



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI – ME141501

***ANALISIS PERBANDINGAN LOW SPEED DAN MEDIUM SPEED
DUAL FUEL ENGINE PADA KAPAL LNG***

Hanif Kukuh Wimala
NRP 04211440000109

Dosen Pembimbing
Dr. I. Made Ariana, ST ., MT.
Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST , MSc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



SKRIPSI – ME141501

***ANALISIS PERBANDINGAN LOW SPEED DAN MEDIUM SPEED DUAL
FUEL ENGINE PADA KAPAL LNG***

Hanif Kukuh Wimala
NRP 04211440000109

Dosen Pembimbing
Dr. I. Made Ariana, ST., MT.
Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST, MSc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI – ME141501

**COMPARATIVE ANALYSIS OF LOW SPEED AND MEDIUM SPEED
DUAL FUEL ENGINE ON LNG CARRIER**

Hanif Kukuh Wimala
NRP 04211440000109

Supervisors
Dr. I. Made Ariana, ST., MT.
Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST, MSc

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Perbandingan *Low Speed* dan *Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kapal LNG

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

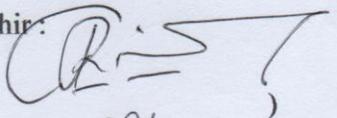
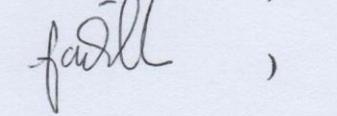
Hanif Kukuh Wimala

NRP. 04211440000109

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. I. Made Ariana, ST., MT.

Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST, MSc

()
()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Perbandingan *Low Speed* dan *Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kapal LNG

TUGAS AKHIR

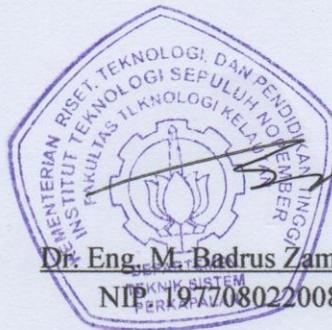
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Hanif Kukuh Wimala

NRP. 04211440000109

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT

NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analisis Perbandingan *Low Speed* dan *Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kapal *LNG*

Nama Mahasiswa : Hanif Kukuh Wimala
NRP : 04211440000109
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. I. Made Ariana, ST., MT.
Dosen Pembimbing 2 : Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST., MSc

Abstrak

Mesin diesel merupakan salah satu *internal combustion engine* yang menggunakan tekanan tinggi untuk melakukan penyalaan bahan bakar, oleh sebab itu, mesin diesel disebut juga dengan mesin dengan penyalaan kompresi. Mesin dengan penyalaan kompresi ini menghasilkan emisi gas buang yang cukup tinggi dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Kadar yang tinggi dari Nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan partikel emisi lain yang berhubungan dengan bahan bakar diesel merupakan isu yang telah lama muncul. Berbagai inovasi diciptakan untuk mendapatkan daya besar dengan emisi yang rendah salah satunya adalah mesin *dual fuel*. *Dual fuel engine* juga tersedia dalam berbagai macam tipe seperti *low speed dual fuel engine* dan *medium speed dual fuel engine* yang masing-masing memiliki sistem propulsi dan perlengkapan penunjang yang berbeda juga dalam pengoperasiannya yang dapat mempengaruhi efisiensi hingga keuntungan dari *payload* yang dibawa oleh kapal. Namun, pada nyatanya mesin ini tetap menghasilkan emisi lain yang sama berbahayanya yaitu gas metana yang diakibatkan oleh *methane slip*. Sehingga dibutuhkan analisis terhadap perbedaan antara *low speed* dan *medium speed dual fuel engine*.

Pada penelitian ini, bahan bakar yang digunakan adalah *LNG* dalam bentuk *boil-off gas* yang dihasilkan oleh muatan yang dibawa kapal. Penelitian ini akan membahas mengenai perbandingan jumlah *methane slip* yang dihasilkan, konsumsi *boil-off gas* dan *energy benefit* pada kedua mesin. Rute yang ditentukan untuk analisis ini adalah Bintuni, Indonesia menuju Himeji, Jepang dengan 3 variasi kecepatan yaitu 19,5 knot, 9,75 knot dan 4,875 knot. Perhitungan *emisi* dan *boil-off gas* dilakukan dengan metode perhitungan matematis sederhana. Berdasarkan hasil kedua perhitungan tersebut didapatkan total *methane slip* sebesar 8,1 ton dan 9,16 ton, sedangkan untuk *boil-off gas* ternyata tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan mesin sehingga *LNG* diambil dari muatan sebesar 763,81 ton dan 939,01 ton, sedangkan mesin yang memiliki *energy benefit* paling baik adalah *low speed dual fuel engine*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *low speed dual fuel engine* lebih baik dalam banyak aspek jika dilihat dari skenario tugas akhir ini.

Kata kunci: *Dual Fuel Engine*, Emisi, *Methane Slip*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Comparative Analysis of Low Speed and Medium Speed Dual Fuel Engine on LNG Carrier

Name of Student : Hanif Kukuh Wimala
NRP : 04211440000109
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Dr. I. Made Ariana, ST ., MT.
Supervisor 2 : Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST , MSc

Abstract

Diesel engine is one of the internal combustion engines that use high pressure to perform fuel ignition. Therefore, the diesel engine is also called engine with compression ignition. Engine with this compression ignition produces high exhaust emissions that are harmful to the health and the environment. High levels of nitrous oxide (NO_x), sulfur oxides (SO_x), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and other emission particles associated with diesel fuel have been a big issues. Various innovations are created to produce higher power with lower emissions, one of which is a dual fuel engine. Dual fuel engines are also available in various types such as low speed dual fuel engines and medium speed dual fuel engines which have a different propulsion arrangement and supporting system that can affect the efficiency as well as the payload carried by the vessel. However, this engine still produces another equally dangerous emission, which is methane gas caused by methane slip. In this bachelor thesis, the writer would like to analyze the amount of methane slip emissions generated by low speed and medium speed dual fuel engine.

In this study, LNG is used as the main fuel for the engine in the form of boil-off gas that is produced by the cargo. This study will compare the amount of methane slip produced, the consumption of boil-off gas, and energy benefit on both engines. The routes specified for this analysis are Bintuni, Indonesia to Himeji, Japan with 3 speed variations specifically 19,5 knot, 9,75 knot and 4,875 knot. The calculation of emissions and boil-off gas is done by simple mathematic calculation method. Based on the results of both calculations, the total of methane slip on each vessel is 8.1 tons and 9.16 tons, however the boil-off gas is not sufficient for engine so that LNG is taken from the payload specifically 763,81 tons and 939,01 tons. While the engine that has the best energy benefit is a low speed dual fuel engine. The results from the analysis can be concluded that low speed dual fuel engine is better in almost every aspect when viewed from this thesis scenario.

Keywords : Dual Fuel Engine, Emission, Methane Slip

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha besar, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Low Speed dan Medium Speed Dual Fuel Engine pada Kapal LNG** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu :

1. Kedua orang tua penulis dan kakak penulis, Ibu Yunita Wulandari, Bapak Bambang Budiono, dan Mbak Dian Asih Lestari yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas hingga saat ini, selalu mendoakan, serta mengingatkan untuk taat beribadah.
2. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik.
3. Bapak Dr. I. Made Ariana, ST., MT., selaku dosen pembimbing penulis yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir.
4. Ibu Fadilla Indrayuni Prastyasari, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir.
5. Hanna Angelica selaku wanita spesial yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dan menghibur penulis selama penulisan tugas akhir ini.
6. Teman-teman PERUMDOL yang selalu membantu penulis sejak awal memasuki jenjang kuliah dan berjuang bersama-sama menyelesaikan tugas akhir.
7. Kawan seperjuangan angkatan MERCUSUAR '14 yang telah menjadi teman dan bagian dari pengalaman penulis.
8. Seluruh member MPP serta Mas Gusma yang telah menjadi rekan dan tempat belajar bagi penulis selama menjadi member MPP.
9. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaat.

Penulis berharap bahwa karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

SKRIPSI – ME141501	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 MARPOL Annex IV	3
2.2 LNG Carrier	3
2.3 Dual Fuel Engine	4
2.4 Engine Rated Speed	5
2.5 Low Speed Dual Fuel Engine	5
2.6 Medium Speed Dual Fuel Engine	6
2.7 Engine Load	7
2.8 Methane Slip	7
2.9 Boil-Off Gas	7
2.10 BOG Combustion System	8
2.11 BOG Recovery System	8
BAB III METODE PENELITIAN	9
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah	10
3.2 Studi Literatur	10
3.3 Pengumpulan Data Kapal	10
3.4 Pengumpulan <i>Project Guide</i> Mesin	10
3.5 Menentukan Rute Kapal	10
3.6 Kalkulasi	11
3.7 Validasi	12
3.8 Analisis Hasil	12
3.9 Analisis <i>Energy Benefit</i>	13
3.10 Kesimpulan dan Saran	13
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Data dan Spesifikasi Kapal	15
4.2 Rute Pelayaran	19
4.3 Hasil Kalkulasi <i>Methane Slip</i>	22
4.4 Hasil Kalkulasi <i>Boil-Off Gas</i>	27
4.5 Analisis <i>Energy Benefit</i>	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37

5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	39
LAMPIRAN A.....	41
LAMPIRAN B.....	43
LAMPIRAN C.....	45
BIODATA PENULIS.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. <i>LNG carrier</i>	4
Gambar 2. 2. Sistem bahan suplai bahan bakar gas <i>low speed dual fuel engine</i>	5
Gambar 2. 3. Sistem Propulsi <i>DFDE</i>	6
Gambar 3. 1. <i>Flowchart</i> Pengerjaan	9
Gambar 3. 2. Rute pelayaran Bintuni - Himeji pada <i>Marine Traffic</i>	11
Gambar 4. 1. Onaiza.....	15
Gambar 4. 2. Tangguh Hiri	17
Gambar 4. 3. Rute Pelayaran	19
Gambar 4. 4. Rute pelayaran 9,75 knot awal	20
Gambar 4. 5. Rute pelayaran 9,75 knot akhir	21
Gambar 4. 6. Rute pelayaran 4.875 knot awal	21
Gambar 4. 7. Rute pelayaran 4,875 knot akhir	22
Gambar A. 1. <i>Specific fuel oil</i> dan <i>gas consumption</i> dari <i>medium speed dual fuel engine</i> yang digunakan oleh <i>LNG carrier</i> “Tangguh Hiri”	41
Gambar A. 2. <i>Specific fuel oil</i> dan <i>gas consumption</i> dari <i>medium speed dual fuel engine</i> yang digunakan oleh <i>LNG carrier</i> “Tangguh Hiri”	41
Gambar A. 3. <i>Specific fuel oil</i> dan <i>gas consumption</i> dari <i>low speed dual fuel engine</i> yang digunakan oleh <i>LNG carrier</i> “Onaiza”	42
Gambar A. 4. <i>Specific fuel oil</i> dan <i>gas consumption</i> dari <i>auxiliary engine</i> yang digunakan oleh <i>LNG carrier</i> “Onaiza”	42

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Batas emisi NOx MARPOL Annex VI.....	3
Tabel 2. 2. Engine Load dari persentase putaran mesin.....	7
Tabel 4. 1. Spesifikasi <i>LNG Carrier</i> Onaiza.....	16
Tabel 4. 2. Spesifikasi <i>LNG Carrier</i> Tangguh Hiri	17
Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan <i>Methane Slip Low Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 19,5 knot.....	22
Tabel 4. 4. Hasil Perhitungan <i>Methane Slip Low Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 9,75 knot.....	23
Tabel 4. 5. Hasil Perhitungan <i>Methane Slip Low Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 4,875 knot.....	24
Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan <i>Methane Slip Medium Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 19,5 knot.....	25
Tabel 4. 7. Hasil Perhitungan <i>Methane Slip Medium Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 9,75 knot.....	25
Tabel 4. 8. Hasil Perhitungan <i>Methane Slip Medium Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 4,875 knot.....	26
Tabel 4. 9. <i>Summary</i> seluruh <i>Methane slip</i>	27
Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan <i>BOG Low Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 19,5 knot	27
Tabel 4. 11. Hasil Perhitungan <i>BOG Low Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 9,75 knot	28
Tabel 4. 12. Hasil Perhitungan <i>BOG Low Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 4,875 knot	29
Tabel 4. 13. Hasil Perhitungan <i>BOG Medium Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 19,5 knot	30
Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan <i>BOG Medium Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 9,75 knot	30
Tabel 4. 15. Hasil Perhitungan <i>BOG Medium Speed Dual Fuel Engine</i> pada Kecepatan 4,875 knot	31
Tabel 4. 16. <i>Summary</i> Kebutuhan <i>BOG</i>	32
Tabel 4. 17. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi <i>Low Speed Dual Fuel Engine</i> dengan <i>High Pressure Pump</i>	33
Tabel 4. 18. Hasil Perhitungan <i>Energy Benefit</i> dari <i>Reliquefaction Plant</i>	34
Tabel 4. 19. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi <i>Low Speed Dual Fuel Engine</i> dengan <i>High Pressure Compressor</i>	34
Tabel 4. 20. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi <i>Medium Speed Dual Fuel Engine</i> tanpa <i>Reliquefaction Plant</i>	35
Tabel 4. 21. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi <i>Medium Speed Dual Fuel Engine</i> dengan <i>Reliquefaction Plant</i>	36

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin diesel merupakan salah satu jenis dari motor bakar dalam. Pada mesin diesel, penyalaan bahan bakar terjadi karena bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara dengan kondisi temperature dan tekanan tinggi. Oleh sebab itu, mesin diesel disebut juga dengan mesin dengan penyalaan kompresi. Mesin dengan penyalaan kompresi ini menghasilkan emisi gas buang yang cukup tinggi dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Kadar yang tinggi dari Nitrogen oksid (NO_x), sulfur oksida (SO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan partikel emisi lain yang berhubungan dengan bahan bakar diesel merupakan isu yang telah lama muncul. Akan tetapi, samapai saat ini penggunaan mesin diesel tetap menjadi idola dalam dunia transportasi maupun dunia industri. Hal ini dikarenakan karakteristik dari mesin diesel yang memiliki rasio kompresi tinggi sehingga mampu menghasilkan daya yang besar.

Walaupun gas tersebut tidak menyebabkan dampak secara langsung kepada lingkungan, namun hal tersebut merupakan salah satu penyumbang terbesar untuk masalah iklim yang sedang kita hadapi yang biasa kita sebut sebagai pemanasan global. Emisi gas-gas tersebut sudah diatur pada MARPOL Annex VI yang membahas mengenai polusi udara yang diakibatkan oleh operasional kapal. Harapannya adalah dengan perkembangan teknologi yang ada, emisi gas tersebut akan semakin berkurang dan berkurang hingga mendekati 0%.

Berbagai inovasi diciptakan untuk mendapatkan daya besar dengan emisi yang rendah salah satunya adalah mesin *dual fuel*. Pengoperasian dengan *dual fuel mode* ini dapat mengurangi emisi-emisi oksida nitrogen (NO_x) mendekati 85%. Bahkan mesin tersebut dapat beroperasi menggunakan bahan bakan dengan kandungan sulfur rendah (biodiesel).

Dual fuel engine juga tersedia dalam berbagai macam tipe seperti *low speed dual fuel engine* dan *medium speed dual fuel engine* yang masing-masing memiliki sistem propulsi dan perlengkapan penunjang yang berbeda juga dalam pengoperasiannya yang dapat mempengaruhi efisiensi hingga keuntungan dari *payload* yang dibawa oleh kapal.

Selain itu penelitian lebih lanjut terhadap mesin *dual fuel* menunjukkan bahwa mesin tersebut menghasilkan emisi lain yang cukup tinggi berupa gas metana yang tidak terbakar dan terbuang bersama gas buang lainnya yang disebut dengan *methane slip*. Sebuah analisa yang dilakukan pada tahun 2013 terhadap sebuah kapal ferry berbahan bakar LNG di Laut Baltic menunjukkan bahwa dari seluruh emisi senyawa hidrokarbon, 85% nya adalah metana. Sekitar 7 gram gas metana terbuang dari setiap kg LNG yang dibakar pada beban mesin tinggi, dan meningkat sampai dengan 23-36 gram pada beban rendah. Peningkatan ini disebabkan oleh *slow combustion* pada temperature rendah yang menyebabkan sejumlah kecil gas lolos dari proses pembakaran. (Maria Anderson, K. Salo & E. Fridell, 2015)

1.2 Perumusan Masalah

Pada pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa masalah yang dirumuskan agar proses pengerjaan penelitian yang dilakukan menjadi lebih terarah, yaitu sebagai berikut:

1. Berapa *methane slip* yang dihasilkan oleh *medium speed* dan *low speed dual fuel engine*?
2. Bagaimana pengaruh pola operasional kapal LNG carrier dengan *medium speed* dan *low speed dual fuel engine* terhadap *methane slip*?
3. Mesin manakah yang memiliki efisiensi energi yang paling baik?
4. Mengapa LNG carrier dengan kapasitas dibawah 200,000 m³ tidak menggunakan *low speed dual fuel engine*?

1.3 Batasan Masalah

Agar lingkup penelitian ini menjadi lebih terfokus dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka diperlukan adanya pembatasan masalah, diantaranya adalah :

1. Kapal LNG Carrier yang dianalisa adalah LNG Carrier 80000 DWT “Tanggung Hiri” dan “Onaiza”
2. Mesin *medium speed* yang dianalisa adalah “Wartsila 12V50DF”
3. Mesin *low speed* yang dianalisa adalah “MAN B&W ME-GI”
4. Bahan bakar yang diunakan hanya LNG

1.4 Tujuan Penelitian

Untuk menjawab permasalahan dan pertanyaan yang tercantum pada perumusan masalah, adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung *methane slip* yang dihasilkan oleh *medium speed* dan *low speed dual fuel engine*
2. Mengidentifikasi pengaruh pola operasional kapal LNG carrier dengan *medium speed* dan *low speed dual fuel engine* terhadap *methane slip*
3. Membandingkan efisiensi energi dari *low speed dual fuel engine* dan *medium speed dual fuel engine*
4. Menganalisis alasan tidak digunakannya *low speed dual fuel engine* pada LNG carrier dibawah 200,000 m³

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai acuan untuk memilih sistem propulsi pada LNG carrier dengan efisiensi terbaik dan emisi terendah. Yang harapannya dapat berguna untuk mengurangi pemborosan energi dan pengaruhnya terhadap lingkungan yang sekarang kita hadapi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 MARPOL Annex VI

Tidak seperti tumpahan minyak (*oil spill*), polusi udara dari kapal tidak memiliki dampak langsung terhadap lingkungan. Namun, hal tersebut menyebabkan efek kumulatif yang berkontribusi kepada masalah kualitas udara secara keseluruhan. MARPOL Annex VI pertama kali dikenalkan pada tahun 1997, yang membatasi polutan utama pada gas buang kapal, seperti Sulfur Oksida (SO_x), Nitro Oksida (NO_x), dan emisi *ozone depleting substances* (ODS) secara disengaja. MARPOL Annex VI juga mengatur mengenai pembakaran sampah pada kapal dan emisi senyawa organik mudah terbakar (*volatile organic compound / VOC*) dari kapal tanker. (IMO MARPOL Annex VI)

Setelah berlakunya MARPOL Annex VI pada tanggal 19 Mei 2005, Komite Perlindungan Lingkungan Laut (MEPC), pada sesi ke-53 (Juli 2005), sepakat untuk merevisi MARPOL Annex VI dengan tujuan untuk membatasi emisi dengan bantuan perkembangan teknologi secara signifikan. Dan pada MEPC 58 (Oktober 2008) mengenalkan revisi MARPOL Annex VI dan NO_x Technical Code 2008 yang mulai berlaku pada 1 Juli 2010. Tujuan utama dari revisi MARPOL Annex VI adalah pengurangan secara progresif dari emisi SO_x dan NO_x serta pengenalan *emission control areas* (ECA) untuk mengurangi emisi pada daerah tersebut. Bahkan pada revisi MARPOL Annex VI batas SO_x dari 3,50% akan menjadi 0,50% berlaku mulai 1 Januari 2020 dan batas yang diperbolehkan pada ECA akan menjadi 0,10% berlaku mulai Januari 2015. Sedangkan untuk emisi NO_x diatur berdasarkan *engine maximum operating speed* (rpm) seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.1 Tier I dan Tier II berlaku secara global, sedangkan untuk Tier III hanya berlaku pada ECA. (IMO MARPOL Annex VI)

Tabel 2. 1. Batas emisi NO_x MARPOL Annex VI

Tier	Berlaku	Batas NO _x , g/kWh		
		rpm < 130	130 ≤ rpm < 2000	rpm ≥ 2000
Tier I	2000	17,0	45 · rpm ^{-0.2}	9,8
Tier II	2011	14,4	44 · rpm ^{-0.23}	7,7
Tier III	2016	3,4	9 · rpm ^{-0.2}	1,96

Sumber: IMO MARPOL Annex VI

2.2 LNG Carrier

LNG carrier adalah salah satu kapal niaga yang dirancang untuk mengangkut liquefied natural gas (LNG) dibawah suhu -162 °C. *LNG carrier* moderen biasanya memiliki panjang 300 m, lebar 43 m dan draft sekitar 12 m. Kapasitas muatannya pun beragam, mulai dari 1000 hingga 267.000 m³ dengan ukuran yang banyak digunakan yaitu 125.000 dan 150.000 m³, sedangkan ukuran 1000 hingga 25.000 m³ untuk ukuran kecil. (Yong Bai & Wei-Liang Jin, 2016)



Gambar 2. 1. *LNG carrier*

Sumber: fairplay.ihs.com/ship-construction/article/4280816/misc-to-take-delivery-of-first-in-new-class-of-lng-carriers

Gambar 2.1 menunjukkan sebuah ilustrasi *LNG carrier* dengan tipe tangki muatan *membrane*. Kapal ini dikenal dengan teknologinya yang canggih, harganya yang mahal, dan kesulitan yang tinggi dalam membuanya sehingga hanya 13 galangan di dunia yang dapat membuatnya. (Yong Bai & Wei-Liang Jin, 2016)

Salah satu teknologinya adalah penggunaan *boil-off gas* dari muatannya sendiri yang digunakan sebagai bahan bakar untuk sistem propulsinya. Saat ini, kebanyakan *LNG carrier* menggunakan diesel electric dual fuel (medium speed engine) yang berbahan bakar *boil-off gas* atau mesin two-stroke low speed engine yang memanfaatkan *boil-off gas* yang dicairkan dengan reliquefaction. (Jan Babicz, 2008)

2.3 Dual Fuel Engine

Dengan perkembangan teknologi dan juga dorongan dari dibutuhkannya mesin yang ramah lingkungan dari segi emisi, maka terwujudlah sebuah inovasi yaitu *Dual fuel engine*. *Dual fuel engine* merupakan salah satu penelitian yang dianggap dapat menutupi beberapa kekurangan dari jenis mesin konvensional yang lain. Penelitian terhadap *dual fuel engine* ini telah banyak dilakukan. *Dual fuel engine* dapat meningkatkan efisiensi mesin dan juga menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan mesin konvensional lainnya. (Arif Wahyu Hidayat, Semin & Aguk Zuhdi M.F, 2013)

Menggunakan bahan bakar LNG pada *dual fuel engine* dapat mengurangi emisi dari NO_x, SO_x, dan CO₂ dibandingkan dengan bahan bakar yang tersedia saat ini. Berkurangnya emisi NO_x disebabkan oleh menurunnya suhu puncak saat terjadi *combustion* didalam mesin. (Maria Anderson, K. Salo & E. Fridell, 2015)

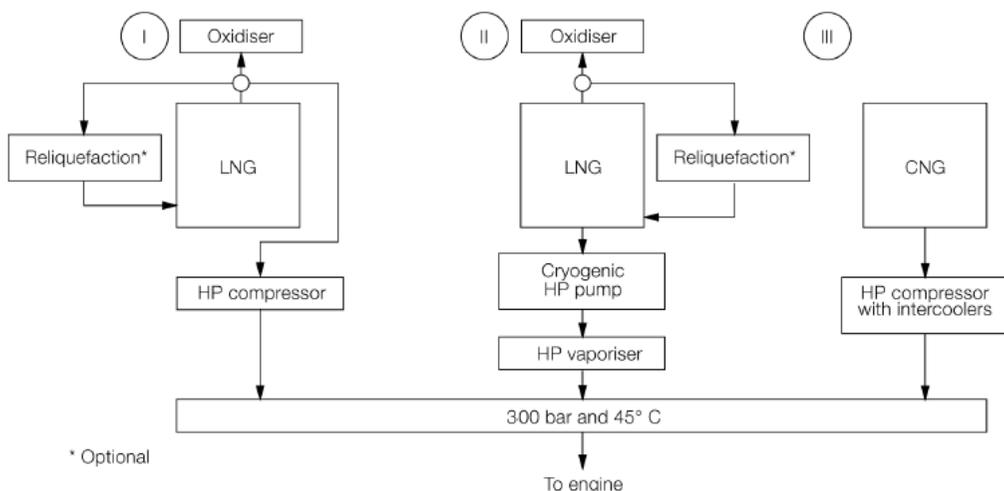
2.4 Engine Rated Speed

Engine rated speed adalah kemampuan *crankshaft* untuk berevolusi per menitnya saat mesin berada pada *rated power* nya. *Engine rated speed* dibagi menjadi tiga, yaitu: *low speed*, *medium speed*, dan *high speed*. *Low speed engine* adalah mesin yang pada umumnya berjenis *two-stroke* dengan tipe *crosshead* dan bekerja pada putaran dibawah 400 RPM. *Medium speed engine* adalah mesin dengan tipe *trunk piston* yang memiliki putaran 400 rpm ke atas tapi kurang dari 1200 rpm. Dan *high speed engine* adalah mesin dengan tipe *trunk piston* yang memiliki putaran 1400 rpm keatas. (Jan Babicz, 2015)

2.5 Low Speed Dual Fuel Engine

Low speed engine adalah pilihan propulsi yang paling banyak digunakan pada *merchant ship* berukuran besar terutama karena efisiensinya yang tinggi dan fitur khusus yang membuat mesin tersebut dapat menggunakan bahan bakar dengan kualitas rendah yang harganya relatif lebih murah dan tidak dapat digunakan pada mesin *medium speed* dan *high speed*. Fitur ini juga yang membuat mesin ini menjadi pilihan utama pada *LNG carrier* dengan ukuran diatas 200.000 m³ sebagai pengganti sistem *steam propulsion* dengan tipe *low speed dual fuel engine* yang dapat menggunakan bahan bakar *LNG* pada *gas mode* dan *HFO* pada *diesel mode*. (R P Sinha & Wan Mohd Norsani Wan Nik, 2012)

Meskipun mesin ini telah terbukti memiliki efisiensi bahan bakar yang tinggi, mesin ini membutuhkan tekanan yang tinggi yaitu sebesar 300 bar untuk melakukan pembakaran bahan bakar *LNG* sehingga mesin ini membutuhkan pemindah bahan bakar dengan tekanan tinggi seperti *high pressure compressor* untuk bahan bakar berbentuk gas (*BOG*) atau *high pressure pump* untuk bahan bakar berbentuk cair (*LNG*). (MAN B&W, 2017)



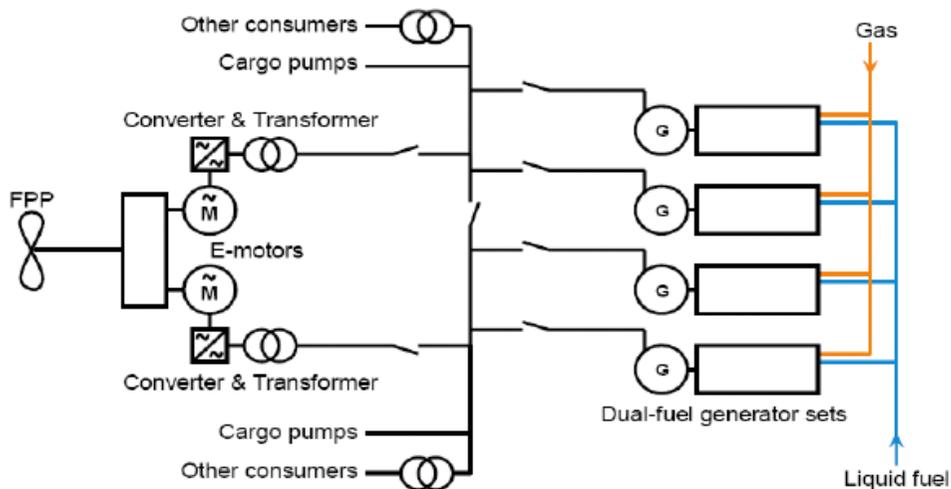
Gambar 2. 2. Sistem bahan suplai bahan bakar gas *low speed dual fuel engine*
Sumber: (MAN B&W, 2017)

Gambar 2.2 adalah 3 tipe suplai bahan bakar gas pada *low speed dual fuel engine* yaitu *high pressure compressor*, *high pressure pump*, dan sistem suplai bahan bakar jika menggunakan *compressed natural gas (CNG)* sebagai bahan bakar utama. Kedua sistem yang menggunakan bahan bakar *LNG* dianjurkan untuk memiliki *reliquefaction plant* untuk mencairkan kembali *BOG*.

2.6 Medium Speed Dual Fuel Engine

Medium speed dual fuel engine atau yang biasa dikenal sebagai *dual fuel diesel electric (DFDE)* adalah salah satu jenis mesin induk yang biasa digunakan pada *LNG carrier*. Dengan mesin ini, kapal akan beroperasi dengan metode *electrical propulsion* sehingga mesin tidak secara langsung memutar *propeller*. Mesin akan memberikan daya kepada motor listrik yang kemudian akan memutar *propeller* dan membuat kapal bergerak. *Gas mode* pada mesin ini dapat memanfaatkan *boil-off gas (BOG)* dari muatan yang bertekanan rendah dengan sedikit penambahan *diesel fuel* pada ruang bakar yang akan bekerja sebagai *pilot fuel*, sehingga mesin ini tidak membutuhkan sistem yang meningkatkan tekanan *BOG* seperti pada *low speed dual fuel engine*. (R P Sinha & Wan Mohd Norsani Wan Nik, 2012)

Namun saat *BOG* tidak digunakan seperti saat kapal beroperasi dengan *diesel mode* maka *BOG* akan dialihkan ke *BOG combustion system* atau biasa disebut *gas combustion unit (GCU)* untuk membakar gas tersebut. (Jan Babicz, 2008)



Gambar 2. 3. Sistem Propulsi DFDE

Sumber: (Kristen Schebach, 2006)

Gambar 2.3 menunjukkan sistem propulsi dengan metode *DFDE*. Sistem ini menggunakan 2 *electric motor* dengan daya yang berbeda, 1 *motor* untuk kecepatan penuh dengan daya besar dan 1 *motor* untuk kecepatan rendah dengan daya yang lebih kecil. Untuk mengoperasikannya cukup untuk menyambung atau memutuskan aliran menuju *motor* sehingga *motor* mendapatkan daya atau tidak mendapatkan energi dari *medium speed dual fuel engine*.

2.7 Engine Load

Engine load adalah persentase dari putaran mesin yang bekerja. Hal ini dibagi menjadi beberapa persentase seperti yang ditunjukkan tabel 2.2 dibawah:

Tabel 2. 2. Engine Load dari persentase putaran mesin

0 – 25%	Extreme low load
25 – 40%	Low load
40 – 80%	Regular generator operation load
80 – 90%	High load
90 – 100%	Extreme high load

Sumber: (Espen Dalsøren Tufte, 2014)

Low load atau biasa disebut *low load operation* adalah moda pengoperasian mesin dibawah 40% dari putaran maksimumnya. Sedangkan *high load* adalah moda pengoperasian mesin pada putaran optimumnya. (Espen Dalsøren Tufte, 2014)

2.8 Methane Slip

Rendahnya emisi NO_x dan SO_x dari mesin dual fuel tidak menjamin bahwa mesin tersebut memiliki kadar rendah pada emisi lain seperti Karbon Monoksida (CO). Suatu penelitian menunjukkan bahwa emisi dari CO dan senyawa hirokarbon lain lebih tinggi pada mesin berbahan bakar LNG daripada mesin berbahan bakar diesel konvensional. (Maria Anderson, K. Salo & E. Fridell, 2015)

Dari 100% senyawa hidrokarbon yang terbuang, 85% nya adalah metana. Hal tersebut terjadi karena metana pada LNG tidak terbakar dengan sempurna dan terbuang keluar bersama dengan gas buang atau biasa disebut dengan methane slip. Salah satu penyebab utama dari methane slip adalah kurang optimalnya pembakaran bahan bakar sehingga menyebabkan sejumlah kecil gas lolos dari proses pembakaran. (Maria Anderson, K. Salo & E. Fridell, 2015)

Sekitar 7 gram gas metana terbuang dari setiap kg LNG yang dibakar pada beban mesin tinggi, dan meningkat sampai dengan 23-36 gram pada beban rendah.. (Maria Anderson, K. Salo & E. Fridell, 2015)

Metana di atmosfer bumi merupakan salah satu gas rumah kaca yang utama, dengan potensi pemanasan global 25 kali lebih besar daripada CO₂ dalam periode 100 tahun. Gas metana sendiri sudah menyumbangkan 20% efek radiasi yang dihasilkan secara global. (Drew T. Shindell, Greg Faluvegi, Dorothy M. Koch, Gavin A. Schmidt, Nadine Unger & Susanne E. Bauer, 2009)

2.9 Boil-Off Gas

LNG dirancang untuk mengangkut gas alam dalam bentuk cairan dengan temperature -163 °C. Walaupun tangki dari *LNG carrier* didesain sedemikian rupa untuk menahan perpindahan panas dari luar, perubahan panas sedikit saja dapat menyebabkan muatan menguap. Peristiwa ini dikenal sebagai *boil-off gas* atau sering

disingkat menjadi *BOG*. Hal ini tidak dapat dihindari dan harus dikeluarkan dari tangki untuk menjaga tekanan pada tangki. (Jan Babicz, 2008)

Untuk mengeluarkan gas tersebut dapat dilakukan beberapa cara seperti memanfaatkan *BOG* sebagai bahan bakar utama dari *main engine* atau *genset*. Ketika gas tersebut tidak dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka *BOG* akan dialihkan ke *BOG combustion system* untuk membakar gas tersebut atau *BOG recovery system* yang digunakan untuk mencairkan kembali gas tersebut menjadi *LNG*. (Jan Babicz, 2008)

2.10 *BOG Combustion System*

BOG combustion system atau lebih dikenal sebagai *gas combustion unit (GCU)* adalah salah satu perlengkapan yang hanya digunakan dan harus tersedia pada *LNG carrier*. *BOG* yang tidak digunakan sebagai bahan bakar akan dibakar oleh sistem ini untuk menjaga tekanan pada *cargo tank*. Hal ini dikarenakan *BOG* bersifat berbahaya untuk keselamatan dan lingkungan jika dibuang dengan begitu saja. (Jan Babicz, 2008)

Klasifikasi kapal memberikan beberapa persyaratan untuk *GCU*. Yang pertama adalah suhu pembakaran minimum untuk gas metana biasanya sebesar 540 °C hingga 705 °C, sehingga *class* mengharuskan *GCU* untuk memenuhi suhu tersebut. Selanjutnya adalah penempatan pipa buang dari *GCU* harus diletakan menjauhi *bridge deck* sehingga semburan dari knalpotnya tidak mengenai antena dan melukai awak kapal. (Damien Feger, 2009)

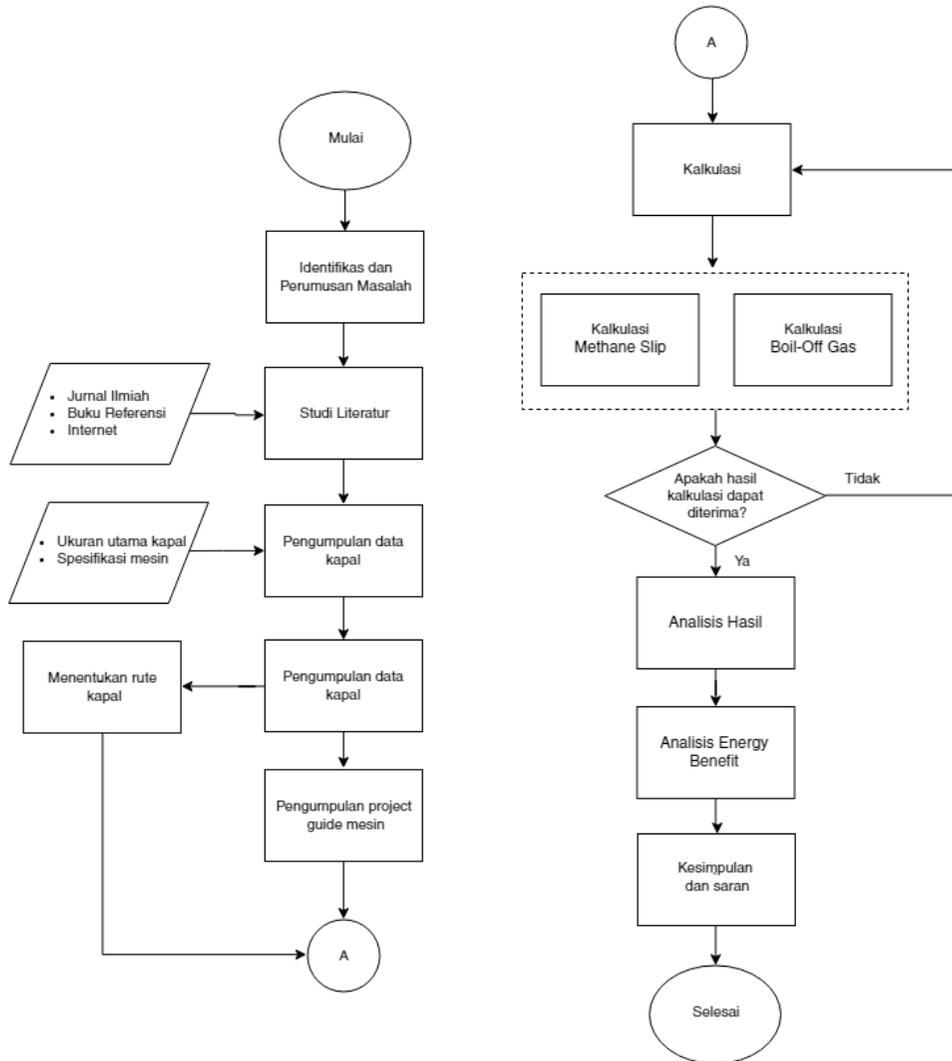
2.11 *BOG Recovery System*

BOG recovery system atau lebih dikenal sebagai *reliquefaction plant* berfungsi untuk mengembalikan kembali *BOG* menuju *cargo tank* dalam bentuk cair (*LNG*). *BOG* dengan suhu sekitar -143 °C dengan tekanan atmosfer akan dipindahkan dari *charge tank* menggunakan kompresor yang akan menaikkan suhu *BOG* hingga -60 °C dengan tekanan 4,5 bar. Setelah itu *BOG* dialirkan menuju *nitrogen heat exchanger* yang akan menurunkan kembali suhu *BOG* menjadi -160 °C dengan tekanan antara 2 sampai 4 bar. Proses ini akan mengubah gas kembali menjadi cairan. (Jan Babicz, 2008)

Walaupun dilengkapi dengan *reliquefaction plant*, setiap *LNG carrier* tetap harus memasang *GCU* sebagai pendukung untuk membuang *BOG* ketika terjadi kerusakan pada *reliquefaction plant*. (R P Sinha & Wan Mohd Norsani Wan Nik, 2012)

BAB III METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan emisi *methane slip* pada *medium speed dual fuel engine* dengan *low speed dual fuel engine* yang akan dilakukan dengan metode komparatif yang akan dijelaskan pada diagram berikut.



Gambar 3. 1. *Flowchart* Pengerjaan

Gambar 3.1 merupakan flowchart alur pengerjaan tugas akhir yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu :

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahap ini, perumusan masalah menjadi tahap awal dalam pengerjaan tugas akhir ini. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai perbedaan *methane slip* dan efisiensi *boil-off gas* pada kapal yang telah dipilih.

3.2 Studi Literatur

Setelah perumusan masalah dilakukan, maka selanjutnya dilakukan studi literatur yang memiliki topik terkait yang dapat mendukung pelaksanaan tugas akhir penulis. Dimana yang harus dilakukan pada tahap ini, adalah mencari referensi permasalahan-permasalahan yang ada berikut solusinya dan juga mempelajari kedua hal tersebut untuk diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara membawa paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

3.3 Pengumpulan Data Kapal

Pada tahapan ini penulis melakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Data-data yang diperlukan diantaranya adalah:

- a. Ukuran utama kapal seperti dimensi kapal dan kapasitas muatan dari kapal yang digunakan. Pada proses ini, penulis menggunakan bantuan situs www.aukevisser.nl/supertankers/gas-SP/id703.htm dan juga situs *American Bureau of Shipping* untuk melakukan identifikasi data yang diperlukan.
- b. Spesifikasi mesin kapal seperti jenis, merek, tipe mesin, dan daya dari mesin yang digunakan oleh kapal. Data tersebut juga diperoleh penulis dari situs *American Bureau of Shipping*.

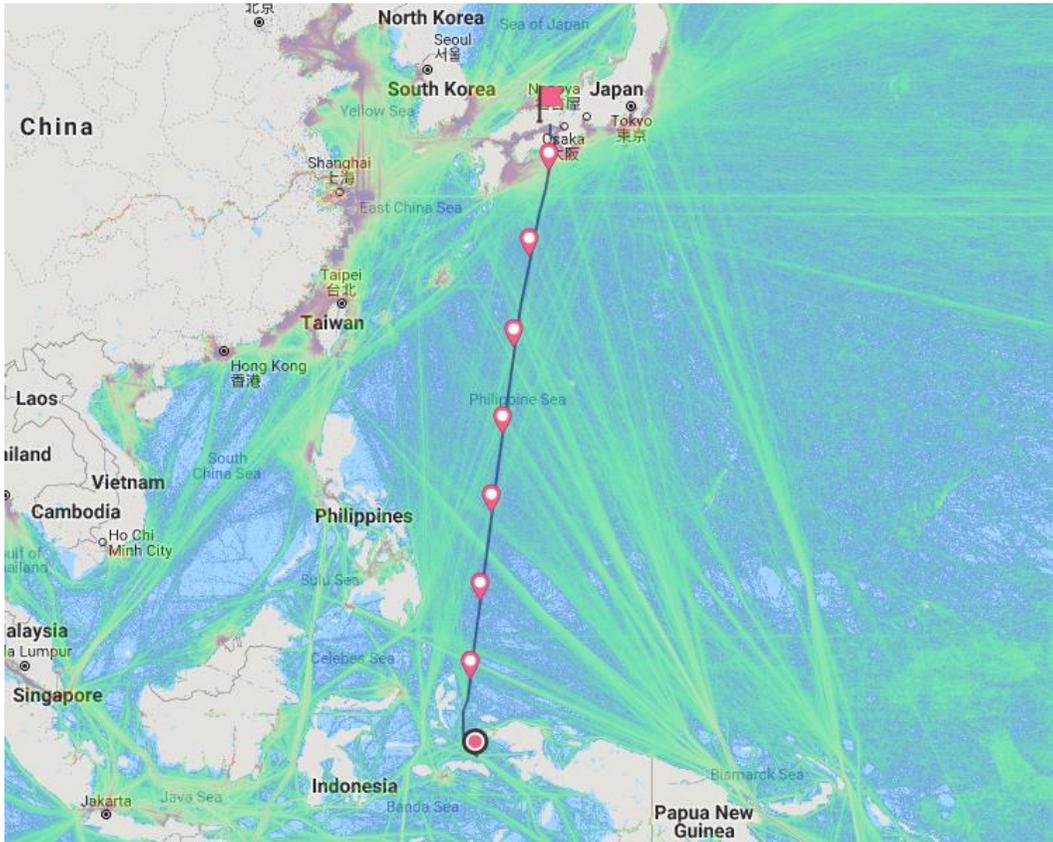
3.4 Pengumpulan Project Guide Mesin

Project guide diperlukan untuk menemukan daya spesifik pada beban tertentu juga konsumsi bahan bakar yang akan dimasukkan ke dalam formula perhitungan emisi. *Project guide* penulis dapatkan dari situs pembuat mesin yang digunakan pada kapal.

3.5 Menentukan Rute Kapal

Sebelum dapat dilakukan kalkulasi emisi *methane slip* dan *boil-off gas* perlu dilakukan penentuan rute untuk mempermudah penentuan pola operasional dan perhitungan. Pada penelitian ini rute yang dipilih adalah Bintuni (Indonesia) menuju Himeji (Jepang) disesuaikan dengan rute asli dari kapal “Tangguh Hiri”. Pada

proses ini penulis menggunakan bantuan dari *Marine Traffic* untuk mengetahui jalur dari rute tersebut kemudian dibantu dengan *Google Maps* untuk membagi jarak dari tiap kecepatan yang ditentukan oleh penulis.



Gambar 3. 2. Rute pelayaran Bintuni - Himeji pada *Marine Traffic*
Sumber: www.marinetraffic.com

Gambar 3.2 diatas adalah rute pelayaran Bintuni, Indonesia menuju Himeji, Jepang yang penulis dapatkan dari situs www.marinetraffic.com.

Setelah jarak dari tiap kecepatan telah ditentukan, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan perkiraan waktu yang dibutuhkan kapal dengan kecepatan tersebut untuk menempuhnya dengan persamaan berikut,

$$T = \frac{S}{V_s}$$

3.6 Kalkulasi

Setelah semua data diperoleh, maka kalkulasi dapat dilakukan. Kalkulasi yang dilakukan oleh penulis pada pengerjaan tugas akhir ini adalah:

3.6.1 Kalkulasi *Methane Slip*

Kalkulasi ini dilakukan dengan cara menghitung jumlah bahan bakar yang digunakan oleh tiap mesin pada kecepatan dan waktu yang telah ditentukan menggunakan persamaan berikut (Wahyu Hidayat. Arif, Semin & Aguk Zuhdi M.F,2013),

$$W_{fuel} = P \times SGC \times T$$

Hasil yang didapatkan harus diubah dalam bentuk kilogram dan kemudian dilanjutkan dengan persamaan berikut untuk memperoleh *methane slip* (Maria Anderson, K. Salo & E. Fridell, 2015),

$$Methane\ Slip = W_{fuel} \times Methane\ Slip\ Coefficient$$

Koefisien *methane slip* yang digunakan tergantung dari *load* mesin yang dihitung. 7 g/kg untuk *high load*, 16 g/kg untuk *medium load*, dan 23 g/kg untuk *low load*. Hasil dari kalkulasi tersebut akan berbentuk gram per kilogram LNG yang digunakan sebagai bahan bakar.

3.6.2 Kalkulasi *Boil-Off Gas*

Kalkulasi ini dilakukan dengan cara menghitung perbandingan *boil-off gas* yang terjadi selama pelayaran dengan kebutuhan bahan bakar dari mesin. Untuk memperoleh jumlah *boil-off gas* pada masing-masing kapal, dapat digunakan persamaan berikut (Ebenezer Adom, Sheikh Zahidul Islam & Xianda Ji, 2010)

$$m = \frac{Q}{\lambda}$$

Q adalah kebocoran panas dari tangki LNG dengan nilai tergantung pada ukuran kapal, dimana Q dari kapal dengan ukuran 160.000 m³ adalah 168,243 kJ/s sedangkan kapal dengan ukuran 200.000 m³ adalah 163,253 kJ/s. Untuk nilai λ dari LNG komersil adalah 512 kJ/kg (Ebenezer Adom, Sheikh Zahidul Islam & Xianda Ji, 2010). Hasil yang akan didapatkan laju penguapan dari LNG per detiknya.

3.7 Validasi

Validasi dilakukan untuk mempertimbangkan data yang sebelumnya sudah didapatkan yang kemudian akan digunakan untuk analisis atau melakukan pengulangan dalam kalkulasi. Validasi ini dilakukan bersama dosen pembimbing.

3.8 Analisis Hasil

Analisis dilakukan dengan cara membandingkan hasil kalkulasi *methane slip* dan *boil-off gas* pada *low speed* dan *medium speed dual fuel engine*. Untuk memudahkan analisis, hasil kalkulasi yang sudah diperoleh disajikan dalam bentuk tabel.

3.9 Analisis *Energy Benefit*

Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan beberapa sistem penunjang yang dapat diterapkan pada tiap engine dan mengkalkulasi sistem mana yang akan menghemat energi dan memberikan keuntungan paling banyak dari muatan yang dibawa.

3.10 Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahap dan segala rangkaian kegiatan diatas telah dilaksanakan, tibalah pada tahap terakhir yaitu menarik sebuah kesimpulan dari analisa data yang sidah dilakukan. Diharapkan kesimpulan dapat menjawab seluruh rumusan masalah dan tujuan pada penelitian ini, dan selain itu diperlukan juga sebuah saran yang nantinya akan menjadi sebuah dasar dari hasil penelitian ini untuk menjadi sebuah penelitian berikutnya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis melakukan analisis perbandingan *low speed* dan *medium speed dual fuel engine* pada mesin yang sudah digunakan di 2 *LNG carrier* yang berbeda yaitu “Onaiza” dan “Tangguh Hiri” yang dipilih untuk memudahkan dalam melakukan pencarian data-data yang dibutuhkan dalam penulisan, dengan rute dan pola pengoperasian mesin yang telah ditentukan oleh penulis. Penulis menggunakan 2 kapal yang berbeda dengan kapasitas yang juga berbeda dikarenakan tidak ditemukannya kapal yang menggunakan *low speed dual fuel engine* dengan kapasitas dibawah 200,000 m³ dan kapal dengan *medium speed dual fuel engine* dengan ukuran diatas 160,000 m³ pada *database LNG carrier* yang saat ini beroperasi. Sehingga pada akhirnya penulis menggunakan *LNG carrier* dengan *service speed* yang sama dan daya propulsi yang mendekati sama. Pada proses tersebut, data yang digunakan oleh penulis adalah data yang penulis dapatkan dari spesifikasi kapal yang dimiliki oleh *class* yaitu *American Bureu of Shipping (ABS)* dan *project guide* dari tiap mesin yang digunakan oleh kapal. Analisis yang dilakukan adalah membandingkan *methane slip* dan efisiensi dari pemanfaatan *boil-off gas* dari masing-masing kapal.

4.1 Data dan Spesifikasi Kapal

Data utama yang dibutuhkan untuk analisa ini adalah kapasitas dari tangki muatan, spesifikasi dari *main engine* dan *auxiliary engine*, dan kecepatan dinas. Data-data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah pembacaan.

4.1.1 Onaiza



Gambar 4. 1. Onaiza

Sumber: www.aukevisser.nl/supertankers/gas-2/id464.htm

Gambar 4.1 adalah foto dari *LNG carrier* dengan *low speed dual fuel engine* yang penulis pilih dalam analisis ini yaitu “Onaiza”.

Tabel 4. 1. Spesifikasi *LNG Carrier* Onaiza

Name	Onaiza
IMO	9397353
Dimension	
GT	138.766,67
DWT	121.938
LOA	315 m
LPP	303 m
B	50 m
T	10,717 m
H	27,00 m
Capacity	
210.100 m ³	
Propulsion Plant	
(2x) MAN B&W 6S70 ME-C8.5GI	
Power	16.550 kW
RPM	87 rpm
(4x) MAN B&W 8L35/44DF Auxiliary Engine	
Power	4080 kW
RPM	750 rpm
(4x) HHI Generator HSJ7 907-10P	
Power	4080 kW
RPM	750 rpm
2 Propeller	
Speed	19,50 kN

Tabel 4.1 merupakan tabel dari beberapa spesifikasi *LNG carrier* “Onaiza” yang dapat diperoleh dari situs milik *American Bureau of Shipping* yaitu www.eagle.org/safenet/record/record_vesselsearch. Data tersebut yang selanjutnya akan digunakan sebagai panduan untuk mencari *project guide* dari mesin yang digunakan pada kapal tersebut.

4.1.2 Tangguh Hiri



Gambar 4. 2. Tangguh Hiri

Sumber: : www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1602713

Gambar 4.2 adalah foto dari *LNG carrier* dengan *medium speed dual fuel engine* yang penulis pilih dalam analisis ini yaitu “Tangguh Hiri”.

Tabel 4. 2. Spesifikasi *LNG Carrier* Tangguh Hiri

Name	Tangguh Hiri
IMO	9333632
Dimension	
GT	101.957
DWT	84.484

LOA	288,43 m
LPP	275 m
B	44,20 m
T	12,22 m
H	26,00 m
Capacity	
154.900 m ³	
Propulsion Plant	
(2x) Wartsila 12V50DF	
Power	11.400 kW
RPM	500 rpm
(2x) Wartsila 9L50DF	
Power	8850 kW
RPM	500 rpm
(2x) ABB Marine Generator	
Power	11.400 kW
RPM	500 rpm
(2x) ABB Marine Generator	
Power	8850 kW
RPM	500 rpm
(2x) ABB Marine Electric Motor	
No.1	14.860 kW
No. 2	29.720 kW
1 Propeller	
Speed	19,50 kN

Tabel 4.2 merupakan tabel dari beberapa spesifikasi *LNG carrier* “Tangguh Hiri” yang dapat diperoleh dari situs milik *American Bureau of Shipping* www.eagle.org/safenet/record/record_vesselsearch. Data tersebut yang selanjutnya akan digunakan sebagai panduan untuk mencari *project guide* dari mesin yang digunakan pada kapal tersebut.

4.2 Rute Pelayaran

Rute yang telah ditentukan adalah Bintuni, Indonesia menuju Himeji, Jepang dengan muatan penuh. Rute didapatkan dari *marine traffic* kemudian diolah kembali dengan *google maps* untuk menentukan jarak. Total jarak yang ditempuh adalah 2808,02 nm dengan pembagian 3 variasi kecepatan yang akan mempengaruhi beban serta pola pengoperasian masing-masing mesin. Variasi kecepatan tersebut adalah 19,5 knot, 9,75 knot, dan 4,875 knot. Kedua kapal akan mengalami variasi kecepatan yang sama pada titik yang sama juga.



Gambar 4. 3. Rute Pelayaran
Sumber: maps.google.com

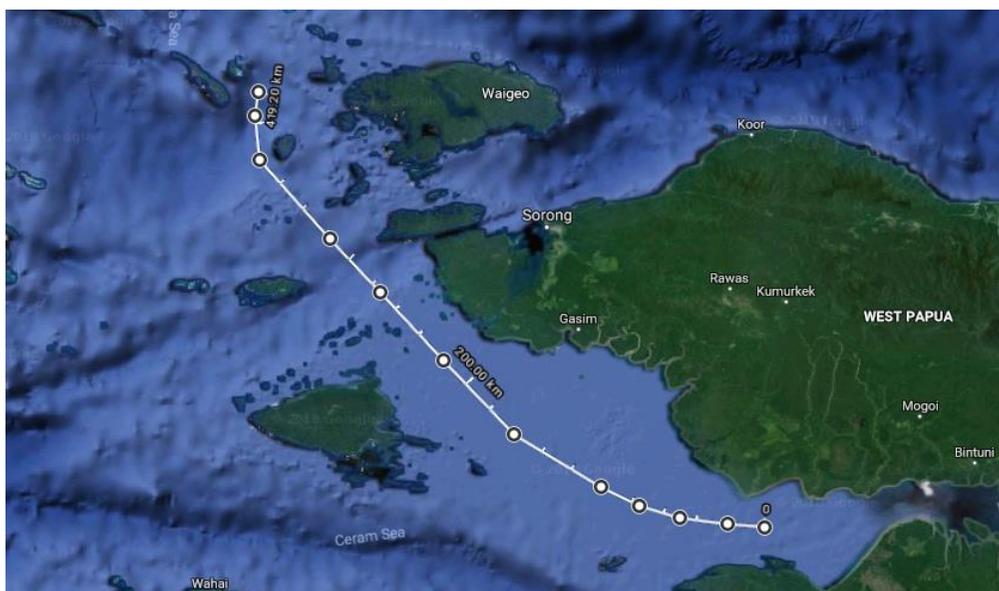
Gambar 4.3 menunjukkan rute kapal yang telah diolah menggunakan *google maps* untuk mempermudah pembagian jarak tempuh tiap variasi kecepatan. Garis merah pada gambar menunjukkan rute dimana kecepatan kapal sebesar 4,875 knot, garis kuning menunjukkan rute dimana kecepatan kapal sebesar 9,75 knot, dan garis hijau menunjukkan rute dimana kecepatan kapal sebesar 19,5 knot.

4.2.1 19,5 knot

Kecepatan ini adalah kecepatan dinas dari kedua kapal yang dianalisis. Pada kecepatan ini kapal menempuh jarak 2185,61 nm dengan waktu tempuh selama 112,08 jam untuk menempuhnya. Setiap kapal mengalami *high load* pada kecepatan ini yang akan dibahas pada pembahasan berikutnya.

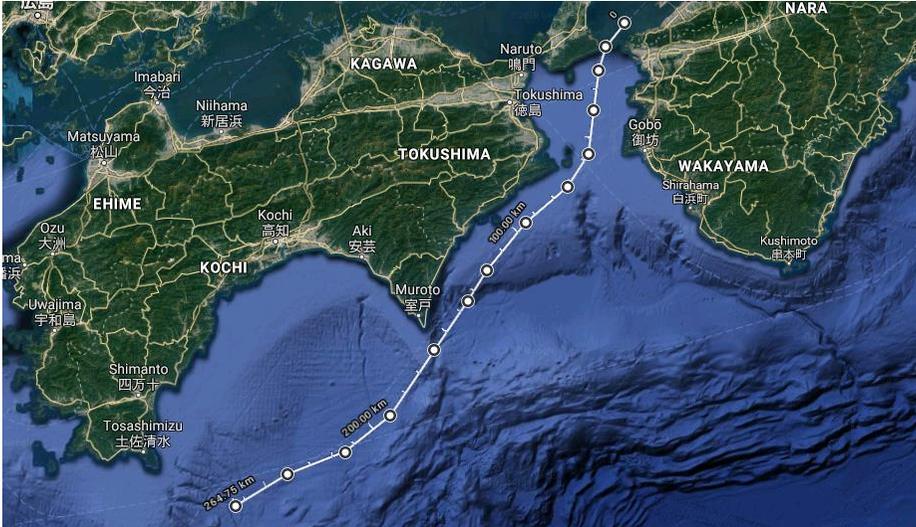
4.4.2 9,75 knot

Kecepatan ini adalah kecepatan kapal ketika sudah mulai memasuki laut dalam dan melakukan *maneuvering*. Pada kecepatan ini kapal menempuh jarak 522,41 nm dengan waktu tempuh selama 53,58 jam secara keseluruhan. Pola pengoperasian *main engine* akan dibahas pada pembahasan berikutnya.



Gambar 4. 4. Rute pelayaran 9,75 knot awal
Sumber: maps.google.com

Gambar 4.4 menunjukkan rute pelayaran dengan kecepatan 9,75 knot yang terjadi di awal pelayaran secara lebih detail.

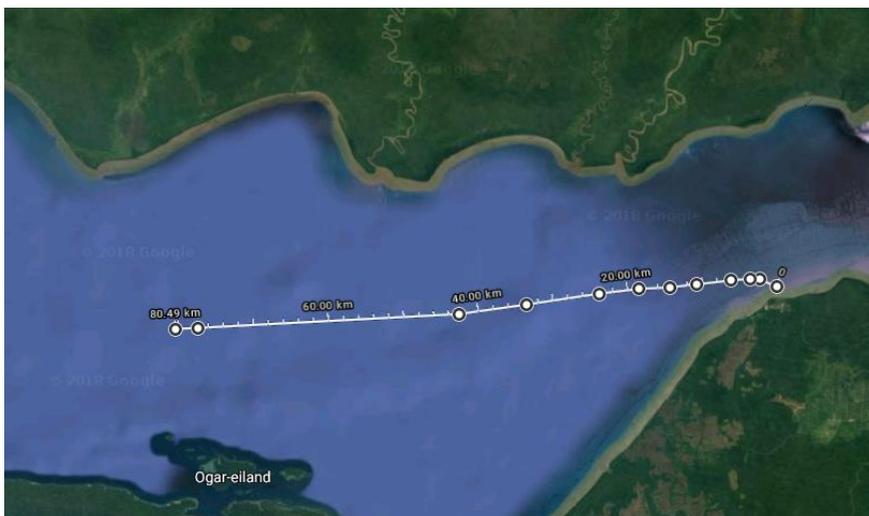


Gambar 4. 5. Rute pelayaran 9,75 knot akhir
Sumber: maps.google.com

Gambar 4.5 menunjukkan rute pelayaran dengan kecepatan 9,75 knot yang terjadi di akhir perlayaran secara lebih detail.

4.4.3 4,875 knot

Kecepatan ini adalah kecepatan kapal saat keluar dari pelabuhan dan memasuki pelabuhan. Pada kecepatan ini kapal menempuh jarak 100 nm dengan waktu tempuh selama 20,512 jam secara keseluruhan. Pola pengoperasian *main engine* akan dibahas pada pembahasan berikutnya.



Gambar 4. 6. Rute pelayaran 4.875 knot awal
Sumber: maps.google.com

Gambar 4.6 menunjukkan rute pelayaran dengan kecepatan 4,875 knot yang terjadi di awal pelayaran secara lebih detail. Pada gambar ini kapal meninggalkan terminal Tangguh LNG.



Gambar 4. 7. Rute pelayaran 4,875 knot akhir
Sumber: maps.google.com

Gambar 4.7 menunjukkan rute pelayaran dengan kecepatan 4,875 knot yang terjadi di akhir pelayaran secara lebih detail. Pada gambar ini kapal memasuki pelabuhan Himeji.

4.3 Hasil Kalkulasi *Methane Slip*

4.3.1 Hasil Kalkulasi *Methane Slip* “Onaiza”

LNG carrier “Onaiza” merupakan kapal dengan *low speed dual fuel engine* yang dipilih penulis untuk dijadikan salah satu kapal yang dibandingkan. Berikut adalah hasil kalkulasi dari kapal tersebut:

- a. 19,5 knot

Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan *Methane Slip Low Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 19.5 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
6S70ME-GI	2	16550	139.2	112,08
8L35/44DF	3	4080	7470	112,08
8L35/44DF (Low Load)	1	1632	8390	112,08

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Koefisien Methane Slip (g/kg LNG)	Methane Slip (ton)
6S70ME-GI	-	516,41	7	3,61
8L35/44DF	10247788,22	227,72	7	1,59
8L35/44DF (Low Load)	1534653,15	34,10	23	0,78

Tabel 4.3 merupakan hasil perhitungan dari *methane slip* yang dihasilkan oleh LNG carrier “Onaiza” pada kecepatan 19,5 knot. Dapat dilihat total *methane slip* dari variasi kecepatan tersebut adalah sebesar 5993,3546 kg atau 5,99 ton.

b. 9,75 knot

Tabel 4. 4. Hasil Perhitungan *Methane Slip Low Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 9,75 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
6S70ME-GI	2	2068,75	141.2	53.58
8L35/44DF	3	4080	7470	53.58
8L35/44DF (Low Load)	1	1632	8390	53.58

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Koefisien Methane Slip (g/kg LNG)	Methane Slip (ton)
6S70ME-GI	-	31,30	16	0,50
8L35/44DF	4898969,42	108,86	7	0,76
8L35/44DF (Low Load)	733643,07	16,30	23	0,37

Tabel 4.4 merupakan hasil perhitungan dari *methane slip* yang dihasilkan oleh LNG carrier “Onaiza” pada kecepatan 9,75 knot. Dapat dilihat total *methane slip* dari variasi kecepatan tersebut adalah sebesar 1637,8709 kg atau 1,63 ton.

c. 4,875 knot

Tabel 4. 5. Hasil Perhitungan *Methane Slip Low Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 4,875 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
6S70ME-GI	2	258,6	141.2	20,512
8L35/44DF	3	4080	7470	20,512
8L35/44DF (Low Load)	1	1632	8390	20,512

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Koefisien Methane Slip (g/kg LNG)	Methane Slip (ton)
6S70ME-GI	-	1,49	23	0,03
8L35/44DF	1875469,59	41,67	7	0,29
8L35/44DF (Low Load)	280860,14	6,24	23	0,14

Tabel 4.5 merupakan hasil perhitungan dari *methane slip* yang dihasilkan oleh *LNG carrier* “Onaiza” pada kecepatan 4,875 knot. Dapat dilihat total *methane slip* dari variasi kecepatan tersebut adalah sebesar 469,7436 kg atau 0,46 ton.

Total dari keseluruhan *methane slip* yang terjadi pada *low speed dual fuel engine* yang digunakan *LNG carrier* “Onaiza” adalah sebesar 8,1 ton atau 0,010 % dari seluruh muatan dan dibawa oleh *LNG carrier*.

4.3.2 Hasil Kalkulasi *Methane Slip* “Tanggung Hiri”

LNG carrier “Tanggung” merupakan kapal dengan *medium speed dual fuel engine* yang dipilih penulis untuk dijadikan salah satu kapal yang dibandingkan. Berikut adalah hasil kalkulasi dari kapal tersebut:

a. 19,5 knot

Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan *Methane Slip Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 19,5 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SGC	Waktu Operasi (Jam)
12V50DF	2	11400	7410	112,08
9L50DF	2	8850	7410	112,08

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Koefisien Methane Slip (gram)	Methane Slip (ton)
12V50DF	18935691,84	420,79	7	2,94
9L50DF	14700076,56	326,66	7	2,28

Tabel 4.6 merupakan hasil perhitungan dari methane slip yang dihasilkan oleh *LNG carrier* “Tangguh Hiri” pada kecepatan 19,5 knot. Dapat dilihat total *methane slip* dari variasi kecepatan tersebut adalah sebesar 5232,2306 kg atau 5,23 ton.

b. 9,75 knot

Tabel 4. 7. Hasil Perhitungan *Methane Slip Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 9,75 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
12V50DF	2	11400	7410	53,58
9L50DF	1	8850	7410	53,58
9L50DF (Low Load)	1	3540	8410	53,58

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Koefisien Methane Slip (gram)	Methane Slip (ton)
12V50DF	9052233,84	201,16	7	1,40
9L50DF	3513696,03	78,08	7	0,54
9L50DF (Low Load)	1595151,61	35,44	23	0,81

Tabel 4.7 merupakan hasil perhitungan dari methane slip yang dihasilkan oleh *LNG carrier* “Tangguh Hiri” pada kecepatan 9,75 knot. Dapat dilihat total *methane slip* dari variasi kecepatan tersebut adalah sebesar 2769,9999 kg atau 2,77 ton.

c. 4,875 knot

Tabel 4. 8. Hasil Perhitungan *Methane Slip Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 4.875 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
12V50DF	2	11400	7410	20,512
9L50DF (Low Load)	2	3540	8410	20,512

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Koefisien Methane Slip (gram)	Methane Slip (ton)
12V50DF	3465461,37	77,01	7	0,53
9L50DF (Low Load)	1221341,91	27,14	23	0,62

Tabel 4.8 merupakan hasil perhitungan dari methane slip yang dihasilkan oleh *LNG carrier* “Tangguh Hiri” pada kecepatan 4,875 knot. Dapat dilihat total *methane slip* dari variasi kecepatan tersebut adalah sebesar 1163,3132 kg atau 1,16 ton.

Total dari keseluruhan *methane slip* yang terjadi pada *medium speed dual fuel engine* yang digunakan pada *LNG carrier* “Tangguh Hiri” adalah sebesar 9,16 ton atau 0,016 % dari seluruh muatan dan dibawa oleh *LNG carrier*.

Tabel 4. 9. *Summary* seluruh *Methane slip*

Kecepatan (knot)	Tipe Mesin	<i>Methane Slip</i> (ton)	Total <i>Methane Slip</i> (ton)
19,5	<i>Low speed</i>	5,99	8,1
9,75	<i>Low speed</i>	1,63	
4,875	<i>Low speed</i>	0,46	
19,5	<i>Medium speed</i>	5,23	9,16
9,75	<i>Medium speed</i>	2,77	
4,875	<i>Medium speed</i>	1,16	

Tabel 4.9 menunjukkan seluruh hasil dari kalkulasi *methane slip*. Dapat dilihat dari tabel bahwa *medium speed dual fuel engine* menghasilkan *methane slip* yang lebih besar dibandingkan dengan *low speed dual fuel engine*.

4.4 Hasil Kalkulasi *Boil-Off Gas*

4.4.1 Hasil Kalkulasi Efisiensi *Boil-Off Gas* “Onaiza”

LNG carrier “Onaiza” menggunakan *low speed dual fuel engine* MAN B&W 6S70ME-GI yang membutuhkan tekanan yang tinggi yaitu 300 bar untuk melakukan pembakaran bahan bakar berupa *LNG* sehingga mesin ini membutuhkan pemindah bahan bakar dengan tekanan tinggi seperti *high pressure compressor* untuk bahan bakar berbentuk gas (*BOG*) atau *high pressure pump* untuk bahan bakar berbentuk cair (*LNG*). Pada kasus ini *LNG carrier* dilengkapi dengan *high pressure pump* sehingga kapal ini membutuhkan sistem *BOG recovery* atau lebih dikenal sebagai *reliquefaction* untuk memanfaatkan *BOG* karena *main engine* tidak dapat memanfaatkan *BOG* secara langsung. Sedangkan *auxiliary engine* pada kapal ini dapat memanfaatkan *BOG* secara langsung, karena mesin tersebut dapat memanfaatkan *BOG* dengan tekanan rendah.

a. 19,5 knot

Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan *BOG Low Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 19,5 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
8L35/44DF	3	4080	7470	112,08
8L35/44DF (Low Load)	1	1632	8390	112,08
6S70ME-GI	2	16550	139,2	112,08

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Boil Off Gas (kg/hour)	Total BOG (ton)	Sisa BOG (ton)
8L35/44DF	10247788,22	227,72	1147,87	128,65	-99,07
8L35/44DF (Low Load)	1534653,15	34,10	1147,87	0	-34,10
6S70ME-GI	-	516,41	1147,87	0	-516,41

Tabel 4.10 menunjukkan bahwa *BOG* yang dihasilkan selama waktu operasional mesin tidak mencukupi kebutuhan mesin, sehingga mesin menggunakan bahan bakar yang diambil dari muatan sebesar 649589,3050 kg atau 649,58 ton.

b. 9,75 knot

Tabel 4. 11. Hasil Perhitungan *BOG Low Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 9,75 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
8L35/44DF	3	4080	7470	53,58
8L35/44DF (Low Load)	1	1632	8390	53,58
6S70ME-GI	2	1632	141.2	53,58

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Boil Off Gas (kg/hour)	Total BOG (ton)	Sisa BOG (ton)
8L35/44DF	4898969,42	108,86	1147,87	61,50	-47,36
8L35/44DF (Low Load)	733643,07	16,30	1147,87	0	-16,30
6S70ME-GI	-	24,69	1147,87	0	-24,69

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa *BOG* yang dihasilkan selama waktu operasional mesin tidak mencukupi kebutuhan mesin, sehingga mesin menggunakan bahan bakar yang diambil dari muatan sebesar 88369,9287 kg atau 88,36 ton.

c. 4,875 knot

Tabel 4. 12. Hasil Perhitungan *BOG Low Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 4,875 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
8L35/44DF	3	4080	7470	20,512
8L35/44DF (Low Load)	1	1632	8390	20,512
6S70ME-GI	2	256,8	141.2	20,512

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Boil Off Gas (kg/hour)	Total BOG (ton)	Sisa BOG (ton)
8L35/44DF	1875469,59	41,67	1147,87	23,54	-18,13
8L35/44DF (Low Load)	280860,14	6,24	1147,87	0	-6,24
6S70ME-GI	-	1,48	1147,87	0	-1,48

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa *BOG* yang dihasilkan selama waktu operasional mesin tidak mencukupi kebutuhan mesin, sehingga mesin menggunakan bahan bakar yang diambil dari muatan sebesar 25860,8116 kg atau 25,86 ton.

Total dari keseluruhan bahan bakar yang diambil dari muatan pada *low speed dual fuel engine* yang digunakan pada *LNG carrier* “Onaiza” adalah sebesar 763,8100454 ton atau 1,029 % dari seluruh muatan dan dibawa oleh *LNG carrier*.

4.4.2 Hasil Kalkulasi Efisiensi *Boil-Off Gas* “Tangguh Hiri”

LNG carrier “Tangguh Hiri” menggunakan *medium speed dual fuel engine* yang dapat memanfaatkan langsung *BOG* dengan tekanan rendah, namun kapal ini tidak dilengkapi dengan *BOG recovery system* sehingga ketika *BOG* tidak digunakan gas tersebut akan dibakar menggunakan *BOG combustion system* agar tangki tidak kelebihan tekanan.

a. 19,5 knot

Tabel 4. 13. Hasil Perhitungan *BOG Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 19,5 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
12V50DF	2	11400	7365	112,08
9L50DF (High Load)	2	8850	7365	112,08

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (kg)	Boil Off Gas (kg/hour)	Total BOG (ton)	Sisa BOG (ton)
12V50DF	18820697,76	418,23	1182,95	132,58	-285,65
9L50DF (High Load)	14610804,84	324,68	1182,95	0	-324,68

Tabel 4.13 menunjukkan bahwa *BOG* yang dihasilkan selama waktu operasional mesin tidak mencukupi kebutuhan mesin, sehingga mesin menggunakan bahan bakar yang diambil dari muatan sebesar 610336,2808 kg atau 610,33 ton.

b. 9,75 knot

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan *BOG Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 9,75 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
12V50DF	2	11400	7365	53,58
9L50DF	1	8850	7365	53,58
9L50DF (Low Load)	1	3540	8300	53,58

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Boil Off Gas (kg/hour)	Total BOG (ton)	Sisa BOG (ton)
12V50DF	8997260,76	199,93	1182,95	63,38	-136,55
9L50DF	3492357,79	77,60	1182,95	0	-77,60
9L50DF (Low Load)	1574287,56	34,98	1182,95	0	-34,98

Tabel 4.14 menunjukkan bahwa *BOG* yang dihasilkan selama waktu operasional mesin tidak mencukupi kebutuhan mesin, sehingga mesin menggunakan bahan bakar yang diambil dari muatan sebesar 249148,3255 kg atau 249,14 ton.

c. 4,875 knot

Tabel 4. 15. Hasil Perhitungan *BOG Medium Speed Dual Fuel Engine* pada Kecepatan 4,875 knot

Mesin Utama	Jumlah Mesin	Daya (kW)	SFOC / SGC	Waktu Operasi (Jam)
12V50DF	2	11400	7410	20,512
9L50DF (Low Load)	2	3540	8300	20,512

Mesin Utama	Konsumsi Bahan Bakar (MJ)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Boil Off Gas (kg/hour)	Total BOG (ton)	Sisa BOG (ton)
12V50DF	3465461,37	77,01	1182,95	24,26	-52,74
9L50DF (Low Load)	1205367,16	26,78	1182,95	0	-26,78

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa *BOG* yang dihasilkan selama waktu operasional mesin tidak mencukupi kebutuhan mesin, sehingga mesin menggunakan bahan bakar yang diambil dari muatan sebesar 79531,3432 kg atau 79,53 ton.

Total dari keseluruhan bahan bakar yang diambil dari muatan pada *medium speed dual fuel engine* yang digunakan pada *LNG carrier* "Tanggung Hiri" adalah sebesar 939,0159496 ton atau 1,7 % dari seluruh muatan yang dibawa oleh *LNG carrier*.

Tabel 4. 16. *Summary* Kebutuhan *BOG*

Kecepatan (knot)	Tipe Mesin	Kebutuhan <i>BOG</i> (ton)	Total Kebutuhan <i>BOG</i> (ton)	Sisa <i>BOG</i> (ton)	Muatan yang Dipakai (%)
19,5	<i>Low speed</i>	778,24	977,51	-763,81	1,02
9,75	<i>Low speed</i>	149,86			
4,875	<i>Low speed</i>	49,40			
19,5	<i>Medium speed</i>	742,92	1159,24	-939,01	1,70
9,75	<i>Medium speed</i>	312,53			
4,875	<i>Medium speed</i>	103,79			

Tabel 4.16 menunjukkan keseluruhan kebutuhan *BOG* dan jumlah *LNG* yang dipakai jika *BOG* tidak mencukupi. Dapat dilihat dari tabel bahwa *medium speed dual fuel engine* menggunakan lebih banyak *LNG* jika dibandingkan dengan *low speed dual fuel engine* pada skenario ini.

4.5 Analisis *Energy Benefit*

Energy benefit adalah keuntungan energi yang dihasilkan dari suatu proses seperti proses pembakaran dari mesin yang membutuhkan energi mulai dari mengalirkan bahan bakar sampai dengan bahan bakar tersebut dibakar dalam *combustion chamber*. Semakin efisiennya suatu sistem, maka energi yang dibutuhkannya akan semakin sedikit, menguntungkan, dan harapannya lebih ramah lingkungan. Pada analisis ini akan dibahas beberapa sistem yang memungkinkan untuk dipasang pada tiap mesin, yang bertujuan untuk mencari sistem mana yang paling menguntungkan secara operasional.

Analisis ini dibagi menjadi beberapa skenario berbeda pada tiap mesin. Skenario pertama adalah kapal meninggalkan pelabuhan setelah diam selama 2 jam. Skenario kedua adalah kapal menunggu antrian untuk memasuki pelabuhan dan jangkar diturunkan selama 10 jam.

4.5.1 Analisis *Energy Benefit* “Onaiza”

LNG carrier “Onaiza” menggunakan *low speed dual fuel engine* sebagai penggerak utama pada kapal tersebut. *Low speed dual fuel engine* memiliki 2 opsi yang dapat digunakan sebagai sistem penyuplai bahan bakar gas yaitu *high pressure pump* dan *high pressure compressor*.

a. *High Pressure Pump*

Jika menggunakan *high pressure pump*, maka sistem harus menggunakan *relief plant* untuk mencairkan kembali *BOG* sebelum dapat digunakan sebagai bahan bakar pada mesin. Daya yang dibutuhkan *high pressure pump* dengan *flow rate* 5100 kg/h adalah sebesar 150 kW (Cryostar, 2018) dan daya yang dibutuhkan *relief plant* adalah

sebesar 5500 kW atau 0,78 kWh/kg (J. R. Gómez, M. R Gómez, R. F. Garcia & A. De Miguel Catoira, 2014). *Reliquefaction plant* hanya digunakan ketika *BOG* sudah terakumulasi cukup banyak.

Keuntungan dari sistem ini adalah *main engine* dapat menggunakan bahan *LNG* sebagai bahan bakar utama dari awal pelayaran selama *cargo tank* memiliki muatan dan muatan yang menjadi *BOG* dapat dijadikan *LNG* kembali.

Pada saat skenario pertama, *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 2,29 ton. Sedangkan *BOG* yang dibutuhkan oleh *auxiliary engine* untuk menyalakan semua sistem dan *reliquefaction plant* adalah sebesar 2,03 ton untuk 1 jam sehingga akan tersisa 0,26 ton untuk disuplai menuju *main engine* selama 3 menit sebelum habis.

Pada saat skenario kedua, *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 11,47 ton. Sedangkan *BOG* yang dibutuhkan oleh *auxiliary engine* adalah sebesar 7,45 ton setelah ditambahkan dengan penyalaan *reliquefaction plant* selama 1 jam. Total *BOG* yang kembali pada muatan adalah sebesar 4,02 ton.

Tabel 4. 17. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi *Low Speed Dual Fuel Engine* dengan *High Pressure Pump*

Skenario	Boil-Off Rate (kg/hour)	Waktu (Hour)	Total BOG (ton)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Sisa BOG (kg)
1	1147,87	2	2,29	2,03	0,26 (Benefit)
2	1147,87	10	11,47	7,45	4,02 (Benefit)

Tabel 4.17 menunjukkan hasil perhitungan dari tiap skenario yang telah dibuat. Konsumsi bahan bakar adalah kebutuhan dari *auxiliary engine* untuk menunjang seluruh sistem dalam waktu yang telah ditentukan ditambah dengan sistem suplai bahan bakar pada skenario pertama. Sisa *BOG* pada skenario pertama adalah sisa dari proses *reliquefaction* dan sudah dikurangi dengan kebutuhan *high pressure pump* yang selanjutnya akan digunakan pada *main engine*. Sedangkan sisa dari skenario kedua adalah murni sisa dari *reliquefaction plant* yang akan dikembalikan ke *cargo tank*.

Sedangkan untuk *energy benefit* dari *reliquefaction plant* pada *LNG carrier* “Onaiza” dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 18. Hasil Perhitungan *Energy Benefit* dari *Reliquefaction Plant*

Skenario	Total BOG (ton)	Daya Reliquefaction Plant (kWh/kg)	Total Daya (MW)	Waktu Pencairan (Jam)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Sisa BOG (ton)
1	2,29	0,78	1,79	0.328	0,09	2,19
2	1,14	0,78	8,95	1.643	2,22	9,25

Tabel 4.18 menunjukkan hasil perhitungan *energy benefit* dari *reliquefaction plant* pada *LNG carrier* “Onaiza”. Konsumsi bahan bakar adalah bahan bakar yang dibutuhkan oleh *auxiliary engine* untuk memenuhi kebutuhan daya dari *reliquefaction plant*.

b. *High Pressure Compressor*

Jika menggunakan *high pressure compressor*, maka *reliquefaction plant* tidak lagi dibutuhkan karena mesin dapat menggunakan *BOG* berbentuk gas. Dalam kasus ini penulis mengganti *reliquefaction plant* dengan *gas combustion unit*. Daya yang dibutuhkan *high pressure compressor* dengan *flow rate* 5000 kg/h adalah sebesar 1750 kW (Burckhardt Compression, 2018).

Pada skenario pertama *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 2,29 ton. Sedangkan *BOG* yang dibutuhkan oleh *auxiliary engine* untuk menyalakan semua sistem adalah sebesar 1760,928 kg sehingga tersisa sebesar 0,53 ton untuk menyalakan *main engine* selama 7 menit sebelum habis.

Pada saat skenario kedua, *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 11,47 ton. Sedangkan *BOG* yang dibutuhkan oleh *auxiliary engine* adalah sebesar 6,97 ton setelah ditambahkan penyalakan *GCU* selama 1 jam sehingga seluruh *BOG* yang tidak digunakan sebesar 4,50 ton akan dibakar dan dibuang.

Tabel 4. 19. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi *Low Speed Dual Fuel Engine* dengan *High Pressure Compressor*

Skenario	Boil-Off Rate (kg/hour)	Waktu (Hour)	Total BOG (ton)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Sisa BOG (ton)
1	1147,87	2	2,29	1,76	0,53 (Benefit)
2	1147,87	10	11,47	6,97	4,50 (GCU)

Tabel 4.19 menunjukkan hasil perhitungan dari tiap skenario yang telah dibuat. Konsumsi bahan bakar adalah kebutuhan dari *auxiliary engine* untuk menunjang seluruh sistem dalam waktu yang telah ditentukan ditambah dengan sistem suplai bahan bakar pada skenario pertama. Sisa *BOG* pada skenario pertama

adalah sisa yang tidak digunakan oleh *auxiliary engine* dan sudah dikurangkan dengan kebutuhan *high pressure compressor* yang selanjutnya akan digunakan pada *main engine*. Sedangkan sisa dari skenario kedua karena *auxiliary engine* tidak dapat menggunakan seluruh *BOG* maka sisanya akan dibakar oleh *GCU*.

4.5.2 Analisis *Energy Benefit* “Tanggung Hiri”

LNG carrier “Tanggung Hiri” menggunakan *medium speed dual fuel engine* sebagai penggerak utama pada kapal tersebut. *Medium speed dual fuel engine* sebenarnya hanya memiliki 1 jenis sistem tapi pada analisa ini penulis memasang *reliquefaction* sebagai pembanding.

a. Tanpa *Reliquefaction*

Pada skenario pertama, *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 2,36 ton. Sedangkan kebutuhan seluruh mesin yang bekerja dari saat kapal diam selama 2 jam adalah sebesar 2,04 ton sehingga sisa *BOG* yang dihasilkan dapat digunakan untuk menyalakan generator utama untuk menjalankan motor listrik.

Pada skenario kedua, *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 11,82 ton. Sedangkan kebutuhan seluruh mesin yang bekerja untuk penerangan dan sistem lainnya selama 10 jam adalah sebesar 9,82 ton. Sehingga *BOG* yang tersisa harus dibakar dengan *GCU*.

Tabel 4. 20. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi *Medium Speed Dual Fuel Engine* tanpa *Reliquefaction Plant*

Skenario	Boil-Off Rate (kg/hour)	Waktu (Hour)	Total BOG (kg)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Sisa BOG (ton)
1	1182,95	2	2,36	2,04	0,32 (Benefit)
2	1182,959	10	11,82	9,82	2,00 (GCU)

Tabel 4.20 menunjukkan hasil perhitungan efisiensi energi dari *LNG carrier* “Tanggung Hiri”. Hasil menunjukkan bahwa akumulasi *BOG* tidak mencukupi kebutuhan seluruh mesin yang digunakan pada kedua skenario.

b. Dengan *Reliquefaction*

Pada skenario pertama, *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 2,36 ton. Sedangkan kebutuhan seluruh mesin yang bekerja dari saat kapal diam selama 2 jam, sama seperti sebelumnya yaitu 2,04 ton namun untuk mencairkan *BOG* yang tersisa dibutuhkan energi yang cukup besar yang melebihi dari *BOG* yang dihasilkan.

Pada skenario kedua, *BOG* yang terakumulasi adalah sebesar 11,82 ton. Sedangkan kebutuhan seluruh mesin yang bekerja untuk penerangan dan sistem lainnya selama 10 jam dan menyalakan *reliequfaction plant* selama 1 jam adalah sebesar 10,88 kg. Sehingga *BOG* dapat dikembalikan menjadi *payload* sebesar 0,94 ton.

Tabel 4. 21. Hasil Perhitungan Efisiensi Energi *Medium Speed Dual Fuel Engine* dengan *Reliequfaction Plant*

Skenario	Boil-Off Rate (kg/hour)	Waktu (Hour)	Total BOG (ton)	Konsumsi Bahan Bakar (ton)	Sisa BOG (ton)
1	1182,95	2	2,36	2,45	-0,08 (Kurang)
2	1182,95	10	11,82	10,88	0,94 (Benefit)

Tabel 4.21 menunjukkan hasil perhitungan efisiensi energi dari *LNG carrier* “Tangguh Hiri” dengan *reliequfaction plant*. Hasil menunjukkan bahwa sisa *BOG* yang dapat kembali ke muatan sangat kecil bahkan kurang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perhitungan dan analisa yang telah dilakukan oleh penulis terkait perbandingan antara *low speed* dan *medium speed dual fuel engine* dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil perhitungan dan perbandingan dari *methane slip* yang dihasilkan oleh kedua mesin dengan pola penggunaannya masing-masing, *LNG carrier* yang menghasilkan emisi *methane slip* paling sedikit adalah “Onaiza” dengan *methane slip* sebesar 8,1 ton atau 0,010 % dari seluruh muatan dan dibawa oleh *LNG carrier*.
2. Emisi paling besar yang dihasilkan oleh kedua kapal terjadi saat kecepatan kapal 4,875 knot jika dibandingkan dengan kecepatan lain dengan waktu pelayaran yang sama.
3. Secara keseluruhan *Low speed dual fuel engine* dengan *reliquefaction* memiliki efisiensi paling tinggi dan juga menghasilkan keuntungan paling besar karena seluruh *BOG* dapat digunakan atau menjadi *payload* kembali.
4. Ada beberapa alasan yang dapat penulis simpulkan sebagai penyebab dari tidak digunakannya *low speed dual fuel engine* pada *LNG carrier* dengan ukuran dibawah 200.000 m³ yang pertama adalah karena ukuran kapal yang tidak terlalu besar sehingga *owner* lebih memilih sistem yang lebih ringas seperti *DFDE (medium speed dual fuel engine)* yang tidak menghabiskan tempat pada kamar mesin. Selanjutnya adalah karena *medium speed dual fuel engine* tidak membutuhkan tekanan yang tinggi dari bahan bakarnya sehingga peralatan tambahan seperti *high pressure compressor* atau *high pressure pump* yang membutuhkan energi lebih besar tidak dibutuhkan dan dapat menghemat ruangan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari perhitungan dan analisa yang telah dilakukan oleh penulis terkait perbandingan antara *low speed* dan *medium speed dual fuel engine* terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain:

1. Analisis perbandingan *low speed* dan *medium speed dual fuel engine* masih belum terlaksana dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih baik dalam menganalisis kelebihan dan kekurangan dari tiap mesin.
2. Diperlukannya analisis pada kondisi muatan kosong sehingga dapat menghasilkan hasil analisis pada tiap kondisi yang hasilnya akan berbeda dengan saat kondisi muatan penuh.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau of Shipping, 2018. *ABS Vessel Record*. [Online]
Available at: www.eagle.org/safenet/record/record_vesselsearch
- Anon., 2018. *Marine Traffic*. [Online]
Available at: www.marinetraffic.com
- Anon., 2018. *Gas Carrier > 75,000 CMB*. [Online]
Available at: www.aukevisser.nl/supertankers/gas-1/id315.htm
- Babicz, Jan. 2015. *Wartsila Encyclopedia of Ship Technology*. Wartsila Corporation, Helsinki, Finland
- Burckhardt Compression, 2018. *Laby-GI Compressor*. [Online]
Available at: <https://www.burckhardtcompression.com/solution/compressor-technologies/laby-gi-compressor/>
- Cryostar, 2018. *High Pressure Pump*. [Online]
Available at: <http://www.cryostar.com/pdf/data-sheet/lng/hpp.pdf>
- Drew T. Shindell, Greg Faluvegi, Dorothy M. Koch, Gavin A. Schmidt, Nadine Unger & Susanne E. Bauer. 2009. *Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions*. Science Vol. 326, USA
- Ebeneze Adom, Sheikh Zahidul Islam & Xianda Ji. 2010. *Modelling of Boil-Off Gas in LNG Tanks: A Case Study*. School of Engineering, Robert Gordon University, Aberdeen, United Kingdom.
- Feger, Damien. 2009. *Gas Combustion Units: High Performance Technologies for Safe Disposal of Excess Boil-Off Gas on the New Generation of LNG Carriers*. Snecma Space Engines Division, Vernon, France
- Google, 2018. *Google Maps*. [Online]
Available at: maps.google.com
- IMO, 2008. *Revised MARPOL Annex VI Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships and NOx Technical Code*. International Maritime Organization, London, United Kingdom
- J. R. Gómez, M. R Gómez, R. F. Garcia & A. De Miguel Catoira, 2014. *On Board LNG Reliquefaction Technology: a Comparative Study*. University of A Coruna, Spain.
- MAN B&W, 2017. *MAN B&W S70ME-C8.5-GI-TII Project Guide Electronically Controlled Dual Fuel Two-Stroke Engines*. MAN Diesel Turbo, Copenhagen, Denmark

Maria Anderson, K. Salo & E. Fridell. 2015. *Particle- and Gaseous Emissions from an LNG Powered Ship*. Chalmers University of Technology, Gotenburg, Sweden.

R P Sinha & Wan Mohd Norsani Wan Nik. 2012. *Investigation of Propulsion System for Large LNG Ships*. Kuala Terengganu, Malaysia

Tufte, Espen Dalsøren. 2014. *Impacts of Low Load Operation of Modern Four-Stroke Diesel Engines in Generator Configuration*. Norwegian University of Marine Technology, Trondheim, Norway

Wahyu Hidayat. Arif, Semin & Aguk Zuhdi M.F. 2013. *Kajian Ekesperimental Unjuk Kerja Dual Fuel Engine Hasil Modifikasi Dari Diesel Engine*. Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, ITS, Surabaya, Indonesia.

Yong Bai & Wei-Liang Jin, 2016. *Marine Structural Design Second Edition*. Elsevier, Houston, USA

LAMPIRAN A

a. SFGC dan SFOC Wartsila 12V50DF

Wärtsilä 12V50DF		DE		DE		ME	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	950		975		975	
Engine speed	rpm	500		514		514	
Fuel consumption (Note 3)							
Total energy consumption at 100% load	kJ/kWh	7410	-	7440	-	7460	-
Total energy consumption at 75% load	kJ/kWh	7740	-	7780	-	7580	-
Total energy consumption at 50% load	kJ/kWh	8410	-	8440	-	8080	-
Fuel gas consumption at 100% load	kJ/kWh	7365	-	7397	-	7412	-
Fuel gas consumption at 75% load	kJ/kWh	7677	-	7710	-	7511	-
Fuel gas consumption at 50% load	kJ/kWh	8300	-	8336	-	7979	-
Fuel oil consumption at 100% load	g/kWh	1.0	187	1.0	189	1.0	189
Fuel oil consumption at 75% load	g/kWh	1.5	187	1.5	188	1.5	185
Fuel oil consumption 50% load	g/kWh	2.4	198	2.4	198	2.3	193

Gambar A. 1. *Specific fuel oil dan gas consumption dari medium speed dual fuel engine yang digunakan oleh LNG carrier “Tangguh Hiri”*

b. SFGC dan SFOC Wartsila 9L50DF

Wärtsilä 9L50DF		DE		DE		ME	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	950		975		975	
Engine speed	rpm	500		514		514	
Fuel consumption (Note 3)							
Total energy consumption at 100% load	kJ/kWh	7410	-	7440	-	7460	-
Total energy consumption at 75% load	kJ/kWh	7740	-	7780	-	7580	-
Total energy consumption at 50% load	kJ/kWh	8410	-	8440	-	8080	-
Fuel gas consumption at 100% load	kJ/kWh	7365	-	7397	-	7412	-
Fuel gas consumption at 75% load	kJ/kWh	7677	-	7710	-	7511	-
Fuel gas consumption at 50% load	kJ/kWh	8300	-	8336	-	7979	-
Fuel oil consumption at 100% load	g/kWh	1.0	187	1.0	189	1.0	189
Fuel oil consumption at 75% load	g/kWh	1.5	187	1.5	188	1.5	185
Fuel oil consumption 50% load	g/kWh	2.4	198	2.4	198	2.3	193

Gambar A. 2. *Specific fuel oil dan gas consumption dari medium speed dual fuel engine yang digunakan oleh LNG carrier “Tangguh Hiri”*

c. SFGC dan SFOC MAN B&W 6S70-ME8.5-GI

Dual Fuel Mode for GI (Methane)L₁ MEP: 20.0 bar**MAN B&W S70ME-C8.5-GI****L₁ SFOC equivalent gas + pilot fuel (42,700 kJ/kg) [g/kWh]***

SFOC-optimised load range	Tuning	50%	75%	100%
High load	-	163.5	161.0	168.0
Part load	EGB	164.5	163.5	170.5
Low load	EGB	162.5	164.5	170.5

L₁ SGC 50,000 kJ/kg (SPOC pilot fuel 42,700 kJ/kg) [g/kWh]

SFOC-optimised load range	Tuning	50%	75%	100%
High load	-	132.8 (8.0)	132.4 (6.1)	139.2 (5.0)
Part load	EGB	133.6 (8.1)	134.4 (6.2)	141.2 (5.1)
Low load	EGB	131.8 (8.1)	135.3 (6.2)	141.2 (5.1)

* Gas fuel LCV (50,000 kJ/kg) is converted to fuel oil LCV (42,700 kJ/kg) for comparison with a fuel oil operated engine.

Gambar A. 3. *Specific fuel oil dan gas consumption dari low speed dual fuel engine yang digunakan oleh LNG carrier “Onaiza”*

d. SFGC dan SFOC MAN B&W 8L35/44DF

MAN Diesel & Turbo

% Load			Spec. fuel consumption in gas mode without attached pumps ^{1) 2) 3)}					
			100	85	75	50	25	10
a) Main fuel	Natural gas	kJ/kWh	7,366	7,385	7,653	8,155	10,714	16,620
b) Pilot fuel	DMA or DMZ	g/kWh	2.4	3.0	3.7	5.5	12.1	42.2
		kJ/kWh	104	130	157	235	516	1,800
c) Total = a + b ⁴⁾		kJ/kWh	7,470	7,515 ⁵⁾	7,810	8,390	11,230	18,420

Gambar A. 4. *Specific fuel oil dan gas consumption dari auxiliary engine yang digunakan oleh LNG carrier “Onaiza”*

LAMPIRAN B

a. Perhitungan Lama Pelayaran

- Rute 1

$$\begin{array}{l} \text{Jarak yang ditempuh kapal} \quad (S) = 2185,61 \text{ nm} \\ \text{Kecepatan kapal} \quad (Vs) = 19,5 \text{ knot} \end{array}$$

$$T = \frac{S}{Vs}$$

$$T = \frac{2185,61}{19,5}$$

$$T = 112,08$$

- Rute 2

$$\begin{array}{l} \text{Jarak yang ditempuh kapal} \quad (S) = 522,41 \text{ nm} \\ \text{Kecepatan kapal} \quad (Vs) = 9,75 \text{ knot} \end{array}$$

$$T = \frac{S}{Vs}$$

$$T = \frac{522,41}{9,75}$$

$$T = 53,58$$

- Rute 3

$$\begin{array}{l} \text{Jarak yang ditempuh kapal} \quad (S) = 100 \text{ nm} \\ \text{Kecepatan kapal} \quad (Vs) = 4,875 \text{ knot} \end{array}$$

$$T = \frac{S}{Vs}$$

$$T = \frac{100}{4,875}$$

$$T = 20,51$$

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN C

a. Perhitungan Daya MAN B&W 6S70-ME8.5-GI

Vs		Va	N Prop	Rt	EHP	DHP	BHP	N Engine	Load
(knot)	(m/s)	(m/s)	(rps)		(kW)	(kW)	(kW)	(rpm)	(%)
19.500	10.023	6.766	1.45	982.2342	9844.933	16219.0	16550.0	87.000	100.000
9.750	5.012	3.383	0.727476	245.5585	1230.61663	2027.4	2068.8	43.649	50.171
4.875	2.506	1.691	0.363738	61.38964	153.827078	253.4	258.6	21.824	25.085

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Hanif Kukuh Wimala, merupakan putra nomor 2 dari 2 bersaudara. Ayah dari penulis bernama Bambang Budiono dan Ibu dari penulis bernama Yunita Wulandari. Lahir pada tanggal 18 Agustus 1996, di Kota Bandung, Jawa Barat. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar di SD Salman Al-Farisi Bandung, jenjang menengah pertama di SMP Salman Al-Farisi Bandung, jenjang menengah atas di SMA Negeri 19 Bandung, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang *Marine Power Plant* (MPP). Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. Batam Ekspresindo Shipyards dan PT. Pertamina Trans Kontinental Jakarta. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi. Penulis pernah menjadi staff dalam HIMASISKAL FTK-ITS 2015, panitia GERIGI ITS 2015, staff dan pelaksana tugas menteri Kementerian Komunikasi dan Informasi BEM ITS 2016, Direktorat Jenderal Kementerian Komunikasi dan Informatika BEM ITS 2017, Marine Icon 20015 dan 2016 HIMASISKAL ITS, dan Koordinator Desain dan Publikasi Petrolida SPE ITS SC 2017. Selain itu, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan pengembangan *softskills* seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar dan Tingkat Dasar, Pelatihan Pemandu LKMM-TD, dan Sepuluh Nopember Youth Camp dan beberapa kegiatan lainnya. Penulis dapat dihubungi melalui email: hanif.kukuh18@gmail.com

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”