

DESAIN KAPAL LCU TNI-AL MENGGUNAKAN METODE OPTIMISASI

Hasanudin¹⁾

¹⁾Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Email: hasanudin@na.its.ac.id

Abstrak

Landing Craft Utility (LCU) mempunyai peranan yang penting bagi Tentara Nasional Angkatan Laut (TNI-AL) digunakan sebagai kapal *amphibious* mendaratkan: pasukan, logistik dan kendaraan. Desain LCU TNI-AL menggunakan metode optimasi belum pernah dilakukan, desain kapal umumnya menggunakan metode *spiral design* yang berlangsung beberapa putaran secara manual yang membutuhkan waktu yang lama dan seringkali tidak mencapai hasil yang optimal. Untuk mengatasi masalah tersebut dalam makalah ini digunakan metode *Non Linier Constrains Optimization* sehingga perlu satu putaran untuk menyelesaikannya yaitu pada tahap *preliminary design*. Pemodelan optimasinya melibatkan ukuran utama dan *hull form* secara bersamaan sehingga tidak diperlukan pembuatan *lines plan*. *Variables* yang dicari adalah ukuran utama dan propulsi kapal; *constrains* adalah ukuran utama, rasio ukuran utama, stabilitas dan propulsi; *objective functions* adalah meminimalkan biaya pembangunan. Dari hasil perhitungan didapatkan *Landing Craft Utility* yang optimal adalah: bentuk *round bilge*, Lpp=46,76m, B=9,63m, T=2,56m, H=4,63m, dan Vs= 11knot.

Kata kunci: *Landing Craft Utility, Spiral Design, Non Linier Constrains Optimization, Variables, Constrains, Objective Function*

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah Negara kepulauan terbesar didunia, dengan total luas wilayah 8.282.486 km² dimana luas lautan tiga kali luas daratannya. Ketika Indonesia medeka luas laut diukur 3 mil dari garis pantai, setelah diakuinya Deklarasi Juanda oleh Perserikan Bangsa-Bangsa, batas laut diukur 200 mil laut dari garis dasar pantai atau disebut garis Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). Secara geografi Indonesia juga mempunyai letak yang strategis antara dua benua yaitu Australia-Asia, dan juga dua samudra yaitu Pasifik-Hindia. Wilayah laut yang luas dan letak yang strategis tersebut menyebabkan rawannya masalah pertahanan dan keamanan [1][2].

Kemandirian pertahanan dan keamanan adalah syarat utama untuk mengapai cita-cita suatu bangsa. Negara yang mempunyai pertahanan dan keamanan yang kuat akan dapat membangun ekonominya secara berkelanjutan, mempunyai nilai tawar yang kuat dalam berdiplomasi dan ikut serta dalam menjaga perdamaian dunia [3]. Salah satu wujud kemandirian adalah perencanaan mandiri LCU untuk TNI-AL yang optimal sesuai dengan karakteristik daerah dan kebutuhan operasi.

Hal ini penting karena Indonesia mempunyai puluhan ribu pulau yang karakteristiknya berbeda dengan negara-negara lain. Dengan adanya desain LCU yang optimal diharapkan apabila ada ancaman disuatu daerah dapat dijangkau dan diatasi dengan cepat. Selain itu kapal ini dapat diperbantukan sebagai angkutan sipil ketika ada permintaan.

Desain kapal umumnya di gambarkan sebagai desain spiral yang detailnya semakin meningkat dari satu tahap ke tahap berikutnya [4][5]. *Spiral Design Process* mempunyai kelemahan yaitu prosesnya selalu diulang-ulang secara manual beberapa putaran untuk memenuhi semua *constraints* sehingga memerlukan waktu yang lama / bahkan kadang-kadang hasilnya tidak optimal. Untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah metode optimisasi yang memerlukan perlu satu putaran. Metode optimisasi yang digunakan dalam makalah ini adalah *non linier constrains optimization, objective function* yang digunakan minimalkan biaya pembangunan dan operasional, dan *constrains* yang digunakan karakteristik teknis dan keselamatan kapal. Batasan hasil perhitungan biaya pembangunan kapal hanya sebatas kajian, boleh jadi biaya

dilapangan berbeda karena adanya perbedaan asumsi, tempat dan waktu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkembangan Kapal Landing Craft

LCU adalah kapal tipe *boat* yang digunakan untuk kekuatan *amphibious* memindahkan peralatan dan pasukan ke pantai. Kapal ini dapat juga memindahkan kendaraan rantai atau roda dan pasukan penyerang ke pantai tanpa diperlukan dermaga. *Landing Craft* modern merupakan pengembangan dari *Higgins Boats* yang di desain oleh Andrew Higgins berdasarkan kapal yang beroperasi di rawa. LCU adalah penyederhanaan desain kapal *Landing Craft Tank (LCT) Mark 5* yang beroperasi di laut Pasifik selama perang dunia II dan selama perang Korea. LCU diklasifikasikan sebagai kapal *master* dalam pendaratan pasukan [6][7].

LCU sangat dibutuhkan oleh Indonesia karena mempunyai puluhan ribuan pulau dengan pelabuhan yang terbatas. Kapal ini dimiliki oleh pihak sipil untuk angkutan perintis memindahkan barang dan penumpang sebagai penghubung pulau-pulau terpencil. Selain itu kapal ini juga dimiliki oleh TNI yang digunakan untuk operasi militer. Pada saat terjadi lonjakan penumpang atau terjadinya bencana alam, kapal LCU TNI-AL sering diminta bantuannya mengangkut penumpang sipil, logistic dan kendaraan. [8][9][10]

2.2 Proses Perancangan Kapal

Kajian tentang desain kapal diawali pada tahun 1950-1960, pada saat itu berkembang proses desain kapal *iterative* atau yang dikenal sebagai *spiral design* yang berfokus pada berat struktur dan ekonomi. Tahun 1960-1970 berkembang pendekatan algoritma optimisasi pemilihan ukuran utama kapal. Tahun 1970-1980 berkembang penerapan bidang ekonomi sebagai factor dan koreksi penilaian sebuah desain. Tahun 1980-1990 berkembang penerapan *Computer Aided Design (CAD)* pada tahap *preliminary design*. Tahun 1990-2010 berkembang pemikiran pelibatan *life cycle* dalam desain dari awal sampai akhir umur kapal. Tahun 2000-2010 berkembang konsep desain berdasarkan simulasi: struktur, dinamika fluida dan lainnya. Tahun 2010 –

sekarang berkembang system batasan *non static* yang tidak hanya berfokus pada aspek struktur dan ekonomi. [11]

2.3 Optimisasi Dalam Proses Desain

Desain kapal merupakan usaha yang kompleks yang membutuhkan koordinasi yang baik antara beberapa bidang antara teknik, non teknik alam dan kemampuan individual *designer*. Metode optimisasi sangat tepat untuk menyelesaikan persoalan desain seperti diatas [12]. Metode spiral desain tradisional mempunyai beberapa tahap: *concept, contract, preliminary, dan detail design*, dimana item-item penyusun tahapnya sama dan selalu di ulang-ulang secara manual semakin detail. Pada metode optimisasi dilakukan interaksi satu tahap saja secara otomatis yaitu *preliminary design* sehingga menghasilkan solusi yang optimal dan waktu yang cepat.

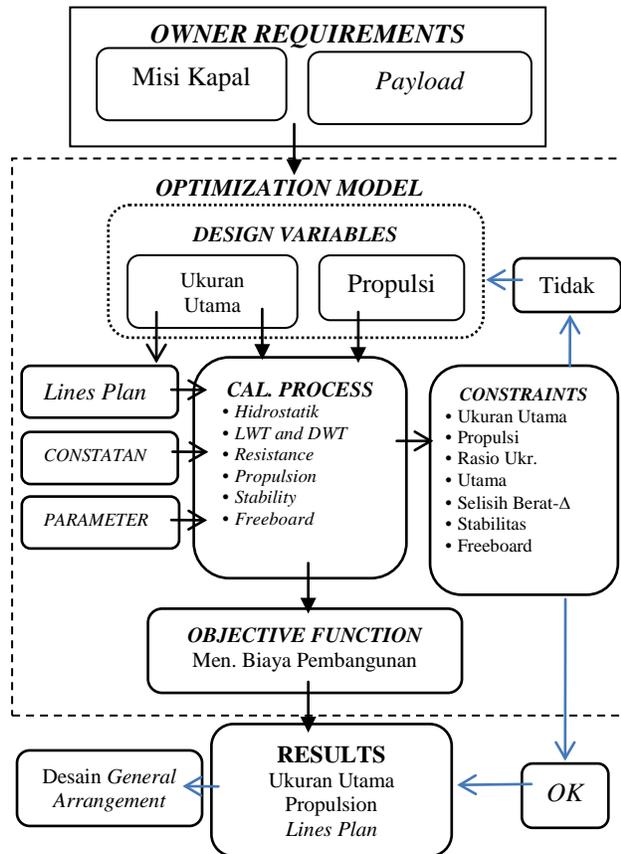
Untuk memodelkan optimisasi dibutuhkan penentuan: *constant, parameter, variable, constraints* dan *objective function*. *Constant* adalah besaran yang tidak berubah selama proses optimisasi, *parameter* adalah besaran yang diberikan dalam pemodelan optimisasi yang tidak berubah selama satu proses optimisasi, *variable* adalah harga yang dicari dalam proses optimisasi, *constraints* adalah batasan yang ditentukan oleh desainer dan regulation, dan *objective function* adalah nilai yang ingin diminimumkan atau dimaksimalkan dalam optimisasi [12][13]. Persoalan optimisasi pertama kali diusulkan oleh *Sir Isaac Newton*, dari hasil observasi sifat-sifat turunan fungsi sama dengan nol. Untuk kasus non linier penyelesaian persoalan optimisasi didekati dengan deret Taylor. Untuk kasus kuadratik diselesaikan dengan interatif perhitungan komputer [14].

Metode optimisasi *nonlinear constrained* telah meningkat kegunaannya dalam bidang *engineering* beberapa tahun belakangan ini, karena penyelesaian metode ini cepat dan tahan terhadap gangguan. Ada dua macam metode *nonlinear constrained* yang sangat terkenal yaitu *sequential quadratic programming* dan *generalized reduced gradient (GRG)*. Pertama kali GRG dikembangkan oleh Abadie dan Carpentier sebagai pengembangan *the reduced gradient method*. GRG mentransformasi ketidaksamaan batasan

kedalam persamaan batasan melalui *slack variable*[15]. Metode optimisasi ini telah diadopsi Microsoft Excel dalam *tools solver* untuk menyelesaikan persoalan optimisasi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan hasil perancangan kapal LCU yang optimal maka dibuatlah *flow chart* metodologi penelitian sebagai berikut.



Gambar 1. Metodologi Penelitian Perencanaan LCU

Langkah pertama mendapatkan *owner requirements*. Dilakukan dengan cara mengumpulkan informasi dari TNI-AL dan data yang bersumber dari literatur tentang: misi kapal LCU, rute pelayaran kapal, radius pelayaran, jenis dan berat *payload*.

Langkah kedua membuat pemodelan optimisasi yang meliputi: *variable*, *parameter*, *constant*, *calculation processes*, *constraints* dan *objective function*. Pemodelan ini melibatkan *lines plan* awal dalam perhitungan optimisasi, dengan memakai 2 macam *hull form* yaitu: *hard chine* dan

round bilge. Pemodelan optimisasi ini dibuat pada Microsoft Excel, dimana penyelesaian pemodelannya menggunakan *solver*.

Langkah ketiga melakukan penyaringan hasil-hasil perhitungan menggunakan *constraints* yang telah ditentukan. Jika hasilnya tidak memenuhi, proses optimisasi akan berulang dengan merubah *design variable* secara otomatis sampai hasilnya memenuhi semua *constraints* bersamaan dengan pencarian nilai minimal *objective function*.

Langkah keempat didapatkan hasil perhitungan yang optimal antara lain: ukuran utama kapal, ukuran utama system propulsi dan *lines plan*. Setelah itu dilakukan desain *general arrangement*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan *Owner Requirements*

Berdasarkan keterangan dari TNI-AL Armada Timur devisi *amphibi*, pada kondisi normal LCU tidak mempunyai misi yang regular, rute pelayaran kapal dan beratnya *payload* disesuaikan dengan permintaan sehingga kapal ini disebut juga kapal multiguna (*utility*). Oleh karena itu dalam hal ini penentuan *Owner Requirement* di buat berdasarkan standar pada saat misi operasi militer menggunakan kapal ini yaitu:

4.1.1. Operasi Bantuan Keamanan

Operasi ini diadakan ketika suatu daerah terjadi kerusuhan SARA (Suku Ras Agama) yang tidak dapat dikendalikan oleh aparat keamanan setempat. Maka akan dikirim pasukan selama 3 hari, setelah itu akan dievaluasi: apakah pasukan tersebut akan tinggal atau kembali ke pangkalannya semula atau menyiapkan pendaratan pasukan yang lebih besar. Adapun berat dan jenis *payload* yang dibawa:

Tabel 1. Data *payload* pada Operasi Bantuan Keamanan

No	Muatan	Berat Satuan	Total Berat (Ton)
a.	Pasukan dengan jumlah 1 kompi (150 orang)	@0,075 ton	11,25
b.	Bahan makanan selama 3 hari menuju sasaran, 3 hari operasi dan 3 hari perjalanan pulang	@0,075 ton/hari x 9 hari	6,75
c.	Air minum selama 3 hari menuju sasaran, 3 hari operasi dan 3 hari perjalanan pulang	@0,075 ton/hari x 9 hari	6,75
d.	Senjata dan amunisi	@0,02	3,00

		ton/orang	
e.	Kendaraan Angkut barang 2 truck roda 6	@ 4 ton	8,00
f.	Kendaraan Angkut personel 1 minibus	@ 0,5 ton	0,50
g.	Bengkel dan perlengkapan		15,00
Total Berat Muatan			51,25

4.1.2. Operasi Pendaratan

o Operasi Pendaratan Mandiri

Operasi ini dilakukan setelah didapat informasi intelejen, tentang adanya penyusupan / pemberontakan disuatu pulau dengan jumlah \pm 50 orang. Untuk mengatasinya akan didatangkan 150 pasukan(1 kompi), dengan tugas 100 pasukan menghadapi musuh, 50 pasukan sebagai cadangan. Adapun berat dan jenis *payload* yang dibawa sama dengan operasi bantuan keamanan.

o Operasi Pendaratan Gabungan

Dilakukan dalam empat tahap yaitu:

- **Operasi Intelejen:** dilakukan karena kecurigaan adanya penyusup atau pembentrontak di suatu daerah terpencil. Intelejen mengumpulkan informasi tentang: lokasi musuh, jumlah musuh, jenis persenjataan musuh, dan lokasi yang memungkinkan untuk pendaratan pasukan.
- **Orentasi:** setelah mendapatkan informasi yang akurat akandianalisa, dibuat strategi dan dilakukan persiapan pendaratan pasukan dengan menggunakan kapal LCU dengan batas waktu operasi tidak lebih 6 hari.
- **Evaluasi:** setelah 3 hari dilakukan operasi, kemudian dilakukan evaluasi apakah misi penghancuran sudah selesai atau masih diperlukan tambahan pasukan yang lebih besar. Jika disimpulkan diperlukan tambahan pasukan yang lebih besar, maka akan didatangkan pasukan dengan jumlah minimal 1 batalion menggunakan kapal angkut pasukan dan untuk perbekalan dapat diangkut LCU atau LCT (jika diperlukan mengangkut tank). Waktu yang diperlukan persiapan pendaratan pasukan yang lebih besar ini maksimal 3 hari.
- **Operasi Serbu:** Setelah persiapan pendaratan selesai, selanjutnya diadakan operasi serbu oleh gabungan angkatan laut, angkatan darat dan angkatan udara. Angkatan laut bertugas menyiapkan pendaratan, angkatan darat bertugas menyerbu langsung posisi musuh dan pasukan udara bertugas mengintai dan menyerbu dari udara. Senjata dan amunisi yang dibutuhkan 2 kali

kebutuhan operasi pendaratan. Operasi serbu ini dilakukan evaluasi setiap 30 hari. Untuk pasukan diangkut dengan kapal angkut personal, untuk kendaraan roda baja diangkut LCT, sedangkan untuk peralatan, perbekalan dan kendaraan roda karet diangkut dengan LCU dengan berat muatan adalah:

Tabel 2. Data *payload* pada Operasi Serbu

No	Muatan	Berat Satuan	Total Berat (Ton)
a.	Bahan makanan selama 30 hari operasi	@0,075 ton/hari x 30 hari	120
b.	Air minum selama 30 hari operasi	@0,075 ton/hari x 30 hari	120
c.	Senjata dan amunisi	@0,02 ton/orang	320
d.	Kendaraan Angkut barang 9 truck roda 6	@ 4 ton	36,00
e.	Kendaraan Angkut personel 5 minibus	@ 0,5 ton	2,50
f.	Bengkel dan perlengkapan		65,00
Total Berat Muatan			627,50

Dari ketiga kondisi operasi militer yang paling ekstrim adalah pada kondisi Operasi Serbu. Muatan kapal pada kondisi tersebut direncanakan diangkut menggunakan 3 kapal LCU, dengan pertimbangan jika salah satu kapal rusak maka masih ada cadangan. Sedangkan kalau lebih dari 3 akan diperlukan persiapan yang lebih lama sehingga kekuatan musuh akan sulit diatasi. Maka besarnya *payload* LCU direncanakan adalah: $627,50 \text{ ton} / 3 = 209,7 \text{ ton}$. Selain itu LCU pada kondisi ini dirancang harus mampu membawa 9 truk sebagai sarana utama transportasi pasukan.

4.2. Pemodelan Optimasi

Dalam pemodelan optimisasi perlu ditentukan: *Constanta*, *Parameter*, *Design Variables*, *Constraints* dan *Objective Function* yaitu sebagai berikut:

4.1.1. Constanta

Besaran yang tidak berubah selamanya yaitu: percepatan gravitasi bumi (g), tekanan atmosfer (ϵ), berat jenis bahan bakar (ρ_{FO}), berat jenis minyak diesel (ρ_{DO}), berat jenis minyak pelumas (ρ_{LO}), berat jenis air tawar (ρ_{Fw}), dan berat jenis air laut (ρ_{sw}).

4.1.2. Parameter

Besarnya yang diberikan yang selama proses optimisasi tidak berubah dipertimbangkan yaitu: jenis kapal, kapasitas muatan kapal, waktu operasi, berat crew, biaya material per ton konstruksi, biaya pembelian permesinan, biaya pembelian peralatan hull outfitting, biaya pembelian peralatan listrik, biaya pembelian persenjataan, biaya tenaga kerja untuk pengelasan dan pemasangan instalasi peralatan.

4.1.3. Design Variables

Dipertimbangkan nilai yang dicari yang mempunyai pengaruh besar pada performance yang menentukan baik atau buruknya suatu kapal yaitu: ukuran utama dan propulsi kapal. Adapun yang termasuk ukuran utama kapal adalah: panjang kapal (L), lebar kapal (B), tinggi kapal (H), sarat kapal (T), kecepatan dinas (Vs). Sedangkan yang termasuk propulsi kapal adalah: diameter propeller (D), jumlah daun propeller (z), rasio luas daun dan piringan (Ae/Ao), rasio pitch dengan diameter (P/D), dan root per minutes of propeller (rpm).

4.1.4. Batasan (Constraints)

Ditentukan batasan berkaitan dengan proposional geometri lambung, performance dan regulation.

o Batasan ukuran utama

Berpengaruh pada karakteristik utama kapal. Batasan ukuran utama ini dibuat dengan pertimbangan sebagai berikut:

• Panjang kapal (Lpp)

Batasan ini dipertimbangkan sebagai fungsi panjang 9 truk, disusun berbaris 3x3 diatas geladak kapallihat Gambar.3 General Arrangement, batasan dipertimbangkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Lpp_{\text{minimum}} &= 3.L_{\text{truk}} + 2.L_{\text{jarak antar truk}} + L_{\text{jarak truk ke}} \\ &\quad \text{forecastle} + L_{\text{jarak truk ke poop deck}} + L_{\text{jarak}} \\ &\quad \text{ruang mesin dari AP} + L_{\text{jarak ruang poop dari FP}} \\ &= (3 \times 6,8) + (2 \times 0,5) + 0,5 + 0,5 + (20\% \times \\ &\quad Lpp_{\text{minimum}}) + (15\% \times Lpp_{\text{minimum}}) \\ (100\% - 20\% - 15\%) Lpp_{\text{minimum}} &= 20,4 + 1 + 0,5 + 0,5 \\ 65\% Lpp_{\text{minimum}} &= 20,4 + 1 + 0,5 + 0,5 = 22,4 \text{ m} \\ Lpp_{\text{minimum}} &= 22,4 \times (100/65) = 34,46 \text{ m} \\ Lpp_{\text{maksimum}} &\text{ dipertimbangkan berdasarkan} \\ &\text{panjang Landing Craft yang sesuai untuk perairan} \\ &\text{Indonesia } Lpp_{\text{max}} = 56 \text{ m [16]}. \text{ Batasan } Lpp \text{ lihat} \\ &\text{Tabel. 3 baris } G(x)_1 \text{ kolom } G_{\text{min}} \text{ dan } G_{\text{max}}. \end{aligned}$$

• Lebar kapal (B)

Batasan ini didasarkan lebar minimal muatan 9 truk diatas geladak kapallihat Gambar.2, batasan B sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B_{\text{minimum}} &= 3.B_{\text{truk}} + 2.B_{\text{jarak antar truk}} + 2.B_{\text{jarak main line}} \\ &\quad \text{ke lubang ruang muat} + 2.B_{\text{lebar lubang ruang muat}} \\ &= (3 \times 2) + (2 \times 0,25) + (2 \times 0,5) + (2 \times 1) \text{ m} \\ &= 9,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Rasio maksimal Lpp/B=3,31 (lihat Tabel. 3 baris G(x)₁₂ kolom G_{max}) untuk L= 56 m maka B_{maksimum} = 56/3,31 = 16,92 m. Batasan B lihat Tabel. 3 baris G(x)₂ kolom G_{min} dan G_{max}.

• Tinggi Kapal (H)

Lpp/H = 14, untuk daerah pelayaran samudra berdasarkan rule BKI

$$\begin{aligned} H_{\text{minimum}} &= Lpp_{\text{minimum}}/14 \\ &= 34,46/14 = 2,46 \text{ m} \end{aligned}$$

Rasio maksimal Lpp/H = 10,10 lihat Tabel. 3 baris G(x)₁₂ kolom G_{max}

$$\begin{aligned} H_{\text{maksimum}} &= Lpp_{\text{maksimum}}/10,10 \\ &= 56/14 = 5,54 \text{ m} \end{aligned}$$

Batasan H lihat Tabel. 3 baris G(x)₃ kolom G_{min} dan G_{max}.

• Sarat Kapal (T)

B/T = 9,68, berdasarkan Tabel 3. Baris G(x)₁₁ kolom G_{max}

$$\begin{aligned} T_{\text{minimum}} &= B_{\text{minimum}}/9,68 \\ &= 9,5/9,68 = 0,98 \text{ m} \end{aligned}$$

Rasio maksimal B/T = 3,40 (lihat table baris G(x)₁₁ kolom G_{min})

$$\begin{aligned} T_{\text{maksimum}} &= B_{\text{maksimum}}/3,40 \\ &= 16,92/3,40 = 4,976 \text{ m} \end{aligned}$$

Batasan T lihat Tabel. 3 baris G(x)₄ kolom G_{min} dan G_{max}.

• Kecepatan dinas kapal (Vs)

Batasan ini didasarkan pada kecepatan kapal Landing Craft yang ada di Indonesia [16]. Batasan Vs lihat Tabel. 3 baris G(x)₅ kolom G_{min} dan G_{max}.

o Batasan Propulsi

Batasan ini berpengaruh pada karakter dayadorong propeller kapal. Dalam makalah ini dipertimbangkan menggunakan desain baling-baling Wageningen B-Series. Adapun yang mempengaruhi karakteristik propeller tersebut adalah: diameter, banyak daun, rasio luas piringan, rasio pitch dengan diameter propeller dan rpm [17]. Batasan propulsi lihat Table.3 baris G(x)₆₋₁₀ kolom G_{min} dan G_{max}.

o Batasan ukuran Rasio Ukuran Utama

Batasan ini digunakan agar bentuk lambung kapal tidak keluar dari bentuk *Landing Craft*. Rasio dibuat dengan cara menggumpulkan 46 data ukuran utama kapal LCU dari register BKI, kemudian dibuat rasio ukuran utama yaitu: B/T, L/B: L/H, H/T. Lihat Tabel.3 baris $G(x)_{11-114}$ kolom G_{min} dan G_{max} .

o **Batasan Selisih Berat Kapal**

Batasan selisih berat dengan displamen berpengaruh pada daya mesin, *freeboard*, dan perhitungan struktur. Batasan berat ini dibatasi $\pm 0.5\%$ [18], lihat Tabel.3 baris $G(x)_{15}$ kolom G_{min} dan G_{max} .

o **Batasan Intact Stability**

Batasan ini berpengaruh pada stabilitas kapal yang akan berlayar. Batasan ini didasarkan pada aturan *Intact Stability Criteria* [19], batasan dapat dilihat pada Tabel.3 baris $G(x)_{16-20}$ kolom G_{min} dan G_{max} .

o **Batasan Jarak Jelajah (r)**

Batasan ini dihitung berdasarkan faktor kelelahan prajurit yang diangkut didalam kapal tidak boleh lebih dari 3 hari, dan kecepatan dinas kapal dibatasi antara 10–12 knot maka jarak jelajahnya adalah: perkalian antara kecepatan dinas kapal dan faktor waktu kelelahan prajurit, batasannya dapat dilihat pada Tabel.3 baris $G(x)_{11-114}$ kolom G_{min} dan G_{max} .

o **Batasan Kavitasasi**

Kavitasasi terjadi karenanaiknya tekanan air menuju tekanan uap akibatnya terjadi gelembung-gelembung air di belakang *propeller*. Kejadian ini akan mempengaruhi kekuatan material baling-baling. Kavitasasi diusahakan sekecil mungkin. Kavitasasi yang diperbolehkan: $0,00\% \leq \text{Kavitasasi} \leq 5\%$ [17]. Lihat Tabel.3 baris $G(x)_{11-114}$ kolom G_{min} dan G_{max} .

o **Batasan Mesin**

Batasan ini ditentukan berdasarkan pada kapal pembanding yang ada armada timur kapasitas 300 dwt. Daya 2 mesin @200 HP \leq BHP \leq 554 HP, Putaran Mesin 1000 rpm \leq rpm_{mesin} \leq 2100 rpm, dan rasio gear box $1 \leq$ Rasio *gear box* \leq 5. Lihat Tabel.3 baris $G(x)_{11-114}$ kolom G_{min} dan G_{max} .

o **Batasan Damage Stability**

Perhitungan ini dilakukan setelah perhitungan optimasi selesai. *Damage Stability Criteria* yang dipakai menggunakan *US Navy* kapal perang. Dimana kriterianya, kapal yang mengalami

kebocoran harus mampu cukup lama mengapung, pada kondisi kecepatan angin sebesar 100 knot dengan [4]:

- Sudut list or loll $< 20^\circ$
- GZ di poin C $< 60\%$ Gzmax
- Area A1 $> 1,4$ x area A2
- Longitudinal trim tidak menyebabkan kapal tengelam
- Longitudinal GM > 0

o **Lambung timbul**

LCU termasuk kapal type A, dimana mempunyai lubang palkah yang relatif kecil, pintu palkah terbuat dari baja yang mempunyai kedekatan tinggi. Sehingga batasan lambung timbul dapat diasumsikan sebagai fungsi panjang kapal yang dihitung menggunakan aturan *International Convention On Load Lines 1966 (ILLC 1966)* [20]. Lihat Tabel.3 baris $G(x)_{11-114}$ kolom G_{min} dan G_{max} .

4.1.5. Objective Functions

Biaya selalu menjadi persoalan utama dalam pembangunan kapal. Biaya ini menentukan kapal dapat dibangun atau tidak. Hampir semua *owner* mengharapkan desain yang dibuat menghasilkan kapal yang ekonomis dengan *performance* yang memenuhi semua *constraints* yang telah ditentukan. Maka dalam makalah ini, yang ditentukan sebagai *objective function* adalah meminimalkan biaya pembangunan.

4.1.6. Proses Perhitungan

Setelah *constant*, *parameter*, *variable* dan *constraints* optimasi ditentukan, langkah selanjutnya adalah memasukkannya kedalam proses perhitungan antara lain:

o **Perhitungan Tahanan dan Daya Mesin**

Perhitungan ini menghitung tahanan ketika kapal bergerak kedepan dengan kecepatan penuh, perhitungan ini meliputi: tahanan *viscous*, tahanan tonjolan, tahanan angin dan tahanan gelombang. Untuk menghitungnya digunakan metode Holtrop [21]. Selanjutnya dari hasil perhitungan tahanan dikalikan efisiensi dan kecepatan kapal maka dapat diprediksi besar daya mesin induk.

o **Perhitungan Propulsi**

Perhitungan ini menghitung trust, efisiensi dan kavitasasi baling-baling kapal. Input perhitungan yang dipakai adalah variabel ukuran utama dan propulsi kapal. Metode perhitungan *propeller* yang

digunakan menggunakan Wageningen B-Series [17].

o **Perhitungan Lambung Timbul (Freeboard)**

Perhitungan ini merupakan salah satu persyaratan keselamatan kapal. Lambung timbul mempunyai fungsi sebagai daya apung cadangan ketika kapal berlayar. Perhitungan lambung timbul menggunakan peraturan ILLC 1966[20]. Perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan lambung timbul awal pada *tabular freeboard*, selanjutnya dilakukan koreksi-koreksi: koefisien blok (Cb), tinggi kapal (D), bangunan atas (S), dan koreksi *sheer*.

o **Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal**

Berat dan titik berat merupakan komponen penting dalam mendesain kapal, yang akan berpengaruh langsung pada stabilitas kapal, *performance* dan biaya. Perhitungan berat dan titik berat menggunakan rumus-rumus pendekatan[4], berat kapal terdiri dari *Light Weight Ton* (LWT) dan *Dead Weight Ton* (DWT). LWT adalah berat yang tidak dapat dikeluarkan dari kapal terdiri dari: berat baja kapal, berat permesinan, berat peralatan, berat perlengkapan, dan berat persenjataan. DWT adalah kebalikanyaterdiri dari: berat muatan, berat crew, berat bahan bakar, berat minyak lumas dan berat *provision*.

o **Perhitungan Stabilitas Kapal**

Stabilitas merupakan persyaratan utama untuk mengukur keselamatankapal yang akan berlayar. Perhitungan stabilitas pada makalah ini menggunakan rumus pendekatan yang di kemukakan oleh Manning. Dengan pendekatan lengan penegak stabilitas adalah sebagai berikut: $GZ = a_1 \sin \theta + a_2 \sin^2 \theta + a_3 \sin^3 \theta$, dimana a_1, a_2, a_3 adalah kostata yang merupakan fungsi ukuran utama kapal, *sheer*, lambung timbul, *poop* dan *forecastle*. Sedangkan θ adalah sudut *roll*[22]. Selanjutnya lengan tersebut dilakukan pengecekan menggunakan *Intact Stability Criteria*[19].

o **Perhitungan Biaya Pembangunan dan Operasional**

Biaya merupakan komponen penting dalam pembangunan kapal. Biaya suatu kapal dapat dibedakan menjadi dua yaitu biaya investasi dan biaya operasional kapal. Biaya investasi terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut: *Hull*

Construction Cost, Hull Outfitting Cost, Machinery Outfitting Cost, Sandblast, Painting & Cathode Protection Cost, Labor Cost, Persenjataan Cost dan Overhead Cost. Biaya operasional pada study ini dihitung untuk satu kali trip pelayaran kapal, adapun komponen-komponen sebagai berikut: Biaya bahan bakar, biaya air tawar, biaya minyak lumas, dan biaya *provision*.

4.1.7. Tinjauan Teknis Hasil Optimisasi

Berdasarkan perhitungan optimisasi, secara teknis telah menghasilkan nilai yang optimal yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil perhitungan optimisasi

Batasan	Unit	Indek	G _{min.}	G _{opt.}	G _{max.}
Lpp	m	G(x) ₁	34,460	46,76	56,000
B	m	G(x) ₂	9,500	9,63	16,920
H	m	G(x) ₃	2,460	4,63	5,540
T	m	G(x) ₄	0,980	2,56	4,976
Vs	Knot	G(x) ₅	10	11	12
D	m	G(x) ₆	1,282	1,282	1,795
Z		G(x) ₇	2,000	5	7,000
Ae/Ao		G(x) ₈	0,300	1,038	1,050
P/D		G(x) ₉	0,500	1,071	1,400
N	Rpm	G(x) ₁₀	200	400	600
B/T		G(x) ₁₁	3,440	3,755	9,680
Lpp/B		G(x) ₁₂	4,410	4,857	5,310
Lpp/H		G(x) ₁₃	10,100	10,100	23,160
H/T		G(x) ₁₄	1,120	1,806	3,490
($\Delta - \sum W$) / Δ	Ton	G(x) ₁₅	-0,5%	0,36%	0,5%
Area 0°-30°	m.rad	G(x) ₁₆	0,055	0,113	-
Area 0°-40°	m.rad	G(x) ₁₇	0,090	0,143	-
Area 30°-40°	m.rad	G(x) ₁₈	0,030	0,030	-
GZ pada 30°	m	G(x) ₁₉	0,20	0,768	-
GZ mak.	deg	G(x) ₂₀	25	35	-
MG	M	G(x) ₂₁	0,150	1,237	-
T. Olong	detik	G(x) ₂₂	8	8,044	-
Kavitasi		G(x) ₂₃	0,00%	5,0%	5,00%
Radius	Mill	G(x) ₂₄	1440,0	1594,9	1728,0
Daya 2 mesin@	HP	G(x) ₂₅	200	256,47	600
rpm mesin		G(x) ₂₆	1000	1800	2100
Rasio G.Box		G(x) ₂₇	1,000	4,5	5,000
F _{min.}	m	G(x) ₂₈	0,023	2,066	-

Dari table 3 diatas menunjukkan G(x)₁₋₅ adalah variable ukuran utama kapal, G(x)₆₋₁₀ adalah variable propulsi kapal. G(x)₁₁₋₁₄ adalah *constraint* rasio ukuran utama kapal, G(x)₁₅ adalah *constraint* berat, G(x)₁₆₋₂₂ adalah *constraint* stabilitas kapal, G(x)₂₃ adalah *constraint* kavitasi, G(x)₂₄ adalah

constraint radius pelayaran, $G(x)_{25-27}$ adalah *constraint* daya mesin, dan $G(x)_{28}$ adalah *constraint* lambung timbul. Kedua variable diatas memenuhi semua *constrain* dimana nilai G_{opt} terletak pada G_{min} dan G_{max} . Begitu juga *constraints* $G(x)_{11-28}$ juga telah terpenuhi semuanya. Sehingga dapat disimpulkan dari segi teknis perhitungan optimisasi telah memenuhi semua *constraints* yang disyaratkan.

4.1.8. Tinjauan Ekonomis Hasil Optimisasi

Ditinjau dari segi ekonomis perhitungan optimisasi mendapatkan biaya pembangunan kapal minimal sebesar Rp. 14.837.937.500,- dengan asumsi 1 USD = Rp. 12.500,-, maka biaya pembangunan setara dengan USD 1.187.035,-. Jikadilihat per unit DWT, biaya pembangunan kapal per ton DWT adalah USD 4.354,-

Selain itu juga didapatkan perhitungan biaya operasional per trip Rp. 48.330.000,- jika ditinjau dari lamanya operasi 144 jam (6 hari), maka biaya per jam operasi adalah Rp. 335.625,- atau USD 26.85,-. Biaya ini sebagian besar dipakai untuk memenuhi biaya bahan bakar.

4.1.9. Tinjauan Desain Lines Plandan General Arrangement Hasil Optimisasi

Bentuk *Lines plan* yang digunakan untuk optimisasi makalah ini yaitu: *hard chine* dan *round bilge*. Kedua bentuk ini dipertimbangkan dengan meninjau aspek *performance* dan kemudahan pembangunan. Bentuk *hard chine* mempunyai keuntungan mudah dalam pembuatannya dan biaya pembangunan murah, tetapi aspek hidrodinamikanya kurang baik. Dari hasil perhitungan optimisasi bentuk *hard chine* tidak dapat memenuhi *constraints* periode oleng yang kecil dan tahanan yang besar. Sedangkan bentuk *round bilge* (lihat Gambar. 1) dapat memenuhi semua *constraints*, sehingga bentuk ini yang dipilih. Selain itu bentuk ini mempunyai kemampuan yang baik untuk *beaching* di pantai tanpa pelabuhan. Karena haluannya mempunyai *rise of stem*, sehingga cocok untuk pantai-pantai di Indonesia.

General Arrangement (lihat Gambar. 2) di desain menggunakan kapal yang telah ada sebelumnya di Armada Timur, dimana di bagian belakang terdapat ruang mesin. Diatasnya terdapat

poopdeck untuk menempatkan *crew* kapal dan mengemudikan kapal. Di bagian depan terdapat geladak untuk mengangkut kendaraan, geladak ini juga dapat digunakan untuk mengangkut barang/personil, di bagian bawah terdapat ruangan *void* sebagai daya apung cadangan. *Void* ini juga dapat digunakan tempat mengangkut barang jika diperlukan, diatas *void* disediakan *crane* untuk menaik/turunkan barang. Di bagian depan kapal dirancang mempunyai *ramp door* yang berguna untuk mendaratkan kendaraan ke pantai. Untuk mengerakan *ramp door* dipasang *winch* yang diletakan diatas *poop*. Didepan kapal disediakan senjata untuk membela diri dari serangan musuh.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil optimisasi, desain *lines plan* dan desain *general arrangement* dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- LCU pada kondisi normal mempunyai pada misi multiguna disesuaikan dengan permintaan, sehingga penentuan *owner requirement* ditentukan pada operasi militer.
- Pada pemodelan optimisasi ini ditentukan *Variables* adalah ukuran utama kapal dan propulsinya; *constraints* adalah ukuran utama, rasio ukuran utama, stabilitas dan propulsi; *objective functions* adalah meminimalkan biaya pembangunan.
- Penggunaan optimisasi pada perancangan kapal dapat memberikan hasil yang optimal, memenuhi semua *constraints* dan berlangsung satu tahap *preliminary design*. Menghasilkan ukuran utama yang optimal $L_{pp}=46,76m$, $B=9,63m$, $T=2,56m$, $H=4,63m$, dan $V_s=11knot$.
- *Lines plan* kapal yang paling optimal adalah bentuk *round bilge* dan terdapat *rise of stem* di bagian depannya sehingga kapal mudah untuk *beaching* dipantai.

Karena keterbatasan data, informasi dan sudut pandang dalam pemodelan optimisasi maka penulis memberikan saran kepada peneliti-peneliti selanjutnya:

- Pemodelan optimisasi harusnya dilihat kasus per kasus disesuaikan dengan kondisi yang ada, tergantung data dan asumsi yang digunakan, oleh karena itu, jikasatu kasus yang sama dibuat oleh dua orang berbeda kemungkinan akan mendapatkan hasil yang berbeda.

- Biaya investasi dan operasi kapal yang terdapat di makalah ini mungkin berbeda dengan yang ada dilapangan disebabkan inflasi, perbedaan tempat dan waktu. Penulis disini hanya menunjukan proses optimisasi dalam desain LCU.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

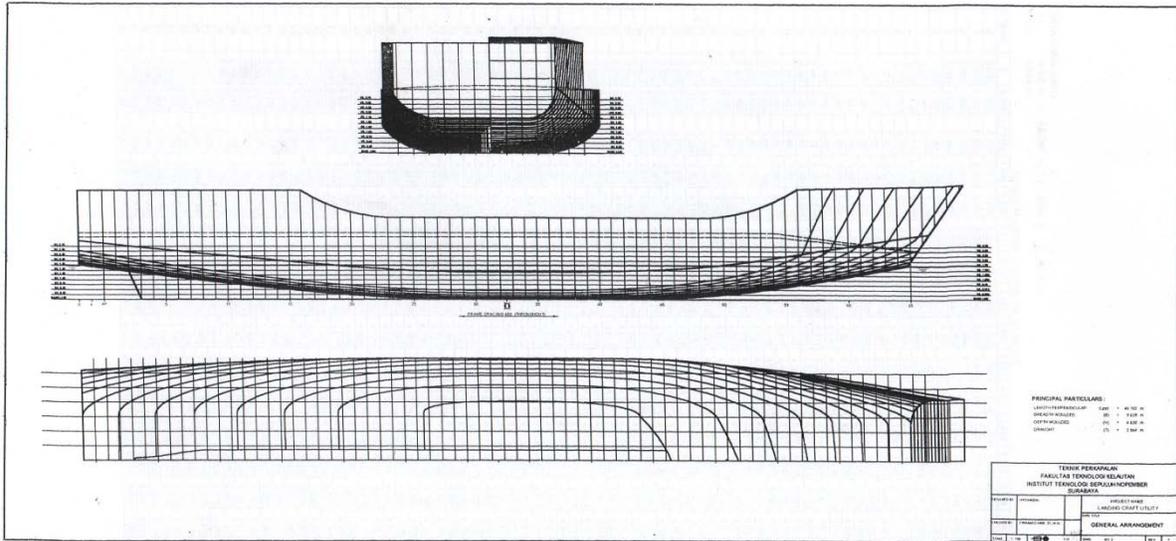
Terimakasih sebesar-besarnya diucapkan kepada pihak TNI-AL Armada Timur khususnya Kolonel (L) Agus Purwanto devisi kapal amphibi yang telah membantu penulis menyelesaikan Penelitian ini dan sekarang ini dapat dipublikasikan dalam bentuk makalah.

DAFTAR PUSTAKA

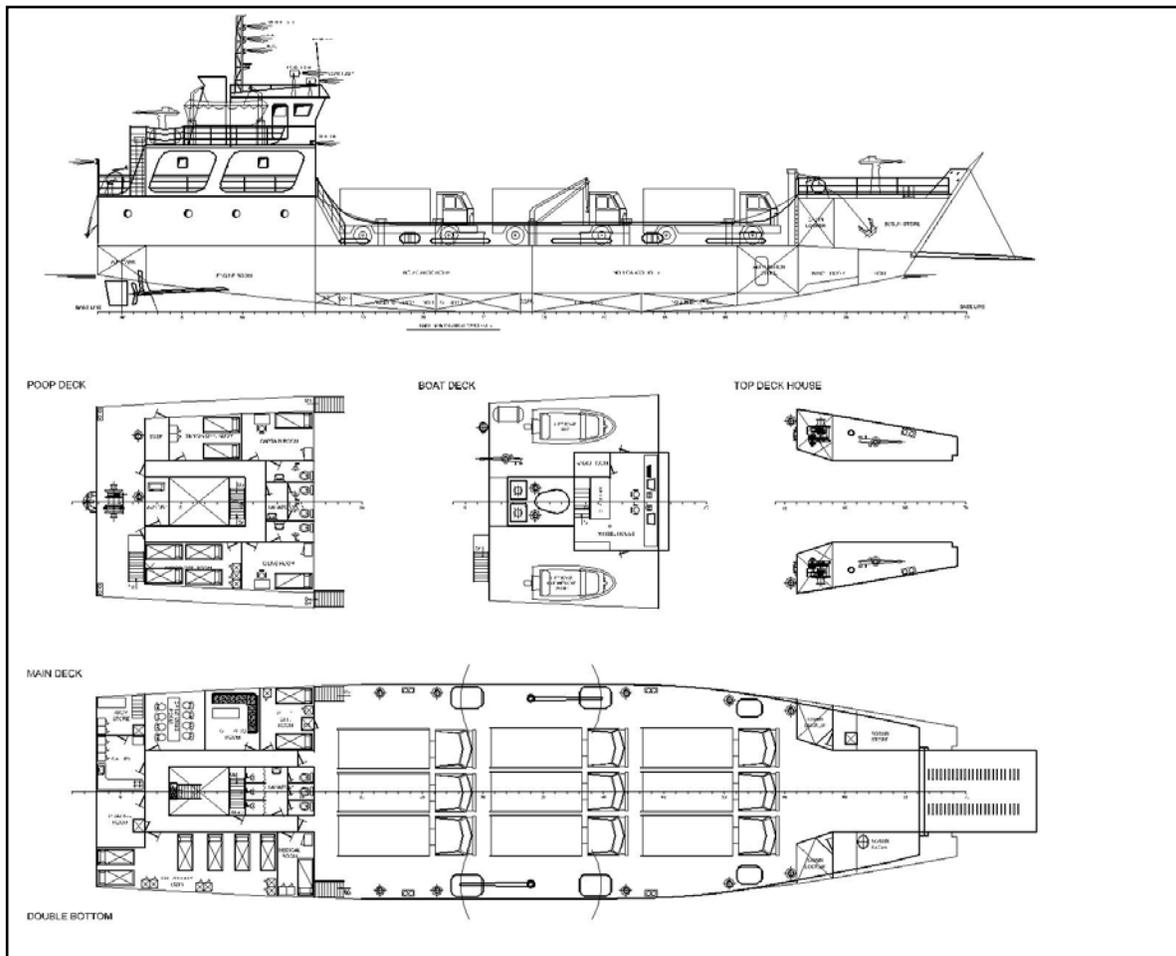
- [1] H. Djalal, "PENGELOLAAN BATAS MARITIM DAN KAWASAN PERBATASAN: MENENTUKAN BATAS NEGARA GUNA MENINGKATKAN PENGAWASAN, PENEGAKAN HUKUM DAN KEDAULATAN NKRI," *J. Pertahanan*, vol. 3, pp. 17–39, Desember 2013.
- [2] S. J. Poerwowidagdo, "STRATEGI LAUT BIRU DALAM PENANGANAN KEAMANAN MARITIM," *J. Pertahanan*, vol. 3, pp. 41–52, Desember 2013.
- [3] E. M. Wulansari, B. P. Hukum, H. A. Manusia, D. Perundang-undangan, and F. H. U. Pamulang, "PEMBERDAYAAN INDUSTRI PERTAHANAN NASIONAL DALAM UNDANG-UNDANG NOMOR 16 TAHUN 2012 TENTANG INDUSTRI PERTAHANAN (EMPOWERMENT OF NATIONAL DEFENSE INDUSTRY IN LAW NUMBER 16 YEAR 2012 ON DEFENSE INDUSTRY)," *DARI REDAKSI*, p. 301, 2014.
- [4] D. G. Watson, *Practical ship design*, vol. 1. Gulf Professional Publishing, 2002.
- [5] J. H. Evans, "Basic design concepts," *J. Am. Soc. Nav. Eng.*, vol. 71, no. 4, pp. 671–678, 1959.
- [6] "Landing craft," *Wikipedia, the free encyclopedia*. 28-Jan-2015.
- [7] "Landing Craft Utility," *Wikipedia, the free encyclopedia*. 07-Dec-2014.
- [8] Z. A. Fatahillah and H. A. Kurniawati, "Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Landing Craft Tank (LCT) Menjadi Self-Propelled Oil Barge (SPOB)," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 1, pp. G84–G89, 2013.
- [9] "Landing Craft Utility: 'Kepanjangan Tangan' Gelar Operasi Amfibi LPD TNI AL," *IndoMiliter*.
- [10] C. R. Bakrie and N. I. Subono, *Pertahanan negara dan postur TNI ideal*. Yayasan Obor Indonesia, 2007.
- [11] H. M. Gaspar, D. Rhodes, A. Ross, and S. O. Erikstad, "Handling complexity aspects in conceptual ship design," presented at the Int'l Maritime Design Conference Glasgow, UK, June 2012, Glasgow, UK, 2012.
- [12] A. Papanikolaou, "Holistic ship design optimization," *Comput. Aided Ship Des. Some Recent Results Steps Ahead Theory Methodol. Pract. Dedic. Profr. Horst Nowacki Occas. His 75th Birthd.*, vol. 42, no. 11, pp. 1028–1044, Nov. 2010.
- [13] A. Papanikolaou, *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. Springer, 2014.
- [14] R. Schoenberg, "Optimization with the quasi-newton method," *Aptech Syst. Maple Val. WA*, pp. 1–9, 2001.
- [15] O. Yeniay, "A comparative study on optimization methods for the constrained nonlinear programming problems," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2005, no. 2, pp. 165–173, 2005.
- [16] H., Prof. DR.-Ing & Rolf Bruns, Dipl.-Ing; Poehls, "Consideration About the Design Of A Flexible Cargo / Passenger Ship for Indonesian Interisland Sea Transport," presented at the International Conference On Inter-Island Sea Transport and Offshore Technology, Ujung Pandang, 1991.
- [17] E. V. Lewis, "Principles of Naval Architecture: Volume II-Resistance, Propulsion, and Vibration, Vol. 2, 2 edn, Soc," *Nav. Archit. Mar. Eng.*, 1988.
- [18] David G.M. Watson, Ed., "Chapter 4 Weight-Based designs," in *Elsevier Ocean Engineering Series*, vol. Volume 1, Elsevier, 1998, pp. 81–131.
- [19] I. S. Code, *Imo*. London, 2002.
- [20] IMO, *International Convention On Load Lines, 1966 Protocol of 1988*. 1988.
- [21] J. Holtrop and G. G. Mennen, "An approximate power prediction method," 1982.

[22]G. . Manning, *The Theory and Technical of Ship Design*. London: The TECHNOLOGY Press Of MIT, Jon Willey and Sons, New York, & Chapmand and Hall, 1956.

LAMPIRAN:



Gambar 2. Desain *Lines Plan* LCU optimal



Gambar 3. Desain *General Arrangement* LCU Optimal