KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

SKRIPSI

OPTIMALISASI PEMANFAATAN *DUAL FUEL DIESEL ENGINE* GENERATOR SEBAGAI PENGGERAK UTAMA PADA FSRU JAWA SATU

Oleh:

MOCHAMAD HILDANSYAH PUTRA DERMAWAN
NRP. 565221675

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV
JURUSAN TEKNIKA
JAKARTA
2026

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

OPTIMALISASI PEMANFAATAN *DUAL FUEL DIESEL ENGINE* GENERATOR SEBAGAI PENGGERAK UTAMA PADA FSRU JAWA SATU

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Penyelesaian Program Pendidikan Diploma IV

Oleh:

MOCHAMAD HILDANSYAH PUTRA DERMAWAN
NRP. 565221675

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV
JURUSAN TEKNIKA
JAKARTA
2026

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

STIP

JAKARTA

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama	: Mochamad Hildansyah Putra Dermawan
Nrp	: 565221675
Program Pendidikan	: Diploma IV
Jurusan	: Teknika
Judul	: Optimalisasi Pemanfaatan *Dual Fuel Diesel Engine Generator* Sebagai Penggerak Utama Pada FSRU Jawa Satu

Jakarta, 19 Juni 2026

Penulis



Mochamad Hildansyah Putra

NRP. 565221675

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

STIP

JAKARTA

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama	: Mochamad Hildansyah Putra Dermawan
Nrp	: 565221675
Program Pendidikan	: Diploma IV
Jurusan	: Teknika
Judul	: Optimalisasi Pemanfaatan *Dual Fuel Diesel Engine Generator* Sebagai Penggerak Utama Pada FSRU Jawa Satu

Jakarta, 19 Juni 2026

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Dr. Markus Yando, S.Si.T., M.M.	Susi Herawati, S. Si.,M. Pd
Penata Tk. I (III/d)	Penata (III/c)
NIP. 19800605 200812 1 001	NIP. 19840611 200912 2 002

Mengetahui;
Ketua Jurusan Teknika

Dr. Markus Yando, S.Si.T., M.M.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19800605 200812 1 001

Dipindai dengan CamScanner

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

STIP

JAKARTA

TANDA PENGESAHAN SKRIPSI

Nama	: Mochamad Hildansyah Putra Dermawan
Nrp	: 565221675
Program Pendidikan	: Diploma IV
Jurusan	: Teknika
Judul	: Optimalisasi Pemanfaatan *Dual Fuel Diesel Engine Generator* Sebagai Penggerak Utama Pada FSRU Jawa Satu

Ketua Penguji	Anggota Penguji 1	Anggota Penguji 2
Hartaya, M.M.	Yayu Nopriani Martha, M. Pd	Susi Herawati, S. Si.,M. Pd
Penata Tk. I (III/d)		Penata (III/c)
NIP. 19660310 199903 1 002	NIP. 19901106 202321 2 042	NIP. 19840611 200912 2 002

Mengetahui;
Ketua Jurusan Teknika

Dr. Markus Yando, S.Si.T., M.M.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19800605 200812 1 001

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T segala berkat, rahmat, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Diploma IV Jurusan Teknika di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta dengan judul:

"OPTIMALISASI PEMANFAATAN *DUAL FUEL DIESEL ENGINE* GENERATOR SEBAGAI PENGGERAK UTAMA DI FSRU JAWA SATU"

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak pengalaman, pengetahuan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

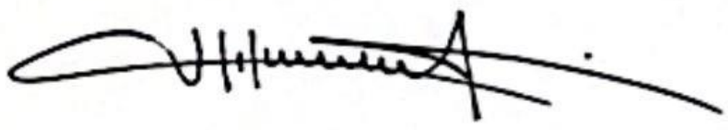
1. Bapak Dr. Capt. Tri Cahyadi, M.H., M.Mar., selaku Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
2. Bapak Dr. Markus Yando, S.Si.T., M.M., selaku Ketua Jurusan Teknika Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
3. Bapak Dr. Markus Yando, S.Si.T., M.M., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Susi Herawati, S. Si.,M. Pd selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta memberikan arahan dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan Civitas Akademika Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan.
5. Kedua orang tua tercinta, Bapak Deni Dermawan dan Ibu Tintin Martini yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan moral maupun material, serta motivasi yang tidak pernah putus kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan dan penyusunan skripsi ini.
6. Adik tercinta Salsabila Putri Dermawan yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
7. Seluruh manajemen dan awak kapal FSRU Jawa Satu yang telah memberikan

kesempatan, bimbingan, serta data yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian.

8. Seluruh rekan-rekan Taruna Angkatan LXV, khususnya teman-teman Jurusan Teknika, kelas Teknika 8 Delta, kamar G-203 yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta kebersamaan selama menjalani pendidikan di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan, baik dari segi isi, penyajian, maupun penggunaan bahasa. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ilmiah ini di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, civitas akademika, serta pihak-pihak yang membutuhkan sebagai referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan peningkatan operasional *generator* DFDE pada kapal FSRU.

Jakarta, 19 Juni 2026
Penulis



Mochamad Hildansyah Putra
NRP. 565221675

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **iii**
TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI ..... **iv**
TANDA PENGESAHAN SKRIPSI ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xii**
DAFTAR SIMBOL ..... **xiii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**
ABSTRAK ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvi**
BAB I PENDAHULUAN **1**
A. LATAR BELAKANG 1
B. IDENTIFIKASI MASALAH 5
C. BATASAN MASALAH 5
D. RUMUSAN MASALAH 6
E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN 6
F. SISTEMATIKA PENULISAN 7
BAB II LANDASAN TEORI **10**
A. DEFINISI OPERASIONAL 10
B. TEORI 16
C. PENELITIAN TERDAHULU 31
D. KERANGKA PEMIKIRAN 33
BAB III METODE PENELITIAN **34**
A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN 34
B. METODE PENDEKATAN 35
C. SUMBER DATA 36
D. TEKNIK PENGUMPULAN DATA 37
E. TEKNIK ANALISIS DATA 38

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 43
A. DESKRIPSI DATA 43
B. ANALISIS DATA 45
C. ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH 56
D. EVALUASI TERHADAP ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH 59
E. PEMECAHAN MASALAH 61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 63
A. KESIMPULAN 63
B. SARAN 63
DAFTAR PUSTAKA 65
LAMPIRAN 67

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 *Diesel Combustion Process (Lean Burn Wärtsilä Instruction Manual)* 18
Gambar 2. 3 *Dual fuel diesel engine* Generator *Arrangement (FSRU JAWA SATU Machinery Operating Manual, 2020:2-1)* 20
Gambar 2. 4 *Pilot Fuel Filter*....22
Gambar 2. 5 Parameter *Waste gate valve* 23
Gambar 2. 6 *Gas Admission Valve Components (WARTSILA, 12V Instruction Manual: 387)*....24
Gambar 2. 7 *Gas Admission Valve*....24
Gambar 2. 8 *Flow Diagram Gas Valve Unit* (*FSRU JAWA SATU Machinery Operating* Man*ual, 2020:4-67*)....30
Gambar 2. 9 Kerangka Pemikiran 33
Gambar 3. 1 Contoh Diagram *Fishbone*....42
Gambar 4. 1 Parameter Generator Saat *Gas Mode* Pada Kondisi Normal....45
Gambar 4. 2 *Fishbone* Masalah 1....47
Gambar 4. 3 Diagram Sistem Bahan Bakar Metana....52
Gambar 4. 4 *Fishbone* Masalah 2....52

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1 Komposisi LNG (*FSRU JAWA SATU Cargo Operating* Man*ual, 2020:2-2*)25
Tabel 2. 2 Sifat *Methane (FSRU JAWA SATU Cargo Operating Manual, 2020:2-2)* ...28
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu 31
Tabel 4. 1 Faktor Penyebab Tingginya Temperatur Gas Buang Pada Mode Gas.....47
Tabel 4. 2 Faktor Penyebab Rendahnya Suhu dan Tekanan Gas Metana Sebelum Memasuki GVU.....53

DAFTAR SINGKATAN

DFDE	Dual Fuel Diesel Engine
LNG	Liquefied Natural Gas
GVU	Gas Valve Unit
GAV	Gas Admission Valve
LDC	Low Duty Compressor
GCU	Gas Combustion Unit
WECS	Wärtsilä Engine Control System
PMS	Planned Maintenance System
LNGC	Liquefied Natural Gas Carrier
BOG	Boil Off Gas
IAS	Integrated Automation System
MGO	Marine Gas Oil
LSFO	Low Sulphur Fuel Oil
IMO	International Maritime Organization
MARPOL	Marine Pollution
CH_4	Methane

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
CH_4	Metana
CO_2	Karbon Dioksida
NO_x	Nitrogen Oxides
SO_x	Sulphur Oxides
°C	Derajat Celsius
kPa	Kilopascal
kPaA	Kilopascal Absolute Pressure
MPa	Megapascal
bar	Satuan tekanan
barg	Gauge Pressure
mbarG	Millibar Gauge Pressure
kW	Kilowatt
MW	Megawatt
%	Persentase

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Ship Particular 67
Lampiran 2 (*Muster List*) 68
Lampiran 3 (*Piping Diagram Gas Methane* Sebagai Bahan Bakar) 69
Lampiran 4 (Letak Permasalahan Pada Diagram) 70
Lampiran 5 (Ruang Bakar DFDE) 71
Lampiran 6 (Ruang Bakar DFDE) 72
Lampiran 7 (Parameter Operasional Generator DFDE No. 2) 73
Lampiran 8 (*Crew* Kapal FSRU Jawa Satu) 74
Lampiran 9 (Wawancara Dengan *Engineer*) 75
Lampiran 10 (Hasil Turnitin) 77

ABSTRAK

Hildansyah Putra Dermawan, Mochamad. 2026. *"Optimalisasi Pemanfaatan Dual Fuel Diesel Engine Generator Sebagai Penggerak Utama Pada FSRU Jawa Satu."*

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor penyebab belum optimalnya penggunaan *Dual Fuel Diesel Engine* (DFDE) Generator sebagai penggerak utama pada FSRU Jawa Satu serta merumuskan upaya perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi pengoperasian sistem pembangkit listrik di atas kapal. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi, wawancara, dan studi dokumentasi. Analisis data dilakukan menggunakan metode *Fishbone Analysis* untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan berdasarkan faktor manusia, mesin, metode, material, pengukuran, dan lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingginya temperatur gas buang pada mode gas disebabkan oleh *Gas Admission Valve* (GAV) yang tidak bekerja optimal serta rendahnya tekanan gas metana sebelum memasuki *Gas Valve Unit* (GVU). Selain itu, rendahnya suhu dan tekanan gas metana sebelum memasuki GVU disebabkan oleh kinerja *Low Duty Compressor* (LDC) yang tidak optimal dan kondisi *vapour gas* yang tidak stabil. Kondisi tersebut menyebabkan proses pembakaran tidak berlangsung secara optimal sehingga mempengaruhi kinerja generator DFDE, efisiensi pembakaran, serta kontinuitas penyediaan tenaga listrik selama operasi kapal. Upaya perbaikan yang dapat dilakukan yaitu melaksanakan perawatan dan pemeriksaan berkala terhadap GAV dan LDC sesuai *Planned Maintenance System* (PMS), meningkatkan pemantauan parameter operasi secara rutin, serta menjaga kestabilan tekanan dan distribusi vapour gas agar sistem bahan bakar gas dapat beroperasi secara optimal, aman, dan andal.

Kata kunci: *Dual Fuel Diesel Engine* (DFDE); *Gas Admission Valve* (GAV); *Low Duty Compressor* (LDC); *Gas Valve Unit* (GVU); *Fishbone Analysis.*

ABSTRACT

Hildansyah Putra Dermawan, Mochamad. 2026. *"Optimization of Dual Fuel Diesel Engine (DFDE) Generator Utilization as the Main Propulsion System on FSRU Jawa Satu."*

This study aims to analyze the factors contributing to the suboptimal utilization of the Dual Fuel Diesel Engine (DFDE) Generator as the main power source on FSRU Jawa Satu and to formulate improvement efforts that can be implemented to enhance the reliability and efficiency of the ship's power generation system. This study employed a qualitative descriptive research method. Data were collected through observations, interviews, and documentation studies. The data were analyzed using the Fishbone Analysis method to identify the root causes of the problems based on human, machine, method, material, measurement, and environmental factors. The results indicate that the high exhaust gas temperature during gas mode operation was caused by the Gas Admission Valve (GAV) not functioning optimally and the low methane gas pressure before entering the Gas Valve Unit (GVU). In addition, the low methane gas temperature and pressure before entering the GVU were caused by the suboptimal performance of the Low Duty Compressor (LDC) and unstable vapour gas conditions. These conditions resulted in incomplete combustion, thereby reducing the performance of the DFDE generator, combustion efficiency, and the continuity of electrical power supply during ship operations. Improvement efforts include conducting periodic maintenance and inspections of the GAV and LDC in accordance with the Planned Maintenance System (PMS), improving routine monitoring of operational parameters, and maintaining stable vapour gas pressure and distribution to ensure the gas fuel system operates efficiently, safely, and reliably.

Keywords: *Dual Fuel Diesel Engine (DFDE); Gas Admission Valve (GAV); Low Duty Compressor (LDC); Gas Valve Unit (GVU); Fishbone Analysis*.

BAB I
PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Industri maritim global saat ini berada dalam fase transisi yang cukup menentukan. Di satu sisi, kebutuhan akan transportasi laut terus meningkat seiring pertumbuhan perdagangan internasional. Di sisi lain, tekanan untuk menekan emisi gas buang kapal semakin kuat, baik dari regulator internasional maupun dari tuntutan efisiensi operasional. *International Maritime Organization (IMO)* melalui MARPOL 73/78 Annex VI secara tegas membatasi emisi sulfur oksida, nitrogen oksida, dan karbon dioksida dari kapal, sehingga mendorong operator kapal untuk mengadopsi teknologi mesin dan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan (IMO, 2020).

Perkembangan teknologi permesinan kapal sendiri sebenarnya sudah berlangsung cukup lama. Sistem penggerak berbasis tenaga uap yang dahulu banyak digunakan secara bertahap ditinggalkan dan digantikan oleh mesin diesel karena efisiensi termalnya yang lebih tinggi serta kemudahan pengoperasian dan perawatannya. Dalam perkembangannya, mesin *diesel mode*rn tidak lagi terbatas pada penggunaan bahan bakar minyak, tetapi telah dirancang untuk mampu memanfaatkan bahan bakar alternatif berupa gas alam, khususnya *Methane* (CH_4), melalui teknologi *Dual fuel diesel engine* (DFDE) (Heywood, 2018).

Penggunaan gas alam sebagai bahan bakar kapal menjadi semakin relevan, terutama pada kapal pengangkut *Liquefied Natural Gas dan Floating Storage Regasification Unit*. LNG merupakan gas alam yang telah dimurnikan dari pengotor dan fraksi berat, kemudian dicairkan pada suhu sekitar −162°C sehingga volumenya menyusut dan mudah disimpan serta diangkut. Dibandingkan bahan bakar minyak, LNG memiliki karakteristik pembakaran yang lebih bersih dan mampu menurunkan emisi SOx, NOx, serta CO_2 secara signifikan (Mokhatab et al., 2014).

Indonesia sebagai negara maritim dengan cadangan gas alam yang cukup besar memiliki potensi besar dalam pemanfaatan gas sebagai sumber energi alternatif di sektor pelayaran. Dalam konteks ini, kapal FSRU memegang peranan penting karena berfungsi sebagai penghubung antara pasokan LNG dan kebutuhan gas domestik. Pada kapal FSRU, generator *Dual fuel diesel engine* tidak hanya berperan sebagai pembangkit listrik, tetapi juga difungsikan sebagai penggerak utama kapal. Oleh karena itu, tingkat keandalan dan optimalisasi kinerja generator DFDE menjadi faktor krusial yang secara langsung memengaruhi keseluruhan operasi kapal, termasuk sistem regasifikasi gas.

Mesin DFDE dirancang untuk dapat beroperasi menggunakan bahan bakar diesel maupun gas metana dengan sistem kontrol pembakaran yang terintegrasi. Secara teoritis, pengoperasian dalam mode gas memberikan keuntungan berupa efisiensi bahan bakar yang lebih baik serta emisi gas buang yang lebih rendah. Namun, dalam praktik di atas kapal, pengoperasian mode gas tidak selalu berjalan ideal. Generator DFDE memiliki karakteristik operasional yang lebih kompleks dibandingkan mesin diesel konvensional, sehingga memerlukan pengendalian parameter yang lebih ketat, terutama terkait suhu gas buang, keseimbangan pembakaran antar silinder, serta kondisi suplai gas metana (MAN Energy Solutions, 2019).

Berdasarkan pengalaman penulis selama melaksanakan praktik laut di kapal FSRU Jawa Satu pada periode 14 Agustus 2024 hingga 17 Agustus 2025, ditemukan bahwa pengoperasian generator DFDE dalam mode gas masih menghadapi berbagai kendala teknis. Salah satu permasalahan yang sering muncul adalah meningkatnya suhu gas buang pada beberapa silinder hingga mendekati atau melampaui batas yang direkomendasikan oleh pabrikan. Selain itu, perbedaan suhu gas buang yang cukup signifikan antar silinder mengindikasikan adanya ketidakseimbangan proses pembakaran yang berpotensi menurunkan kinerja mesin dan mempercepat keausan komponen silinder.

Dalam kondisi operasi yang normal, generator *Dual fuel diesel engine* yang dijalankan menggunakan mode gas metana cenderung menunjukkan temperatur gas buang yang stabil dan relatif seragam pada setiap silinder. Catatan operasi harian yang dikombinasikan dengan acuan dari manual pabrikan menunjukkan bahwa pada beban kerja normal, temperatur gas buang umumnya berada pada kisaran 420°C hingga 450°C. Kisaran ini masih termasuk dalam batas aman dan biasanya menjadi indikasi

bahwa proses pembakaran berlangsung secara terkendali serta seimbang.

Situasi tersebut tidak selalu ditemui saat pengoperasian di lapangan. Selama pengamatan langsung di atas kapal, penulis mendapati kondisi di mana temperatur gas buang mengalami kenaikan ketika generator beroperasi dalam mode gas. Pada silinder tertentu, temperatur tercatat meningkat hingga sekitar 480℃ dan pada keadaan tertentu bahkan mendekati 500℃, sementara silinder lainnya masih menunjukkan nilai yang relatif normal. Perbedaan temperatur ini memberi petunjuk bahwa proses pembakaran tidak berlangsung secara merata dan telah berada cukup dekat dengan batas maksimum temperatur yang direkomendasikan oleh pabrikan.

Dalam beberapa kejadian, peningkatan temperatur gas buang tersebut muncul bersamaan dengan kondisi suplai gas metana yang belum sepenuhnya memenuhi parameter operasional. Salah satu indikator yang cukup menonjol adalah suhu gas metana yang relatif rendah ketika memasuki *Gas Valve Unit*. Kondisi ini dapat memengaruhi kualitas pencampuran bahan bakar dan kestabilan proses pembakaran di dalam silinder. Pembakaran yang kurang stabil kemudian tercermin pada meningkatnya temperatur gas buang. Jika keadaan seperti ini berlangsung dalam waktu yang cukup lama, dampaknya tidak hanya menurunkan efisiensi kerja mesin, tetapi juga berpotensi mempercepat keausan komponen serta mengurangi keandalan generator DFDE sebagai penggerak utama kapal.

Permasalahan lain yang menjadi perhatian utama dalam pengoperasian generator DFDE di atas kapal adalah kecenderungan meningkatnya temperatur gas buang ketika mesin beroperasi dalam mode gas. Kondisi ini sering kali disertai dengan parameter suplai gas metana yang belum berada pada kondisi optimal, khususnya terkait suhu gas yang relatif rendah saat memasuki *Gas Valve Unit*. Suhu gas metana yang tidak sesuai dapat memengaruhi kualitas proses pembakaran di dalam silinder, sehingga pembakaran menjadi kurang stabil dan berdampak langsung pada kenaikan temperatur gas buang. Apabila kondisi ini dibiarkan berlarut-larut, tidak hanya efisiensi mesin yang menurun, tetapi juga berpotensi mempercepat keausan komponen mesin dan menurunkan keandalan generator DFDE sebagai penggerak utama kapal.

Dalam kondisi normal, gas metana yang masuk ke *Gas Valve Unit* (G.V.U.) harus memiliki temperatur dan tekanan sesuai standar pabrikan agar proses pembakaran

berlangsung optimal. Parameter ini berperan penting dalam menjaga kestabilan pencampuran udara dan bahan bakar. Namun, berdasarkan pengamatan di lapangan, ditemukan bahwa temperatur dan tekanan gas metana sering berada di bawah batas yang direkomendasikan. Kondisi ini dapat menghambat aliran dan pencampuran gas, sehingga pembakaran menjadi tidak optimal serta berpotensi mempengaruhi kinerja mesin secara keseluruhan.

Perpindahan mode bahan bakar dari *diesel oil* ke gas metana pada *Dual fuel diesel engine* merupakan proses penting yang dikendalikan secara otomatis berdasarkan parameter operasi tertentu. Keberhasilan proses ini menunjukkan kesiapan sistem untuk beroperasi dalam mode gas. Namun, dalam praktiknya ditemukan kegagalan perpindahan mode yang umumnya disebabkan oleh parameter gas yang belum memenuhi syarat, seperti temperatur dan tekanan yang rendah, maupun gangguan pada sistem kontrol mesin. Akibatnya, generator tetap beroperasi dalam mode diesel dan menunjukkan bahwa sistem belum bekerja secara optimal.

Pada kondisi normal, pembakaran gas metana berlangsung secara terkendali dan merata di dalam silinder. Proses ini menghasilkan kinerja mesin yang stabil dan efisien. Namun, selama pengoperasian ditemukan indikasi terjadinya knocking atau pembakaran tidak normal, yang ditandai dengan peningkatan tekanan secara tiba-tiba serta getaran pada mesin. Kondisi ini dipengaruhi oleh ketidaksesuaian parameter operasi, seperti rasio udara-bahan bakar dan kualitas gas, serta dapat menurunkan efisiensi dan berpotensi merusak komponen mesin.

Bertolak dari kondisi tersebut, diperlukan kajian yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi optimalisasi pemanfaatan generator *Dual fuel diesel engine* sebagai penggerak utama kapal. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai penyebab terjadinya permasalahan operasional pada mode gas serta merumuskan upaya perbaikan yang dapat diterapkan secara praktis di atas kapal. Atas dasar itulah penulis mengangkat penelitian dengan judul skripsi sebagai berikut :

“Optimalisasi Pemanfaatan *Dual fuel diesel engine* Generator sebagai Penggerak Utama pada *FSRU* Jawa Satu.”

B. IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan dari pengalaman penulis selama melaksanakan praktik laut di FSRU Jawa Satu, terlihat bahwa kondisi operasional di lapangan tidak selalu berjalan seideal yang digambarkan dalam teori. Ada beberapa gejala teknis yang muncul berulang kali dan, jika dicermati, saling berkaitan satu sama lain. Karena itu, sebelum pembahasan melangkah lebih jauh, perlu terlebih dahulu ditetapkan pokok permasalahan agar arah analisis pada bab-bab berikutnya menjadi lebih terstruktur dan mudah diikuti.

Dalam konteks pengoperasian generator DFDE, optimalisasi penggunaan gas metana menjadi isu utama yang tidak bisa diabaikan. Generator dirancang agar mampu beroperasi secara stabil dalam mode gas, sebab pada mode inilah efisiensi bahan bakar dapat dicapai dan konsumsi *diesel oil* dapat ditekan. Namun, pada kondisi aktual di kapal, upaya mempertahankan operasi dalam mode gas kerap menemui kendala teknis yang cukup signifikan, sehingga tujuan penghematan bahan bakar belum sepenuhnya tercapai. Berdasarkan pokok permasalahan tersebut, maka dapat diuraikan beberapa rincian masalah yang lebih spesifik, yaitu sebagai berikut:

1. Tingginya temperatur gas buang pada saat mesin beroperasi dalam mode gas.
2. Rendahnya temperatur serta tekanan gas metana pada saat memasuki *Gas Valve Unit (G.V.U.).*
3. Generator tidak berhasil melakukan perpindahan mode bahan bakar dari *diesel oil* ke gas metana
4. Terjadinya fenomena *knocking* atau pembakaran tidak normal pada saat mesin beroperasi dalam mode gas metana.

C. BATASAN MASALAH

Ketika berhadapan dengan permasalahan yang cukup kompleks, sementara waktu dan bekal pengetahuan penulis juga memiliki batas, maka diperlukan sikap realistis dalam menentukan ruang lingkup pembahasan. Tanpa adanya pembatasan yang jelas, arah penulisan berpotensi melebar dan menjauh dari inti persoalan yang sebenarnya ingin dikaji. Dengan pertimbangan tersebut, fokus penelitian diarahkan secara lebih sempit agar analisis dapat dilakukan secara mendalam dan tetap relevan dengan kondisi operasional di lapangan. Berdasarkan batasan yang ditetapkan, penelitian ini menitikberatkan perhatian pada dua aspek utama, yaitu:

1. Tingginya temperatur gas buang pada saat mesin beroperasi dalam mode gas.
2. Rendahnya temperatur serta tekanan gas metana pada saat memasuki *Gas Valve Unit (G.V.U.).*

D. RUMUSAN MASALAH

Dengan merujuk pada latar belakang masalah yang dijelaskan sebelumnya, perumusan masalah menjadi suatu kebutuhan untuk memudahkan pembahasan selanjutnya. Oleh karena itu, penulis memfokuskan rumusan masalah pada generator DFDE ini pada inti permasalahan, yaitu:

1. Apa penyebab tingginya temperatur gas buang pada saat mesin beroperasi dalam mode gas?
2. Apa penyebab rendahnya temperatur serta tekanan gas metana pada saat memasuki *Gas Valve Unit (G.V.U.)*?

E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

1. Tujuan Penelitian

   Penelitian ini disusun dengan maksud untuk menjawab persoalan teknis yang muncul selama pengoperasian generator DFDE di atas kapal, khususnya saat beroperasi dalam mode gas. Fokus utamanya tidak hanya pada mengenali gejala yang tampak, tetapi juga menelusuri penyebab yang melatarbelakanginya hingga memungkinkan dirumuskannya solusi yang realistis dan dapat diterapkan. Secara lebih rinci, tujuan penelitian ini meliputi:

   a. Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan tingginya suhu gas buang pada saat generator DFDE beroperasi dalam mode gas, sekaligus merumuskan upaya penanganan yang sesuai dengan kondisi operasional di lapangan.
   b. Mengetahui penyebab rendahnya suhu dan tekanan gas metana ketika memasuki *Gas Valve Unit (G.V.U)*, serta mencari langkah-langkah perbaikan yang dapat mendukung kestabilan operasi sistem bahan bakar gas.

2. Manfaat Penelitian

   Manfaat dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

   a. Secara Teoritis

      Dari sisi teori, skripsi ini diharapkan dapat menambah sudut pandang mengenai pemanfaatan bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar

konvensional yang ketersediaannya semakin terbatas. Pembahasan yang disajikan juga diharapkan memperkaya kajian tentang perkembangan teknologi mesin diesel, khususnya generator DFDE, serta memberikan tambahan wawasan bagi pembaca dalam memahami dan menganalisis permasalahan teknis yang kerap muncul pada kapal-kapal modern.

b. Secara Praktiks

Dilihat dari sisi praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan acuan bagi para masinis yang bertugas di atas kapal, terutama pada kapal jenis *Floating Storage Regasification Unit (FSRU)*. Dengan adanya pembahasan yang berangkat dari kondisi nyata di lapangan, penelitian ini diharapkan membantu dalam upaya mengatasi permasalahan operasional dan mengoptimalkan kinerja generator DFDE, sehingga proses regasifikasi gas metana dapat berjalan lebih andal dan berkelanjutan.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, yaitu dimana masing-masing bab saling berkaitan untuk memudahkan dalam proses penyusunan skripsi ini, dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan pada skripsi ini disusun sebagai pijakan awal untuk memahami arah dan ruang lingkup pembahasan secara keseluruhan. Di dalamnya terdapat lima sub bab yang saling berkaitan dan disusun secara berurutan agar alur penulisan terasa runtut serta mudah diikuti.

Sub bab pertama membahas latar belakang, yang berangkat dari pengalaman penulis selama melaksanakan praktik laut atau prala. Pada bagian ini diuraikan kondisi nyata yang ditemui di atas kapal, termasuk alasan teknis dan operasional yang mendorong peralihan dari bahan bakar konvensional menuju penggunaan gas sebagai sumber energi.

Selanjutnya, identifikasi masalah memuat pemaparan berbagai permasalahan yang muncul dalam penggunaan gas metana pada generator DFDE. Bagian ini menjadi jembatan antara pengalaman lapangan dan fokus kajian yang akan dianalisis lebih lanjut.

Pembahasan kemudian dipersempit melalui batasan masalah. Pada sub bab ini ditentukan permasalahan mana saja yang akan dibahas secara lebih mendalam, sehingga analisis pada bab-bab berikutnya tetap terarah dan tidak melebar ke luar topik utama. Tujuan dan manfaat penelitian juga dijelaskan secara khusus, dengan penekanan pada apa yang ingin dicapai melalui penulisan skripsi ini serta kontribusi yang diharapkan, baik dalam menganalisis maupun membantu mengatasi permasalahan pada generator DFDE.

Sebagai penutup bab pendahuluan, sistematika penulisan disajikan untuk menggambarkan urutan dan susunan pembahasan skripsi secara keseluruhan, sehingga pembaca memperoleh gambaran awal mengenai alur pemikiran dan struktur penulisan yang digunakan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini memuat dasar-dasar teori yang menjadi pijakan dalam memahami permasalahan yang dibahas. Pada bagian tinjauan pustaka, pembahasan diarahkan pada berbagai sumber rujukan yang relevan dengan generator DFDE, mulai dari karakteristik sistem kerjanya hingga prosedur penanganan gangguan yang umum terjadi di atas kapal. Referensi tersebut digunakan untuk membantu menjelaskan mengapa kondisi tertentu dapat memengaruhi kinerja generator dan bagaimana langkah penanganan yang seharusnya dilakukan agar operasi tetap optimal.

Kerangka pemikiran kemudian disusun sebagai model konseptual yang mengaitkan teori dengan kondisi nyata di lapangan. Melalui kerangka ini, permasalahan yang ditemui tidak hanya dipaparkan, tetapi juga ditempatkan dalam alur berpikir yang sistematis, sehingga penulis memiliki panduan yang jelas dalam menelusuri penyebab dan mencari solusi atas masalah yang sedang dikaji.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan pendekatan penelitian yang digunakan, dengan tujuan memberikan gambaran yang akurat mengenai proses pengumpulan dan pengolahan data. Uraian dimulai dari penjelasan waktu dan tempat penelitian, yaitu kapan dan di mana penelitian dilaksanakan, sehingga konteks pengambilan data dapat dipahami dengan baik. Metodologi pendekatan dan teknik pengumpulan data juga dipaparkan secara rinci. Data diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap pengoperasian generator DFDE, komunikasi dengan awak mesin yang terlibat dalam kegiatan

operasional, serta penelaahan buku manual generator DFDE sebagai acuan teknis. Pendekatan ini dipilih agar data yang dikumpulkan tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga mencerminkan kondisi aktual di atas kapal.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab analisis dan pembahasan berisi penelusuran kejadian yang terjadi selama pengoperasian generator DFDE di atas kapal. Setiap temuan lapangan dianalisis dengan mengacu pada teori dan referensi yang telah dibahas sebelumnya. Alternatif pemecahan masalah dipertimbangkan satu per satu, hingga diperoleh solusi yang dinilai paling relevan dan dapat diterapkan dalam kondisi operasional sebenarnya.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian kesimpulan, penulis merangkum hasil pembahasan serta solusi atas permasalahan yang muncul dalam pengoperasian gas metana pada generator DFDE. Ringkasan ini disusun berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya. Bagian saran memuat rekomendasi yang bersifat praktis dan aplikatif. Saran tersebut ditujukan bagi awak kapal, khususnya para masinis, serta pihak perusahaan, sebagai bahan pertimbangan dalam upaya mengatasi permasalahan dan meningkatkan keandalan pengoperasian generator DFDE di atas kapal.

BAB II
LANDASAN TEORI

A. DEFINISI OPERASIONAL

Kapal pada sub bab ini penulis akan menjelaskan beberapa teori penunjang yang diambil dari berbagai kepustakaan tentang gambaran umum generator utama jenis *Dual fuel diesel engine* (DFDE) yang merupakan objek penelitian.

1. Pengertian

a. Optimalisasi

Optimalisasi merupakan proses atau upaya untuk mencapai kondisi yang paling baik, paling efektif, dan paling menguntungkan dari suatu kegiatan atau sistem yang sedang dijalankan. Dalam praktiknya, optimalisasi tidak selalu berarti membuat sesuatu menjadi baru, melainkan menyempurnakan yang sudah ada agar kinerjanya meningkat dan hasilnya lebih maksimal. Dengan kata lain, fokusnya terletak pada pencapaian titik kerja terbaik sesuai tujuan yang telah ditetapkan.

Didalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) istilah optimalisasi berasal dari kata optimal yang berarti paling baik atau paling tinggi. Secara umum, optimalisasi dapat diartikan sebagai proses, cara, atau perbuatan mengoptimalkan sesuatu agar mencapai hasil yang paling baik. Secara lebih rinci, pengertian optimalisasi dapat dipahami sebagai berikut:

1) Proses menjadikan sesuatu berada pada kondisi paling baik sesuai dengan fungsi dan tujuannya.
2) Upaya peningkatan kinerja melalui pengaturan ulang variabel atau faktor-faktor yang memengaruhi suatu sistem.
3) Tindakan sistematis untuk memperoleh hasil yang maksimal dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia secara efisien.
4) Penyempurnaan proses kerja agar tercapai keseimbangan antara efektivitas, efisiensi, dan keamanan operasional.

b. Pemanfaatan

Pemanfaatan berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah proses, cara, atau perbuatan memanfaatkan sesuatu. Kata dasarnya, yaitu manfaat, diartikan sebagai guna atau faedah. Dengan demikian, pemanfaatan tidak sekadar berarti menggunakan, tetapi lebih pada bagaimana sesuatu yang tersedia dapat memberikan nilai guna yang nyata dan terarah. Pengertian pemanfaatan menurut para ahli adalah sebagai berikut:

1) Menurut Han et al., (2021) , pemanfaatan sumber daya merupakan upaya untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya secara efektif dan efisien guna meningkatkan kinerja organisasi serta berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dan keunggulan kompetitif.
2) Pemanfaatan sumber daya dapat dipahami sebagai upaya mengoptimalkan penggunaan sumber daya secara efisien dan efektif untuk mencapai hasil yang maksimal, di mana pengelolaan sumber daya yang baik mampu meningkatkan efisiensi operasional dan efektivitas organisasi. (Natsir et al., 2024)

c. *Dual fuel diesel engine* (DFDE) Generator

Menurut Srinivasulu Reddy et al., (2017), mesin *dual fuel* pada aplikasi kapal merupakan mesin pembakaran dalam yang menggunakan gas sebagai bahan bakar utama dengan dukungan bahan bakar diesel sebagai *pilot fuel* untuk proses penyalaan, serta memiliki kemampuan untuk beralih ke mode diesel penuh apabila suplai gas tidak memenuhi kondisi operasional seperti tekanan dan temperatur yang dipersyaratkan, dengan sistem kontrol yang menjaga kestabilan pembakaran pada berbagai kondisi beban.

Selain itu, DFDE generator dilengkapi dengan sistem kontrol elektronik yang berfungsi untuk mengatur rasio udara dan bahan bakar agar proses pembakaran tetap stabil pada berbagai variasi beban mesin. Dengan adanya sistem pengendalian tersebut, kinerja mesin dapat dipertahankan secara optimal serta mendukung efisiensi penggunaan bahan bakar dan pengurangan emisi gas buang selama proses operasi.

d. *Liquified Natural Gas (LNG)*

Liquified Natural Gas (LNG) merupakan gas alam yang dicairkan melalui proses pendinginan pada suhu yang sangat rendah sehingga berubah menjadi

bentuk cair. LNG pada dasarnya berasal dari campuran hidrokarbon alami yang terdapat dalam gas bumi. Komposisi gas tersebut dapat berbeda antara satu lapangan gas dengan lapangan lainnya. Secara umum, LNG sebagian besar terdiri dari metana sekitar 65% hingga 100%, dengan kandungan etana antara 0% sampai 16%, serta komponen lain dalam jumlah lebih kecil seperti propana, butana, pentana, nitrogen, dan karbon dioksida.

Liquefied natural gas (LNG) merupakan gas alam yang didominasi oleh metana dan didinginkan hingga suhu sekitar −162°C sehingga berubah menjadi bentuk cair, di mana proses pencairan tersebut mampu mengurangi volume gas secara signifikan sehingga lebih efisien untuk penyimpanan dan transportasi dalam jumlah besar. Selain itu, LNG juga dikenal sebagai sumber energi yang lebih bersih dan fleksibel serta berperan dalam mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca pada sektor transportasi, termasuk industri pelayaran (Olmer et al., 2017).

Dalam sektor transportasi laut, LNG mulai banyak digunakan sebagai bahan bakar kapal, khususnya pada kapal kontainer. Penggunaan LNG sebagai bahan bakar dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar minyak berat *(heavy fuel oil).* Emisi karbon dioksida yang dihasilkan dapat berkurang sekitar 25%, emisi sulfur hampir mencapai 99% lebih rendah, serta emisi nitrogen oksida dapat berkurang hingga sekitar 85%. Oleh karena itu, LNG dianggap sebagai salah satu alternatif bahan bakar yang lebih bersih dalam mendukung operasional kapal yang lebih berkelanjutan.

e. *Vapour gas*

Vapour gas merupakan fase gas dari suatu zat yang terbentuk akibat perubahan fase dari cair atau padat menjadi gas melalui proses seperti evaporasi atau sublimasi. Dalam konteks pengangkutan *liquefied natural gas* (LNG), *vapour gas* dihasilkan dari proses penguapan alami muatan di dalam tangki yang dikenal sebagai *boil-off gas*, yang sebagian besar tersusun atas metana. Menurut Wärtsilä (2020), *boil-off gas* pada kapal LNG dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, baik melalui pembakaran pada *Gas Combustion Unit* (GCU) maupun digunakan pada generator *Dual fuel Diesel Electric* (DFDE), sehingga dapat menjaga tekanan tangki tetap berada dalam batas aman sekaligus meningkatkan efisiensi operasional kapal.

f. *Methane* (CH_4)

Methane (CH_4) merupakan salah satu jenis gas hidrokarbon yang menjadi komponen utama dalam *vapour gas* pada muatan *Liquified Natural Gas* (LNG). Gas ini bersifat tidak berwarna, tidak berbau, serta tidak beracun dalam kondisi normal. *Methane* dikenal sebagai salah satu sumber energi yang efisien karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi dibandingkan dengan beberapa gas hidrokarbon lainnya. Selain itu, penggunaan *methane* sebagai bahan bakar juga dinilai lebih ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan bahan bakar minyak, karena emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari proses pembakarannya relatif lebih rendah.

Metana dalam *liquefied natural gas* (LNG) merupakan komponen utama gas alam dengan kandungan lebih dari 90% CH_4 yang didinginkan hingga suhu sekitar −162°C sehingga berubah menjadi bentuk cair untuk mempermudah proses penyimpanan dan transportasi jarak jauh. Dalam kondisi cair tersebut, volume gas dapat berkurang secara signifikan hingga sekitar 600 kali dibandingkan dengan kondisi gas pada tekanan dan temperatur standar, sehingga lebih efisien untuk distribusi energi dalam skala besar. Menurut U.S. *Energy Information Administration* (2023), proses pencairan LNG memungkinkan pengangkutan gas alam dalam jumlah besar secara lebih efisien karena terjadi reduksi volume yang signifikan.

Dalam proses pembakaran, metana dapat membentuk campuran yang mudah terbakar apabila berada pada perbandingan tertentu dengan udara. Kondisi ini berkaitan dengan konsep segitiga api yang terdiri dari unsur bahan bakar, oksigen, dan sumber panas sebagai syarat terjadinya proses pembakaran. Oleh karena itu, pengendalian konsentrasi metana di udara menjadi faktor penting dalam menjaga keselamatan serta kestabilan proses pembakaran, khususnya pada sistem mesin kapal yang menggunakan bahan bakar gas.

g. *Low Duty Compressor* (L.D *Compressor*)

Low Duty Compressor (L.D *Compressor*) merupakan salah satu permesinan yang digunakan pada kapal LNG untuk mengalirkan dan meningkatkan tekanan *vapour gas* atau *boil-off gas* yang berasal dari tangki muatan. Gas tersebut dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada mesin generator

induk atau dibakar pada *Gas Combustion Unit (GCU)* untuk menjaga tekanan dalam tangki muatan tetap stabil. Dengan adanya kompresor ini, *vapour gas* yang terbentuk dari proses evaporasi LNG dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga mendukung efisiensi penggunaan bahan bakar di atas kapal.

Menurut *Wärtsilä* (2020), *Low Duty Compressor* pada kapal LNG umumnya digunakan untuk mengalirkan *boil-off gas* dari tangki muatan menuju sistem pemanfaatan energi di kapal, seperti sistem pembakaran atau mesin *dual fuel*. Kompresor ini bekerja dengan menjaga kestabilan aliran gas melalui pengaturan sistem kontrol, sehingga mampu mencegah terjadinya fluktuasi aliran maupun fenomena *surge* yang dapat mengganggu kinerja sistem.

Dalam operasinya, *Low Duty Compressor* memiliki dua mode kecepatan, yaitu *Low Mode* dan *High Mode*. Perubahan mode ini disesuaikan dengan kebutuhan suplai gas pada sistem bahan bakar kapal. Ketika kompresor beroperasi pada *High Mode*, terdapat persyaratan kondisi tertentu pada gas metana yang masuk, salah satunya adalah suhu gas sekitar −130°C agar proses kompresi dan penyaluran gas dapat berlangsung dengan aman dan stabil.

h. *Gas Combustion Unit* (G.C.U)

Gas Combustion Unit (GCU) merupakan suatu permesinan pada kapal LNG yang berfungsi untuk membakar *vapour gas* atau *boil-off gas* (BOG) yang tidak dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada mesin generator induk maupun sistem lainnya. Proses pembakaran gas tersebut bertujuan untuk menghindari terjadinya tekanan berlebih di dalam tangki muatan akibat proses evaporasi alami LNG selama penyimpanan dan pengangkutan. Dengan adanya GCU, kelebihan gas dapat dibakar secara terkendali sehingga tekanan dalam tangki tetap berada dalam batas operasional yang aman.

Menurut Lee et al., (2022), *Low Duty Compressor* pada kapal LNG umumnya menggunakan kompresor sentrifugal yang berfungsi untuk mengalirkan *boil-off gas* dari tangki muatan menuju sistem pemanfaatan energi di kapal. Pengoperasian kompresor ini memerlukan pengendalian aliran yang baik untuk menjaga kestabilan sistem serta mencegah terjadinya fenomena *surge* yang dapat mengganggu kinerja *Pre-cooler Compressor*.

Pre-cooler merupakan suatu peralatan yang berfungsi untuk menurunkan suhu *vapour gas* sebelum gas tersebut memasuki *Low Duty Compressor*. Proses pendinginan ini dilakukan dengan memanfaatkan LNG sebagai media pendingin sehingga temperatur gas dapat diturunkan hingga mencapai kondisi yang sesuai untuk proses kompresi. Penurunan suhu ini penting untuk menjaga kestabilan aliran gas serta meningkatkan efisiensi kerja kompresor dalam sistem penanganan *vapour gas* di kapal LNG.

Dalam proses pengolahan LNG seperti PRICO atau C3MR, tahap *pre-cooling* digunakan sebagai proses awal untuk menurunkan temperatur gas alam sebelum memasuki penukar panas kriogenik utama (*cryogenic heat exchanger*). Proses pendinginan pada tahap ini umumnya memanfaatkan refrigeran yang terdiri dari campuran hidrokarbon ringan seperti etana dan propana. Tahapan *pre-cooling* tersebut berperan penting dalam meningkatkan efisiensi proses pencairan serta menjaga kestabilan kondisi gas sebelum memasuki tahap pendinginan lanjutan *Gas Heater* (Kochunni & Chowdhury, 2022).

Gas heater merupakan suatu permesinan yang berfungsi untuk memanaskan *vapour gas* ketika temperatur gas berada pada kondisi yang terlalu rendah sebelum dialirkan ke sistem mesin di kamar mesin. Pemanasan ini bertujuan untuk memastikan gas mencapai suhu operasional yang aman sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada komponen permesinan akibat temperatur yang terlalu rendah. Dalam sistemnya, *gas heater* umumnya menggunakan media pemanas berupa uap bertekanan sekitar 1 MPa yang dialirkan melalui penukar panas untuk meningkatkan suhu *vapour gas* sebelum digunakan pada sistem bahan bakar mesin.

Menurut Mokhatab et al., (2019), gas heater atau *gas preheater* merupakan peralatan yang digunakan untuk menaikkan temperatur gas, khususnya gas alam bertekanan tinggi, sebelum digunakan dalam proses lanjutan. Pemanasan ini diperlukan untuk mengatasi penurunan temperatur akibat proses ekspansi tekanan yang dikenal sebagai efek *Joule–Thomson*. Oleh karena itu, penggunaan *gas heater* berperan penting dalam memastikan gas berada pada kondisi temperatur operasional yang sesuai, sehingga mendukung proses seperti pembakaran, penyimpanan, maupun regasifikasi secara aman.

i. *Gas Valve Unit (GVU)*

Gas Valve Unit (GVU) merupakan suatu sistem katup yang berfungsi untuk mengatur dan mengontrol aliran *vapour gas* sebelum gas tersebut digunakan sebagai bahan bakar pada permesinan, seperti generator atau mesin utama yang menggunakan sistem bahan bakar gas. Pada unit ini, tekanan, temperatur, serta laju aliran gas akan dikondisikan sesuai dengan parameter operasional yang dibutuhkan oleh mesin. Dengan adanya pengaturan tersebut, *vapour gas* yang masuk ke sistem pembakaran dapat berada pada kondisi yang aman dan stabil sehingga mendukung kinerja mesin secara optimal.

Menurut Wärtsilä (2024), Wärtsilä GVU-ED (*Gas Valve Unit–Enclosed Design*) merupakan sistem unit katup gas yang mengintegrasikan berbagai fungsi pengendalian gas dalam satu unit tertutup yang kompak. Desain ini memungkinkan GVU dipasang langsung di ruang mesin tanpa memerlukan ruang khusus terpisah. Selain mampu menghemat ruang instalasi di kapal, sistem ini juga meningkatkan efisiensi penataan permesinan serta berkontribusi dalam mengurangi kompleksitas dan biaya pemasangan sistem bahan bakar gas pada kapal LNG.

B. TEORI

Untuk memperoleh hasil penulisan dan analisis yang optimal pada pembahasan di Bab IV, penulis terlebih dahulu menguraikan secara rinci landasan teori yang berkaitan dengan Generator *Dual fuel diesel engine (DFDE)*. Hal ini dilakukan karena sistem generator DFDE terdiri dari berbagai peralatan dan komponen yang memiliki tingkat kompleksitas cukup tinggi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai prinsip kerja, komponen utama, serta teori yang berkaitan dengan sistem tersebut sangat diperlukan agar proses analisis permasalahan dapat dilakukan secara tepat dan sistematis.

1. *Dual fuel diesel engine* (DFDE) Generator

Wärtsilä *Dual fuel diesel engine* merupakan mesin empat langkah yang dirancang untuk beroperasi menggunakan dua jenis bahan bakar, yaitu gas dan bahan bakar cair diesel. Pada kapal LNG dengan sistem *dual fuel diesel electric* (DFDE), generator tidak hanya berfungsi sebagai penyedia energi listrik untuk kebutuhan akomodasi dan permesinan, tetapi juga sebagai sumber tenaga utama bagi sistem propulsi listrik (*electric propulsion*). Energi listrik yang dihasilkan

kemudian digunakan untuk menggerakkan motor listrik yang terhubung dengan sistem transmisi, sehingga mampu memutar poros baling-baling (*propeller shaft*) sebagai penggerak utama kapal (Kosomaa, 2002)

Ketika beroperasi dalam mode gas, mesin bekerja berdasarkan siklus Otto, dimana udara bercampur dengan bahan bakar gas sebelum masuk ke dalam silinder pada saat langkah hisap. Sebaliknya, pada mode diesel mesin bekerja mengikuti siklus Diesel, dimana bahan bakar cair diinjeksikan ke dalam silinder oleh pompa injeksi pada tahap akhir langkah kompresi. Salah satu keunggulan utama generator DFDE adalah fleksibilitas penggunaan bahan bakar, karena mesin dapat berpindah dari mode gas ke mode diesel tanpa menyebabkan perubahan signifikan pada daya yang dihasilkan.

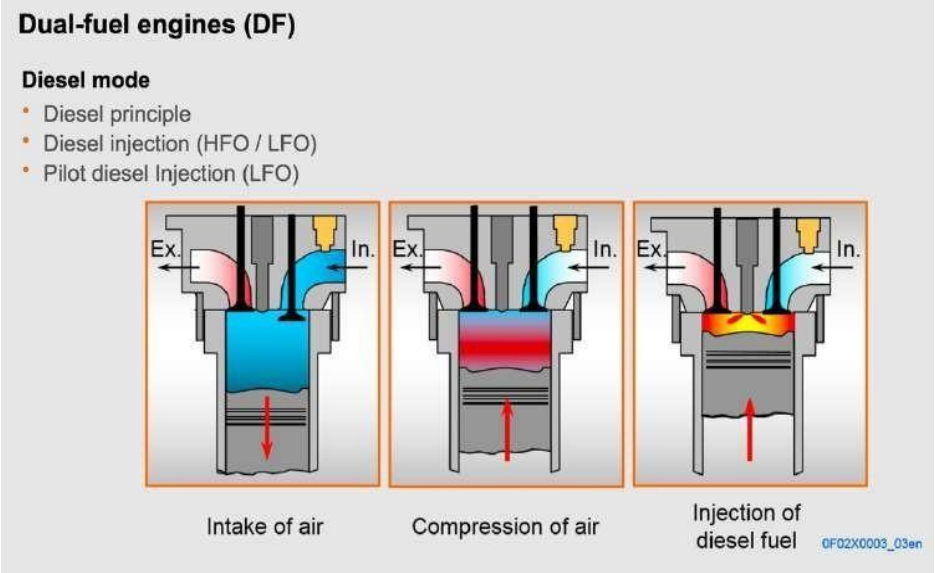
Pada setiap silinder DFDE generator terdapat satu *injector* yang dilengkapi dua jenis *nozzle*, yaitu *pilot nozzle* yang digunakan untuk sistem *pilot fuel* ketika mesin beroperasi pada mode gas, serta main *nozzle* yang berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar cair ketika mesin beroperasi pada mode *diesel*.

a. Jenis-Jenis Mode Kerja Generator DFDE

Berdasarkan buku Wärtsilä 34DF *Product Guide, Dual fuel diesel engine (DFDE)* generator memiliki tiga mode operasi dalam penggunaan bahan bakarnya. Mode operasi tersebut memungkinkan mesin bekerja secara fleksibel dengan memanfaatkan bahan bakar gas maupun bahan bakar cair sesuai dengan kondisi operasional yang dibutuhkan.

1) *Diesel Mode*

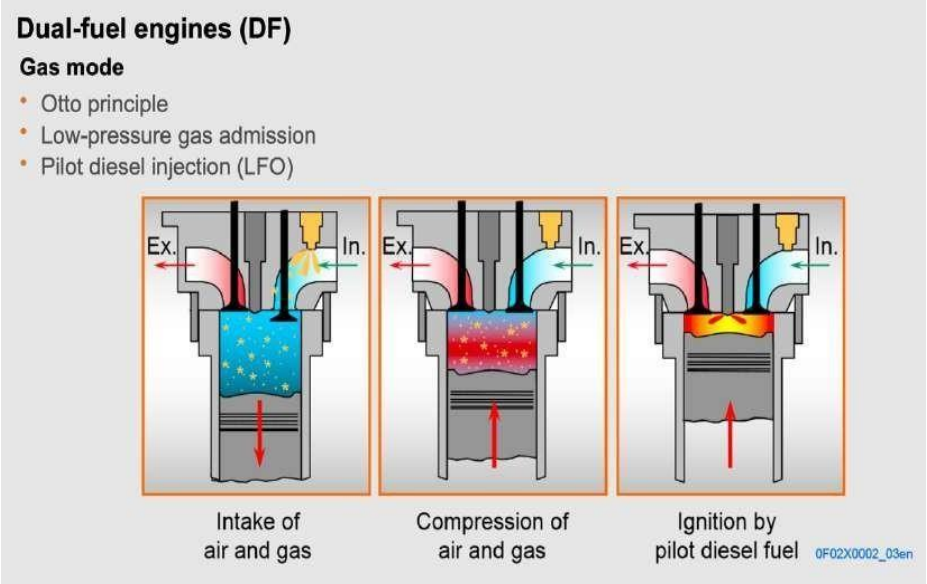
Pada *diesel mode*, mesin menggunakan bahan bakar cair seperti *Marine Gas Oil (MGO)* atau *Low Sulphur Fuel Oil (LSFO)* sebagai bahan bakar utama. Bahan bakar tersebut dialirkan dan dipompa oleh pompa injeksi bahan bakar, kemudian disemprotkan ke dalam ruang pembakaran melalui *main nozzle* yang terletak pada ujung katup injeksi bahan bakar. Proses injeksi bahan bakar ini terjadi pada tahap akhir langkah kompresi *piston* sebelum proses pembakaran berlangsung. Pengaturan waktu serta durasi penyemprotan bahan bakar melalui *main nozzle* dikendalikan oleh sistem kontrol mesin *Wärtsilä Engine Control System (WECS)*. Sistem ini berfungsi untuk memastikan proses pembakaran berlangsung secara optimal sesuai dengan kondisi operasi dan beban mesin.



Gambar 2. 1 *Diesel Combustion Process (Lean Burn Wärtsilä Instruction Manual)*

2) *Gas Mode*

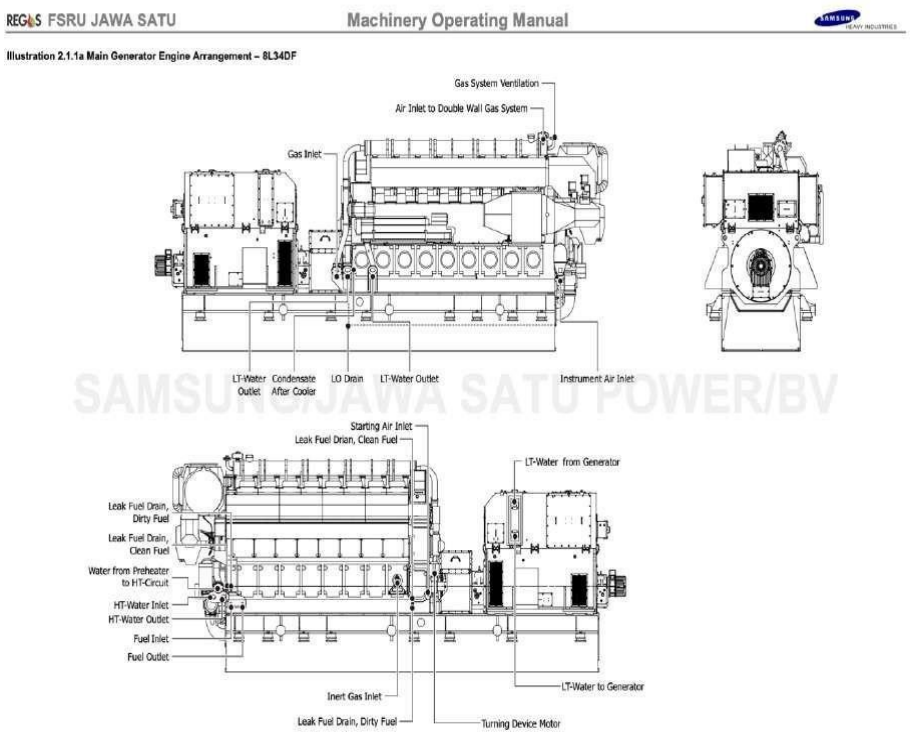
Pada mode gas, LNG digunakan sebagai bahan bakar utama setelah diubah menjadi *vapour gas*. Gas tersebut terlebih dahulu bercampur dengan udara sebelum memasuki ruang pembakaran di dalam silinder. Untuk memulai proses pembakaran, sejumlah kecil bahan bakar diesel disemprotkan sebagai *pilot fuel* melalui *pilot nozzle* yang terletak pada ujung katup injeksi bahan bakar. Sebelum dialirkan ke generator, *vapour gas* terlebih dahulu melewati *Gas Valve Unit (GVU)* yang berfungsi untuk mengatur tekanan gas sesuai dengan parameter operasi yang dikendalikan oleh sistem kontrol *Wärtsilä Engine Control System (WECS)*. Setelah melalui *GVU, vapour gas* kemudian dialirkan menuju *Gas Admission Valve (GAV)* pada masing-masing silinder. Katup ini berfungsi untuk mengatur jumlah gas yang masuk ke ruang pembakaran sehingga proses pembakaran dapat berlangsung secara stabil. Pengaturan kerja GAV dikendalikan oleh *Cylinder Control Module* yang memastikan suplai gas sesuai dengan kebutuhan mesin pada setiap kondisi beban



Gambar 2. 2 *Gas Combustion Process* (*Lean Burn Wärtsilä Instruction Manual)*

3) *Back-up Mode*

Pada *back-up mode*, mesin menggunakan *Marine Gas Oil (MGO)* sebagai bahan bakar utama. Bahan bakar tersebut dipompa oleh pompa injeksi bahan bakar dan disemprotkan ke dalam ruang pembakaran pada tahap akhir langkah kompresi. Dalam kondisi ini tidak terjadi pencampuran antara *vapour gas* dengan udara, sehingga proses pembakaran hanya melibatkan udara dan bahan bakar cair. Penyemprotan MGO dilakukan melalui *main nozzle* yang terdapat pada katup injeksi bahan bakar. *Back-up mode* akan aktif secara otomatis sebagai sistem pengaman apabila terjadi gangguan pada mode operasi lainnya, seperti mode gas maupun mode diesel, sehingga mesin tetap dapat beroperasi secara stabil.



Gambar 2. 1 *Dual fuel diesel engine* Generator *Arrangement (FSRU JAWA SATU Machinery Operating Manual, 2020:2-1)*

b. *Wärtsilä Engine Control System (WECS)*

Wärtsilä Engine Control System (WECS) merupakan sistem kendali yang berfungsi untuk mengatur kecepatan serta beban kerja mesin selama proses operasi. Sistem ini bekerja dengan mengumpulkan berbagai data yang berasal dari sensor-sensor yang terpasang pada berbagai bagian mesin. Data tersebut kemudian dianalisis dan diproses berdasarkan parameter operasi yang telah ditetapkan untuk memastikan proses pembakaran berlangsung secara optimal.

Melalui sistem ini, beberapa parameter penting seperti tekanan gas, durasi penyemprotan *pilot fuel*, serta perbandingan antara udara dan bahan bakar gas dapat diatur secara otomatis guna mencapai beban mesin yang diinginkan. Selain itu, WECS juga berperan dalam mengendalikan proses *start* dan *stop* mesin secara otomatis serta memantau sistem keselamatan selama pengoperasian mesin. Apabila sensor mendeteksi adanya kondisi yang tidak normal, sistem *monitoring* akan memberikan peringatan berupa alarm kepada operator. Jika kondisi tersebut berlanjut, sistem akan secara otomatis melakukan pengurangan beban mesin serta mengalihkan mode bahan bakar. Apabila gangguan masih terus terjadi, mesin akan dihentikan secara otomatis sebagai langkah perlindungan terhadap peralatan.

Parameter operasional yang dipantau oleh WECS biasanya ditampilkan dalam bentuk grafik pada sistem monitor, sehingga memudahkan proses pemantauan kondisi mesin serta mendukung kegiatan pemeliharaan preventif. Secara umum, WECS terdiri dari beberapa modul utama, yaitu *main control module*, *cylinder control module*, *monitoring module*, dan *sub-system module*. *Main control module* terletak pada panel monitor WECS yang berada di dekat roda gila mesin, sedangkan modul lainnya ditempatkan lebih dekat dengan sensor-sensor yang menjadi sumber data sistem.

Secara khusus, *cylinder control module* berfungsi untuk mengendalikan komponen silinder yang berkaitan dengan sistem bahan bakar gas metana, seperti *waste gate* dan *Gas Admission Valve (GAV)*. Dalam satu unit generator induk, satu *cylinder control module* umumnya digunakan untuk mengontrol tiga silinder mesin.

c. Komponen-komponen Generator DFDE

1) *Pilot Fuel*

Pilot fuel merupakan sejumlah kecil bahan bakar cair yang disemprotkan ke dalam ruang pembakaran melalui *pilot nozzle* pada katup injeksi bahan bakar. Penyemprotan ini berfungsi sebagai pemicu awal proses pembakaran ketika mesin beroperasi pada mode gas. Hal ini diperlukan karena bahan bakar gas memiliki titik penyalaan yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar cair, sehingga membutuhkan bantuan percikan awal untuk memulai proses pembakaran di dalam silinder. Dalam sistem DFDE, penggunaan *pilot fuel* relatif sangat kecil, yaitu kurang dari 1% dari total tenaga keluaran mesin. Sistem *pilot fuel* pada umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, seperti pompa bahan bakar, filter, serta katup injeksi. Pengoperasian pompa *pilot fuel* dan pengaturan kerja *pilot nozzle* dikendalikan oleh *control module* yang terdapat pada sistem kontrol mesin.



Gambar 2. 2 *Pilot Fuel Filter*

2) *Waste gate valve*

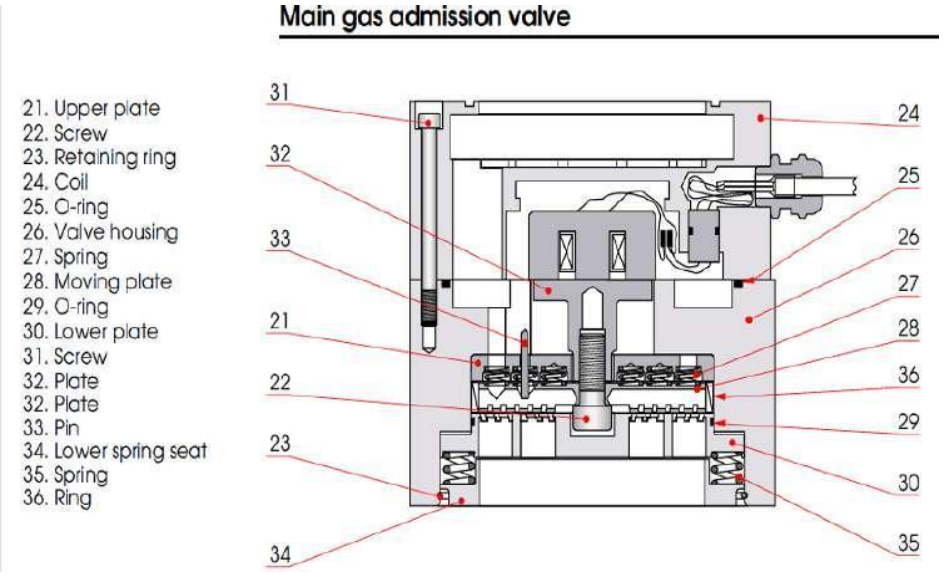
Untuk mempertahankan kinerja generator agar tetap optimal saat beroperasi dalam mode gas, diperlukan perbandingan campuran udara dan bahan bakar yang tepat. Oleh karena itu, sistem saluran gas buang pada generator dilengkapi dengan *waste gate valve* yang berfungsi untuk membantu mengatur rasio udara dan bahan bakar selama proses pembakaran. Selain itu, katup ini juga berperan sebagai salah satu parameter pengendalian ketika mesin beroperasi dalam mode gas maupun mode bahan bakar cair. Pengoperasian *waste gate valve* dikendalikan oleh *cylinder control module* yang merupakan bagian dari sistem kontrol mesin. Katup ini terletak pada sisi turbin *turbocharger* dan berfungsi untuk mengarahkan sebagian atau seluruh aliran gas buang langsung menuju saluran pembuangan, tanpa melewati *turbocharger*. Dengan pengaturan tersebut, tekanan dan aliran gas buang dapat dikontrol sehingga performa mesin tetap stabil sesuai dengan kondisi operasionalnya.



Gambar 2. 3 *Parameter Waste Gate Valve*

3) *Gas Admission Valve (G.A.V)*

Gas Admission Valve (GAV) merupakan katup elektro-mekanis atau *solenoid* yang terpasang pada *cylinder head* dan berfungsi untuk mengatur aliran *vapour gas* sebelum gas tersebut masuk ke dalam silinder pada *Dual fuel diesel engine (DFDE)* Generator. Katup ini berperan dalam mengontrol jumlah gas yang disuplai ke ruang pembakaran sehingga proses pembakaran dapat berlangsung secara stabil dan efisien. Pengaturan waktu serta durasi pembukaan *GAV* dikendalikan oleh *cylinder control module*, sehingga jumlah *vapour gas* yang masuk ke setiap silinder dapat disesuaikan dengan kebutuhan operasi mesin. Dalam hal pemeliharaan, *overhaul GAV* umumnya dilakukan setelah mencapai sekitar 16.000 jam operasi, dengan masa pakai yang diperkirakan dapat mencapai hingga 32.000 jam penggunaan.



Gambar 2. 4 *Gas Admission Valve Components (WARTSILA, 12V Instruction Manual: 387)*



Gambar 2. 5 *Gas Admission Valve*

2. *Liquified Natural Gas* (LNG)

Proses pendinginan pada LNG dilakukan untuk mengubah gas alam dari fase gas menjadi fase cair. Dengan perubahan fase tersebut, volume gas dapat berkurang secara signifikan hingga sekitar 1/600 dari volume awalnya dalam bentuk gas. Kondisi ini membuat LNG lebih efisien untuk disimpan maupun diangkut dalam jumlah besar, terutama dalam proses distribusi energi jarak jauh. Selama proses pencairan tersebut, beberapa komponen pengotor seperti air, karbon dioksida, *sulfur*, dan *helium* akan dipisahkan dari gas alam agar kualitas

LNG yang dihasilkan tetap terjaga. Secara umum, komposisi LNG didominasi oleh metana dengan persentase sekitar 85–95% mol. Selain itu, LNG juga mengandung komponen *hidrokarbon* lain seperti etana serta sejumlah kecil *propana*, *butana*, dan *nitrogen* dengan kisaran sekitar 5–15%.

Tabel 2. 1 Komposisi LNG (*FSRU JAWA SATU Cargo Operating* Man*ual, 2020:2-2*)

		Methane	Ethane	Propane	Butane	Pentane	Nitrogen
		CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2
Molecular weight	-	16.042	30.068	44.094	58.120	72.150	28.016
Boiling point at 1 bar absolute	°C	-161.5	-88.6	-42.5	-5	36.1	-196°C
Liquid density at boiling Point	kg/m^3	426.0	544.1	580.7	601.8	610.2	808.6
Vapour SG at 15 °C and 1 bar absolute	-	0.554	1.046	1.540	2.07	2.49	0.97
Gas volume/liquid volume ratio at boiling point and 1 bar absolute	-	619	413	311	311	205	649
Flammable limits in air by volume	%	5.3 to 14	3 to 12.5	2.1 to 9.5	2 to 9.5	3 to 12.4	Non-flammable
Auto-Ignition temperature	°C	595	510	468	365/500	-	-
Gross heating value *Normal:* at 15 °C *Iso :*	kJ/kg	55,559	51,916	50,367	49,530 49,404	49,069 48,944	-
Vaporisation heat at boiling point	kJ/kg	510.4	489.9	426.2	385.2	357.5	199.3

3. *Vapour gas / Boil Off Gas*

Vapour gas yang terbentuk di dalam *cargo* tank memiliki pengaruh langsung terhadap tekanan yang terdapat pada tangki muatan. Oleh karena itu, jumlah *vapour gas* perlu dikendalikan agar tekanan di dalam tangki tetap berada pada kondisi normal selama proses penyimpanan dan pengangkutan LNG. Secara umum, tekanan operasional yang ideal di dalam *cargo tank* berada pada kisaran 70 hingga 640 mbarG. Terbentuknya kelebihan *vapour gas* di dalam tangki muatan dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah kondisi LNG yang diterima dari terminal muat yang kurang optimal. Selain itu, faktor operasional selama pelayaran juga dapat mempengaruhi terbentuknya *vapour gas*, seperti kondisi cuaca ekstrem yang menimbulkan guncangan atau pergerakan berlebih pada LNG di dalam tangki. Kondisi tersebut dapat meningkatkan proses penguapan LNG sehingga menghasilkan *vapour gas* dalam jumlah yang lebih besar di dalam *cargo tank*.

4. Evaporasi

Evaporasi atau penguapan merupakan salah satu proses fisika yang sering terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Proses ini merupakan perubahan wujud zat dari fase cair menjadi fase gas akibat adanya peningkatan energi panas yang diterima oleh zat tersebut. Ketika suatu zat cair mengalami pemanasan, molekul-molekul di dalamnya akan memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan diri dari permukaan cairan dan berubah menjadi gas. Proses evaporasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat mempercepat atau memperlambat terjadinya penguapan, di antaranya sebagai berikut:

a. Suhu

Semakin tinggi suhu suatu zat cair, maka semakin cepat proses evaporasi akan terjadi. Hal ini disebabkan karena peningkatan temperatur akan menambah energi kinetik molekul sehingga molekul lebih mudah berubah menjadi fase gas. Sebagai contoh, air (H_2O) pada kondisi normal akan mulai mendidih dan menguap pada suhu sekitar 100°C.

b. Tekanan Udara

Tekanan udara juga mempengaruhi proses penguapan. Apabila tekanan uap air telah mencapai kondisi tekanan uap jenuh, maka proses evaporasi akan berhenti karena tidak ada lagi perbedaan tekanan yang mendorong molekul cair untuk berubah menjadi gas.

c. Luas Permukaan

Luas permukaan zat cair turut mempengaruhi kecepatan evaporasi. Zat cair yang memiliki permukaan lebih luas akan mengalami proses penguapan yang lebih cepat karena jumlah molekul yang berada di permukaan dan berpotensi untuk berubah menjadi gas menjadi lebih banyak.

5. *Methane*

Methane merupakan salah satu gas hidrokarbon yang terbentuk dari berbagai sumber alami maupun aktivitas manusia. Beberapa sektor yang berperan sebagai sumber pembentukan gas metana antara lain sebagai berikut:

a. Sektor Pertanian dan Limbah Ternak

Gas metana dapat dihasilkan dari proses pencernaan hewan ruminansia, seperti sapi dan domba, yang menghasilkan metana sebagai produk sampingan dari proses metabolisme di dalam sistem pencernaannya. Selain

itu, pengelolaan limbah ternak dan kotoran hewan juga berpotensi menghasilkan emisi metana ke lingkungan.

b. Limbah Organik dan Tempat Pembuangan Sampah

Proses penguraian bahan organik di tempat pembuangan sampah, terutama yang berlangsung dalam kondisi anaerobik atau tanpa oksigen, dapat menghasilkan gas metana. Oleh karena itu, pengolahan limbah organik yang tidak disertai dengan ketersediaan oksigen yang cukup dapat menjadi salah satu sumber emisi metana.

c. Industri Energi Fosil

Kegiatan yang berkaitan dengan eksplorasi dan produksi energi fosil, khususnya minyak bumi dan gas alam, juga berpotensi menghasilkan emisi metana. Aktivitas seperti proses pengeboran, produksi, serta transportasi minyak dan gas alam sering kali menjadi sumber pelepasan gas metana ke atmosfer.

Metana memiliki nilai energi yang cukup tinggi. Dalam proses pembakaran, satu molekul metana yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan satu molekul karbon dioksida (CO_2) dan dua molekul air (H_2O), sebagaimana ditunjukkan pada reaksi kimia berikut:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Walaupun metana merupakan sumber energi yang efektif, keberadaannya di atmosfer juga berpotensi memberikan dampak terhadap pemanasan global. Meskipun masa tinggal metana di atmosfer relatif lebih singkat dibandingkan karbon dioksida, kemampuan metana dalam menyerap panas jauh lebih besar. Dalam periode sekitar satu dekade, potensi pemanasan global yang dihasilkan oleh metana dapat mencapai lebih dari 25 kali lipat dibandingkan dengan karbon dioksida. Oleh karena itu, metana termasuk salah satu gas utama penyebab efek rumah kaca selain karbon dioksida dan *nitrous oxide*. Di sisi lain, metana juga memiliki berbagai manfaat dalam kehidupan manusia, antara lain sebagai berikut:

a. Sumber Energi

Metana banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam bentuk gas alam yang digunakan untuk kebutuhan pemanasan, memasak, serta pembangkit listrik.

b. Bahan Baku Industri Kimia

Gas metana juga digunakan sebagai bahan baku dalam industri kimia untuk memproduksi berbagai senyawa penting, seperti amonia dan metanol.

c. Bahan Bakar Transportasi

Selain itu, metana dapat digunakan sebagai bahan bakar pada sektor transportasi, baik dalam bentuk *Compressed Natural Gas* (CNG) maupun *Liquified Natural Gas (LNG)*.

Tabel 2. 2 Sifat *Methane (FSRU JAWA SATU Cargo Operating Manual, 2020:2-2)*

Boiling point at 1 bar absolute	-161.5 °C
Liquid density at boiling point	426.0 kg/m³
Vapour SG at 15 °C and 1 bar absolute	0.554
Gas volume/liquid volume ratio at -161.5 °C at 1 bar absolute	619
Flammable limits in air by volume	5.3 to 14 %
Auto-ignition temperature	595 °C'
Higher specific energy (Gross heating value) at 15 °C	555.kJ/kg
Critical temperature	-82.5 °C
Critical pressure	43 barA

6. *Gas Valve Unit* (G.V.U)

Gas Valve Unit (GVU) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem bahan bakar gas pada mesin yang menggunakan *vapour gas*. Unit ini terdiri dari beberapa komponen utama yang memiliki fungsi berbeda dalam mengatur, mengontrol, serta menjaga keamanan aliran gas sebelum digunakan oleh mesin. Komponen-komponen tersebut antara lain sebagai berikut:

a. Man*ual Gas Inlet Valve*

Man*ual Gas Inlet Valve* merupakan katup manual yang berfungsi untuk mengatur pembukaan maupun penutupan aliran gas. Katup ini digunakan pada jalur masuk dan keluar *vapour gas*, termasuk pada katup ventilasi gas *(venting gas valve)*, katup udara kontrol, serta katup *inert gas*.

b. *Gas Filter*

Gas filter berfungsi untuk menyaring *vapour gas* sebelum gas tersebut dialirkan ke dalam mesin. Kondisi filter dapat dipantau melalui sistem kontrol pada *Gas Valve Unit*. Apabila terjadi perbedaan tekanan yang melebihi batas

yang telah ditentukan, sistem kontrol akan memberikan sinyal peringatan berupa alarm.

c. *Automatic Venting Valves*

Automatic Venting Valve merupakan katup yang bekerja pada saat proses awal pengoperasian mesin *start-up* maupun pada saat proses penghentian mesin *shutdown*. Katup ini dapat dikendalikan melalui sistem kontrol dan bekerja menggunakan sistem pneumatik untuk menutup, sedangkan pembukaannya menggunakan pegas. Ketika mesin berhenti beroperasi, katup *venting* ini akan secara otomatis berada dalam kondisi terbuka.

d. *Automatic Shut-Off Valves*

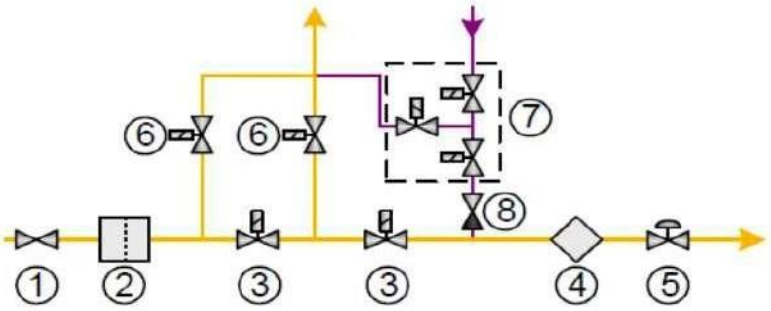
Automatic Shut-Off Valve juga beroperasi pada saat proses *start-up* dan *shutdown* mesin. Katup ini dikendalikan oleh sistem kontrol dan menggunakan mekanisme pneumatik untuk menutup serta pegas untuk membuka. Bentuk katup ini umumnya menggunakan tipe *ball valve*.

e. *Inert Gas Valve*

Inert Gas Valve merupakan katup yang berfungsi untuk menyalurkan gas nitrogen ke dalam jalur pipa. *Nitrogen* yang dialirkan digunakan untuk membersihkan atau menghilangkan *vapour gas* yang tersisa di dalam jalur pipa, sehingga dapat mencegah terjadinya potensi ledakan. Katup ini terdiri dari satu katup manual dan satu katup otomatis yang keduanya dapat dikontrol melalui sistem kontrol.

f. *Gas Pressure Regulating Valve*

Gas Pressure Regulating Valve berfungsi untuk mengatur tekanan *vapour gas* sebelum dialirkan ke dalam mesin. Tekanan gas dikendalikan secara otomatis berdasarkan tekanan udara pengisi yang terdapat pada sistem. Katup ini dilengkapi dengan *actuator* serta pengendali digital untuk memastikan tekanan gas tetap berada dalam batas operasional yang aman.



<Flow Diagram>

1	Manual fuel gas shut-off valve
2	Fuel gas filter
3	Automatic shut-off valve
4	Flow meter
5	Automatic gas pressure regulating valve
6	Automatic venting valve
7	Automatic inert gas double block and bleed valves
8	Closable non-return valve

Gambar 2. 6 *Flow Diagram Gas Valve Unit* (*FSRU JAWA SATU Machinery Operating* Manual, *2020:4-67*)

C. PENELITIAN TERDAHULU

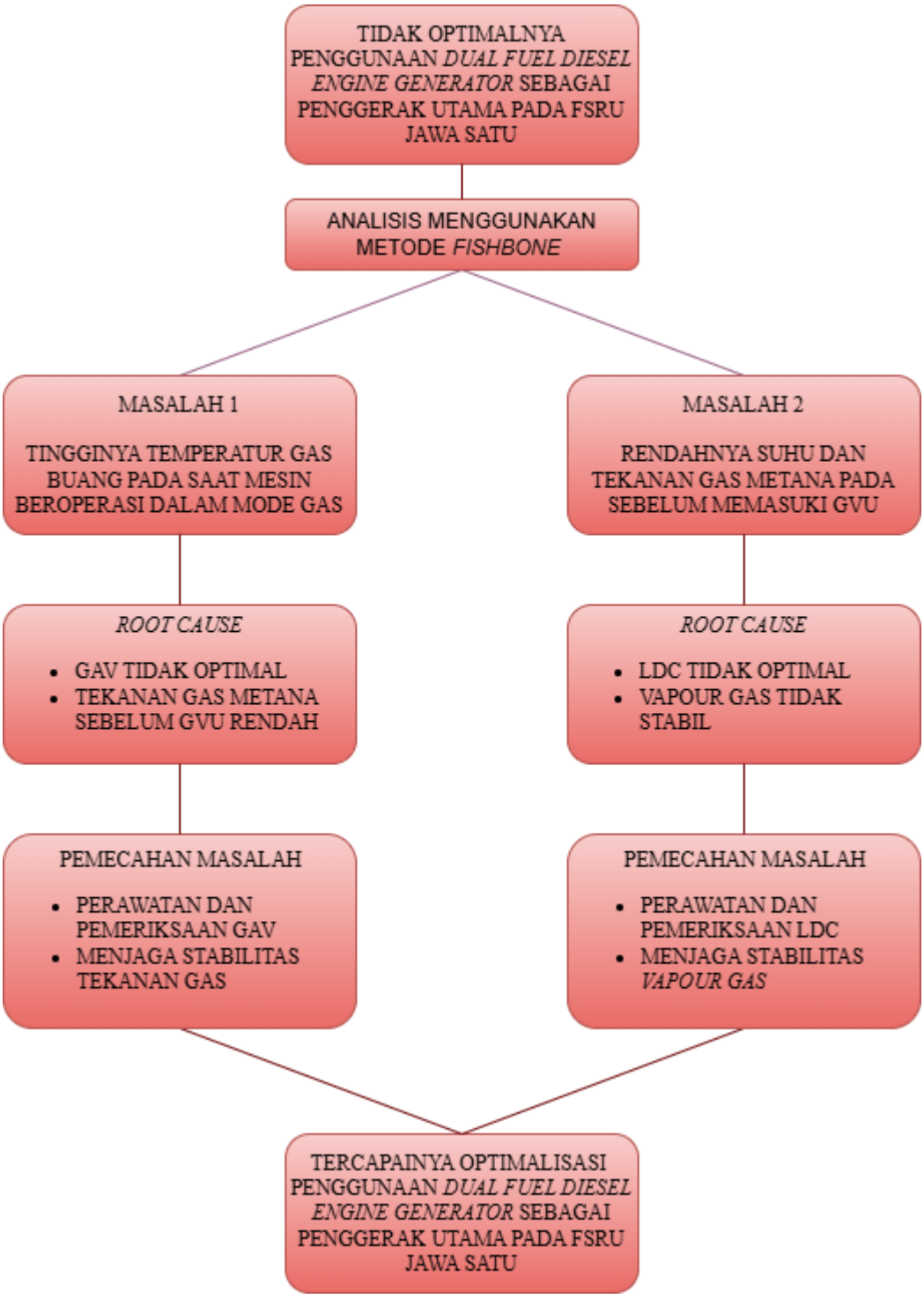
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Pennelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Dengan Penelitian Saya
1.	Lee, Cheon, & Choi (2022)	*Experimental and Theoretical Study of Surge Behavior in a Boil-Off Gas Centrifugal Compressor on an LNG Carrier*	Menjelaskan bahwa performa *compressor* sangat memengaruhi kestabilan tekanan BOG pada kapal LNG.	Berfokus pada *compressor*, sedangkan penelitian saya menganalisis pengaruh LDC terhadap tekanan gas metana sebelum GVU menggunakan *Fishbone.*
2.	Kochunni & Chowdhury (2022)	*Concept and Evaluation of Energy-Efficient Boil-Off Gas Reliquefiers in LNG Carrier Ships Propelled by Dual-Fuel Engines*	Optimalisasi pengelolaan BOG meningkatkan efisiensi sistem bahan bakar kapal LNG.	Fokus penelitian pada sistem *reliquefaction* BOG, bukan gangguan operasional generator DFDE.
3	Parwata (2022)	Analisa Ekonomi Pemanfaatan Gas LNG Sebagai Bahan Bakar Kapal	Penggunaan LNG sebagai bahan bakar memberikan penghematan biaya operasional dibanding solar.	Menitikberatkan aspek ekonomi, sedangkan penelitian saya membahas aspek teknis pengoperasian generator DFDE.
4	Walajri (2025)	Upaya Meningkatkan Performance *Dual Fuel Diesel Engine* Generator Menggunakan *Gas Mode*	Menemukan bahwa gangguan pada *Safety Gas Admission Valve* (SOGAV) dapat menyebabkan *fuel gas trip* pada generator.	Penelitian saya tidak membahas *fuel gas trip*, tetapi menganalisis penyebab tingginya temperatur gas buang serta rendahnya suhu dan tekanan gas sebelum GVU.

5	Airlangga et al., (2026)	*Efforts to Increase Boil-Off Gas (BOG) Without Fuel Gas Pump in Ballast Voyage*	Metode *top spray* mampu meningkatkan tekanan BOG sehingga suplai gas menjadi stabil.	Penelitian saya berfokus pada optimalisasi generator DFDE pada FSRU Jawa Satu, bukan peningkatan produksi BOG selama *ballast voyage.*

Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar penelitian membahas performa mesin *dual fuel*, efisiensi penggunaan LNG sebagai bahan bakar kapal, pengelolaan *boil-off gas* (BOG), serta kinerja sistem pendukung seperti *compressor*. Namun, belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengkaji penyebab tingginya temperatur gas buang dan rendahnya suhu serta tekanan gas metana sebelum memasuki *Gas Valve Unit* (GVU) pada generator *Dual Fuel Diesel Engine* (DFDE) yang digunakan sebagai penggerak utama pada kapal FSRU. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menggunakan pendekatan kualitatif dan metode *Fishbone Analysis* berdasarkan kondisi operasional nyata di FSRU Jawa Satu.

D. KERANGKA PEMIKIRAN



Gambar 2. 7 Kerangka Pemikiran

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai optimalisasi penggunaan *Dual Fuel Diesel Engine* (DFDE) Generator sebagai penggerak utama di FSRU Jawa Satu dengan menggunakan metode *fishbone analysis*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tingginya Temperatur Gas Buang Pada Mode Gas

   Permasalahan tingginya temperatur gas buang pada mode gas dapat diatasi dengan melakukan pemeriksaan, pengujian fungsi, penyetelan, dan perbaikan *Gas Admission Valve* (GAV). Tindakan tersebut dilakukan untuk memastikan pembukaan *valve* dan distribusi gas metana ke setiap silinder sesuai dengan kebutuhan pembakaran. Dengan kinerja GAV yang optimal, proses pembakaran dapat berlangsung lebih sempurna sehingga temperatur gas buang dapat dipertahankan dalam batas operasional yang aman.

2. Rendahnya Suhu dan Tekanan Gas Metana Sebelum Memasuki GVU

   Permasalahan rendahnya suhu dan tekanan gas metana sebelum memasuki GVU dapat diatasi dengan melakukan pemeriksaan, perawatan, dan optimalisasi kinerja *Low Duty Compressor* (LDC). Tindakan tersebut meliputi pemeriksaan tekanan *discharge*, kondisi *filter*, sistem pelumasan, serta performa *compressor* untuk memastikan tekanan dan suhu vapour gas tetap stabil. Dengan kinerja LDC yang optimal, suplai bahan bakar menuju sistem pembakaran dapat terpenuhi sesuai kebutuhan operasional generator DFDE sehingga proses pembakaran berlangsung secara optimal.

B. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, penulis memberikan beberapa saran yang diharapkan dapat membantu mencegah dan mengurangi terjadinya gangguan pada generator DFDE selama pengoperasian mode

gas di kapal. Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan

   Perusahaan perlu meningkatkan pelaksanaan pemeliharaan dan pemeriksaan berkala terhadap komponen utama sistem bahan bakar gas, khususnya *Gas Admission Valve* (GAV) dan *Low Duty Compressor* (LDC), sesuai *Planned Maintenance System* (PMS). Selain itu, pengawasan terhadap kestabilan tekanan gas metana dan vapour gas perlu dilakukan secara rutin untuk menjaga kontinuitas suplai bahan bakar gas menuju generator DFDE.

2. Bagi Awak Kapal

   Awak kapal, khususnya *engineer* yang bertugas di ruang mesin, perlu meningkatkan pengawasan terhadap parameter operasional generator DFDE selama mode gas, seperti temperatur gas buang, tekanan gas, dan kondisi sistem bahan bakar. Respon yang cepat terhadap alarm dan indikasi gangguan akan membantu mencegah terjadinya penurunan performa generator.

3. Bagi Peneliti Selanjutnya

   Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan pembahasan mengenai sistem bahan bakar gas pada generator DFDE dengan menggunakan metode analisis yang berbeda sehingga diperoleh hasil yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja generator selama beroperasi dalam mode gas.

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
J A K A R T A

PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI

Nama : MOCHAMAD HILDANSYAH PUTRA DERMAWAN
N R P : 22.1675 / T
Bidang Keahlian : TEKNIKA
Semester : VII

Mengajukan Judul Skripsi Sebagai Berikut :

A. Judul : **OPTIMALISASI PEMANFAATAN *DUAL FUEL DIESEL ENGINE GENERATOR* SEBAGAI PENGGERAK UTAMA PADA *FSRU* JAWA SATU**

B. Masalah Pokok :

1. Tingginya temperatur gas buang pada saat mesin beroperasi dalam mode gas
2. Rendahnya temperatur serta tekanan gas *methane* pada saat memasuki *Gas Valve Unit* (G.V.U.)

C. Pendekatan Pemecahan Masalah :

1. Mengatur penyesuaian setelan *tappet clearance valve*
2. Melakukan penggantian *cylinder module*
3. Melakukan perubahan pengoperasian *low duty compressor* ke *high mode*

Jakarta, 03 Februari 2025

Menyetujui,

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping	Penulis,
Dr. Markus Yando, S.Si.T.,M.M	**SUSI HERAWATI,S. Si.,M. Pd**	**M. HILDANSYAH PUTRA D.**
NIP. 19800605 200812 1 001	**NIP. 19840611 200912 2 002**	**NRP. 565221675**

Mengetahui :
KETUA JURUSAN TEKNIKA

Dr. Markus Yando, S.Si.T., M.M.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19800605 200812 1 001

FM.UK.22.028/R.1

Dipindai dengan CamScanner

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
J A K A R T A

PEMBIMBING I : Dr. MARKUS YANDO, S.Si.T.,M.M

JUDUL SKRIPSI : OPTIMALISASI PEMANFAATAN *DUAL FUEL DIESEL ENGINE GENERATOR* SEBAGAI PENGGERAK UTAMA PADA *FSRU* JAWA SATU

KOLOM BIMBINGAN :

NO	TANGGAL BIMBINGAN	URAIAN BIMBINGAN	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	5-2-2026	Sinopsis & judul ok Bab. I. Revisi. fenoma suhu.	
2	9-3-2026	BAB. I ok BAB II Gunakan mendeley (next bawa laptop). Revisi A.sal. teori	
3		pemahaman gbr. 2-D Lanjut BAB. III	
4	20-4-2026	BAB II ok Bab III diperinci kuantitatif & pemahaman. Lanjut BAB-IV	
5	19/5/2026	BAB. III. pemahaman kuantitatif BAB IV. Rasio BBM. kudara, turunkan	
6		tempat atur mutase pengelasan. Human Error, penjelasan pengelasan matsel Lanjut. BAB IV	
7	15/6/2026	BAB. III. Revisi. Metode ✓. BAB. IV Rasio BBM & udara dimasukkan Pahami kalibrasi. GAV.	
8	17/6/2026	Lanjut. BAB V. BAB. ~~AB~~ III ok BAB. IV Kalimat,	
8	18/6/2026	BAB. IV ok. BAB V Kesimpulan perlu	
9		BAB V ok Layak untuk di Uji	
10			

Catatan :

1. Kepada Dosen Pembimbing agar melengkapi form, minimal 8 (delapan) kali pertemuan
2. Kepada Penulis agar form dilampirkan pada saat pengumpulan tugas akhir/jilid

Dipindai dengan CamScanner

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
J A K A R T A

PEMBIMBING II : SUSI HERAWATI,S. Si.,M. Pd

JUDUL SKRIPSI : OPTIMALISASI PEMANFAATAN *DUAL FUEL DIESEL ENGINE GENERATOR* SEBAGAI PENGGERAK UTAMA PADA *FSRU* JAWA SATU

KOLOM BIMBINGAN :

NO	TANGGAL BIMBINGAN	URAIAN BIMBINGAN	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	05/02-2026	Pengajuan Sinopsis Pengajuan BAB I	
2	11/03-2026	Revisi BAB I.	
3	02/04-2026	BAB I OK Lanjut BAB II	
4	17/04-2026	Revisi BAB II	
5	22/04-2026	Revisi BAB III	
6	29/04-2026	Revisi BAB III Lanjut BAB IV.	
7	22/05-2026	Revisi BAB IV	
8	05/06-2026.	Revisi terkait Root Cause Selanjutnya Bawa lengkap.	
8	12/06-2026	Next Bimbingan Bawa lengkap skripsi + Dapus + ppt untuk sidang	
9	19/06-2026.	Acc siap dicetak.	
10			

Catatan :

1. Kepada Dosen Pembimbing agar melengkapi form, minimal 8 (delapan) kali pertemuan
2. Kepada Penulis agar form dilampirkan pada saat pengumpulan tugas akhir/jilid

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR PUSTAKA

Fadli, M. R. (2021). Memahami Desain Metode Penelitian Kualitatif. *Humanika: Kajian Ilmiah Mata Kuliah Umum*, *21*(1), 33–54. https://journal.uny.ac.id/index.php/humanika/article/view/38075

Goetsch, David L. Davis, & Stanley B. (2016). *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality* (7th ed.). Pearson.

Han, A., Qing, S., Bao, Y., Na, L., Bao, Y., Liu, X., Zhang, J., & Wang, C. (2021). Short-term effects of fire severity on vegetation based on sentinel-2 satellite data. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(1), 1–22. https://doi.org/10.3390/su13010432

Hardani Andriani, H. U. J. U. E. F. I. R. R. F. R. A. S. D. J. A. N. H. (2020). *Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif*. CV. Pustaka Ilmu Group.

Kochunni, S. K., & Chowdhury, K. (2022). Concept and evaluation of energy-efficient boil-off gas reliquefiers in LNG carrier ships propelled by dual-fuel engines. *Cryogenics*, *123*, 103453. https://doi.org/10.1016/J.CRYOGENICS.2022.103453

Kosomaa, J. (2002). *The DF-Electric LNG Carrier Concept*.

Lee, J., Cheon, Y., & Choi, Y. (2022). Experimental and Theoretical Study of Surge Behavior in a Boil-Off Gas Centrifugal Compressor on an LNG Carrier. *Energies*, *15*(11). https://doi.org/10.3390/en15114002

Miles, Matthew B. Huberman, A. Michael Saldaña, & Johnny. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.

Mokhatab, Saeid Poe, William A. Mak, & John Y. (2019). *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing: Principles and Practices* (4th ed.). Elsevier.

Natsir, I., Ode, H., Irfana, T. B., Pulungan, D. R., & Sihite, M. (2024). An Analysis of the Role of Human Resource Management in Enhancing Organizational Efficiency and Effectiveness. *International Journal of Economics (IJEC)*, *3*(2), 1089–1097. https://doi.org/10.55299/ijec.v3i2.1097

Olmer, N., Comer, B., Roy, B., Mao, X., Rutherford, D., Smith, T., Faber, J., Schuitmaker, R., Holskotte, J., Fela, J., & Schultz, J. (2017). *GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM GLOBAL SHIPPING, 2013-2015 The authors thank.* www.theicct.org

Srinivasulu Reddy, K., Venkata Reddy, V., & Mandava, R. K. (2017). Effect of Binder

and Mold parameters on Collapsibility and Surface Finish of Gray Cast Iron No-bake Sand Molds. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *225*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012246

Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (Edisi Revisi). Alfabeta.

Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kualitatif*. Alfabeta.

U.S. Energy Information Administration. (2023). *Liquefied Natural Gas (LNG) Explained*. https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/liquefied-natural-gas.php

Wärtsilä. (2020). *Cargo Handling Systems for Gas Carriers*. https://www.wartsila.com/marine/products/gas-solutions

Wärtsilä. (2024). *Gas Valve Unit (GVU)*. https://www.wartsila.com/marine/products/gas-solutions/gas-valve-unit

LAMPIRAN

Lampiran 1 Ship Particular

HUMOLCO	Operation Procedures		OP.01-2	Ver. 7.0
	Ship Particulars		Rev. 00	Page 1 of 1
Approved: Heru Prasetyo K.	Prepared: Muhammad Yazid	Checked: N/A	Issued: 1 March 2020	Next revision issued:

SHIP PARTICULAR

Owner	PT. Jawa Satu Regas		Main Generator Engine	Type MCR	WARTSILA; Wärtsilä 8L34DF; 3,840 kW X 720 RPM X 3 Sets	
				NCR	WARTSILA; Wärtsilä 6L34DF; 2,880 kW X 720 RPM X 1 Set	
Flag	Indonesia		Aux. Boiler	Main Boiler Type	ALFA LAVAL; Aalborg OS TCi; 5,000 kg/h X 10 bar X 2 Sets	
Port of Registry	Jakarta		Electric Motor Propulsion	Maker : ABB	Geoje	
Official Number	AL.520 / 79 / 12 . SM / DK / 2020		Emergency Diesel Generator	EDG Type	CPC ENGINE ; KTA38DMALTERNATOR ; LSA H 50.2 M6; 850 kWe X 1800 EPNPRIMARY ; ELECTRIC BATTERYSECONDARY ; AR STARING X 1 Set	
IMO Number	9854935		Gas Combustion Unit (GCU)	GCU Type	ALFA LAVAL; GCU 4.2 T; Max 4,500 kg/h (Pure CH4) X 1 Set	
Call Sign	YDDP2		Service Speed	Laden (NCR.)	13.49 knots at design draft and NCR incl. 21% sea margin	
Hull Number	SN2255			Ballast (NCR.)	13.12 knots at ballast draft and NCR incl. 21% sea margin	
MMSI Number	525101662		Propeller	Propeller PS Clockwise	SILLA METAL; FPP; No. of Blade – 4; Diameter – 8,000mm	
Contact Details	Tel	(870)773989552 (FBB)	Steering Gear	Type	YOONSUN INDUSTRIES LTD. Electro-Hydraulic Working Torque : 217Ton-m(YDEF-250-3)	
	Tel	+81-3-4563-8939 (VSAT)	Reduction Gear Box	Type	RENK NDSH 3200 GEAR RATIO = 8.523:1 Weight 40 Ton	
	Fax	(870)783409295 (Fax)	Mooring & Anchoring Equipment	Windlass Type	FLUTEK HIGH PRESSUREHYDRAULIC 64.1 ton x 9 m/min X 2 Sets	
	email	fsmjawasatu@humolco.net		Mooring Winches Type	FLUTEK HIGH PRESSUREHYDRAULIC 30 ton x 15 m/min X 8 Sets	
	Tlx	-		Air Capstan	JUNG-A MARINE; AIR MOTOR DRIVEN; 1 TON X 21M/MIN X 4 Sets	
Iridium Mobile Bridge	Tel	-		Mooring Ropes	DSR; PMP Rope; Dia. 70mm; MBL 150 tons; Length 187m without Tail Rope;	
	Data	-		Mooring Tail	-	
Iridium ECR	Tel	-		Shackle	-	
Ship Manager	PT. HUMOLCO LNG Indonesia			Fire Wire	Galvanized Fire Wire; 6 Strands X 36 Wires, IWRC; Dia. 50mm X 60m; MBL 100 tons; (K.2 Sets	
Time Charterer	PT. Jawa Satu Power			Anchor	KUM HWA CASTSTEEL; HJLP; High holding power typestockless bow anchor; 14.1 Ton X 2 Sets	
Trading Area	Domestic			Anchor Cable	DAIHAN ANCHORCHAIN MFG. CO. LTD.; Grade 3a; ø107x 742.5m	
Classification Society	Bureau Veritas		Lifting Equipment	Provision Crane	ORIENTAL; Electro-Hydraulic; 12T x 20M X 1 Set (P); 5T x 15M X 1 Set (S)	
BV Register Number	35190C			Hose Handling Crane	ORIENTAL; Electro-Hydraulic; 15T x 19M	
Class Notation	L-BRSLL, BMACH, Liquefied gas carrier - FSRU (Ship type 2G, Methane(LNG) in Membrane tanks, Max vapour pressure 0.25 bar in navigation mode, 0.7 bar in FSRU, Min. Temp -163 deg C), Unrestricted navigation, BAUT-ONS, BAUT-PORT, INWATERSURVEY, NON-SHAFT, ENVIRO-PLUS(N2O,CH4,VOC,SOX,NOX,CO2,PM), ECO-FS, GREEN PASSPORT, RIGAS, SCOPAINS, BAUT, VIQSTAR HULL FAT 90, UCP			Cargo Compressor and Motor Room Maintenance Crane	ORIENTAL; Electro-Hydraulic; 5T x 27M	
				Fwd Maintenance Crane / Paint Crane	ORIENTAL; Electro-Hydraulic; 12T x 30M	
Type of Vessel	LNG Carrier / FSRU		Cargo & Regas Machinery	Cargo Pump	Shinko Ind. Ltd. / SM350; 1750 m3/h x 160 m; 4 Sets (1 per each cargo tank);	
Cargo Tank Type	Membrane Type			Spray Pump	Shinko Ind. Ltd. / SM65; 50 m3/h x 190 m; 4 Sets (1 per each cargo tank)	
Builder	Samsung Heavy Industries Co.Ltd			Small Regas Feed Pump	NM065D / 6843NJ-B132E; 350 m3/h x 190 m X 4 Sets	
Built in	Samsung Heavy Industries Co.Ltd Geoje Shipyard			H/D Compressor	Hanwha Power Systems; SE.X5C/7; Centrifugal; Single stage; 32000 m3/h; Inlet Pressure: 1.03 bar(A); Outlet Pressure: 2.00 bar(A); Inlet Temp: 140DegC A.1.3ea	
Date Building Contract	12 Octover 2018			L/D Compressor	Hanwha Power Systems; SE.X5L/2; Centrifugal; Two stage; 3654 m3/h; Inlet Pressure: 1.162 bar; Outlet Pressure: 7.0 bar(A; Inlet Temperature: -120.0 C; Number of sets: 2	
Date Keel Laying	29 October 2019			Warm Up Heater	Maker: Dongheu Entec; Type: BXU (TEMA); Capacity: 30000 kg/h (design); Steam Consumption: 3908 kg/h (design); Inlet Temperature: 125 °C; Outlet Temperature: 8 °C; 2 X Sets	
Date Launching	11 January 2020			After Cooler	Maker: Dongheu Entec; Type: BXU (TEMA)	
Date Delivery	31 December 2020			Cofferdam glycol heater electric type	Electric Heater; Dongheu Entec; Fluid: 30000 kg/h glycol water; Capacity: AC 440 V; 100 kW; 3EA; 6; Number of sets: 1	
LOA	292, 651 M			Recondenser / Suction Drum	Maker WONB. TAI; Vertical, cylindrical; Volume 5&D19 m3; Design pressure 11 barG; Operating pressure 5.5 barA; Design temperature -170 / +80 C; Operating temprature -159 / +45 C; 4 1 Set	
LBP	281.000 M			Sea Water Heater for Regas	-	
Breadth, moulded	43.400 M			HP Vaporizer	Dongheu Entec ; Shell & Tube type, Horizontal; 4 4 Sets; Shell Side; Fluid: Sea Water; Flow rate: 1,500 m3/h; Design temperature: 50 / 5 °C; Design pressure: 4.5 barG; Operating pressure: 4.5 barG; Design temperature: 50 / 5 °C; Operating temperature(In/Out): 23 / 8 °C; Tube Side; Fluid: LNG; Fluid Quantity, Total: 82,250 kg/hr; Design pressure: 120 barG; Operating pressure: 75 barG; Design temperature(In/Out): -165 / 35 °C; Operating temperature(In/Out): - 159 / 30 °C	
Depth, moulded	26.600 M			Regas Glycol water pump	SHINKO; Model: SVS300M2; Fluid: Glycol Water; Rated Capacity: 720 m3/h; Rated Head: 35 m; Motor Make: Hyundai Electric; Output: 132 kW; Electric Source: AC6600V ± 5% x 60Hz; Synchronous Speed: 1,800 rpm	
Summer Draft (Ext.)	12.5 M			Trim Heater	N/A	
Design Draft (Mid.)	12.1 M			Metering System	N/A	
Scantling Draft (Mid.)	12.9 M			Roll-over prevention system	N/A	
Min. Draft Fwd	7.841 M			High Integrity Pressure Protection System (HIPPS)	N/A	
Min. Draft Aft for propeller full immersion	8.831 M			Ballast Water Treatment	N/A	
Height above Keel - Air Draft	59.834 M			Small HP Pump	N/A	
International G/T	106900			HP Pump	NM065D; GS738LL1-PS10F; X 4 Sets; X 11 Stages; Vertical, Submerged, Pot Mounted; LNG; Pumping Temperature: -164 C; Flow rate: 210 m3/h; Discharge Pressure: 85.5/66.0/36.0 barG; Suction Pressure (Rated/Max): 4.0/2.0 barG; Differential Pressure: 81/64/34.1 barG; Differential Head: 1,225.0 m	
International N/T	33400			LNG Vaporizer	SHINKO; Model: SVS300M2; Fluid: LNG; Capacity (Mass Flow): 12000 kg/h (vapour purge), 23160 kg/h (LNG discharge); Volume (inlet /outlet): 27.3/1317 m3/h (Vapour purge); 53.5/1148 m3/h (LNG discharge); Pressure (inlet /outlet): 3.98/70.187 bar (Vapour purge), 3.98/70.187 bar (LNG discharge); Number of sets: 1	
Suez Canal G/T	111,679.24			LNG Forcing Vaporizer	Dongheu Entec; BXU (TEMA); Capacity (Mass Flow): 2000 kg/h; Pressure (Inlet / outlet): 3.98/70.2 barG; X 1 Set	
Suez Canal N/T	101,645.21			N2 Generator	Air Products As; Membrane Separation; Capacity: 2 x 140 Nm3/h N2 purity 99.5%; Inlet: 10 barg, 40 °C; Outlet: 9.5 barg, 40 °C; Dew point after dryer: -45 °C; Temperature: 45 °C (Max.); Number of sets: 2; Buffer tank: 45 m3 (1 set)	
Suez Canal SCID	-			IG Generator	Alfa Laval Aalborg Nijmegen B.V.; Type: Smit Gas GN 14000 - 0.25; Capacity: 14500 m3/h; Discharge pressure: 0.25 bar; Dew point after dryer: -45 °C (at atm. pressure) X 1 Set	
Light Ship	3.724 M		Ballast Handling	Ballast Pump	SHINKO IND.LTD; GVD500; 2500 m3/h x 3.0 bar X 3 Sets	
Freeboard Deck	Mooring Deck			Small Ballast Pump	SHINKO IND.LTD; SVS200M; 250 m3/h x 3.0 bar X 1 Sets	
Freeboard Depth	12524 mm		Fire Pumps & Water Spray Pump	General Service Pump	SHINKO IND.LTD; RVP200; 240 m3/h x 9.0 bar X 1 Set	
Keelplate Thickness	24 mm			Fire Pump	SHINKO IND.LTD; RVP200; 245 m3/h x 3.5 bar X 1 Set	
Type of Freeboard	A Type			Em' cy Fire Pump	SHINKO IND.LTD; GVD300; 600 m3/h x 8.0 bar X 1 Set	
Cruising Range	7000 nautical miles			Water Spray Pump	SHINKO IND.LTD; RVS100; 1800 m3/h x 9.0 bar X 2 Sets	
Max. Allowable Non-visibility Length	500 M		Lifesaving	Lifeboat Rescue Boat	HILBEADA HEAVYINDUSTRIES; Conventional type; Elec. Hyd. Driven; 48P	
				Lifeboat	HILBEADA HEAVYINDUSTRIES; Conventional type; Elec. Hyd. Driven; 48P	
				Life Raft	VIKING KOREA; Inflatable; throw overboard type 25P X 4 Sets; throw overboard type 6P X 1 Set	
					VIKING KOREA; Inflatable; throw overboard type 6P X 1 Set	
				Lifesaving Capacity	48 Persons	
Deadweight	Summer DWT	90,191 mt	Cabin	Accommodation	46 Cabins	
	Design DWT	85,822 mt				
Displacement	Summer Draft	122,744 mt				
	Design Draft	118,374 mt				
	Normal Ballast	86,485 mt				
Cargo Tank Capacity (excluding dome)	100%	170,435.9 M3				
	98.0%	167,027.1 M3				
	No.1	24,286.8 M3				
	No.2	48,712.6 M3				
	No.3	48,715.0 M3				
	No.4	48,721.5 M3				
	No.5	-				
	Total	No. 1~ No. 4 CT : 170,435.9 M3				
Tank Capacity	Water Ballast	57,192.5 M3				
	F.O. (98%)	-				
	DO/GO (98%)	1,793.1 M3				
	Fresh Water	397 M3				
	Distilled Water	105 M3				

Lampiran 2 (*Muster List*)

TO : BRG, D. C, B, A, ECR, FIRE PLAN (2) – SOPEP – Solas T.M (5) & Fire P.O.B (5) - (TOTAL : 19)

MUSTER LIST

FSRU JAWA SATU 11th March 2025

No.	NAME	RANK	LIFEBOAT STATION	MUSTER TEAM
1	Capt. WALES HENDRA PUTRA	MASTER	STARBOARD	COMMAND TEAM
2	YEPI RIDWAN	CHIEF MATE (A)	STARBOARD	LNG TEAM
3	PURNOMO YUDI PUTRA	CHIEF MATE (B)	PORT	EMERGENCY TEAM I
4	MUHAMAD IRFAN	2nd MATE (A)	STARBOARD	EMERGENCY TEAM I
5	JEFRIYANTO YUSUP	2nd MATE (B)	PORT	BACK UP/ MEDICAL
6	BAYU ADITYA SWADIKA	2nd MATE (C)	PORT	BACK UP/ MEDICAL
7	RYAN SEPTIAN RAFALE	3rd MATE	STARBOARD	COMMAND TEAM
8	RADEN SIGIT HARYANTO	CHIEF ENGINEER	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
9	IBADUR RAHMAN	Sr. 1st ENGINEER	PORT	EMERGENCY TEAM II
10	ANDHIE LESMANA	Jr. 1st ENGINEER (A)	STARBOARD	LNG TEAM
11	NICKHOLAS PARULIAN SILALAHI	Jr. 1st ENGINEER (B)	PORT	LNG TEAM
12	UBAIDILLAH	2nd ENGINEER (A)	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
13	JOSHUA DANIELLO	2nd ENGINEER (B)	PORT	EMERGENCY TEAM II
14	YUANTO SAPUTRA	ELECTRICIAN	PORT	ENGINE ROOM TEAM
15	TRI MARTANTO RIAWAN	3rd ENGINEER	PORT	ENGINE ROOM TEAM
16	ACHMAD BUCHORI	BOATSWAIN	STARBOARD	EMERGENCY TEAM I
17	MUJIANTO	AB SEAMAN (A)	STARBOARD	COMMAND TEAM
18	SYAFEI IBNU KOSIM	AB SEAMAN (B)	STARBOARD	LNG TEAM
19	ULUL NOR ROCHIMAN	AB SEAMAN (C)	STARBOARD	EMERGENCY TEAM I
20	HARJO PRAWIRO	AB SEAMAN (D)	PORT	EMERGENCY TEAM I
21	ULUL AZMI	AB SEAMAN (E)	PORT	EMERGENCY TEAM I
22	AL QARNI	ORDINARY SEAMAN (A)	PORT	EMERGENCY TEAM I
23	MOH. AGUNG PERMANA	ORDINARY SEAMAN (B)	PORT	EMERGENCY TEAM I
24	M. IQBAL REZA	ORDINARY SEAMAN (C)	PORT	EMERGENCY TEAM I
25	RUDI ERNAWANTO	NO. 1 OILER	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
26	NURUL NOVIYANTO	OILER (A)	STARBOARD	ENGINE ROOM TEAM
27	SUGENG RIYADI	OILER (B)	STARBOARD	LNG TEAM
28	TINTUS ARISMUNANDAR	OILER (C)	PORT	EMERGENCY TEAM II
29	ADAM ADNAN	OILER (D)	PORT	EMERGENCY TEAM II
30	SUGIYANTO	OILER (E)	PORT	EMERGENCY TEAM II
31	RAMDHANI HARDIANANTA	WIPER (A)	PORT	EMERGENCY TEAM II
32	M. SYARIP HIDAYATULLOH	WIPER (B)	PORT	EMERGENCY TEAM II
33	GEMA AKBAR	CHIEF COOK	STARBOARD	BACK UP/ MEDICAL
34	ISMAIL YUDI SALIKIN	COOK (A)	STARBOARD	BACK UP/ MEDICAL
35	CECEP SUPRIYATNA	COOK (B)	PORT	BACK UP/ MEDICAL
36	M. SUBHAN LIAN ASSIDIQ	MESSMAN (A)	STARBOARD	BACK UP/ MEDICAL
37	WAHYU TRI SYACHBANI	MESSMAN (B)	PORT	BACK UP/ MEDICAL
38	FARSYA CAHYANDA	DECK CADET	STARBOARD	COMMAND TEAM
39	MOCHAMAD HILDANSYAH PUTRA D	ENGINE CADET	PORT	ENGINE ROOM TEAM

TOTAL				
	COMMAND TEAM	4 MEMBER	STARBOARD SIDE LIFEBOAT (NO.1) = 18 PERSONS	PORT SIDE LIFEBOAT (NO.2) = 21 PERSONS
	LNG TEAM	5 MEMBER		
	ENGINE ROOM TEAM	7 MEMBER		
	EMERGENCY TEAM I	9 MEMBER		
	EMERGENCY TEAM II	7 MEMBER		
	MEDICAL/ BACK UP TEAM	7 MEMBER		

TOTAL 39 PERSONS INCLUDING MASTER

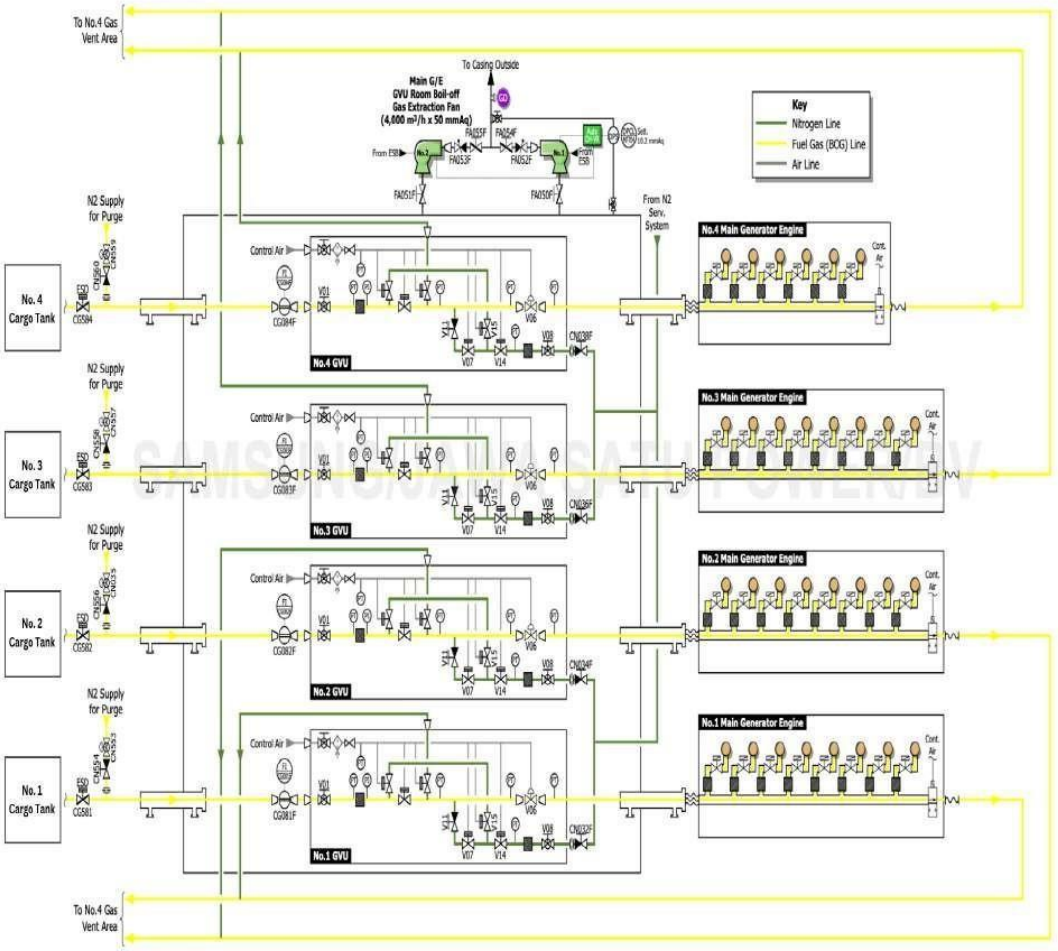
- ALL CREWS MUSTER TO EACH MUSTER STATION AS SOON AS POSSIBLE AFTER HEARD GENERAL ALARM AND TAKE A ROLL CALL. - 2nd OFFICER IN CHARGE OF DISTRESS COMMUNICATION.
- LIFEBOAT STARBOARD: NO.1 , PORT: NO.2
- SUPERNUMERARY AND PASSENGER SHALL MUSTER AT THE BRIDGE
- EACH CREW LIFEBOAT STATION, MUSTER TEAM, DUTY, AND CARRYING EFFECTS WILL BE SAME DURING HIS CONTRACT IN SAME RANK

PT. HUDAYA LNG INDONESIA FSRU PT. JAWA SATU REGAS FSRU JAWA SATU

Capt. WALES HENDRA PUTRA
MASTER OF JAWA SATU

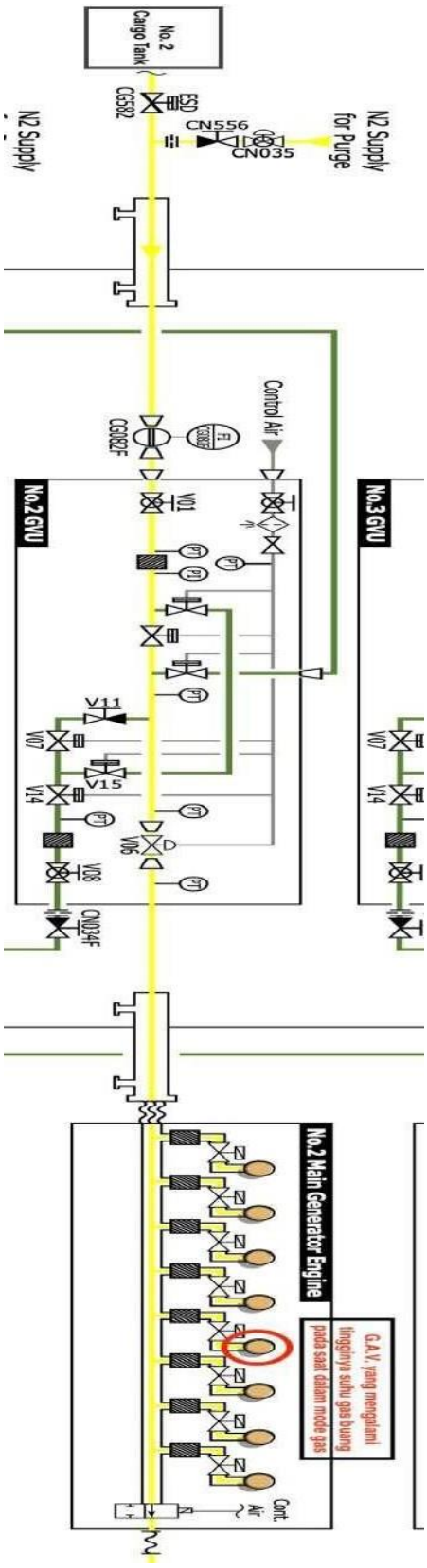
Lampiran 3 (*Piping Diagram Gas Methane* Sebagai Bahan Bakar)

Illustration 4.5a Main Engine Fuel Gas System



CONFIDENTIAL: This document is a property of SHI and must not be copied, shown, or given to a THIRD PARTY without the consent of SHI. The unauthorized use or disclosure of this material will result in civil or criminal liabilities.

Lampiran 4 (Letak Permasalahan Pada Diagram)



Lampiran 5 (Ruang Bakar DFDE)

4.3 Cross section of the engine

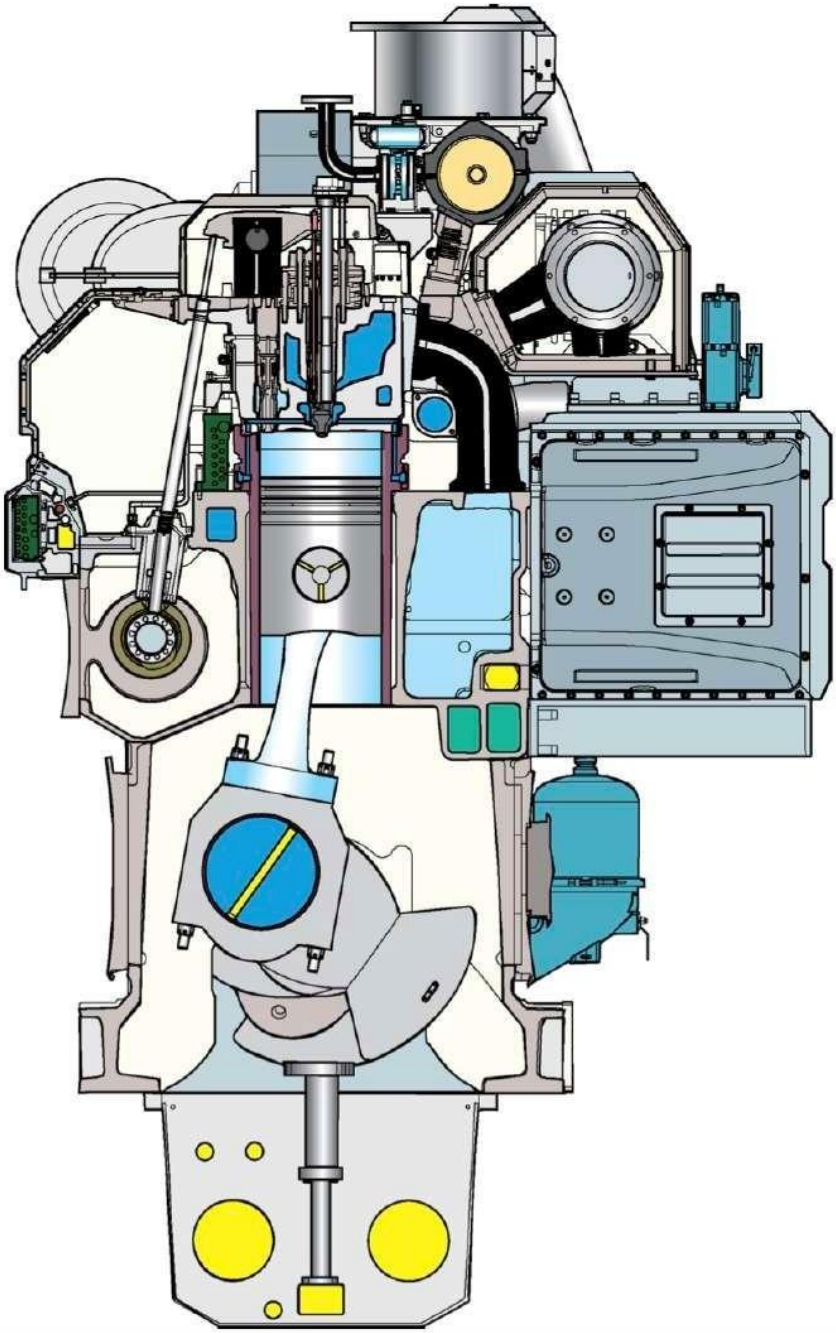
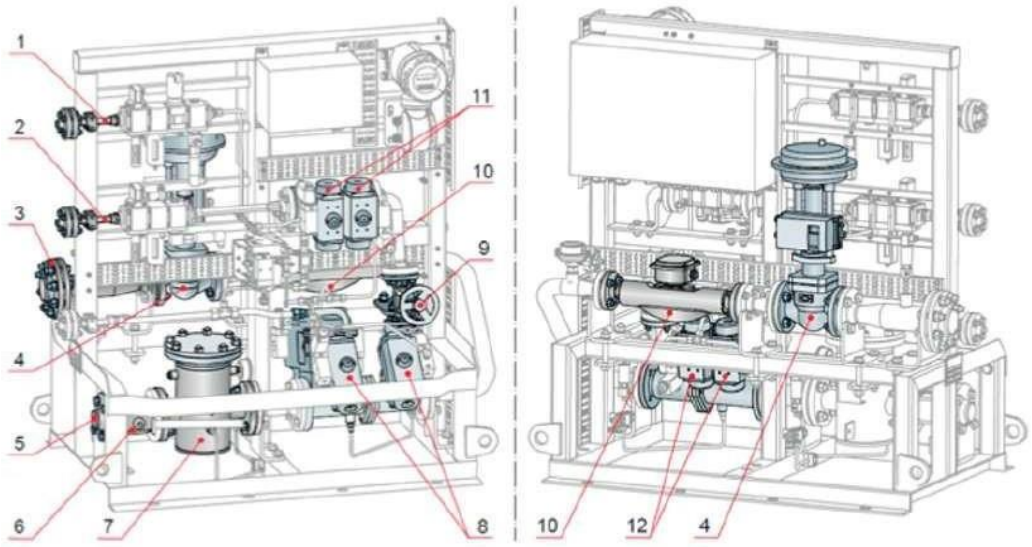


Fig 4-2 Cross section of the in-line engine

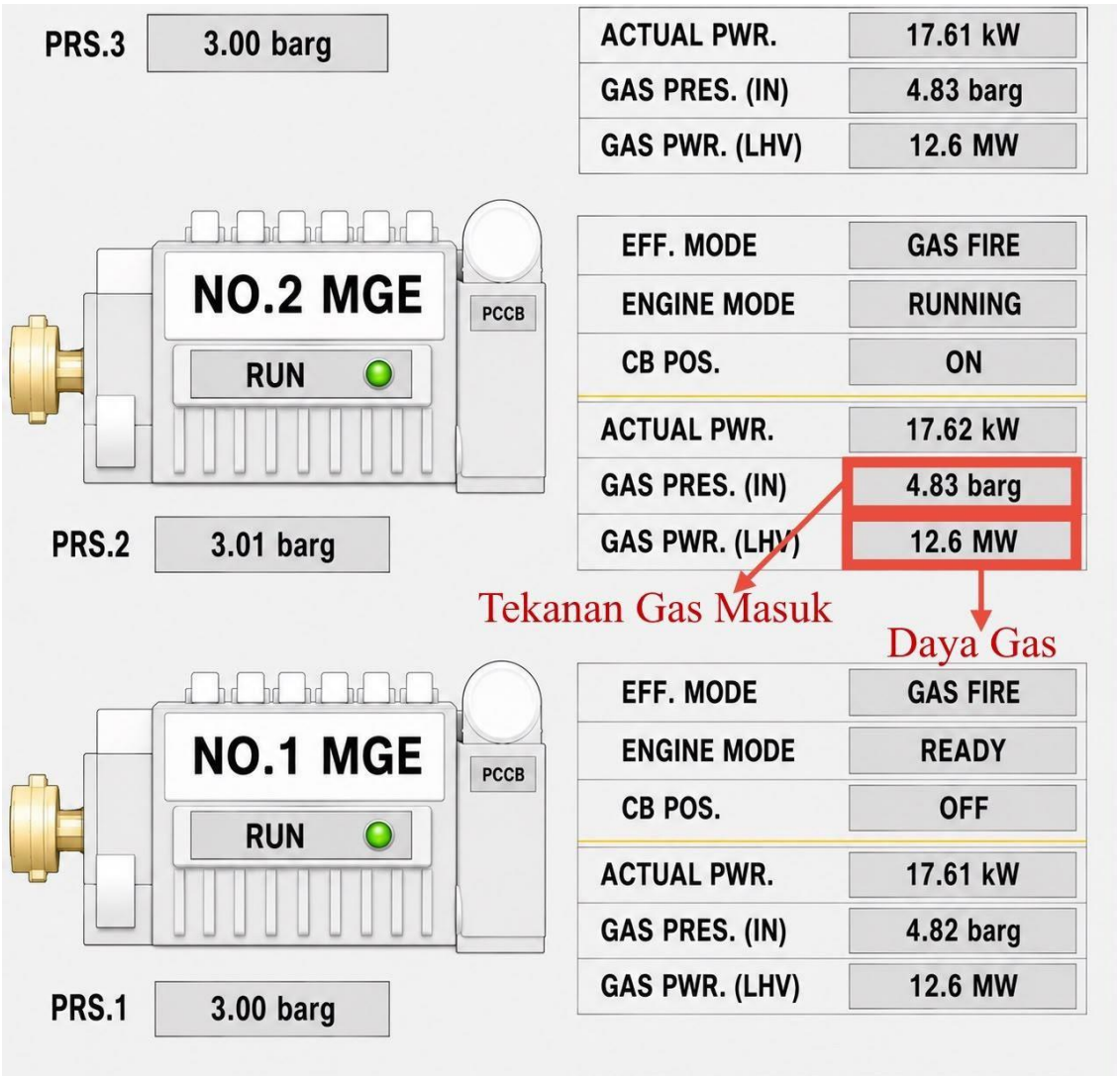
Lampiran 6 (Ruang Bakar DFDE)



<Gas Valve Unit Main Components>

1	Instrument air inlet
2	Nitrogen inlet
3	Gas outlet
4	Gas pressure regulating valve
5	Gas inlet
6	Fuel gas shut-off valve
7	Fuel gas filter
8	Automatic shut-off valves
9	Closable non-return valve
10	Flow meter
11	Automatic inert gas double-block and bleed valves
12	Automatic venting valves

Lampiran 7 (Parameter Operasional Generator DFDE No. 2)



Lampiran 8 (*Crew* Kapal FSRU Jawa Satu)



Lampiran 9 (Wawancara Dengan *Engineer*)
Tempat : *Engine Control Room* FSRU Jawa Satu

Narasumber : Ibadur Rahman (1st *Engineer*)

Pewawancara : Mochamad Hildansyah Putra Dermawan (*Engine Cadet*)

Topik 1 : Tingginya Temperatur Gas Buang Pada Mode Gas

E/C:
Menurut Bass, apa penyebab utama tingginya temperatur gas buang ketika generator DFDE beroperasi pada mode gas?

1/E:
Berdasarkan pengalaman operasional di kapal, penyebab utama yang paling sering ditemukan adalah *Gas Admission Valve* (GAV) yang tidak bekerja secara optimal. Ketika GAV tidak membuka sesuai perintah sistem kontrol, jumlah gas yang masuk ke silinder menjadi tidak merata sehingga proses pembakaran menjadi tidak sempurna dan temperatur gas buang meningkat.

E/C:
Apakah tekanan gas metana juga berpengaruh terhadap temperatur gas buang?

1/E:
Ya, tekanan gas yang rendah dapat menyebabkan suplai bahan bakar menuju silinder berkurang. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar menjadi tidak ideal sehingga proses pembakaran tidak stabil dan temperatur gas buang cenderung meningkat.

E/C:
Bagaimana cara mengetahui bahwa GAV mengalami gangguan?

1/E:
Biasanya terlihat dari perbedaan temperatur gas buang antar silinder, alarm pada sistem WECS, serta adanya ketidakstabilan beban generator saat beroperasi dalam mode gas.

E/C:
Apa tindakan yang biasanya dilakukan untuk mengatasi kondisi tersebut?

1/E:
Dilakukan pemeriksaan kondisi *actuator*, *solenoid valve*, *seal*, dan respon pembukaan GAV. Jika diperlukan dilakukan *overhaul* atau penggantian komponen sesuai rekomendasi PMS dan manual pabrikan.

Topik 2 : Rendahnya Suhu dan Tekanan Gas Metana Sebelum Memasuki GVU

E/C:
Menurut Bass, apa penyebab utama rendahnya suhu dan tekanan gas metana sebelum memasuki *Gas Valve Unit* (GVU)?

1/E:
Penyebab utama yang sering ditemukan adalah kinerja *Low Duty Compressor* (LDC) yang tidak optimal. LDC berfungsi meningkatkan tekanan *vapour gas* sebelum dialirkan ke sistem bahan bakar generator. Jika performanya menurun, tekanan gas yang masuk ke GVU juga akan menurun.

E/C:
Selain LDC, apakah terdapat faktor lain yang mempengaruhi kondisi tersebut?

1/E:
Ada. Kondisi *vapour gas* yang tidak stabil juga dapat menyebabkan fluktuasi tekanan dan suhu gas. Hal ini biasanya dipengaruhi oleh proses evaporasi LNG dan distribusi *vapour gas* ke generator maupun *Gas Combustion Unit* (GCU).

E/C:
Apa dampaknya apabila suhu dan tekanan gas sebelum GVU terlalu rendah?

1/E:
Generator dapat mengalami kesulitan mempertahankan operasi pada mode gas. Bahkan pada kondisi tertentu sistem akan melakukan transfer otomatis ke *diesel mode* untuk menjaga keselamatan operasi mesin.

E/C:
Bagaimana upaya yang dilakukan untuk menjaga tekanan dan suhu gas tetap stabil?

1/E:
Melakukan pemeriksaan dan perawatan berkala terhadap LDC, memonitor tekanan *vapour gas* secara kontinu, serta mengatur distribusi gas antara generator DFDE dan GCU agar tetap seimbang.

UNIT PERPUSTAKAAN OTIP JAKARTA DAN DOKUMENTASI
12/6/24

Perpustakaan STIP Jakarta

Turnitin_OPTIMALISASI PEMANFAATAN DUAL FUEL DIESEL ENGINE GENERATOR SEBAGAI PENGGERAK UTAMA PADA FS...

Turnitin Library 1

Document Details

Submission ID
trn:oid:::3618:143490752

Submission Date
Jun 18, 2026, 4:10 PM GMT+7

Download Date
Jun 18, 2026, 4:12 PM GMT+7

File Name
OPTIMALISASI PEMANFAATAN DUAL FUEL DIESEL ENGINE GENERATOR SEBAGAI PENGGERAK UTA__.pdf

File Size
1.9 MB

62 Pages

15,543 Words

94,801 Characters

Dipindai dengan CamScanner

UNIT PERPUSTAKAAN UTID JAKARTA DAN DOKUMENTASI

5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Small Matches (less than 8 words)

Exclusions

- 2 Excluded Sources

Top Sources

4% Internet sources
1% Publications
4% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dipindai dengan CamScanner