama sebagai berikut ; Loa = 131,273 m, Lpp = 122,360 m, B = 19,50 m, H = 11,138 m, T = 8,77 m, Cb = 0,74, dwt = 12.000 tons, displacement = 15.875 tons, speed = 13 knots, Cm = 0,98, Cw = 0,83, ME = 6.700 hp.
3. Beban rancangan (*design load*) dari P_D , P_B , maupun P_S menjadi faktor parameter dalam perhitungan konstruski kapal.
4. Hasil perhitungan dari beban rancangan adalah sebagai berikut ; Beban rancangan geladak cuaca (P_D) ; rata-rata $P_D = 107,851 kN/m^2$, P_D daerah buritan = 9,99 % lebih besar dari P_D tengah kapal, karena bangunan atas *seperti poop deck, bridge deck, navigation deck, dan wheel house* disangga oleh pelat geladak bagian buritan
5. Beban rancangan P_D daerah haluan = 64,00 % lebih besar dari P_D daerah tengah kapal, karena jarak pelat geladak daerah haluan dengan geladak akil maupun mesin jangkar berdekatan satu sama lainnya, dan pelat geladak bagian haluan menyangga keduanya.
6. Beban rancangan dasar kapal (P_B) adalah sebagai berikut ; rata-rata $P_B = 126,515$

kN/m^2 , P_B daerah buritan = 13,93 % lebih besar dari P_B daerah tengah kapal, karena letak pelat dasar bagian buritan dengan kamar mesin, baling-baling, maupun kemudi berdekatan satu sama lainnya, sebab lainnya adalah pelat dasar bagian buritan dapat meredam getaran dari mesin utama, getaran dari baling-baling, maupun getaran dari kemudi.

7. P_B daerah haluan = 64,00 % lebih besar dari P_D daerah tengah kapal, karena sebagian dari pelat dasar bagian haluan menjadi pelat linggi haluan, dimana pelat linggi haluan selalu dihantam gelombang air laut pada saat kapal berlayar.
8. Beban rancangan sisi kapal (P_S) adalah ; rata-rata $P_S = 98,471 kN/m^2$, P_S daerah buritan = 11,53 % lebih besar dari P_S daerah tengah kapal, dan P_S daerah haluan 20,80 % lebih besar dari P_S daerah tengah kapal, alasan keduanya sama dengan P_D maupun P_B .
9. Rata-rata P_B lebih besar dari rata-rata P_D maupun P_S , perbedaan rata-rata nilai tersebut disebabkan oleh faktor korosi baja dan faktor gelombang air laut.
10. Rata-rata nilai P_S lebih kecil dari rata-rata P_D maupun P_B , perbedaan rata-rata nilai tersebut disebabkan oleh jarak antara pelat sisi dengan sumbu netral memanjang kapal berdekatan satu sama lainnya.

Daftar Pustaka

- Biro Klasifikasi Indonesia, Peraturan Klasifikasi Konstruksi Kapal Laut Baja, Peraturan Lambung, 2004.
- Biro Klasifikasi Indonesia, Peraturan Klasifikasi Konstruksi Kapal Laut Baja, Peraturan Lambung, 2006.
- Biro Klasifikasi Indonesia, Rules For The Clasification And Construction Of Seagoing Steel Ships, Rules For Hull Volume II, 2009.
- I Gusti Made Santoso, Teori Bangunan Kapal, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1983
- Lawrence H. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Erlangga, Jakarta, 1995

Muhammad Mahfud, Konstruksi kapal I,
Poltek Perkapalan ITS, 1994.

R.C. Hibbeler, Mekanika Teknik, Statika,
Prenhalindo, Jakarta, 1997

Schiffbau Technisches Handbuch, 2 Auflage,
Band 1, W. Henschke, Vebverlag
Technik, Berlin, 1957.

Taggart R, Ship Design Construction,
SNAME, 1980

Wasono, Kamus Istilah Teknik Kapal dan
Industri Kapal, IPERINDO, 2005