

Desain *Liquified Natural Gas Bunkering Vessel* (LNG BV) untuk Melayani Kapal Berbahan Bakar LNG yang Melewati ALKI II

Dion Tirta Nugraha, Wasis Dwi Aryawan, Erzad Iskandar Putra
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wasis@na.its.ac.id

Abstrak—ALKI II per tahunnya dilalui 36.773 kapal, didominasi oleh kapal *bulk carrier* yang mengangkut biji besi dari Australia ke Asia Timur. Terdapat tren pembangunan kapal *bulk carrier* berbahan bakar LNG sebagai alternatif yang bahan bakar lebih ramah lingkungan, sesuai dengan regulasi *International Maritime Organization* (IMO) untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun, pada ALKI II masih belum tersedia fasilitas pengisian kapal berbahan bakar LNG, sehingga terdapat peluang bisnis yang menjanjikan dalam operasi LNG *bunkering vessel*. Penelitian ini ditujukan untuk mendesain LNG *bunkering vessel* untuk melayani kapal berbahan bakar LNG pada ALKI II. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data untuk pengembangan desain dan perhitungan teknis. Hasilnya divisualisasikan dalam rencana garis, rencana umum, *safety plan*, *piping diagram* dan juga model 3D. Hasil yang didapat pada penelitian ini yaitu LNG *bunkering vessel* dengan ukuran utama LPP = 104,3 m, LWL = 107,4 m, B = 18,44 m, H = 9 m, T = 5,7 m. Kapal ini akan melayani *bulk carrier* berbahan LNG pada ALKI II menggunakan 2 tangki IMO tipe C dengan total kapasitas 8.400 m³. Berbahan bakar *dual fuel* dengan daya 3.640 kW dan dioperasikan 20 awak kapal, kapal ini dibangun dengan biaya sebesar 29.304.334,82 Dolar AS.

Kata Kunci—*Dual Fuel*, *LNG*, *Bunkering vessel*, ALKI II.

I. PENDAHULUAN

ALUR Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) adalah jalur pelayaran internasional yang melintasi perairan Indonesia, terutama yang menghubungkan pulau-pulau di kepulauan Indonesia. Indonesia telah menetapkan 3 (tiga) buah ALKI, yakni ALKI I melalui Selat Malaka dan Karimata. ALKI II, melalui Laut Sulawesi, Selat Makassar, Selat Lombok menuju Samudra Hindia, dan ALKI III, melalui Laut Maluku dan Laut Sunda. ALKI II per tahunnya dilalui 36.773 kapal dari Selat Lombok ke Selat Massa, didominasi oleh kapal *bulk carrier* yang mengangkut biji besi dari Australia ke Asia Timur.

Mulai tahun 2020 terdapat tren pembangunan kapal *bulk carrier* berbahan bakar *Liquified Natural Gas* (LNG) pada beberapa galangan di China, Jepang, dan Korea. Hal ini didasari regulasi IMO berupaya mengurangi emisi gas rumah kaca (GHG) dengan adopsi *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) dan *Energy Efficiency Existing Ship Index* (EEXI). Sehingga LNG menjadi salah satu opsi bahan bakar alternatif *bulk carrier*.

Terdapat potensi *market* mengenai pengisian bahan bakar LNG untuk kapal-kapal tersebut di ALKI II. Namun, belum ada layanan dan kapal yang melakukan kegiatan *bunkering* LNG. Sehingga pada penelitian ini dibahas mengenai desain *Liquified Natural Gas Bunkering Vessel* (LNG BV) untuk melayani kapal berbahan bakar LNG yang melewati ALKI II.



Gambar 1. Peta ALKI.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Liquified Natural Gas* (LNG)

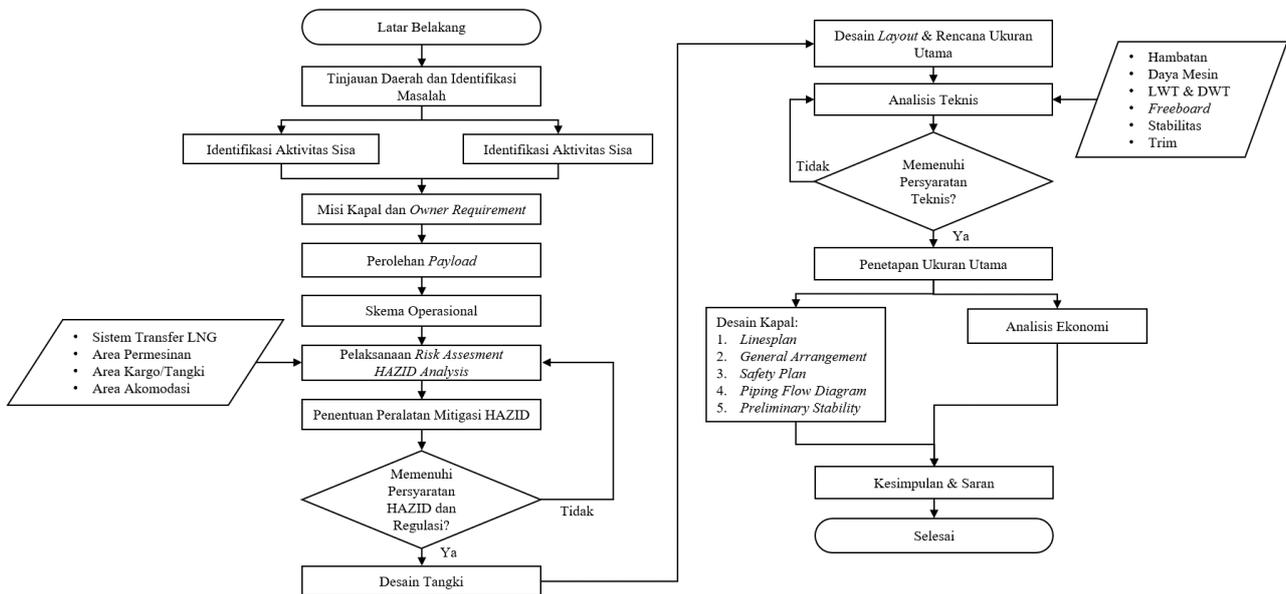
Liquified Natural Gas (LNG) merupakan jenis gas alam dengan komposisi kimia metana (CH₄) sebesar 90% bersifat tanpa bau (*odorless*), tanpa warna (*colorless*), dan tidak beracun. Massa jenis LNG sekitar 0.4-0.5kg/L bergantung pada temperatur, tekanan, dan komposisi. Pada saat fase gas, LNG akan terbakar pada konsentrasi di antara 5%–15% terhadap udara [1]. Proses pengolahan metana menjadi LNG melalui proses *liquefaction* di mana pendinginan gas hingga suhu -160°C. Pendinginan berfungsi memisahkan kandungan gas lain dan *impurities*, mempermudah penyimpanan dalam jumlah banyak, pemindahan yang lebih cepat, dan lebih aman dari risiko kebakaran dibandingkan fase gas. Setelah didinginkan gas akan berubah menjadi fase cair, fase cair ini yang disebut LNG dengan perbandingan tekanan partikel gas sebesar 1:600 atm. Fungsi gas tersebut dijadikan fase cair.

B. Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) II

Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) merupakan alur laut untuk pelaksanaan Hak Lintas Alur Laut Kepulauan berdasarkan konvensi hukum laut internasional [2]. Penetapan ALKI juga seiring dengan ditetapkannya Indonesia sebagai negara kepulauan *United Nation Convention on The Law of The Sea* (UNCLOS 1982) pada 10 Desember 1982 diatur dalam UU No. 17 Tahun 1985. Indonesia terbagi atas 3 ALKI yaitu ALKI I, ALKI II, dan ALKI III, di mana daerah ALKI II dari Selat Makassar hingga Selat Lombok. Peta ALKI dapat dilihat pada Gambar 1.

C. *Bunkering Vessel*

LNG *Bunkering vessel* (LNG BV) merupakan kapal yang berfungsi untuk kegiatan *bunkering* LNG. *Bunkering* sendiri adalah kegiatan transfer bahan bakar dari kapal ke kapal. LNG BV akan menerima suplai LNG melalui darat dengan



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

terminal LNG (*shore-to-ship*) dan laut melalui kapal ke kapal (*ship-to-ship*). Standar operasi mengikuti regulasi yang dikeluarkan pihak internasional antara lain SIGTTO, OCIMF, IMO, ISO, EN (CEN–European Committee for Standardization) dan NFPA (*National Fire Protection Association*).

D. IMO Type C LNG Tank

Penyimpanan LNG secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu *independent tank* dan *integrated tank*. *Independent tank* adalah tangki yang strukturnya terpisah dengan lambung kapal dan tidak menjadi struktur kekuatan kapal. IMO Type C Tank merupakan salah satu jenis *independent tank pressure vessel* didesain untuk menahan *vapor pressure* tinggi, dengan demikian dapat mengurangi risiko kebocoran pada umur pakai tangki [3] dan juga dipilih karena desain yang *simple*, murah, dan berkeamanan tinggi.

Material tangki terbuat dari *low temperature alloy* yang sering dijumpai antara lain SUS 304L, aluminium alloy 5083 dan 9% *nickel alloy*. Material 9% *nickel alloy* sering dipilih untuk konstruksi kulit tangki dikarenakan MAWP dan nilai kekuatan material yang lebih tinggi dan *mechanical properties* diatur dalam ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Material.

Konstruksi tangki harus memperhatikan tekanan desain muatan pada volume tertentu antara lain *design vapor pressure*, *design internal liquid pressure*, dan *design internal pressure* [4]. Ketebalan tangki dan dudukan tangki menggunakan perhitungan sesuai dengan ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Construction.

E. BOG Handling

Penyimpanan dan transfer LNG pada waktu yang lama terjadi akan proses termodinamik seperti *boiling point temperature*, *latent heat* dari penguapan atau *heating value* menyebabkan adanya evaporasi pada LNG [5] kemudian hasil ini disebut *Boil-Off Gas* (BOG). Penentuan besar BOG dihitung menggunakan *Boil-Off Rate* (BOR) di mana jenis dan ketebalan insulasi mempengaruhi besaran ini.

Pemanfaatan BOG dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin *dual fuel* atau diolah ulang untuk muatan dengan

reliquification.

F. LNG Knuckle Boom Transfer System

Pemindahan LNG menggunakan pipa dan selang yang memiliki ketahanan material, *yield strength*, dan *tensile strength* yang tinggi untuk dilalui LNG yang memiliki suhu -160°C. Terdapat beberapa teknologi transfer dari terminal ke kapal (*shore-to-ship*) kapal ke kapal (*ship-to-ship*) antara lain *marine loading arm*, *flexible hose*, dan *knuckle boom transfer*.

Pada LNG *marine loading arm*, LNG akan mengalir melalui pipa yang telah menyatu dengan *marine loading arm* dan sendi-sendi lengan *swivel*. Sedangkan pada *flexible hose* dan LNG *knuckle boom*, LNG mengalir melalui *flexible hose* bedanya pada LNG *knuckle boom* untuk mengarahkan selang menggunakan lengan. Dapat diartikan juga LNG *knuckle boom* menggabungkan dua teknologi pada LNG *marine loading arm* dan *flexible hose*.

LNG *knuckle boom* terhubung dengan *coupling box* dan sistem perpipaan yang terintegrasi dengan *pressure relief valve*, *emergency shutdown valve*, dan *emergency release coupling*.

III. METODOLOGI

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan yang digunakan dalam penyelesaian penelitian. Metodologi tersebut mencakup seluruh kegiatan yang akan dilaksanakan. Tahapan yang dikerjakan disajikan pada Gambar 2.

A. Tinjauan Lokasi dan Perumusan Masalah

Tahapan pertama dalam pembuatan penelitian ini adalah perumusan masalah pada lokasi ALKI II Selat Makassar dan Terminal Badak LNG Bontang yang akan menjadi daerah operasional dari LNG *bunkering vessel*. Kegiatan ini berujung pada didapatkannya rute, lokasi *bunkering*, fasilitas Terminal Badak LNG Bontang dan pertimbangan desain LNG *bunkering vessel*.

B. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Pada tahap studi literatur akan dilakukan pengambilan informasi berdasarkan buku, jurnal, berita, laporan, dan

regulasi. Topik utama dari studi literatur yang dilakukan merupakan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan teori dasar perkapalan. Pengumpulan data dilakukan secara tidak langsung dari kegiatan data *tracking* kapal di ALKI II Selat Makassar menggunakan web MarineTraffic selama 8 hari dan data terminal dari data sekunder milik PT PGN. Data yang diperoleh antara lain jumlah, jenis kapal, dan rute pelayaran yang melalui ALKI II Selat Makassar.

C. Misi Kapal dan Owner Requirement

Pada tahapan ini dilakukan penentuan misi kapal berdasarkan latar belakang Penelitian ini dan misi kapal sejenis. Penentuan *owner requirement* dibuat berdasarkan penelitian, jurnal, dan kapal sejenis sebelumnya yang membahas mengenai LNG *bunkering vessel*. Skema operasional kapal dilakukan perhitungan untuk mengetahui tahapan dan waktu operasional kapal.

D. Penentuan Payload

Pada tahap ini penentuan *payload* digunakan menggunakan data kapal berbahan bakar LNG yang sudah beroperasi dan dikalikan dengan jumlah konsumen kapal per hari sehingga didapatkan volume dan pembagian tangki muatan. Besar *payload* digunakan untuk mendesain konstruksi tangki kargo LNG *bunkering vessel*.

E. Risk Assesment HAZID Analysis

Pada tahapan ini dilakukan analisis risiko terhadap potensi-potensi bahaya pada LNG *bunkering vessel* diikuti dengan mitigasi dan rekomendasi. Analisis HAZID dilakukan pada area ruang muat/tangki, perpipaan, *cargo handling*, permesinan, dan akomodasi. Batasan dari analisis HAZID yang dilakukan potensi bahaya dan mitigasi berorientasi terhadap peralatan dan desain kapal, sehingga untuk operasional dan *manning* tidak dibahas.

F. Desain Ruang Muat

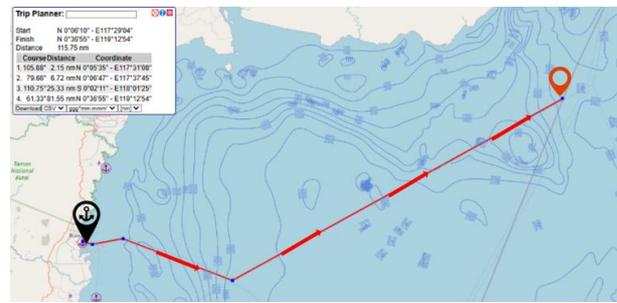
Tahapan ini membahas mengenai pertimbangan desain ruang muat meliputi penentuan ukuran tangki, volume muat tangki, perhitungan komponen tekanan desain tangki, perhitungan konstruksi kulit dan fondasi tangki, penentuan insulasi dan perhitungan BOG. Desain ruang muat nantinya akan digunakan untuk penentuan *layout* ruang muat. Pada tahap ini juga dilakukan pemodelan lambung kapal berdasarkan ukuran-ukuran *layout* yang sudah didapatkan.

G. Analisis Teknis

Setelah dapatkan *layout* kapal dan desain lambung awal kapal selanjutnya dilakukan analisis teknis. Adapun sub-tahapannya yaitu: (1) Ukuran utama kapal, (2) Koefisien kapal, (3) Hambatan kapal, (4) Daya propulsi kapal, (5) Pemilihan permesinan kapal, (6) Penentuan kru kapal, (7) Perhitungan *consumable*, (8) Perhitungan dan pemeriksaan *displacement*, (9) Perhitungan dan pemeriksaan *freeboard*, (10) Perhitungan dan pemeriksaan *trim*, serta (10) Perhitungan dan pemeriksaan *stabilitas*.

H. Desain Kapal

Setelah perhitungan teknis dilakukan, selanjutnya mengerjakan *desain lines plan*, *general arrangement*, *safety plan*, dan *piping flow diagram* dengan bantuan *software* Maxsurf, Autocad, dan Microsoft Visio. Sedangkan pembuatan 3D dan animasi dilakukan dengan bantuan *software* penunjang 3D.



Gambar 3. Rute terminal badak NGL–Bunkering Point.

I. Analisis Ekonomis

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan biaya pembangunan kapal dengan mengetahui harga seluruh material yang berkaitan dengan LNG *bunkering vessel*. Biaya pembangunan terdiri dari biaya pembangunan lambung, permesinan kapal, peralatan kapal, dan peralatan *cargo handling*. Komponen lain yang tidak termasuk dalam biaya pembangunan adalah perpipaan dan furnitur pada kapal.

Perhitungan biaya pembangunan dilakukan dengan membagi komponen biaya pembangunan menjadi dua kelompok biaya, yaitu biaya yang terkait berat kapal (*weight cost*) dan biaya yang tidak terkait dengan berat kapal (*non-weight cost*).

J. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dirangkum hasil desain yang didapat dan saran untuk pengembangan desain lebih lanjut. Kesimpulan berupa hasil pekerjaan dari analisis yang memenuhi tujuan dari penelitian. Saran dibuat untuk menyempurnakan beberapa hal yang belum tercakup di dalam proses desain pada penelitian ini.

IV. PENGEMBANGAN DESAIN BUNKERING VESSEL

A. Tinjauan Daerah

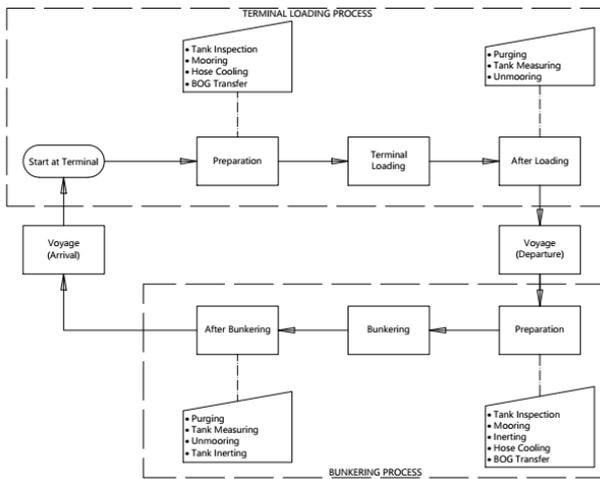
Pemilihan lokasi *bunkering point* pada perpotongan jalur laut ALKI II yang berada di Selat Makassar. Kegiatan *bunkering* yang merupakan kegiatan *ship-to-ship* transfer tidak memerlukan aktivitas lego jangkar pada salah satu kapal ataupun keduanya. Lokasi pengisian suplai LNG untuk LNG *bunkering vessel* terdapat Terminal Badak NGL Bontang. Pemilihan lokasi ini dikarenakan fasilitas *loading* muatan LNG yang terdekat pada Selat Makassar adalah Terminal Badak NGL Bontang. Rute dapat dilihat pada Gambar 3.

B. Penentuan Payload Kapal

Data *payload* kapal diambil berdasarkan hasil *tracking* kapal pada ALKI II Selat Makassar menggunakan situs web *marinetraffic.com* selama 8 hari. Diutamakan untuk kapal kargo dengan rute Australia–Asia Timur (China, Jepang, Korea Selatan). Didapatkan untuk kapal konsumen adalah kapal *bulk carrier* tipe *Panamax* dengan jumlah 12 kapal per hari. Kapasitas tangki bahan bakar kapal konsumen menggunakan regresi data ukuran tangki LNG *fuelled ship* yang sudah beroperasi dan didapatkan kapasitas tangki bahan bakar tipe *Panamax* sebesar 700 m³. Sehingga *payload* LNG *bunkering vessel* sebesar 8.400 m³ dengan konfigurasi 2 tangki masing-masing berkapasitas 4.200 m³.

C. Misi Kapal dan Owner Requirement

Misi dari LNG *bunkering vessel* adalah melakukan pengisian bahan bakar LNG pada kapal *bulk carrier* tipe



Gambar 4. Skema operasional kapal.

Tabel 1.

Rekapitulasi Tekanan Desain Muatan		
P_0	0.912	MPa
P_{gd}	0.177	MPa
P_{θ}	0.177	MPa
P_{eq}	1.096	MPa
MARV	1.206	MPa

Tabel 2.

Rekapitulasi Koefisien dan Displacement Kapal		
F_n	0,21	
C_B	0,814	
C_P	0,814	
C_M	0,998	
C_{WP}	0,882	
Volume Displaced	9.281	m ³
Displacement	9.514	ton

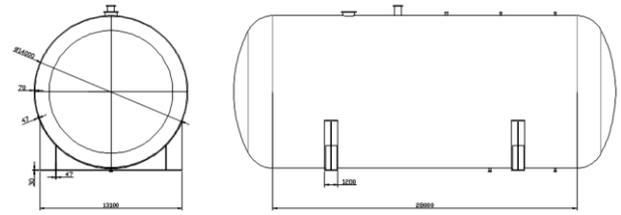
panamax berbahan bakar LNG pada ALKI II dengan prosedur bunkering yang disesuaikan dengan regulasi. Operasional LNG bunkering vessel memperhatikan kegiatan yang akan berlangsung selama kapal beroperasi antara lain, kegiatan pengisian di terminal, waktu berlayar, dan kegiatan bunkering ke kapal konsumen. Skema operasional kapal dapat dilihat pada Gambar 4.

D. Hazard Identification (HAZID) Analysis

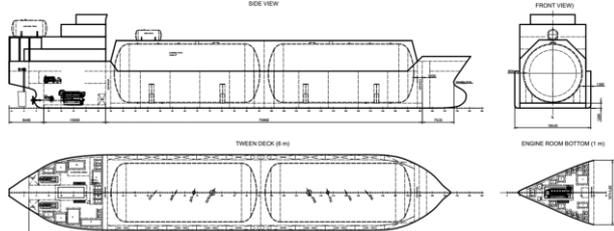
HAZID Analysis dilakukan berdasarkan regulasi dan statutori. Di mana dalam IMO IGC Code Chapter 1, ISO/TS 16901 dan peraturan ABS untuk kapal yang mengadopsi metode AIP (Approval in Principle) dalam tahap concept design perlu dilakukan risk assessment tingkat HAZID. Penulis melakukan risk assessment berdasarkan area dan peralatan. Mitigasi dan rekomendasi HAZID berupa implementasi pada desain dan peralatan, sedangkan untuk risk assessment untuk operasional dan manning tidak dilakukan.

E. Desain Tangki

Desain tangki yang digunakan adalah IMO Type C Tank di mana material dan konstruksinya diatur dalam ASME BPV Code Section II dan VIII. Tangki dengan panjang 28 m dan diameter 14 m memiliki volume kotor sebesar 5.029 m³ dan filling limit sebesar 4576 m³. Hasil perhitungan tekanan desain tangki dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 5. Desain tangki kargo.



Gambar 6. Desain layout LNG bunkering vessel.

Dari desain tekanan digunakan untuk perhitungan konstruksi tangki menghasilkan ketebalan tangki sebesar 50 mm. Desain tangki sebagai berikut pada Gambar 5. Pemilihan insulasi menggunakan polyurethane dengan ketebalan 150 mm menghasilkan boil-off rate sebesar 0,13% per hari. BOG yang dihasilkan LNG bunkering vessel sebesar 24,55 m³ dan kapal konsumen sebesar 7,65 m³ sehingga desain tangki BOG memiliki kapasitas 32 m³.

F. Layout dan Penentuan Ukuran Utama Kapal

Ukuran utama kapal menggunakan metode layout luasan dan panjang kompartemen. Pada ruang muat terdapat spacing untuk lebar frame/konstruksi kapal dan akses orang kedalam ruang muat sesuai peraturan mengenai containment system dan ship survivability dalam IMO IGC Code 2014 Chapter 4. Perlengkapan dalam ruang mesin ditentukan tipe, ukuran, dan jumlahnya sebagai data ukuran dalam pembuatan layout ruang mesin.

Desain lambung yang digunakan adalah lambung standar Japanese Bulk Carrier (JBC) Model. Lambung ini dipilih dikarenakan panjang dan lebar paralel middle body kapal yang luas dan tangki tipe IMO Type C dapat masuk seluruhnya tanpa ada bagian tangki yang berpotongan dengan badan kapal. Luasan layout dan desain lambung kemudian digabungkan dalam satu gambar untuk mengetahui posisi dan ukuran kompartemen kapal yang disajikan pada Gambar 6.

V. ANALISIS TEKNIS LNG BUNKERING VESSEL

A. Perhitungan Teknis

Perhitungan teknis dilakukan untuk mengetahui apakah kapal yang didesain memenuhi persyaratan teknis dan regulasi yang berlaku atau tidak. Setelah dilakukan Analisis maka bisa di dapatkan Ukuran Utama Akhir dari LNG bunkering vessel.

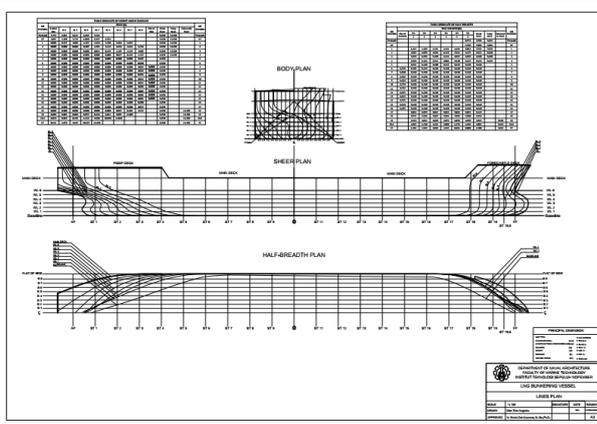
1) Ukuran Utama dan Koefisien

Berdasarkan dari ukuran pada layout kapal didapatkan ukuran utama LNG bunkering vessel sebagai berikut.

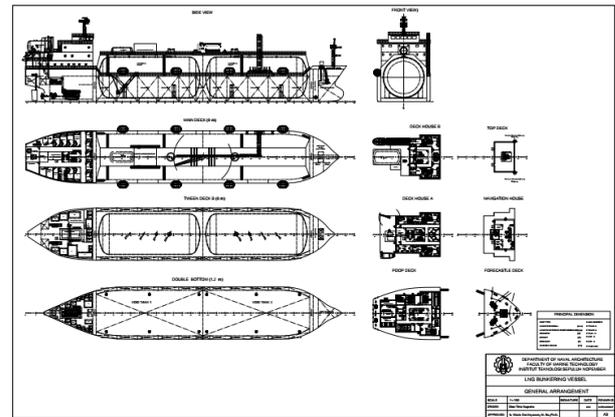
$$LPP = 104,3 \text{ meter} \quad H = 9 \text{ meter}$$

$$B = 18,44 \text{ meter} \quad T = 5,7 \text{ meter}$$

Kemudian dilakukan perhitungan koefisien kapal untuk data perhitungan teknis selanjutnya. Adapun hasil perhitungan koefisien pada Tabel 2.



Gambar 7. Desain *lines plan*.



Gambar 8. Desain *general arrangement*.

2) Perhitungan Hambatan dan Daya Mesin

Perhitungan hambatan digunakan untuk mendapatkan daya mesin yang dibutuhkan dalam menggerakkan kapal pada kecepatan dinas. Metode perhitungan hambatan menggunakan metode Holtrop and Mennen yang cukup umum digunakan untuk mencari hambatan kapal *displacement type* [6].

Hasil perhitungan hambatan total yang didapat sebesar 138.654 kN. Kemudian dilakukan penambahan hambatan dengan margin sebesar 15% dari hambatan yang telah didapat, maka hambatan total sebesar 232.3 kN. Dari besar hambatan yang telah diketahui, maka dapat dicari *effective power* (PE) yang dibutuhkan. Besar nilai PE diberi margin 15% untuk mendapatkan nilai MCR mesin. MCR yang didapat sebesar 3231.62 kW.

Mesin induk yang digunakan tipe *dual-fuel* yaitu Wartsila 8L34DF dengan daya sebesar 3640 kW dan generator set merek CSI Ningdong N160/170 DF dengan daya sebesar 400 kW sejumlah 2 buah.

3) Perhitungan LWT dan DWT Kapal

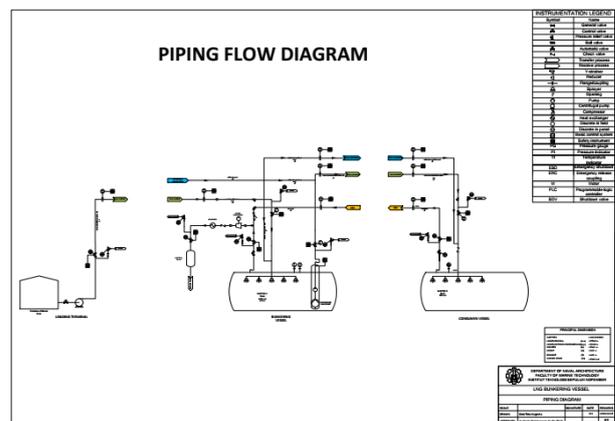
Berat konstruksi kapal dihitung menggunakan pendekatan menurut oleh Michael G. Parson dalam *Parametric Design* [7]. Komponen berat konstruksi kapal meliputi berat konstruksi lambung, *deck house*, dan *superstructure*.

Perhitungan berat kapal terdiri dari dua, jenis yaitu *lightweight* (LWT) dan *deadweight* (DWT). LWT adalah berat kapal kosong atau tanpa muatan dan hanya terdiri dari berat kapal itu sendiri, berat sistem permesinan, dan berat perlengkapan. Sedangkan DWT adalah berat dari muatan kapal yang dibawa ketika kapal berlayar, dan terdiri dari *payload*, bahan bakar, oli, air bersih, dan awak kapal. Dari hasil perhitungan, didapatkan LWT kapal 2.425,325 ton dan DWT kapal sebesar 1.012,593 ton.

4) Perhitungan Displacement, Trim, Freeboard dan Stabilitas

Kegiatan pemeriksaan gaya angkat kapal/*displacement* untuk mengetahui berapa gaya angkat yang tersisa pada kapal ketika berisi muatan apakah kapal dalam kondisi mengapung. Terdapat selisih berat *displacement* yang cukup besar dengan nilai 767 ton atau 8%, sehingga diperlukan *ballast* untuk mengisi selisih berat tersebut.

Trim adalah kondisi perbedaan ketinggian sarat air pada haluan (FP) dan buritan (AP) yang menyebabkan kondisi kapal miring di bagian sarat terdalam. Dalam perhitungan didapatkan nilai trim maksimal 5.432 m, sedangkan dalam



Gambar 9. Desain *piping flow diagram*.

perhitungan trim LNG *bunkering vessel* sebesar 0.909 m sehingga kondisi tersebut memenuhi kriteria.

Freeboard merupakan jarak vertikal antara geladak kapal dengan sarat kapal yang berfungsi sebagai gaya apung cadangan kapal. Perhitungan *freeboard* yang dipakai menggunakan aturan yang dibuat oleh *International Maritime Organization* (IMO) yang tertulis di *International Convention on Load Lines 1966* sebagai acuan kriteria. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan *freeboard* minimum adalah 1.497 m dengan *actual freeboard* sebesar 3 m.

Stabilitas kapal merupakan hal yang sangat penting dalam proses mendesain kapal, karena stabilitas merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami oleng akibat adanya dorongan eksternal pada lambung kapal. stabilitas dipengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel untuk menyeimbangkan *buoyancy* dengan gaya berat.

Pemeriksaan stabilitas pada kapal bergantung terhadap *load case* selama kapal tersebut berlayar. *Load case* berisikan berat LWT dan DWT kapal. Perhitungan stabilitas dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf Stability. Kriteria stabilitas yang digunakan dalam perhitungan stabilitas adalah IS Code 2008 *On Intact Stability Ch.3 design criteria applicable to all ship*. Total *loadcase* yang dibuat sebanyak 6 *loadcase* dengan hasil analisis memenuhi IS Code 2008.

B. Desain LNG Bunkering Vessel

1) Desain Lines Plan

Pembuatan *lines plan* menggunakan *software* Maxsurf Modeller dan AutoCAD. Desain lambung kapal ditentukan posisi *grid* untuk mengenerate *Body Plan*, *Sheer Plan*, dan *Half-Breadth Plan*. Jumlah *station* pada *body plan* terdiri atas

20 station, *sheer line* pada *sheer plan* terdiri atas 8 garis, *waterline* pada *half-breadth plan* sejumlah 8 garis terdiri dari 6 garis *waterline* yang disajikan pada Gambar 7.

2) Desain Rencana Umum

Desain *General Arrangement* dibuat dengan bantuan *software 2D*, AutoCAD. Pembuatan *General Arrangement* menggunakan data garis pada *lines plan*, data ukuran *layout* ruang muat, data ukuran *layout* kamar mesin, data tangki, dan data kru kapal. Luasan dan jumlah ruangan/kamar kru kapal menggunakan peraturan dari ILO 133. Desain *general arrangement* dapat dilihat pada Gambar 8.

3) Desain Safety Plan

Keberadaan *safety plan* pada kapal adalah hal yang wajib bagi seluruh kapal. hal ini bertujuan untuk mengetahui akses dan sarana penunjang keselamatan apabila kapal dalam bahaya/*distress*. Pembuatan *safety plan* mengikuti posisi ruangan-ruangan, dek, dan jalur akses kru kapal pada *general arrangement*. Peraturan yang digunakan dalam pembuatan *safety plan*, antara lain SOLAS, FSS Code, dan LSA Code. Jumlah peralatan keselamatan personal jumlahnya harus sesuai dengan jumlah kru kapal dan terdapat peralatan komunikasi untuk digunakan dalam keadaan *distress*.

Fire plan menunjukkan posisi alat-alat pemadam dan alarm kebakaran. Pada akses ruang akomodasi dilengkapi dengan alarm, *sprinkler* air, dan *portable foam extinguisher*. Sedangkan pada ruang mesin *sprinkler* menggunakan CO₂, alarm CO₂ release, dan terdapat alat bantu pernapasan.

4) Desain Piping Flow Diagram

Desain *Piping Flow Diagram* (PFD) memperhatikan jenis-jenis *valve* dan peralatan instrumentasi yang telah diatur dalam IMO IGC Code 2014 [4] dan ANSI/ISA-5.1 2009 [8]. Peralatan khusus seperti *pressure relief valve*, *emergency shut-down valve*, dan *emergency release coupling* juga disusun tata letaknya.

Pada PFD disusun jalur untuk transfer LNG dari terminal ke LNG *bunkering vessel* (*shore-to-ship*) dan dari LNG *bunkering vessel* ke kapal konsumen (*ship-to-ship*). Jalur pengolahan BOG (*boil-off gas*) dan sistem *purging-inerting* pada tangki kargo LNG *bunkering vessel* telah disusun dalam PFD. Desain PFD dapat dilihat pada Gambar 9.

5) Desain 3D

Pembuatan 3D untuk LNG *bunkering vessel* menggunakan *software 2D* dan 3D. Pengerjaan ini dimulai dengan mengeksport lambung kapal dari Maxsurf kemudian penggambaran eksterior dan *outfitting* kapal berdasarkan *general arrangement*. Desain 3D dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

6) Desain Mooring Arrangement

Pada proses *loading* di terminal dan *bunkering*, LNG *bunkering vessel* memerlukan peralatan untuk menjaga posisinya agar aman. Perubahan posisi diakibatkan pergerakan arus dan gelombang laut mengakibatkan resiko terlepasnya *loading arm* dan *hose* LNG *bunkering vessel*. Sehingga diperlukan susunan *mooring diagram* untuk mengetahui posisi tali tambat antara *jetty* dan LNG *bunkering vessel* dalam proses *shore-to-ship* transfer dan antara *bulk carrier* tipe Panamax berbahan LNG dengan LNG *bunkering vessel* dalam proses *ship-to-ship*. Aturan mengenai *mooring*



Gambar 10. Desain 3D LNG *knuckle boom*.



Gambar 11. Desain 3D LNG *bunkering vessel*.

diagram diatur dalam OCIMF *Mooring Equipment Guideline*.

7) Perhitungan Biaya Pembangunan LNG Bunkering Vessel

Perhitungan biaya pembangunan LNG *bunkering vessel* dilakukan dengan mencari material dan peralatan dari kapal yang akan dibangun, lalu dicari harganya. Setelah didapatkan biaya material dan peralatan, maka biaya tersebut akan ditambahkan 20% dari nilai itu sendiri sebagai biaya pembangunan, dan 10% untuk biaya pajak. Hasil perhitungan ekonomis didapatkan biaya pembangunan LNG *bunkering vessel* sebesar 29.304.334,82 Dolar AS. Biaya pembangunan tidak termasuk sistem perpipaan, furnitur, dan perlengkapan *outfitting* kapal lainnya.

VI. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa ini maka didapatkan kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Tinjauan daerah ALKI II didapatkan konsumen kapal LNG *bunkering vessel* pada ALKI II merupakan kapal *bulk carrier* tipe *panamax* sejumlah 12 kapal per hari dengan asumsi kapasitas tangki masing-masing kapal sebesar 700 m³. Tinjauan daerah pada Terminal Badak LNG Bontang didapatkan kegiatan *loading* dilakukan di *jetty* nomor 2 Terminal Badak LNG Bontang dan kegiatan operasional *bunkering* pada *bunkering point* dengan 2 rute lokasi *bunkering* yaitu di kolam labuh Terminal Badak LNG Bontang dan Terminal Loktuan Bontang. (2) Misi dari LNG *bunkering vessel* adalah melakukan pengisian bahan bakar LNG pada kapal *bulk carrier* tipe Panamax berbahan bakar LNG pada ALKI II dengan prosedur *bunkering* yang disesuaikan dengan regulasi. Berikut adalah operasional dari LNG *bunkering vessel*: (a) Kegiatan *bunkering* LNG yang aman sesuai dengan prosedur yang telah diatur dalam regulasi, (b) kegiatan *bunkering* LNG yang aman dengan dilengkapi

sistem yang telah diatur dalam regulasi dan (c) penerimaan BOG dari tangki bahan bakar kapal konsumen sebelum kegiatan *bunkering* berlangsung. (3) Dari hasil pengembangan desain berupa *layout* kapal dan berupa analisis teknis hambatan, *propulsion & powering*, daya apung, dan stabilitas yang dilakukan telah memenuhi persyaratan dan peraturan yang ada. Kemudian didapatkan ukuran utama LNG *bunkering vessel* yang telah memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut: LPP = 104,3 m, LWL = 107,4 m, B = 18,44 m, H = 9 m, T = 5,7 m, dan Vs = 13 knot. (4) Pengembangan desain dan analisis teknis yang memenuhi peraturan/regulasi adalah sebagai berikut: (a) Peraturan mengenai pelaksanaan analisis risiko dalam adopsi AIP diatur dalam IGC Code, IGF Code, dan ABS yaitu dilakukan analisis risiko *HAZID Analysis* pada pertimbangan desain LNG *bunkering vessel* untuk menentukan mitigasi dan peralatan yang akan digunakan di kapal. (b) Peraturan mengenai perhitungan desain tekanan pada tangki IMO tipe C yang diatur dalam IMO IGC Code dapat dilihat pada Tabel. (c) Peraturan mengenai penempatan tangki ruang muat berdasarkan IMO IGC Code 2014 *Chapter 4*. (d) Peraturan mengenai penempatan instrumen keselamatan muatan khusus pada LNG *Carrier* yaitu posisi *pressure relief valve*, *emergency shutdown valve*, dan *emergency release coupling* dapat dilihat pada *Piping Flow Diagram* yang memenuhi regulasi IGC Code. (e) Peraturan mengenai *freeboard* yang memenuhi sesuai regulasi ICLL untuk kapal tipe A. (f) Peraturan mengenai stabilitas yang memenuhi sesuai regulasi IS Code. (5) Desain *Lines Plan*, *General Arrangement*, *Safety plan* dan *Piping Flow Diagram* dari LNG *bunkering vessel* telah

dilakukan. Desain *General Arrangement* dapat dilihat pada Gambar 8. (6) Desain 3D dan animasi berbasis aplikasi dari LNG *bunkering vessel* dapat dilihat pada Gambar 11. (7) Hasil perhitungan ekonomis didapatkan biaya pembangunan LNG *bunkering vessel* sebesar 29.304.334,82 Dolar AS. Biaya pembangunan tidak termasuk sistem perpipaan, furnitur, dan perlengkapan *outfitting* kapal lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Ertl, C. Durr, D. Coyle, I. Mohammed, dan S. Huang, "New LNG Receiving Terminal Concepts," *World Petroleum Congress Proceedings*, vol. 2006. hal. WPC-18-0957, 2006.
- [2] Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2002 tentang Hak dan Kewajiban Kapal dan Pesawat Udara Asing dalam Melaksanakan Hak Lintas Laut Kepulauan melalui Alur Laut Kepulauan yang Ditetapkan," Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia, Jakarta, 2008.
- [3] Y.-I. Park, J.-S. Cho, dan J.-H. Kim, "structural integrity assessment of independent type-c cylindrical tanks using finite element analysis: comparative study using stainless steel and aluminum alloy," *Metals*, vol. 11, no. 10, 2021, doi: 10.3390/met11101632.
- [4] International Maritime Organization, "International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gas in Bulk," International Maritime Organization, London, 1993.
- [5] T. Włodek, "Analysis of boil-off rate problem in Liquefied Natural Gas (LNG) receiving terminals.," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 214, no. 1, hal. 12105, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/214/1/012105.
- [6] J.D. V. Maneen dan P. V. Oossanen, *Principles of Naval Architecture Second Revision*, 2nd ed. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [7] A. E. Branch dan M. Robarts, "Ship design and construction," *Branch's Elem. Shipp.*, hal. 51–78, 2021, doi: 9781315767154-11.
- [8] American National Standards Institute, *Instrumentation Symbols and Identification ANSI/ISA-5.1*, North Carolina: The Instrumentation, System, and Automation Society, 2009. ISBN: 0-87664-844-8.