

KAJIAN TEKNIS KEBUTUHAN ARMADA KAPAL UNTUK SISTEM LOGISTIK LNG MENGGUNAKAN ISO TANK KONTAINER DI WILAYAH MALUKU

A Technical Study of Vessel Fleet Requirements for LNG Logistic Systems using ISO Tank Container in the Maluku Region

Andi Cahyo Prasetyo Tri Nugroho¹, Sunaryo¹ dan Fariz Maulana Noor²

¹Departemen Teknik Mesin - Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta

²Balai Teknologi Hidrodinamika - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Surabaya

Email: andi.cahyo@ui.ac.id, andi@bppt.go.id

Diterima: 19 Juli 2020; Direvisi: 10 September 2020; Disetujui: 07 Oktober 2020

Abstrak

Paper ini merupakan studi kelayakan perencanaan armada pengangkut LNG. Dalam studi ini, wilayah yang dijadikan objek studi adalah Maluku yang mana kebutuhan LNG hanya dipergunakan untuk pembangkit listrik PLN. Lokasi pembangkit tersebar di beberapa pulau seperti Ambon, Seram, dan Namlea. Kondisi ini membuat sistem suplai yang menggunakan pipa tidak memungkinkan sehingga penggunaan *virtual-pipeline* menjadi alternatif cara yang lebih cepat untuk membawa gas alam ke tempat-tempat dimana tidak ada kelayakan teknis atau ekonomis untuk pipa konvensional. Salah satu konsep *virtual-pipeline* adalah pemanfaatan *ISO tank container*. Untuk mendapatkan skenario rantai suplai LNG menggunakan *ISO tank container* yang optimum untuk dikembangkan di wilayah Maluku, dilakukan analisis kebutuhan LNG dalam *ISO tank container* dan armada kapal yang sesuai. Beberapa skenario pengiriman dibuat untuk mendapatkan rute, kapasitas dan kecepatan kapal. Analisis hierarki proses digunakan untuk menentukan tipe kapal. Selanjutnya *basic design* kapal dibuat dan dilakukan analisa kelayakan desain. Dari hasil perhitungan diperoleh kapal tipe *deck cargo* kontainer dengan kapasitas 36 *ISO tank container 40 feet* dengan kecepatan 9 knot adalah ukuran kapal yang ideal.

Kata kunci: LNG, ISO, tank, kontainer, desain

Abstract

This paper is a feasibility study for LNG carrier fleet planning. In this study, the area used as the object of study is Maluku where LNG needs are only used for PLN power plants. The location of the power plants is spread across several islands such as Ambon, Seram, Namlea, this condition makes the pipeline supply system impossible so that the use of virtual-pipelines is an alternative as a faster way to transport natural gas to places where there is no technical or economic feasibility for conventional pipes. One of the virtual-pipeline concepts is the use of ISO tank container. To obtain the optimum LNG supply chain scenario using ISO tank container to be developed in the Maluku region, an analysis of LNG needs in the appropriate ISO tank container and fleet of ships is carried out. Several shipping scenarios were made to get the route, capacity and speed of the ship. Analytical Hierarchy Process is

used to determine vessel type. Furthermore, the basic ship design is made and the feasibility analysis of the design is carried out. From the calculation, it is obtained that the deck cargo container ship with a capacity of 36 ISO 40 feet container tank with a speed of 9 knots is the ideal ship size.

Keywords: LNG, ISO, tank, container, design

PENDAHULUAN

Pemerintah berkomitmen untuk meningkatkan pemanfaatan sumber energi domestik di antaranya gas bumi yang memiliki cadangan 142.72 triliun *Standard Cubic Feet* sebagai energi bersih dan ramah lingkungan. Melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 (2014) tentang Kebijakan Energi Nasional, pemanfaatan gas bumi domestik ditargetkan meningkat dari saat ini sebesar 19% menjadi 24% pada tahun 2050. Sebaliknya, pemanfaatan minyak bumi diturunkan dari saat ini sebesar 42% menjadi 20% pada tahun 2050. Dalam Neraca Gas Bumi Indonesia 2018-2027 (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2018), terlihat proyeksi konsumen pengguna gas bumi dalam jumlah yang relatif besar untuk wilayah Indonesia Timur adalah untuk pembangkit listrik PLN. Oleh karena itu studi ini hanya membahas kebutuhan gas untuk PLN. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) 2019-2028 akan dibangun 13 unit PLTMG di Provinsi Maluku dengan kapasitas total 235 MW dengan rincian enam unit dalam tahap konstruksi, satu unit tahap pengadaan, sisanya enam unit masih dalam tahap rencana. Kasus dalam studi ini adalah pembangkit yang ada pada tahap konstruksi yang lokasinya di sistem Ambon dan Seram dan sistem baru yaitu Ambon Peaker, Seram, Bula, dan Namlea (PT. PLN (Persero), 2019). Dari data RUPTL tersebut, lokasi pembangkit di Maluku tersebar di beberapa pulau besar antara lain pulau Ambon, Seram, dan Namlea. Kondisi ini membuat sistem suplai menggunakan pipa tidak memungkinkan sehingga penggunaan *virtual-pipeline* menjadi alternatif sebagai cara yang lebih cepat untuk membawa gas alam ke tempat-tempat di mana tidak ada kelayakan teknis atau ekonomis untuk pipa konvensional (Abdalla, 2015). Konsep *virtual-pipeline* adalah sistem yang memungkinkan pengangkutan gas bumi dalam bentuk gas terkompresi/cair menggunakan modul yang digabungkan ke *platform* bergerak, yang diangkut dengan truk, kapal feri, kapal dan/atau *platform* rel (Princewill & Ikiensikimama, 2016). Salah satu modul

yang digunakan adalah pemanfaatan ISO tank kontainer. Pemanfaatan ISO tank sendiri telah dikembangkan di Barbados, dan Puerto Rico (Riviera Newsletters, 2017) yang merupakan negara kepulauan di Karibia yang memiliki kondisi geografis berupa kepulauan yang mirip dengan Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan desain awal kapal pengangkut ISO tank untuk suplai kebutuhan LNG sebagai bahan bakar pembangkit listrik di Provinsi Maluku.

TINJAUAN PUSTAKA

Liquified Natural Gas (LNG)

LNG terdiri dari sekitar 90% Metana dengan hidrokarbon ringan lainnya (misal Etana, Propana, dan Butana) dan dengan Nitrogen (lihat Tabel 1). LNG adalah cairan kriogenik, dibuat dengan mendinginkan gas alam ke suhu di bawah titik didihnya sekitar -162°C . Dengan mengubah gas alam menjadi LNG, volumenya berkurang 600 kali. LNG disimpan dan diangkut secara normal di sekitar tekanan atmosfer (Riviera Newsletters, 2017). Komposisi LNG dari beberapa kilang di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

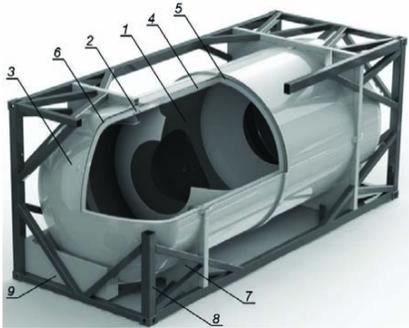
Tabel 1. Komposisi LNG di Indonesia

Asal	Nitrogen N2 %	Methane C1 %	Ethane C2 %	Propane C3 %	C4+ %	LNG density kg/m ³ (n)	Gas density ratio kg/m ³ liq m ³ liq (n)	Expansion ratio m ³ (n) m ³ liq (n)	Gas GCV MJ/m ³ (n)
Arun	0.2	90.7	6.2	2.0	1.0	457	0.803	569	43.9
Badak	0.0	91.2	5.5	2.4	0.9	456	0.801	568	43.9
Tangguh			2.9	0.5	0.2	432	0.744	580	41.0

(Sumber: International Gas Union (2012))

ISO Tank Kontainer

Pada dasarnya ISO tank kontainer adalah bejana IMO tipe-C yang dipasang dalam kerangka ukuran standar ISO dengan panjang 20, 30 atau 40 ft. Tangki juga dapat bertindak sebagai unit penyimpanan statis (Riviera Newsletters, 2017). Konstruksi umum dari ISO tank kontainer dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. ISO tank LNG (Lisowski & Czyzycki, 2011)

Ket. Gambar : 1 – inner tank, 2 – inner supports made of plastic materials, 3 – outer tank, 4 – insulation, 5 – radiation shields, 6 – the vacuum, 7 – outer supports, 8 – container frame, 9 – fittings.

Menurut (Istituto Internazionale delle Comunicazioni, 2018), karakteristik teknis dari ISO tank adalah sebagai berikut:

- Design code IMDG, TPED, ADR, RID, IMO Type-C dan sesuai frame ISO;
- Ukuran 20, 30 atau 40 kaki;
- Kapasitas dari 16000 hingga 45000 liter;
- Kisaran tekanan dari 4 hingga 25 bar;
- Temperatur desain -196°C;
- Berat kotor maksimum 34000 kg;
- Insulasi super *multi-layer* dalam kondisi vakum;
- Bahan yang digunakan jaket luar baja karbon dan bagian dalam *stainless steel*;
- *Finishing* luar cat putih;
- Pengaturan perpipaan: semua pipa baja *stainless*;
- Terisolasi dengan baik untuk memastikan waktu penahanan yang lama (60 hingga 110 hari);
- Regulator-regulator kontrol tekanan:
 - Sensor tekanan/suhu;
 - Detektor gas;
 - Katup periksa, katup pelepas tekanan, katup aliran berlebih, katup manual dan katup tidak-kembali;
 - Deteksi dan perlindungan kebocoran;
 - *Dry disconnect quick coupling*.

Beberapa regulasi terkait transportasi LNG dalam ISO tank container berdasarkan Istituto Internazionale delle Comunicazioni (2018) adalah sebagai berikut:

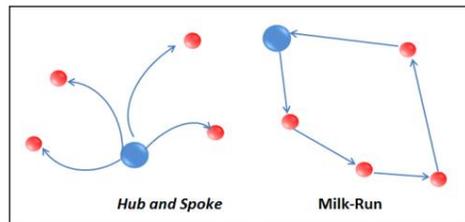
1. Directive 2010/35/EU-TPED - Transportable Pressure Equipment Directive;
2. CSC - The International Convention for Safe Containers 1972;
3. ADN: International Carriage of Dangerous Goods

by Inland Waterways;

4. International maritime of dangerous good code IMDG code;
5. NFPA 59A: Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG).

Metode Pengiriman LNG

Menurut Nikolaou (2010) transportasi LNG biasanya menggunakan dua metode yaitu metode *milk and run* dan metode *hub and spoke* seperti terlihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Metode pengiriman kapal mini LNG (Nikolaou, 2010)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Rakhmawan & Purwanto, 2018) metode pengiriman LNG untuk wilayah timur Indonesia lebih efektif menggunakan metode *milk and run* dibandingkan metode *hub and spoke*. Dari hasil penelitiannya juga membagi Indonesia timur menjadi 4 zona distribusi yaitu Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Maluku dan Papua seperti terlihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Zona distribusi LNG wilayah Indonesia timur (Rakhmawan & Purwanto, 2018)

Berdasarkan hasil kajian pustaka dan data lokasi pembangkit listrik tenaga gas di Maluku, dapat diperhitungkan rute yang paling optimal dengan beberapa pertimbangan antara lain:

1. Rencana suplai gas berasal dari kilang LNG terdekat yaitu Tangguh di Papua;
2. Metode pengiriman adalah *milk run* karena metode ini terbukti lebih efektif untuk volume muatan yang relatif kecil;

3. Untuk menghitung kapasitas kapal (*pay load*) maka beberapa skenario waktu pengiriman dibuat. Skenario waktu pengiriman ini menentukan kebutuhan LNG dalam bentuk ISO tank dikarenakan kebutuhan LNG bergantung dengan waktu pengiriman dan apakah rute pelayaran mampu dipenuhi sesuai rentang waktu yang ditetapkan adalah fungsi dari kecepatan kapal. Ada 6 (enam) skenario waktu pengiriman yaitu:
- Skenario 1 waktu pengiriman 7 hari;
 - Skenario 2 waktu pengiriman 10 hari;
 - Skenario 3 waktu pengiriman 14 hari;
 - Skenario 4 waktu pengiriman 15 hari;
 - Skenario 5 waktu pengiriman 20 hari;
 - Skenario 6 waktu pengiriman 30 hari.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Menurut Taylor (2014), AHP adalah sebuah metode untuk memeringkat alternatif keputusan dan memilih yang terbaik dengan beberapa kriteria. AHP mengembangkan satu nilai numerik untuk memeringkat setiap alternatif keputusan, berdasarkan pada sejauh mana tiap-tiap alternatif memenuhi kriteria pengambil keputusan. Aprilia, Artana, & Dinariyana (2019) menggunakan *fuzzy Analytical Hierarchy Process* untuk pemilihan tipe terminal LNG di wilayah Ambon. AHP dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan tipe kapal yang paling sesuai untuk melayani rute yang telah ditentukan. Kriteria yang menjadi acuan dalam AHP adalah:

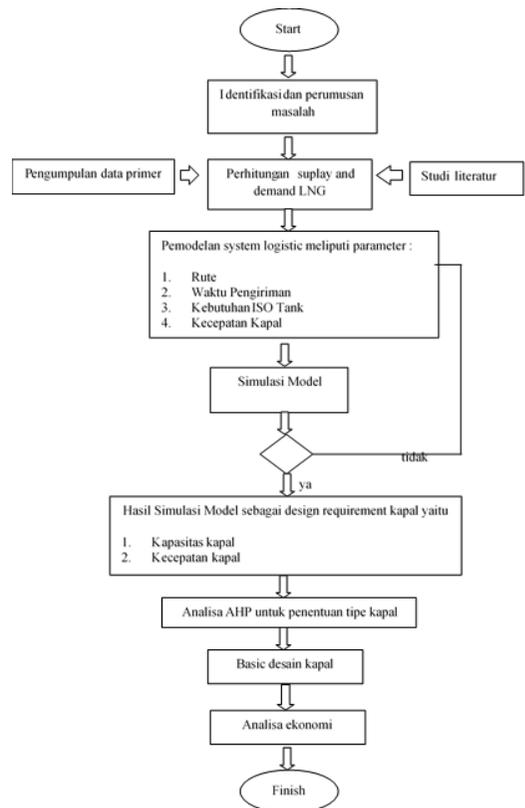
1. Jenis dan jumlah muatan;
2. Kecepatan;
3. Kondisi perairan dan pelabuhan;
4. Regulasi keamanan;
5. Biaya pembangunan;
6. Biaya operasional.

Influence perspective adalah tahapan perbandingan akhir dalam susunan hierarki yaitu pada tahapan alternatif, di mana dalam tahap ini dilakukan perbandingan dengan menggunakan indikator dalam hierarki kriteria secara individu sebagai preferensi utama untuk diproyeksikan terhadap empat alternatif tipe kapal.

METODE PENELITIAN

Dalam artikel ini metode penelitian dimulai dari pengumpulan data sekunder terkait *supply & demand* LNG untuk pembangkit di Provinsi Maluku,

Kemudian identifikasi lokasi dan jarak tiap pelabuhan tujuan. Ditentukan rute pelayaran dari hasil optimasi dengan membuat enam skenario pengiriman dengan variasi waktu pengiriman, kecepatan kapal dan kapasitas kapal sehingga diperoleh desain *requirement* kapal yang optimal. Selanjutnya pemilihan tipe kapal dengan analisa hierarki proses, setelah itu dibuat *basic design* kapal sesuai *requirement* dan mempertimbangkan kapal perbandingan yang ada sebagai langkah terakhir adalah analisa teknis terkait desain yang telah dibuat. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada *flow chart* Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinjauan Wilayah

Provinsi Maluku terbagi menjadi sembilan kabupaten dan dua kota yaitu Kabupaten Buru & Kabupaten Buru Selatan, Kabupaten Kepulauan Aru, Kabupaten Kepulauan Tanimbar, Kabupaten Maluku Barat Daya, Kabupaten Maluku Tengah, Kabupaten Maluku Tenggara, Kabupaten Seram Bagian Barat, Kabupaten Seram Bagian Timur, Kota Ambon, Kota

Tual. Setiap kabupaten direncanakan memiliki pembangkit tersendiri untuk suplai kebutuhan lokal. Dalam penelitian ini lokasi pembangkit yang nantinya akan dijadikan sebagai objek studi adalah Ambon, Seram, Bula, dan Buru. Keempat lokasi ini dipilih karena lokasi yang cukup berdekatan untuk menjadi *role model* bagaimana mengaplikasikan sistem suplai LNG menggunakan ISO tank kontainer dengan skema *milk run*. Selain itu lokasi ini merupakan prioritas karena proses pembangunan PLTMG sudah berjalan. Lokasi dari pembangkit listrik dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Lokasi pembangkit wilayah studi

Analisa Kebutuhan LNG

Analisa kebutuhan LNG dilakukan untuk menentukan jumlah kebutuhan LNG masing-masing pembangkit tiap jeda waktu yang telah ditentukan sesuai skenario pengiriman. Kebutuhan LNG nantinya akan dikonversikan ke dalam kebutuhan ISO tank kontainer ukuran 40 feet. Kebutuhan masing-masing pembangkit berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13K/13/MEM/2020 (2020) telah ditetapkan volume indikatif kebutuhan masing-masing pembangkit di Maluku dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kebutuhan LNG PLTMG di Maluku

No	Sistem	Lokasi>Nama	KAP (MW)	Indikatif Volume gas (BBTUD)
1.	Ambon	Ambon Peaker	30	2.28
2.	Bula	Bula	10	0.42
3.	Buru	Namlea	10	0.85
4.	Seram	Seram	20	1.01
Total			70	4.56

Kebutuhan LNG ISO Tank Kontainer

Hasil identifikasi dan perhitungan kebutuhan LNG dalam ISO tank untuk empat pembangkit di Provinsi Maluku dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil tersebut merupakan kebutuhan LNG tiap pembangkit per hari.

Konversi satuan menggunakan referensi dari International Gas Union (2012).

Tabel 3. Hasil perhitungan kebutuhan LNG dalam ISO tank

Pembangkit	BBTUD	m ³ /day (LNG)	Rest 5%	ISO tank 40 ft/day
Ambon	2.28	94.848	99.5904	2.4099310
Bula	0.42	17.472	18.3456	0.4439346
Seram	1.01	42.016	44.1168	1.0675571
Namlea	0.85	35.36	37.1280	0.8984392

Cadangan 5% untukantisipasi penguapan LNG selama pengiriman sesuai spesifikasi beberapa produsen ISO tank *evaporated rate* antara 0.2 – 0.3% per hari. Selanjutnya kapasitas kapal disesuaikan dengan skenario waktu pengiriman maka kebutuhan LNG untuk masing-masing skenario dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Kebutuhan ISO tank tiap pembangkit (TEUs)

Pembangkit	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5	Skenario 6
Ambon	25	35	37	50	75	75
Bula	5	7	7	9	14	14
Seram	11	16	17	22	33	33
Namlea	9	13	14	19	28	28
Total	35	50	71	75	100	150

Kebutuhan total dari tiap skenario inilah yang menjadi dasar perencanaan kapasitas kapal.

Rute Pelayaran

Tabel 5. Matrik jarak antar pembangkit

	Tangguh	Ambon	Seram	Bula	Namlea
Tangguh	0	663	570	308	687
Ambon		0	135	510	142
Seram			0	420	220
Bula				0	415
Namlea					0

Untuk optimasi rute pelayaran dibuatkan matriks jarak masing-masing pembangkit seperti terlihat pada

Tabel 5.

Dari hasil perhitungan diperoleh rute yang paling optimal yaitu rute dengan jarak tempuh terpendek adalah Tangguh – Bula – Namlea – Ambon – Seram – Tangguh dengan jarak tempuh ±1570 km. Rute pelayaran disajikan pada Gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Rencana rute pelayaran

Kecepatan Kapal

Untuk menentukan kecepatan kapal dilakukan simulasi waktu berlayar kapal (*voyage*) dengan variasi kecepatan mulai dari 8 – 15 knot disesuaikan dengan enam skenario waktu pengiriman kapal. Waktu berlayar kapal meliputi waktu tempuh antar pelabuhan, waktu bongkar muat dan waktu tunggu di Pelabuhan. Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Perhitungan waktu tempuh satu kali berlayar (jam)

Vs (km/jam)	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5	Skenario 6
14.82	133.97	145.97	162.77	165.97	185.97	225.97
16.67	122.19	134.19	150.99	154.19	174.19	214.19
18.52	112.77	124.77	141.57	144.77	164.77	204.77
20.37	105.07	117.07	133.87	137.07	157.07	197.07
22.22	98.64	110.64	127.44	130.64	150.64	190.64
24.08	93.21	105.21	122.01	125.21	145.21	185.21
25.93	88.55	100.55	117.35	120.55	140.55	180.55
27.78	84.52	96.52	113.32	116.52	136.52	176.52

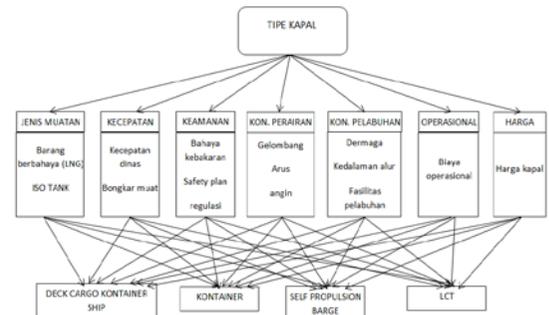
Dari hasil perhitungan dengan semua skenario waktu tempuh satu kali putaran tidak ada yang melebihi batas waktu tiap skenario pengiriman, maka untuk menentukan kecepatan kapal yang optimal berdasarkan pada skenario yang memiliki rentang waktu pengiriman paling singkat hal ini dikarenakan keterbatasan waktu simpan LNG dalam ISO tank dan juga nantinya berpengaruh pada kapasitas stasiun

regasifikasi. Selain itu sisa waktu juga perlu dipertimbangkan agar kapal beroperasi dengan hari istirahat paling singkat maka skenario 1 (waktu pengiriman 7 hari) dengan kecepatan kapal 8 – 9 knot yang dipilih. Untuk memberikan kelonggaran waktu sebagai antisipasi cuaca buruk maka kecepatan 9 knot yang dipilih sebagai kecepatan dinas kapal. Sehingga *design requirement* kapal menjadi sebagai berikut:

1. Kapasitas kapal (*pay load*) 35 ISO tank 40 *feet* (35 TEU's) dengan volume gas 1446 m³ atau 1190 ton;
2. Kecepatan dinas kapal 9 knot;
3. Rute pelayaran Tangguh – Bula – Namlea – Ambon – Seram – Tangguh dengan jarak 1570 km;
4. Kebutuhan armada 1 buah kapal.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP digunakan untuk menentukan tipe kapal yang paling sesuai untuk rute pelayaran dan *requirement* yang telah didapatkan sebelumnya. Kriteria dalam AHP dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Kriteria AHP

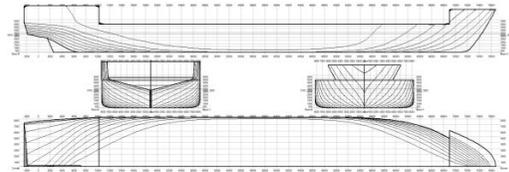
Dari hasil analisa diperoleh bahwa kapal *deck kargo container* lebih dominan dibandingkan tipe kapal yang lain.

Basic Design

Dari *design requirement* yang sudah ada maka ditentukan ukuran utama kapal dengan pertimbangan kapal pembanding yang memiliki kapasitas setara salah satunya Kapal Kendhaga Nusantara dengan ukuran utama seperti terlihat pada Tabel 7. Adapun gambar rencana umum Kapal Kendhaga Nusantara dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil perbandingan diperoleh ukuran utama kapal seperti terlihat pada Tabel 8. Dari ukuran utama dibuatlah gambar rencana garis seperti terlihat pada Gambar 9.

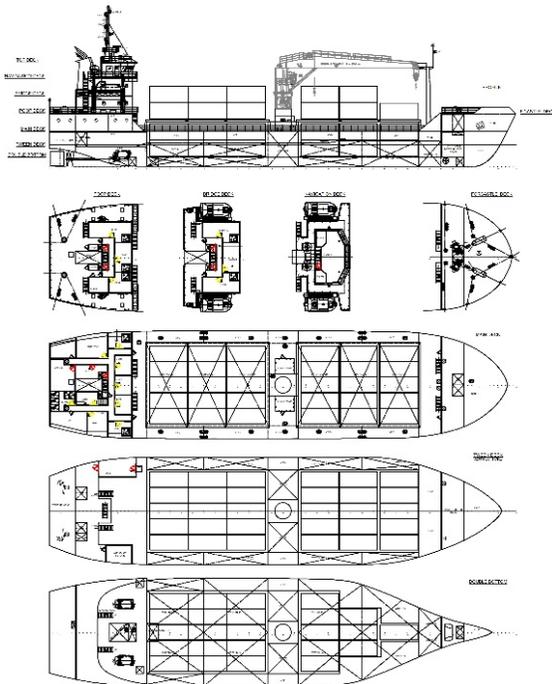
Tabel 7. Ukuran utama Kapal Kendhaga Nusantara

Panjang keseluruhan (Loa)	74.30 m
Panjang garis tegak (Lpp)	70.00 m
Lebar (B)	17.20 m
Tinggi (H)	5.60 m
Sarat air (D)	3.50 m
Kecepatan dinas (v)	12 knot
Mesin utama	2 x 1210 kW
Kru	25 orang

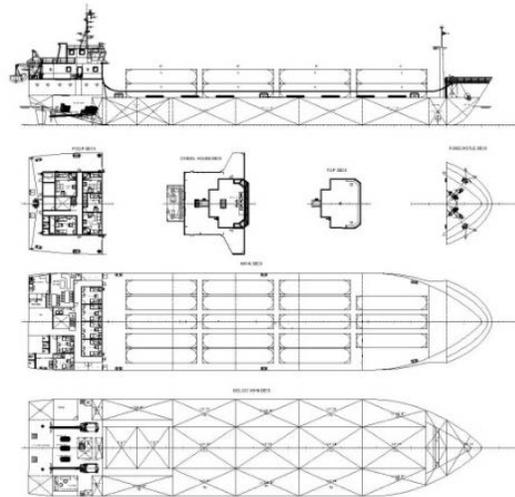


Gambar 9. Rencana garis

Pembuatan gambar rencana umum mempertimbangkan ketentuan IMDG Code tentang *stowage category* untuk muatan berbahaya LNG (UN1972) yaitu *stowage* kategori D hanya boleh disimpan di atas *deck* dan ketentuan *clear of living quarters* yang berarti bahwa barang-barang berbahaya dan kontainer yang membawa barang-barang berbahaya tersebut harus disimpan dengan jarak minimal 3 meter dari akomodasi, *intake* udara, dan ruang mesin dan area kerja lainnya. Sehingga rencana umum kapal seperti terlihat pada Gambar 10 berikut ini:



Gambar 8. Rencana umum kapal Kendhaga Nusantara



Gambar 10. Rencana umum

Tabel 8. Ukuran utama kapal

Panjang keseluruhan (LOA)	79.12 m
Panjang garis tegak (Lpp)	-
Lebar (B)	16.59 m
Tinggi (H)	4.70 m
Sarat air (D)	3.20 m
Kecepatan dinas (v)	9 knot
Kapasitas muatan	36 ISO tank
Kru	25 orang

PRINCIPAL PARTICULARS	
NAME	KENDHAGA
TYPE	GENERAL PURPOSE
LENGTH OVERALL	79.12 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	70.00 M
BREADTH	16.59 M
DEPTH	3.20 M
DISPLACEMENT	1,100 TONS
CRUISING SPEED	9 KNOTS

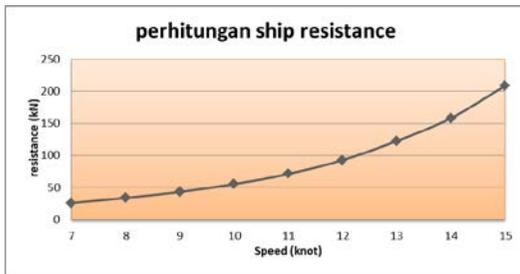
Visualisasi gambar rencana umum secara 3D dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini:



Gambar 11. Visualisasi 3D kapal

Speed Power Prediction

Perhitungan *ship resistance* menggunakan perangkat lunak Maxsurf, metode yang digunakan *Holtrop* dengan variasi kecepatan 7 – 15 knot. Untuk kecepatan yang direncanakan 9 knot, total *resistance* adalah 43.16 kN hasil perhitungan *speed power prediction* dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini:



Gambar 12. Grafik perhitungan *ship resistance*

Selanjutnya adalah perhitungan daya mesin kapal dengan memperhitungkan *sea margin*, koefisien propulsi, *gearbox* (Lewis, 1988) serta *engine margin* diperoleh daya mesin sebesar 717.32 kW atau 962.65 HP, sehingga kapal direncanakan menggunakan dua mesin induk masing masing 500 HP.

Perhitungan Stabilitas

Analisis *intact stability* menggunakan bantuan *software Maxsurf*. Perhitungan stabilitas kapal dibagi menjadi tiga kondisi sehingga diketahui stabilitas tiap kondisi. Dengan deskripsi pengkondisian muatan adalah sebagai berikut:

1. Kondisi I adalah kapal dengan kondisi akan berangkat, dengan keadaan muatan ISO tank kontainer penuh. Persediaan perbekalan, minyak lumas, air tawar, dan bahan bakar dalam keadaan penuh (100%);
2. Kondisi II adalah kapal berlayar dengan kondisi persediaan pada perbekalan makanan tangki bahan bakar, minyak lumas, dan air tawar tinggal 50%, dengan keadaan muatan ISO tank kontainer penuh;
3. Kondisi III adalah kondisi kapal kembali dengan muatan ISO tank kontainer kosong, dengan keadaan perbekalan makanan, bahan bakar, minyak lumas, dan air tawar, tinggal 10 %.

Kriteria perhitungan stabilitas yang digunakan pada *software Maxsurf Stability* adalah *IMO section A.749(18) Ch 3 - Design criteria applicable to all ships* dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Nilai luasan kurva Gz pada kondisi 00 – 300 tidak

- boleh kurang dari 3.151 m.deg;
- b. Nilai luasan kurva GZ pada kondisi 00 – 400 tidak boleh kurang dari atau sama dengan 5.157 m.deg;
- c. Nilai luasan kurva GZ pada kondisi 300 – 400 tidak boleh kurang dari 1.719 m.deg;
- d. Max Gz pada kondisi 300 lebih tidak boleh kurang dari 0.2 m;
- e. Sudut maksimal Gz tidak boleh kurang dari 25 deg;
- f. Initial GMt tidak boleh kurang dari 0.15 m.

Tabel 9. Hasil perhitungan pada Kriteria IMO A.749(18) Area 0⁰-30⁰

Kondisi	Ketentuan (m.deg)	Hasil (m.deg)	Status
Kondisi 1	3.151	30.781	Pass
Kondisi 2	3.151	29.144	Pass
Kondisi 3	3.151	51.261	Pass

Tabel 10. Hasil perhitungan pada Kriteria IMO A.749(18) Area 0⁰-40⁰

Kondisi	Ketentuan (m.deg)	Hasil (m.deg)	Status
Kondisi 1	5.157	43.969	Pass
Kondisi 2	5.157	41.475	Pass
Kondisi 3	5.157	75.429	Pass

Tabel 11. Hasil perhitungan pada Kriteria IMO A.749(18) Area 30⁰-40⁰

Kondisi	Ketentuan (m.deg)	Hasil (m.deg)	Status
Kondisi 1	1.719	13.187	Pass
Kondisi 2	1.719	12.332	Pass
Kondisi 3	1.719	24.168	Pass

Tabel 12. Hasil perhitungan pada Kriteria IMO A.749(18) max GZ pada 30⁰

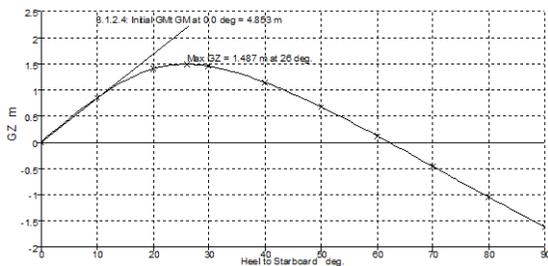
Kondisi	Ketentuan (m)	Hasil (m)	Status
Kondisi 1	0.2	1.452	Pass
Kondisi 2	0.2	1.365	Pass
Kondisi 3	0.2	2.538	Pass

Tabel 13. Hasil perhitungan pada Kriteria IMO A.749(18) sudut *max* GZ

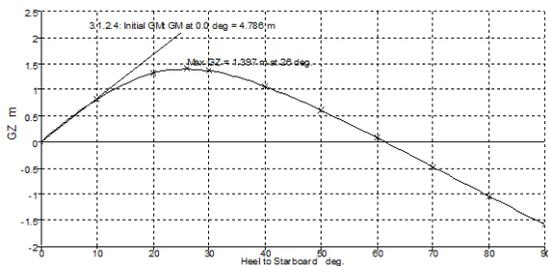
Kondisi	Ketentuan (deg)	Hasil (deg)	Status
Kondisi 1	25	26	Pass
Kondisi 2	25	26	Pass
Kondisi 3	25	27	Pass

Tabel 14. Hasil perhitungan pada Kriteria IMO A.749(18) *initial GMt*

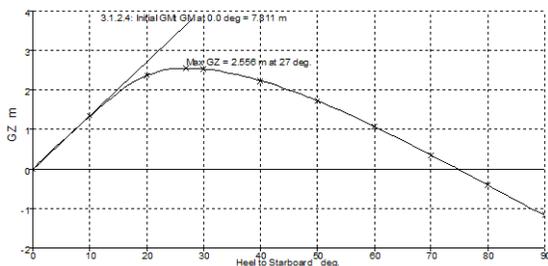
Kondisi	Ketentuan (m)	Hasil (m)	Status
Kondisi 1	0.15	4.853	Pass
Kondisi 2	0.15	4.786	Pass
Kondisi 3	0.15	7.811	Pass



Gambar 13. Grafik perhitungan GZ kondisi 1



Gambar 14. Grafik perhitungan GZ kondisi 2



Gambar 15. Grafik perhitungan GZ kondisi 3

Hasil perhitungan stabilitas dapat dilihat pada Tabel 9 sampai dengan Tabel 14 diatas. Untuk gambar grafik perhitungan GZ dari berbagai kondisi disajikan dalam Gambar 13 sampai dengan Gambar 15.

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan suplai LNG sebagai bahan bakar pembangkit listrik di wilayah Maluku (Ambon, Seram, Bula dan Namlea) dibutuhkan 35 ISO tank kontainer 40 ft untuk skenario waktu pengiriman satu minggu dengan rute Tangguh – Bula – Namlea – Ambon – Seram PP total jarak 1570 km. Armada kapal yang direncanakan berjumlah satu unit tipe *deck cargo ship* dengan spesifikasi teknis panjang 79.12 meter, lebar 16.59 meter, tinggi 4.7 meter dan kecepatan 9 knot dengan kapasitas muatan 36 ISO tank 40 ft mesin penggerak 2 x 500 Hp. Dari hasil perhitungan *intact stability*, desain kapal telah memenuhi kriteria IMO section A.749(18).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan terima kasih kami sampaikan kepada pengelola beasiswa SAINTEK Ristek Dikti yang telah membiayai kuliah dan penelitian sehingga artikel ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdalla, A. A. (2015). *Utilizing the Liquid Natural Gas in Small Scale Application in Power Generation, Industrialization and as Alternative Vehicle Fuel*. Retrieved July 1, 2020, from <https://unctad.org/system/files/non-official-document/17OILGASMINE%20Abdalla%20Abdalla%20S8.pdf>.

Aprilia, P. W., Artana, K. B., & Dinariyana, A. A. (2019). Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process untuk Pemilihan Tipe Terminal LNG: Studi Kasus Wilayah Ambon. *Sminar Nasional Kelautan XIV* (pp. C4-10 - C4-17). Surabaya: Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2018, Oktober 1). *Neraca Gas Bumi Indonesia 2018-2027*. Retrieved Juli 1, 2020, from <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-neraca-gas-indonesia-2018-2027.pdf>.

International Gas Union. (2012). *Natural Gas Conversion Guide*. Retrieved from

Kajian Teknis Kebutuhan Armada Kapal untuk Sistem Logistik LNG Menggunakan ISO Tank Kontainer di Wilayah Maluku
(Andi Cahyo Prasetyo Tri Nugroho, Sunaryo, Fariz Maulana Noor)

- members.igu.org/old/IGU%20Events/wgc/wgc-2012/wgc-2012-proceedings/publications/igu-publications/natural-gas-conversion-guide/@@download/download.
- Istituto Internazionale delle Comunicazioni. (2018). *Technical Assessment on LNG Logistics Development in Port of Livorno–North Tyrrhenian Area Based on Cryogenic ISO Tank Containers Utilization*. Retrieved from <https://www.portaltotirreno.it/wp-content/uploads/2018/03/SEATERMINALS-IIC-Report-Sea-Terminals.pdf>.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13K/13/MEM/2020. (2020). Penugasan Pelaksanaan Penyediaan Pasokan dan Pembangunan Infrastruktur Liquefied Natural Gas (LNG), serta Konversi Penggunaan Bahan Bakar Minyak dengan Liquefied Natural Gas (LNG) dalam Penyediaan Tenaga Listrik. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Second Revision Volume II*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Lisowski, E., & Czyzycki, W. (2011). Transport and Storage of LNG in Container Tanks, Vol. 18(3). *Journal of KONES Power Train and Transport*, 195-202.
- Nikolaou, M. (2010). Optimizing the Logistic of Compressed Natural Gas Transportation by Marine Vessels. *Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 2(1)*, 1-20.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014. (2014, Oktober 17). Kebijakan Energi Nasional. Jakarta: Lembaga Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 300.
- Princewill, I., & Ikiensikimama, S. (2016). Virtual Pipeline Technology in Nigeria: Technical and Economic Analysis. *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition* (pp. 1-12). Lagos: Society of Petroleum Engineers.
- PT. PLN (Persero). (2019). *Rencana Usaha Persediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2019-2028*. Retrieved Juli 1, 2020, from https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/5b16d-kepmen-esdm-no.-39-k-20-mem-2019-tentang-pengesahan-ruptl-pt-pln-2019-2028.pdf.
- Rakhmawan, A., & Purwanto, W. W. (2018). *Optimasi Rantai Suplai Mini LNG untuk Pembangkit Listrik di Wilayah Indonesia Timur*. Retrieved from <https://sesp.ui.ac.id/wp-content/uploads/2018/03/Arif-Rakhmawan-Artikel-Jurnal-Tesis-FT2014.pdf>.
- Riviera Newsletters. (2017, May 26). *Flexible ISO Tanks Boost Small-scale LNG*. Retrieved July 1, 2020, from <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/flexible-iso-tanks-boost-small-scale-lng-28491>.
- Taylor, B. W. (2014). *Sains Manajemen-Introduction to Management Science*. Jakarta: Salemba Empat.