KEMENTERIAN PERHUBUNGAN

BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

SKRIPSI

ANALISIS TURUNNYA KINERJA GENERATOR UTAMA *DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC* PADA LNG/C TANGGUH PALUNG LNG/C TANGGUH PALUNG

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Penyelesaian Program Pendidikan Diploma IV

Oleh :

ALDE NUGRAHA

NRP: 5 60 17 9295

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV
JAKARTA
2022

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN

BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama	**: ALDE NUGRAHA**
NRP	**: 5 60 17 9295**
Program Pendidikan	**: TEKNIKA**
Judul	**: ANALISIS TURUNNYA KINERJA GENERATOR UTAMA DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC PADA LNG/C TANGGUH PALUNG LNG/C TANGGUH PALUNG**

Jakarta, 17 Februari 2022

Pembimbing I	**Pembimbing II**
PANDERAJA S. SIJABAT, S.KOM.,M.M.TR.	**MOHAMAD RIDWAN, S.SI.T.,M.M**
NIP. 19730116 199803 1 001	**NIP. 19780707 200912 1 005**

Mengetahui

Ketua Program Studi TEKNIKA

DIAH ZAKIAH,ST.,MT.
NIP.197905172006042015

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN

BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

TANDA PENGESAHAN SKRIPSI

Nama	**: ALDE NUGRAHA**
NRP	**: 5 60 17 9295**
Program Pendidikan	**: TEKNIKA**
Judul	**: ANALISIS TURUNNYA KINERJA GENERATOR UTAMA DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC PADA LNG/C TANGGUH PALUNG LNG/C TANGGUH PALUNG**

Penguji I	**Penguji II**	**Penguji III**
MARKUS YANDO, S.SI.T.	**EFFENDI, A.Md., S.T.**	**MOHAMAD RIDWAN, S.SI.T., M.M**
NIP. 19800605 200812 1 001	**NIP. 19581010 198411 1 001**	**NIP. 19780707 200912 1 005**

Mengetahui :

Ketua Program Studi Teknika

DIAH ZAKIAH, S.T.,M.T.

NIP. 19790517 200604 2 015

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta diiringi doa orang tua, keluarga, dan teman-teman tersayang sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan program Diploma IV yang diselenggarakan di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta, penulis membuat skripsi dengan judul :

“ ANALISIS TURUNNYA KINERJA GENERATOR UTAMA DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC PADA LNG/C TANGGUH PALUNG“

Adapun maksud dan tujuan penulisan skripsi ini guna memenuhi dan melengkapi tugas yang diberikan kepada penulis, sebagai suatu sarana pelatihan untuk menambah wawasan pengetahuan penulis akan ruang pengetahuan yang penulis dalami serta untuk meraih ijazah program pendidikan Diploma IV yang diselenggarakan oleh Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran (STIP) Jakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini didasarkan atas pengalaman yang diperoleh penulis selama menjalankan praktik kerja nyata di LNG Carrier Tangguh Palung dan dipandu oleh materi-materi yang diperoleh selama mengikuti pendidikan dari beberapa buku referensi yang berhubungan dengan masalah yang dibahas dalam penulisan skripsiini. Rasa terima kasih dari lubuk hati yang paling dalam teruntuk kedua orangtua saya atas doa serta dukungan yang selalu mengiringi penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Untuk itu dengan segala kerendahan hati pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya atas segala bantuan serta bimbingan kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT yang selalu memberikan kemudahan dan hidayahnya kepada penulis sehingga dapat melaksanakan serta mencapai pada titik sekarang ini.
2. Bapak dan Ibu tersayang Muchtar Syafei dan Etty Suryati yang telah mendidik dan merawat dengan kasih sayangnya, serta tidak ada hentinya mendoakan agar penulisan skripsi dalam diselesaikan tepat waktu.

3. Jezzalita Fakhrana selaku teman hidup selama ini yang juga sangat membantu dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Capt. Sudiono, M.Mar selaku Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
5. Ibu Diah Zakiah,ST, MT, selaku Ketua Jurusan TEKNIKA.
6. Bapak Panderaja S. Sijabat,S.KOM.,M.M.TR, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan waktu untuk membimbing materi skripsi ini.
7. Bapak Mohamad Ridwan,S.SI.T.,M.M, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan waktu untuk membimbing penulisan skripsi ini.
8. Seluruh staf pengajar TEKNIKA Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta .
9. Seluruh crew di atas kapal LNG/C TANGGUH PALUNG atas bimbingan selama penelitian dan pengumpulan data guna penyusunan skripsi ini.
10. Teman-teman angkatan 60 seperjuangan, susah dan senang bersama selama diasrama maupun di luar asrama.
11. Seluruh teman-teman jurusan TEKNIKA yang selalu memberikan motivasi dan berbagi pengalaman dalam penulisan skripsi ini.
12. Teman dan sahabat terdekat yang juga selalu memberikan dukungan dan memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.

Akhirnya penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini jauh dari sempurna dan masih terdapat kekurangan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak guna menambah wawasan ilmu yang berguna nantinya bagi penulis dan juga para pembaca dimasa yang akan datang.

Jakarta, Februari 2022

Penulis,

ALDE NUGRAHA

NRP. 5 60 17 9295

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI i
TANDA PENGESAHAN SKRIPSI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR ISTILAH x
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
A. LATAR BELAKANG 1
B. IDENTIFIKASI MASALAH 3
C. BATASAN MASALAH 4
D. RUMUSAN MASALAH 4
E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN 4
F. SISTEMATIKA PENULISAN 5
BAB II LANDASAN TEORI 8
A. TINJAUAN PUSTAKA 8
B. KERANGKA PEMIKIRAN 35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 38
A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN 38
B. METODE PENDEKATAN DAN TEKNIK PENGUMPULAN DATA 39
C. SUBJEK PENELITIAN 42
D. TEKNIK ANALISIS DATA 43
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 44
A. DESKRIPSI DATA 44
B. ANALISIS DATA 46
C. ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH 53
D. EVALUASI TERHADAP ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH 54

E. PEMECAHAN MASALAH YANG DIPILIH 57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 60
A. KESIMPULAN 60
B. SARAN 61
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang *duel fuel diesel electric v type* 11
Gambar 2.2 Proses pembakaran *diesel mode* 12
Gambar 2.3 Proses pembakaran gas mode 13
Gambar 2.4 Titik api LNG dan komposisi dengan udara 17
Gambar 2.5 Sket GAV 20
Gambar 2.6 Cara kerja *Gas Admission valve* 24
Gambar 2.7 *Gas admission valve* 27
Gambar 2.8 Sistem *wartaila electroic control system 8000(WECS 8000)* 28
Gambar 2.9 *Cylinder control module (CCM)* 30

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sinonim untuk gas cair utama 15
Tabel 2.2 Proses produksi gas kimia 15
Tabel 2.3 Sifat LNG 18
Tabel 2.4 Rendahnya suhu dan tekanan LNG sebelum masjk ke generator utama... 34
Tabel 2.5 Rendahnya suhu gas buang pada mesin generator utama saat dalam mode gas 35

DAFTAR ISTILAH

Liquified Natural Gas : Gas yang komposisinya kurang lebih 90% methane, methane tersebut dicairkan demi memudahkan proses pemindahan dan penyimpanan di atas kapal.

Evaporasi : Evaporasi adalah suatu proses perubahan bentuk suatu z a t dari bentuk cairnya ke bentuk gasnya.

Vapour Gas : Vapor gas adalah suatu hasil dari proses evaporasi muatan LNG yang komposisi utamanya adalah methane. Vapuor gas tersebut akan dibakar di G.C.U atau di D.F.D.E. Sehingga tekanan berlebih pada tangki muatan dapat dihindari, danjuga demi menunjang efisiensi bahan bakar di atas kapal.

Boil-off gas : Tidak sempurnanya insulasi suhu pada tangki LNG menyebabkan panas yang merambat pada tangki dan perlahan mepengaruhi muatan, sehingga terjadinya evaporasi pada muatan yang mengakibatkan terbentuknya *boil-off gas*. *Boil-off gas* ini membuat volume tangki yang membesar sehingga diperlukan manajemen gas untuk mengatur tekanan dalam tangki muatan .

Methane (CH_4) : Methane adalah suatu jenis gas hidrokarbon yang merupakan kandungan utama dalam vapour gas, sifatnya tidak berbau dan tidak beracun. Methane merupakan bahan bakar alternatif terbaik saat ini karena dapat menghasilkan energi panas lebih besar dari gas hidrokarbon lainnya. Selain itu methane lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak karena kadar karbon dioksida yang dikandung dalam gas buang jumlahnya lebih sedikit daripada bahan bakar minyak.

Gas Combustion Unit : Merupakan suatu permesinan yang berfungsi untuk membakar vapour gas yang tidak terpakai sebagai bahan bakar di generator induk. Tujuan dari GCU adalah menghindari tekananberlebih terjadi di dalam tangki muatan

Low Duty Compressor: Suatu permesinan yang berfungsi untuk menekan dan menyediakan vapour gas yang akan digunakan pada generator induk maupun dibakar secara percuma di G.C.U. L.D compressor memiliki 2 tipe kecepatan yaitu High mode dan Low mode. Pada saat berpindah ke tipe high mode. Suhu pemasukan dari gas methane harus -130^0 C

Pre-Cooler : Merupakan suatu permesinan yang berfungsi untuk menurunkan suhu dari vapour gas sebelum memasuki L.D compressor. Dengan cara menggunakan medium L.N.G itu sendiri.

Gas Heater : Merupakan suatu permesinan yang digunakan untuk memanaskan vapour gas pada saat suhunya terlalu rendah. Dengan menggunakan medium uap bertekanan 1 Mpa, gas heater akan memanaskan vapor gas yang akan menuju area kamar mesin, sehingga kerusakan structural pada permesinan dapat dihindari

Gas Valve Unit Room : Merupakan suatu ruangan sistem katup yang ditempatkan sebelum permesinan yang akan menggunakan vapour gas sebagai bahan bakarnya. Di ruangan ini, tekanan dan suhu dari vapour gas tersebut akan diatur sedemikian rupa sesuai dengan kriteria mesin yang menggunakan vapor gas sebagai bahan bakarnya

D.F.D.E : *Dual Fuel Diesel Electric (DFDE)* atau generator utama merupakan suatu permesinan yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik di atas kapal. Energi listrik tersebut akan digunakan sebagai sumber tenaga untuk akomodasi dan juga sistem penggerak utama kapal. DFDE dapat menggunakan dua tipe bahan bakar yaitu Marine Gas Oil sebagai bahan bakar pilot, dan juga vapour gas sebagai bahan bakar utamanya

G.A.V : Gas Admission Valve adalah suatu katup yang berfungsi untuk mengatur jumlah pemasukan vapour gas pada tiap

silinder generator induk. Gas admission valve dikendalikan oleh suatu sistem komputerisasi yang dilokasikan di sisi-sisi generator induk

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sistem perpipaan LNG dari tangki muatan menuju ke kamar mesin

Lampiran 2 Sistem bahan bakar gas pada *dual fuel diesel electric (DFDE).*

Lampiran 3 Sistem bahan bakar MGO pada *dual fuel diesel electric (DFDE)*

Lampiran 4 Gambar penemuan penyebab tingginya suhu gas buang akibat kerusakan pada GAV

Lampiran 5 *Cylinder Control Module (CCM)*

Lampiran 6 *Gas Combustion Unit (GCU) System.*

Lampiran 7 Spesifikasi data dari mesin generator utama *dual fuel diese electric (DFDE*

BAB I
PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pada abad ke-20 ini pertumbuhan transportasi laut berkembang pesat sejalan dengan kemajuan teknologi. Mengingat bahwa sektor transportasi laut merupakan salah satu penyumbang polutan yang ada pada saat ini sehingga penggunan sumber energi dengan efisiensi *thermal* yang lebih baik dan pembakaran yang tidak berdampak buruk terhadap lingkungan sangat dibutuhkan dalam era modern. Sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan oleh IMO dalam aturan *Marine Polution (Marpol) Annex* VI Regulasi 14 yang mengatur tentang larangan kapal untuk menggunakan bahan bakar dengan kandungan sulfur lebih tinggi dari 0,5% .

Kebutuhan akan adanya bahan bakar alternatif pada industri perkapalan merupakan suatu pemikiran penting guna menunjang efisiensi industri perkapalan. *Liquid Natural Gas (LNG)* saat ini mulai dikembangkan pemerintah sebagai bahan bakar kendaraan dan industri ramah lingkungan, selain masih banyak ketersediaannya, bahan bakar gas juga dinilai efektif untuk pembakaran. Gas *methane* merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang paling dominan pada saat ini. Dengan pengunaan gas *methane* sebagai sumber energi hanya membutuhkan jumlah yang lebih sedikit untuk dapat menimbulkan titik api dalam proses pembakaran yang lebih efisien. Tentunya hal ini merupakan langkah yang hemat dan praktis, dikarenakan selain dapat menggantikan bakan bakar minyak yang persediaannya semakin terbatas, bahan bakar ini juga dapat menghemat pengeluaran perusahaan, yaitu penekanan terhadap biaya penyediaan bahan bakar untuk kebutuhan energi sebagai sumber tenaga penggerak di atas kapal.

Dalam pengoperasian kapal LNG, *Boil-off Gas* (BOG) terbentuk sebagai akibat dari perpindahan *kalor* melalui insulasi tangki LNG. Pada kapal LNG tertentu

dilengkapi dengan *re-liquifaction unit* yang berfungsi untuk merubah kembali BOG menjadi LNG atau dapat juga dimanfaatkan untuk keperluan bahan bakar pada sistem pembangkit daya. Penanganan BOG akan menjadi sangat penting dikarenakan dapat meningkatkan efisiensi operasional kapal, namun juga sebaliknya dapat menimbulkan kerugian secara ekonomi jika tidak dilakukan dengan tepat.

Pada kapal LNG/C Tangguh Palung tempat penulis menjalani praktik laut dilengkapi dengan mesin generator utama yang memanfaatkan *Boil-off Gas* (BOG) sebagai bahan bakar, yaitu Wartsila *dual fuel diesel electric* 12V50DF yang memakai bahanbakar *Marine Gas Oil* (MGO) dan bahan bakar gas *methane/ Liquified Natural Gas (LNG)*. Bahan bakar utamanya adalah LNG yang dikompresikan bersama udara dengan penyalaan menggunakan sedikit bahan bakar *Marine Gas Oil* (MGO) sebagai pematik awal. *Boil-off Gas* (BOG) yang dihasilkan, dihisap dan dialirkan oleh *compressor* yang disebut *Low Duty Compressor* (kompresor tekanan rendah) dari tangki muatan ke mesin generator utama di kamar mesin. Sebelum LNG disuplai ke mesin generator utama, LNG diatur tekanannya dengan *gas valve unit* (GVU). Dalam pendistribusian bahan bakar dari GVU menuju ke mesin generator utama LNG disuplai melewati pipa utama gas berlanjut ke pipa gas masing-masing silinder. Setiap silinder terdapat *gas admission valve* yang mengatur jumlah LNG yang masuk ke dalam silinder bersama udara pada saat langkah hisap. Setelah campuran udara dan LNG masuk ke dalam silinder pada akhir langkah kompresi diinjeksikan sedikit bahan bakar MGO yang bertekanan untuk mengawali pembakaran.

Peranan mesin diesel DFDE di kapal penulis sangat vital, selain digunakan untuk menggerakan generator sebagai sumber listrik di kapal, mesin diesel DFDE juga berperan sebagai penghasil sumber listrik untuk menggerakkan kapal melalui motor listrik penggerak utama kapal (*main electric propulsion motor).* Motor listrik yang digunakan dikapal sebagai penggerak utama kapal merupakan motor listrik bertegangan tinggi. Motor listrik itu disebut *Propulsion Motor* (PM). *Propulsion Motor* bertugas untuk memberikan putaran kepada *Reduction Gear* untuk memutar *shaft* baling-baling.

Mesin generator utama memiliki tiga mode operasi bahan bakar saat beroperasi yaitu, diesel mode , gas mode dan *backup mode*. Diesel mode adalah mode yang

digunkan pada saat awal pengoperasian Mesin Generator DFDE sampai pada beban 40%. Gas mode merupakan mode yang lazim digunakan saat mesin sudah beroperasi dimulai pada beban mesin diatas 40% sampai dengan 100%, sedangkan *backup mode* bekerja pada saat mesin generator dalam keadaan bermasalah. Ketika dalam perjalanan baik saat menggunakan gas mode atau diesel mode apabila terjadisuatu masalah maka Mesin Generator DFDE akan beralih ke *backup mode*. Dalam *backup mode* ini mesin generator utama akan dengan sendirinya mengganti bahan bakar beralih menggunakan *Marine Gas Oil* (MGO).

Di kapal tempat penulis melakukan praktik, mesin generator utama sering kali mengalami beberapa masalah dalam pembakaran yang mengakibatkan mesin generator utama beralih pada *backup mode*, antara lain terjadinya trip pada mesin generator utama ketika menggunakan LNG sebagai bahan bakarnya, tingginya gas buang pada saat dalam mode gas, rendahnya suhu dan tekanan LNG sebelum masuk ke mesin generator utama, terjadinya detonasi/*knocking* pada tiap silinder pada saat mesin generator utama menggunakan LNG sebagai bahan bakarnya, kurangnya pemahaman dalam penyediaan bahan bakar LNG dari proses evaporasi muatan sampai ke area kamar mesin. Hal ini menyebabkan terganggunya proses operasional kapal saat berlayar. Melihat betapa pentingnya mesin generator utama *dual fuel diesel electric* di kapal penulis, maka dalam skripsi ini penulis mengangkat judul.

"ANALISIS TURUNNYA KINERJA GENERATOR UTAMA DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC PADA LNG/C TANGGUH PALUNG"

B. IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan untuk menyusun identifikasi masalah, maka pokok permasalahan yang menyebabkan turunnya kinerja pada mesin generator utama adalah:

1) Terjadinya trip pada saat perpindahan bahan bakar dari *marine gas oil* (MGO) ke LNG.
2) Tingginya suhu gas buang generator utama pada saat menggunakan LNG sebagai bahan bakarnya.
3) Terjadinya detonasi di setiap silinder pada saat generator utama menggunakan LNG sebagai bahan bakarnya.

C. BATASAN MASALAH

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah ditemukan berkaitan dengan turunnya kinerja pada mesin generator dan latar belakang diatas, penulis membatasi ruang lingkup masalah sebagai berikut:

1) Trip yang terjadi saat perpindahan bahan bakar.
2) Tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.

D. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, penulis merumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1) Apa yang menyebabkan generator trip pada saat penggantian bahan bakar?
2) Apa penyebab tingginya suhu gas buang pada saat mesin generator utama menggunakan LNG sebagai bahan bakar utama?

E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

1) Tujuan Penelitian

   Tujuan yang hendak dicapai oleh penulis dalam melakukan penelitian ini yaitu:

   1. Untuk mengetahui factor-faktor yang menyebabkan generator trip pada saat diganti bahan bakarnya dari MGO ke LNG?
   2. Untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan tingginya suhu gas buang pada saat generator utama menggunakan LNG sebagai bahan bakar utama.

2) Manfaat Penelitian

   Manfaat dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat secara teoritis dan praktis.

   a. Manfaat Teoritis

      Penelitian ini merupakan kesempatan bagi peneliti selanjutnya untuk menerapkan, menguji, maupun mengembangkan teori-teori dalam pemecahan masalah yang terjadi pada mesin generator utama *Wartsila dual fuel diesel electric* 12V50DF.

b. Manfaat Praktis

1. Bagi Masinis Kapal

   Menambah pengetahuan bagi para masinis kapal dalam perawatan dan perbaikan permesinan.

2. Bagi Taruna

   Menambah wawasan dan pengetahuan bagi pembaca khususnya taruna Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran tentang generator utama *dual fuel diesel electric.*

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk memudahkan dalam penyusunan skripsi ini, maka penulis membagi penulisan ini dalam beberapa bab dan sub bab antara lain:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisi tentang latar belakang masalah yang berkaitan tentang terjadinya kerusakan pada sistem di generator utama kapal LNG/C Tangguh Palung. Identifikasi masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian dan sistematika dijabarkan singkat.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang mendasari permasalahan dalam skripsi ini yaitu mengenai pemecahan masalah pada generator utama *dual fuel diesel electric*. Berisikan tentang hal-hal yang bersifat teoritis yang dapat digunakan sebagai landasan berpikir guna mendukung uraian, memperjelas dalam menganalisa data yang didapat, serta keterangan dari istilah-istilah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang diagram alur penelitian, metode penelitian, subyek penelitian, variabel penelitian dan teknik pengumpulan data yang bertempatkan di LNG/C Tangguh Palung dan berisi tentang *ship particular* dan juga spesifikasi mesin yang dibahas.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang analisis dan pembahasan penulis tentang apa saja yang sudah dilakukan penulis dan juga *crew* kapal LNG/C Tangguh Palung dalam upaya pemecahan masalah.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini adalah bagian penutup dari skripsi, yang berisi tentang kesimpulan dan saran penulis dari hasil analisis.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II
LANDASAN TEORI

A. TINJAUAN PUSTAKA

Pada sub ini penulis akan menjelaskan beberapa teori penunjang yang diambil dari berbagai kepustakaan tentang gambaran umum mesin generator utama jenis DFDE yang merupakan objek penelitian.

1. Pengertian

a. Analisis

Menurut Sugiono (2015), Analisis adalah kegiatan untuk mencari pola, atau cara berpikir yang berkaitan dengan pengujian secara sistematis terhadap sesuatu untuk menentukan bagian, hubungan antar bagian, serta hubungannya dengan keseluruhan. Analisis berfungsi untuk menguraikan sesuatu menjadi komponen-komponen kecil yang diketahui hubungan-hubungannya. Kemudian uraian komponen tersebut dapat lebih mudah dipahami, baik setiap bagiannya maupun secara keseluruhan.

b. Kinerja

Kinerja berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah kemampuan kerja (tentang peralatan).

Pengertian kinerja menurut para ahli adalah:

1) Menurut Wibowo (2008: 7), kinerja berasal dari pengertian *performance*, yaitu sebagai hasil kerja atau prestasi kerja. Kinerja adalah tentang melakukan pekerjaan dan hasil yang dicapai dari pekerjaan tersebut.

2) Selain itu, menurut Amstrong dan Baron dalam Wibowo, (2008: 7), kinerja merupakan hasil pekerjaan yang mempunyai hubungan kuat dengan tujuan strategis organisasi, kepuasan konsumen, dan memberikan kontribusi pada ekonomi.

3) Sedangkan menurut Mahsun (2006: 25), kinerja *(performance)* adalah gambaran mengenai tingkat pencapaian pelaksanaan suatu kegiatan/ program/ kebijakan dalam mewujudkan sasaran, tujuan, misi, dan visi organisasi yang tertuang dalam *strategic planning* suatu organisasi. Istilah kinerja sering digunakan untuk menyebut prestasi atau tingkat keberhasilan individu maupun kelompok individu. Kinerja bisa diketahui hanya jika individu atau kelompok individu mempunyai kriteria keberhasilan yang telah ditetapkan. Kriteria keberhasilan ini berupa tujuan-tujuan atau target-target tertentu yang hendak dicapai.

4) Menurut Tika (2006: 212-122), kinerja adalah hasil-hasil fungsi pekerjaan atau kegiatan seseorang atau kelompok dalam suatu organisasi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor untuk mencapai tujuan organisasi dalam periode tertentu. Fungsi kegiatan atau pekerjaan yang dimaksud di sini adalah pelaksanaan hasil pekerjaan atau kegiatan seseorang atau kelompok yang menjadi wewenang dan tanggung jawabnya dalam suatu organisasi.

2. Pengertian Mesin Generator *Dual Fuel Diesel Electric*

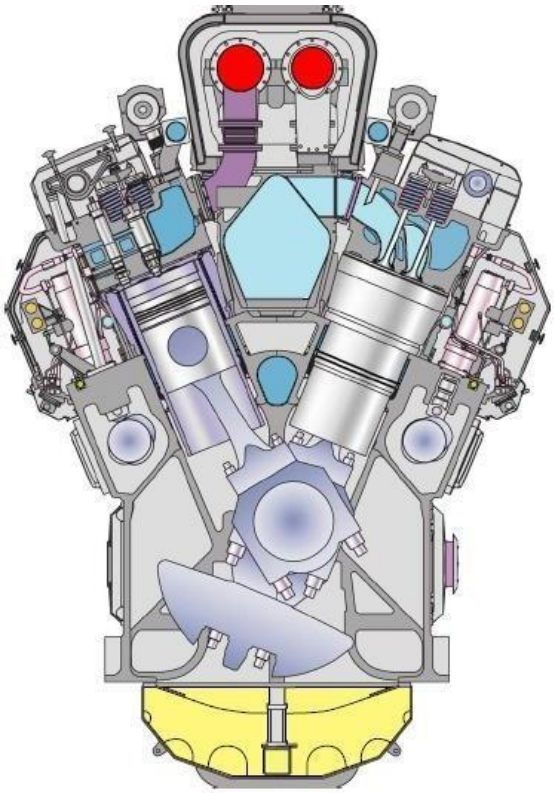
Menurut Janne Kosoma, (2002; 8) *The DF- electric LNG carrier concept*, *wartsila dual fuel diesel electric* adalah mesin 4 tak yang dapat dioperasikan sebagai alternatif di mode gas atau mode bahan bakar cairan *diesel*. Di gas mode ini berjalan sebagai mesin *learn-burn* sesuai dengan *otto cycle*. Penyalaan dimulai dengan menginjeksikan sedikit minyak diesel (*pilot fuel*), memberikan sumber penyalaan yang tinggi untuk bahan bakar utama gas pada silinder. Sistem injeksi *mikro pilot* mempergunakan kurang dari 1% nominal input daya bahan bakar. Di bahan bakar *diesel mode* mesin ini bekerja seperti mesin diesel biasanya, menggunakan sistem pompa injeksi bahan bakar. Perpindahan mode bahan bakar tanpa merubah daya mesin. Adapun menurut Scott Jensen dalam (*Energy Conversion Inc*), *Converting Diesel Engine to Dual Fuel the Pors and Cons and common gas engine type* (2006; 1), berpendapat bahwa *Dual fuel diesel electric* (umumnya) adalah mesin diesel yang telah dilengkapi dengan perangkat tambahan untuk memafaatkan gas alam sebagai bahan tambahan, jenis mesin ini adalah mesin diesel biasanya dan memerlukan diesel level

tertentu untuk operasi, untuk penyalaan dari bahan bakar gas. Jenis mesin ini tersedia ke industri sejak tahun 1930. Penggunaan ini adalah hampir khususnya untuk mendaya generasi, barang persediaan bahan bakar adalah sumbernya.

availabilitas ini adalah hampir khususnya melalui alat-alat perlengkapan asli pabrikan. *Dual fuel diesel electric* mempunyai sejumlah atribut berkualitas, manfaat utamanya adalah sebagai fleksibilitas bahan bakar, mengoperasikan dengan gas alam lebih efisien digunakan, dan pada minyak diesel sendiri ketika diperlukan.

Menurut *instruction manual book of wartsila dual fuel diesel electric 50DF type*, *dual fuel diesel electric* adalah mesin yang bekerja dengan gas alam sebagai bahan bakar utama dan minyak diesel sebagai cadangan bahan bakar. Mesin ini didesain menghasilkan tenaga listrik untuk menggerakan mesin penggerak kapal seperti *propulsion*. Mesin ini dapat ditukarkan dari operasi gas ke operasi bahan bakar bakar minyak diesel pada beban kapanpun. Mesin ini dapat juga dioperasikan dengan bahan bakar minyak diesel ke operasi gas saat beban 80% penuh.

Konsep mesin *dual fuel diesel electric* merupakan sebuah konsep mesin diesel 4 tak yang menghasilkan tenaga listrik untuk menggerakan motor listrik sebagai penggerak utama kapal (*main electric propultion motor*). Mesin ini memanfaatkan uap gas atau LNG *vapor* sebagai bahan bakar utama yang dikompresikan bersama udara dengan dengan penyalaan menggunakan MGO (*marine gas oil*) sebagai pematik awal dimulai dengan menyemprotkan sedikit MGO atau biasa disebut *pilot fuel*. *Pilot fuel injection system* merupakan satu unit pompa MGO bertekanan tinggi yang kemudian di distribusikan ke tiap silinder sebagai pematik pada saat mode gas dengan mempergunakan kurang dari 1% normal input daya MGO. Mesin ini juga dapat beroperasi hanya menggunakan bahan bakar MGO yang menggunakan sistem pompa injeksi bahan bakar pada tiap silinder. Pada mesin ini memiliki satu injector di tiap silinder dengan dua *nozzle*, yaitu *pilot nozzle* dan *main nozzle.*



Gambar 1.1

Penampang *dual fuel diesel electric v type*

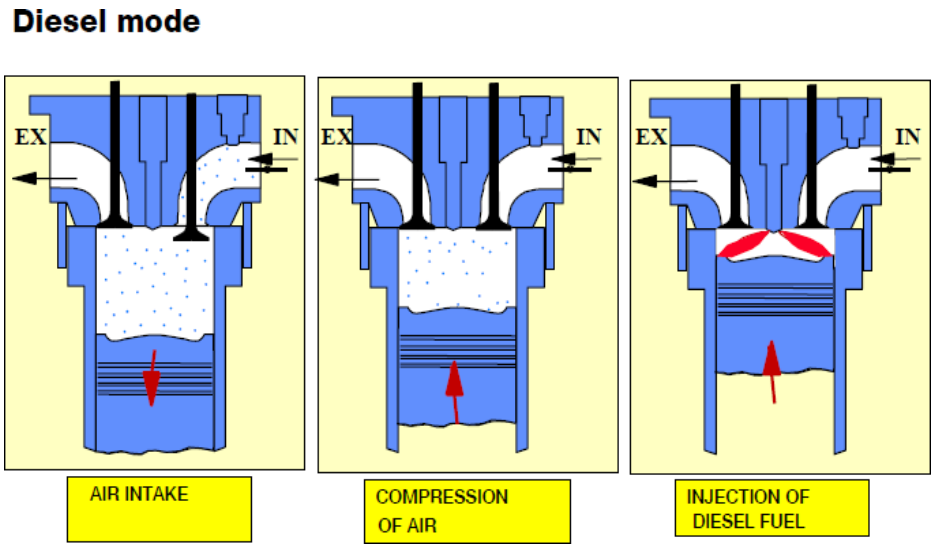
(tangguh palung *machinery operating manual*, 2008:2-5)

Cara kerja *dual fuel diesel electric generator*

Adapun cara kerja mesin generator utama *dual fuel diesel electric* sebagai berikut:

a. Diesel mode

Menggunakan bahan bakar MGO, bahan bakar MGO ini di injeksikan kedalam ruang pembakaran pada saat akhir dari langkah kompresi dibantu dengan pompa injeksi, cara kerja saat diesel mode ini sama seperti mesin diesel biasanya. Pada *diesel mode* tidak ada gas yang bercampur dengan udara tetapi *pilot nozzle* menginjeksikan penuh MGO.

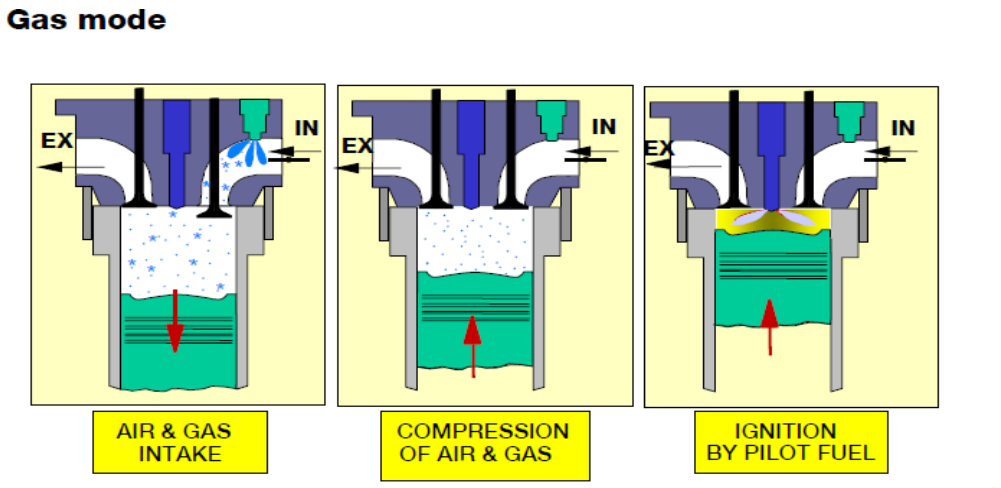


Gambar 2.2
Proses pembakaran *diesel mode*
(lean burn wartsila instruction manual)

b. Gas mode

Gas mode menggunakan LNG pada bahan bakar utama. Pada mode ini LNG dicampur dengan udara yang masuk sesuai dengan pengaturan di atas kepala silinder dan dibantu menggunakan bahan bakar MGO sebagai penyalaan yangakan diinjeksikan melalui *pilot nozzle*. Sebelum LNG di suplai ke mesin diesel, LNG melewati *gas regulating unit*. *Gas regulating* unit ini terdiri dari filter-filter, *pressure regulator*, *shut-off valve* dan *ventilating valve*. Keluaran dari tekanan gas diatur oleh sistem kontrol WECS8000 (*wartsila electronic control system*) sesuai dengan beban mesin dan kondisi lingkungan sekitar. Dalam pendistribusiannya LNG disuplai melewati pipa

utama gas sepanjang mesin dan berlanjut ke pipa gas masing-masing silinder, pada setiap tiap silinder terdapat *Gas Admission Valve* yang mengatur jumlah masuknya LNG yang masuk kedalam silinder, *valve* ini digerakan langsung oleh *solenoid valve* dan diatur oleh sistem kontrol WECS.



Gambar 2.3
proses pembakaran gas mode
(*lean burn wartsila instruction manual*)

c. Back-up mode

Back-up mode menggunakan MGO sebagai bahan bakarnya. MGO ini diinjeksikan kedalam ruang pembakaran saat akhir dari langkah kompresi dibantu dengan pompa injeksi. Cara kerja saat *back up mode* ini tidak ada LNG yang bercampur dengan udara dan *pilot nozzle* tidak menginjeksikan bahan bakar MGO sebagai pematik awal, pada mode ini bahan bakar yang bertekanan diinjeksikan melalui *main nozzle* untuk menjaga agar mesin generator masih tetap beroperasi dengan hanya menggunakan bahan bakar MGO tidak dengan campuran bahan bakar LNG, oleh sebab itu tidak dianjurkan untuk digunakan dalam waktu yang lama karena akan menimbulkan masalah pada *pilot nozzle* yang tersumbat akibat dari tidak adanya bahan bakar yang keluar dari *pilot nozzle* saat pembakaran terjadi. *Mode back-up* akan aktif apabila mesin generator mengalami masalah pada saat mode gas dari tekanan *pilot fuel* yang rendah, perbedaan temperatur gas buang yang jauh pada salah satu silinder.

Cara *dual fuel diesel electric* mengganti bahan bakar

Pada mesin *dual fuel diesel electric* (DFDE), perpindahan bahan bakar dari MGO ke *vapour gas* dapat dilakukan secara instan. Pada awal menyalakan mesin, mesin DFDE akan dinyalakan menggunakan MGO sebagai bahan bakar dikarenakan putaran mesin akan lebih stabil jika menggunakan MGO. Pada saat mesin sudah stabil jika menggunakan MGO. Pada saat mesin sudah stabil dan beban diatas 20%, bahan bakar MGO dapat diganti ke *vapour gas.* Pada saat perpindahan bahan bakar, sistem akan menutup semua saluran MGO secara otomatis dan akan langsung membuka seluruh saluran *vapour gas.* Para *engineer* harus memastikan bahwa suhu, tekanan, dan jumlah *vapour gas* harus memadai. Jika sudah memadai, *engineer* akan langsung memindahkan bahan bakar dari MGO ke *vapour gas* melalui *integrated automation system* (IAS).

3. *Liquified Natural Gas* (LNG)

LNG (*liquefied natural gas*) adalah gas metana dengan komposisi 90% metana (CH_4) yang dicairkan pada tekanan atmosferik dan suhu -163℃. Sebelum proses pencairan, gas harus menjalani proses pemurnian terlebih dahulu untuk menghilangkan kandungan senyawa yang tidak diharapkan seperti CO_2, H_2S, Hg, H_2O dan hidrokarbon berat.

Proses tersebut akan mengurangi volume gas menjadi lebih kecil 600 kali. Penyusutan ini membuat LNG mudah ditransportasikan dan dalam jumlah yang lebih banyak. LNG ditransportasikan melalui kapal-kapal ke terminal-terminal LNG dan disimpan di tangki dengan tekanan atmosfer. Kemudian LNG dikonversi kembali menjadi gas dan disalurkan melalui sistem transmisi.

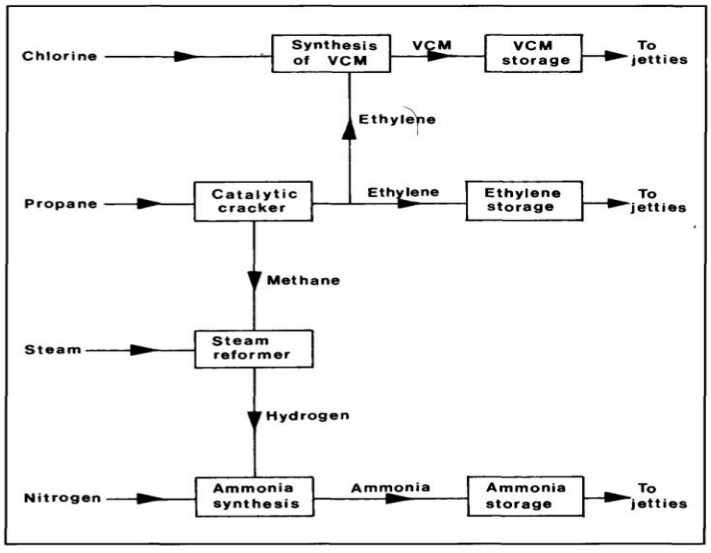
Tabel 2.1

Sinonim untuk gas cair utama

Common Name	Simple Formula	Synonyms
Methane	CH_4	Fire damp; marsh gas; natural gas; LNG
Ethane	C_2H_6	Bimethyl; dimethyl; methyl methane
Propane	C_3H_8	–
n-Butane	C_4H_{10}	Normal-butane
i-Butane	C_4H_{10}	Iso-butane; 2-methlypropane
Ethylene	C_2H_4	Ethene
Propylene	C_3H_6	Propene
∝-Butylene	C_4H_8	But-1-ene; ethyl ethylene
β-Butylene	C_4H_8	But-2-ene; dimethyl ethylene; pseudo butylene
γ-Butylene	C_4H_8	Isobutene; 2-methylprop-2-ene
Butadiene	C_4H_6	b.d.; bivinyl; 1,3 butadiene; butadiene 1-3; divinyl; biethylene; erythrene; vinyl ethylene
Isoprene	C_5H_8	3-methyl – 1,3 butadiene; 2-methyl – 1,3 butadiene; 2-methylbutadiene – 1,3
Vinyl chloride	C_2H_3Cl	Chloroethene; chloroethylene; VCM; Vinyl chloride monomer
Ethylene oxide	C_2H_4O	Dimethylene oxide; EO; 1,2 epoxyethane; oxirane
Propylene oxide	C_3H_6O	1,2 epoxy propane; methyl oxirane; propene oxide
Ammonia	NH_3	Anhydrous ammonia; ammonia gas; liquefied ammonia; liquid ammonia

Tabel 2.2

Proses produksi gas kimia



a. Vapor Gas

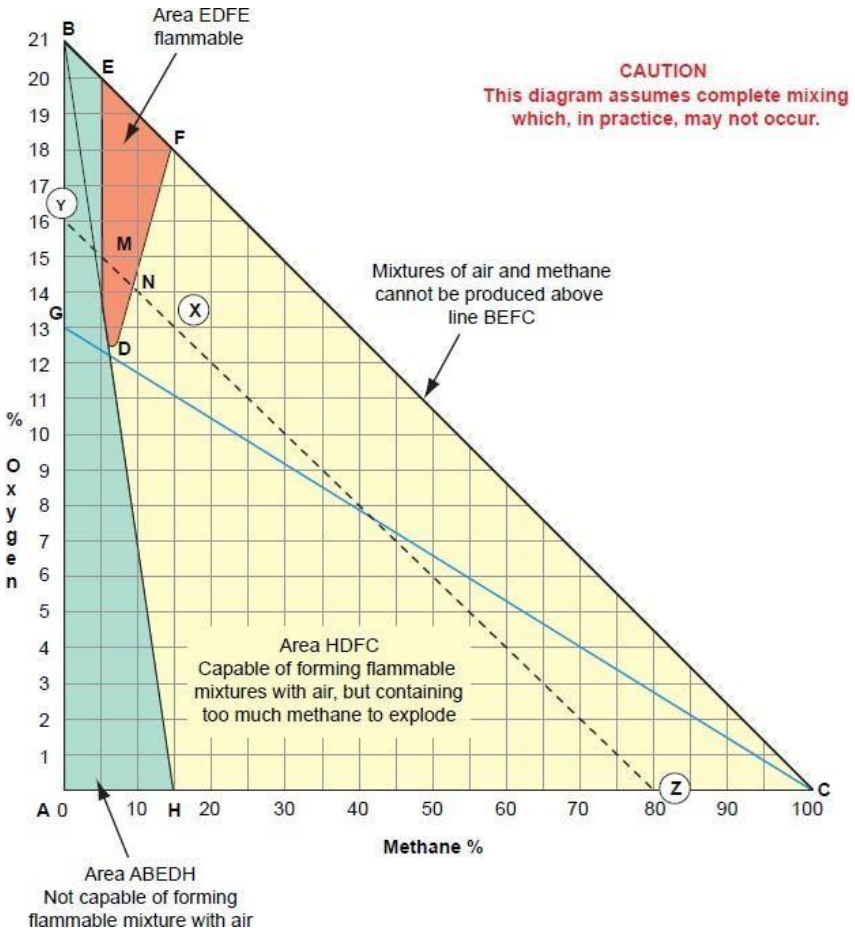
Vapor gas adalah suatu hasil dari proses evaporasi muatan LNG yang komposisi utamanya adalah *methane*. Pada keadaaan normal, LNG akan selalu menguap walaupun sudah didinginkan pada suhu tertentu. Penguapan

dari LNG tidak bisa dihindari tetapi kita bisa meminimalisir penguapan. *Vapor* gas tersebut akan dibakar di GCU atau DFDE sehingga tekanan berlebih pada tangki muatan dapat dihindari, dan juga demi menunjang efisiensi bahan bakar di atas kapal.

b. Methane (CH_4)

Methane adalah suatu jenis gas hidrokarbon yang merupakan kandungan utama dalam *vapour* gas, sifatnya tidak berbau dan tidak beracun. *Methane* merupakan bahan bakar alternatif terbaik saat ini karena dapat menghasilkan energi panas lebih besar dari gas hidrokarbon lainnya. Selain itu *methane* lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak karena kadar *karbon dioksida* yang dikandung dalam gas buang jumlahnya lebih sedikit daripada bahan bakar minyak.

Berikut adalah titik pembakaran dan komposisi dimana *methane* dapat membentuk campuran yang cukup dengan udara perihal pembentukan segitiga api :



Gambar 2.4
Titik api LNG dan komposisi dengan udara
(tangguh palung cargo operating manual 2008:2-5)

Tabel 2.3
Sifat LNG

Boiling point at 1 bar absolute	-161.5°C
Liquid density at boiling point	426.0 kg/m^3
Vapour SG at 15°C and 1 bar absolute (0.1MPa(A))	0.554
Gas volume/liquid volume ratio at -161.5°C at 1 bar absolute (0.1MPa(A))	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	4.3 MPa(A)

Sumber : tangguh palung cargo operating manual, 2008:2-2

4. Gas Combustion Unit (G.C.U)

Merupakan suatu permesinan yang berfungsi untuk membakar *vapour* gas yang tidak terpakai sebagai bahan bakar di mesin generator utama. Tujuan dari G.C.U adalah menghindari tekanan berlebih terjadi di dalam tangki muatan. Perpindahan panas ke muatan cair dari ruang isolasi dan tangki muatan akan menyebabkan cairan mendidih dan terbentuk uap. Ini disebut "*cargo tank boil-off*" dan harus dihilangkan untuk menjaga keseimbangan di dalam tangki kargo pada tekanan operasi yang dirancang. Volume gas yang mendidih juga meningkat pada perjalanan karena energi yang hilang oleh agitasi muatan yang disebabkan oleh gerakan kapal.

Tujuan utama dari G.C.U adalah memastikan oksidasi dari *boil-off gas* tetap dari laju aliran yang maksimal.

Komponen utama dari G.C.U adalah :

- *Dual fuel burner* (*BOG and oil)*

- *Gas combustion unit*
- *Gas valve* dan instrumen
- Katup oli / udara dan pelat instrumen
- 2 set *combustion air fans*
- 2 set *dilution air fans*
- 1 set *oil burner combustion air fan*
- GCU *control panel*

5. Low Duty Compressor (L.D Compressor)

Suatu kompresor gas yang berfungsi untuk menekan dan menyediakan *vapour* gas yang akan digunakan pada mesin generator utama maupun dibakar secara percuma di G.C.U. L.D *compressor* memiliki 2 tipe kecepatan yaitu *high speed* mode dan *low speed mode*. Pada saat berpindah ke tipe *high speed mode*. Suhu pemasukan dari LNG harus -130^0 C.

6. Pre-cooler

Merupakan suatu permesinan yang berfungsi untuk menurunkan suhu dari *vapour* gas sebelum memasuki L.D *compressor*. Dengan cara menggunakan medium LNG itu sendiri.

7. Gas Heater

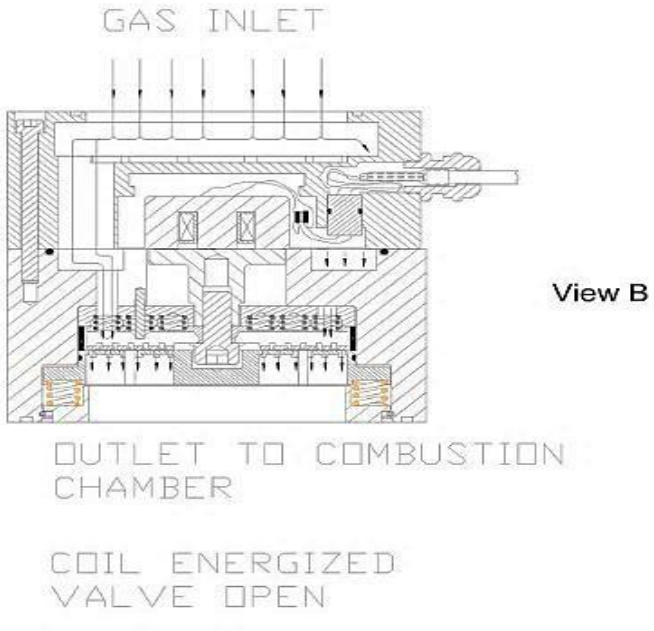
Merupakan suatu permesinan yang digunakan untuk memanaskan *vapour* gas pada saat suhunya terlalu rendah. Dengan menggunakan medium uap bertekanan 1 Mpa, *gas heater* akan memanaskan *vapor* gas yang akan menuju area kamar mesin, sehingga kerusakan struktural pada permesinan dapat dihindari.

8. Gas Valve Unit Room

Suatu ruangan sistem katup yang ditempatkan sebelum permesinan yang akan menggunakan *vapour* gas sebagai bahan bakarnya. Diruangan ini, tekanan dan suhu dari *vapour* gas tersebut akan diatur sedemikian rupa sesuai dengan kriteria mesin yang menggunakan *vapour* gas sebagai bahan bakarnya.

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

a. Pengertian GAV *(Gas Admission Valve)*



*G*ambar 2.5
sket GAV

Woodward manual book of SOGAV (Solenoid Operated Gas Admission. Solenoid Operated Gas Admission Valve) adalah katup masuk gas responsif yang digerakkan secara elektrik untuk penerimaan bahan bakar di *manifold*. *SOGAV* dirancang untuk digunakan pada mesin empat siklus, gas alam, atau bahan bakar ganda. Diperlukan satu katup untuk setiap silinder katup *SOGAV* adalah bagian elektromekanis dari sistem penerimaan bahan bakar keseluruhan yang terdiri dari:

1) Kontrol injeksi bahan bakar elektronik.
2) Kontrol kecepatan/rasio bahan bakar/engine sekuensi, mesin harus mengatur tekanan *manifold* udara serta bahan bakar penerimaan.
3) Katup, *actuator*, *regulator*, *sensor*, kabel, dan perangkat keselamatan lain yang diperlukan *In Pulse Electronic Fuel Injection Control (EFIC).*
4) Perbandingan rasio udara dan bahan bakar menurut *control* harus diatur jumlah udara maupun jumlah bahan bakar gas.

5) Didukung dengan katup, *actuator*, *regulator*, *sensor*, kabel dan alat pengaman. Pada setiap silinder, terbukanya katup saat injeksi gas diatur dengan durasi yang ditentukan oleh *EFIC*.

Pengaturan dilakukan melalui durasi pembukaan katup, dan masing-masing silinder dapat durasi atau waktu bias dalam kontrol. *Solenoid E-core SOGAV valve* memiliki perjalanan pendek dan gaya keluaran tinggi yang menghasilkan respons penutupan yang cepat dan konsisten. Katup tersebut adalah tipe wajah dengan banyak alur konsentris. Plat meter bergerak bergerak pegas dan tekanan dimuat ke arah tertutup.

Spesifikasi *GAV* adalah sebagai berikut:

Engine type : Wartsila 12V50DF.

Engine output / speed : 11400 KW / 514 rpm.

Construction : All parts exposed to the gas are resistant to corrosion and stress corrosion cracking (a problem associated with hydrogen sulfides, which are sometimes present in natural gas).

Model : GAV 250 8402-225.

Maker : Woodward.

Operating Temperature : –20 to +105 °C (–4 to +221 °F).

Vibration Qualification : 0.1 G²/Hz Random, 10–2000 Hz, 12.8 Grms, 3 hours/axis (test derived from MS202F, Method 214A, Test Condition).

Humidity Pressure Wash: The unit withstands exposure to pressure resistance washing, salt spray, etc., without adverse corrosion or infiltration. Time to full open after signal on.

Time to full closed after signal off : 0.0050 second max 0.0050 second max

Steady State Flow Rate : See the flow equation defined previously in the sizing section.

Maximum Leakage When Closed : Less than 0.25% of the rated steady state flow rate (i.e., 0.25% of the flow calculated in Steady State Flow Rate above) 14.

Filtration Required : 5 μm absolute max particle size Coil Heat Dissipatio: 8 W (maximum)

Expected Maximum Gas Supply : 450 kPa/4.5 bar absolute (65.3 psi absolute)

Expected Max.Air Manifold Pressure : 300 kPa/3.0 bar absolute (43.5 psi absolute)

Max. Gas Manifold to Air Manifold : 150 kPa/1.5 bar (21.7 psi)

Min. Gas Manifold to Air Manifold : 100 kPa/1.0 bar (14.5 psi)

Max. Backfire Pressure Spike : 50 kPa/0.5 bar (7 psi) above the current gas

Manifold pressure Coil resistance : 1.1 ohm – 1.3 ohm Expected Max. Gas Supply Temp: 80 °C (176 °F)

b. Komponen *GAV* dan fungsinya

1) *Socket Head Cap Screw (M6 x 70).*

2) *Solenoid Assembly E-core.*

3) *Preformed Packing (O-ring).*

4) *GAV Housing.*

5) *Guide Pin.*

6) *E-core Armature.*

7) *Upper plate.*

8) *Metering plate loading spring.*

9) *Spacer.*

10) *Moving metering plate.*

11) *Socket head cap screw.*

12) *Preformed Packing (O-ring).*

13) *Lower stop & Metering plate.*

14) *Lower plate loading spring.*

15) *Lower spring seat.*

16) *Circular retaining ring.*

Keterangan :

1) *Solenoid Assembly E-core*

Perangkat *solenoid* elektronik dari *GAV* yang mengatur pembukaan dari plat.

2) *Guide Pin*

Batang penghubung dari perangkat *solenoid* elektronik.

3) *E-core Armature*

Berfungsi sebagai lilitan atau *armature* dari *solenoid* elektronik yang diatur sesuai dengan arus yang diberikan.

4) *Upper Plate*

Berfungsi sebagai piringan bagian atas.

5) *Metering plate loading spring*

Berfungsi sebagai pegas pengukur dari pembukaan plat bagian atas.

6) *Spacer*

Berfungsi sebagai pengatur jarak dari plat.

7) *Moving metering plate*

Berfungsi sebagai pengatur dari pergeseran dari plat bagian atas.

8) *Lower stop & metering plate*

Berfungsi sebagai pengatur dari pergeseran dari plat bagian bawah.

9) *Lower plate loading spring*

Berfungsi sebagai pegas pengukur dari pembukaan plat bagian bawah.

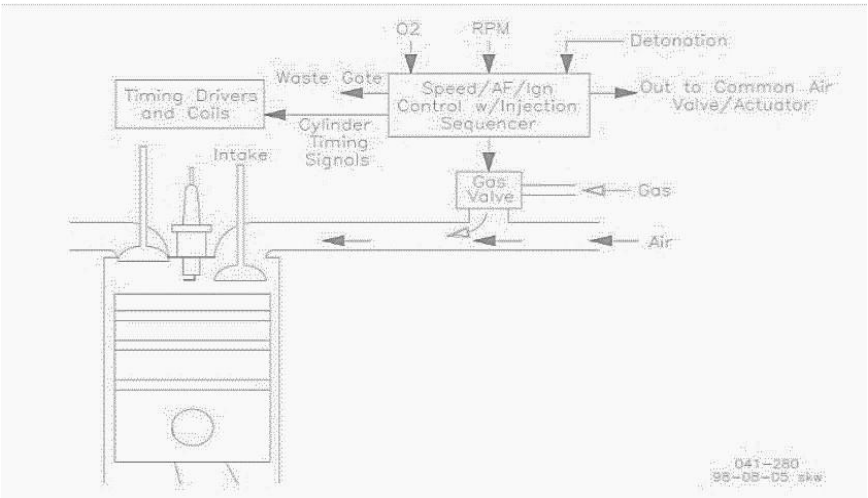
10) *Lower spring seat*

Sebagai dudukan dari pegas pengatur pada plat bagian bawah.

c. **Cara kerja *GAV***

Gas masuk ke dalam silinder sebelum katup udara isap masuk terbuka. *GAV* digerakkan secara elektronis dan terkontrol oleh sistem kontrol mesin untuk memberikan persis jumlah gas yang benar untuk masing-masing silinder. Ini cara pembakaran pada masing masing silinder dapat sepenuhnya dan

secara individu terkontrol. Setiap katup dapat diwaktu dengan sendiri pada katup isap, langkah buang silinder terjadi tanpa resiko karena gas langsung ke sistem gas buang. Pengaturan sendiri masuknya gas ini memastikan rasio bahan bakar udara yang benar dan beroperasi optimal dengan tujuan sesuai efisiensi dan emisi. Dengan hal itu juga kinerja dapat terpercaya tanpa *shutdown*, *knocking* atau *misfiring.*



Gambar 2.6
Cara kerja Gas *Admission Valve*

1) Magnetic

Seluruh gaya aktuasi katup dihasilkan secara magnetis melalui perangkat E-*core solenoid*. *Fluks* magnetik yang dihasilkan di dalam perangkat *solenoid* E-*core* menarik plat bawah baja karbon (sebagai *armature*) yang terpasang di dalam katup. E-*core* tersebut menghasilkan gaya yang sangat tinggi pada lintasan yang pendek. Katup tersebut bergerak 0,5 mm dari tertutup penuh sampai terbuka penuh. Lintasan pendek disertai dengan gaya yang besar menghasilkan respon pembukaan dan penutupan katup yang cepat dan konsisten.

2) Katup

Katup ini serupa dengan katup udara kompresor yakni *poppet* tipe *face* dengan beberapa alur konsentris. *Moving metering plate* adalah pegas yang mendapat beban dengan penekanan pada *lower stop & metering plate* dan *lower stop & metering plate* ditarik oleh *solenoid assembly E-core*. Ketika kedua *plate* terpisahkan, aliran gas dari alur dalam *moving metering plate* ke

dalam alur *lower stop & metering plate*. Ketika *moving metering plate* dan *lower stop & metering plate* bersinggungan, gas tidak dapat lewat dari alur pada *moving metering plate* ke dalam alur *lower stop & metering plate*. Tepi alur adalah tepi *metering*. Tumpang tindih, pegas pemuatan, dan ketidakseimbangan tekanan *moving metering plate* menyediakan penyegelan yang sempurna sementara saat katup ditutup. Di dalam susunan pegas pegas, di kombinasikan dengan tidak seimbangnya tekanan di *moving metering plate*, katup tertutup dengan cepat sekali ketika *E-core de-energized*. Susunan pegas bagian tengah yang sama pada pergerakan *plate* bergerak ke *lower stop & metering plate* dengan teknik gerakan geser.

Metode ini membolehkan untuk udara bilas dari ruang pembakaran selama *overlap period* sekitar *top dead center (TDC)* dari langkah buang. Setelah periode tumpang tindih (segera setelah menutup katup buang), katup *GAV* membuka dengan cepat dan gas masuk ke dalam lewat aliran udara melalui *inlet runner*. Gas ini kemudian dibawa ke ruang pembakaran dengan udara masuk melalui katup isap. Pengaturan masuknya bahan bakar diatur dengan durasi. Katup *GAV* tetap terbuka dalam durasi yang diperlukan agar kecepatan mesin terjaga sesuai beban kontrol dengan cara pengaturan elektronik dan *In Pulse Unit*.

Katup *GAV* harus selalu tertutup secukupnya sebelum katup isap udara menutup sesuai perintah untuk memastikan bahwa semua gas masuk ke dalam ruang pembakaran. Jika saat itu tidak cukup, gas akan tetap berada di *inlet runner* setelah katup isap menutup dan akan masuk saat langkah pembuangan dan akan ikut ke dalam udara pembuangan (membuang buang bahan bakar dan memancarkan hidrokarbon yang tidak terbakar). Bagian dalam diameter *feeder pipe* gas yang menghubungkan katup *GAV* dengan *gas manifold* harus berukuran sama atau lebih besar dari lubang masuk gas di katup *GAV*. *Diameter* pipa katup masuk adalah 94 sampai 96 mm. Pipa ini harus sependek mungkin. Panjang pipa ini mempengaruhi percepatan gas setelah katup terbuka.

Semua pipa *feeder* gas sama panjang, *Feeder pipe* menghubungkan *manifold* gas ke katup *GAV*. *Manifold* gas harus cukup besar sehingga penurunan tekanan pada saat masuknya ke pipa *feeder* yang kecil (sementara katup pada aliran penuh) dan denyutan teredam dalam alur yang melalui pengatur tekanan

gas dasarnya stabil. Permukaan katup yang akan memberikan jumlah (*manifold* isap *runner*) harus terbuka sebesar antara 95 sampai 110 mm. Lubang kecil yang akan membatasi aliran, dan lubang yang lebih besar tidak akan memungkinkan untuk pembebanan yang tepat dari *lower plate*. Berikut beberapa istilah dari cara kerja *GAV* menggunakan katup :

Istilah:

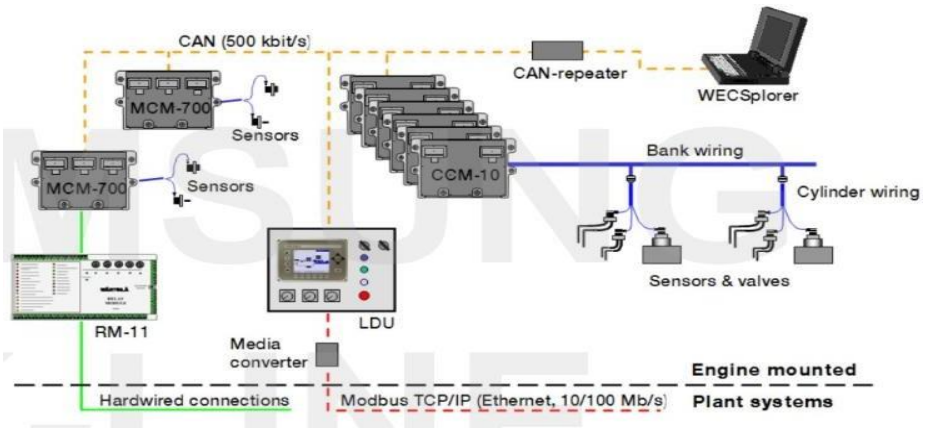
1) *Lean Burn* adalah pembakaran bahan bakar dalam ruang pembakaran dengan perbandingan bahan bakar dengan udara lebih dari 15:1.
2) *Otto cycle* adalah siklus thermodinamika pembakaran bahan bakar dengan *volume* yang tetap pada sebuah motor atau mesin *diesel*.
3) *Pilot fuel* adalah bahan bakar awalan pada mesin *diesel*.
4) HFO (*Heavy Fuel Oil*) adalah bahan bakar *diesel*.
5) *Gas regulating unit* adalah serangkaian alat yang mengatur masuknya bahan bakar gas sebelum masuk ke dalam mesin.
6) *Pressure regulator* adalah pengatur tekanan.
7) *Shut-off valve* adalah katup penutup.
8) *Ventilating valve* adalah katup pembuka ventilasi.
9) *Wartsila Electronic Control System 8000 (WECS8000)* adalah sistem kontrol pada mesin *diesel Wartsila* yang mengatur seluruh kontrol dari mesin dengan menggunakan perangkat elektronik.
10) *Actuator* adalah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau sistem.
11) *Sensor* adalah jenis *transducer* yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, *magnetis*, panas, cahaya, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik.
12) *Armature* adalah bagian yang berputar (*rotor*).
13) *Shutdown* adalah mematikan mesin.
14) *Knocking* adalah fenomena yang terjadi pada motor bakar (mesin pembakaran dalam) berupa suara ketukan yang cukup keras dan juga munculnya getaran dari mesin dengan irama yang sama dengan suara tersebut.
15) *Misfiring* adalah terjadinya kehilangan urutan pembakaran.

16) *Fluks magnetik* adalah garis garis khayal di sekitar medan magnetik dan medan listrik yang menentukan besar kuatnya medan magnetik dan medan listrik.
17) *Overlap period* adalah katup masuk dan katup buang terbuka pada waktu yang sama.
18) *Top Dead Center* (*TDC)* adalah posisi torak berada pada titik paling atas dalam silinder mesin.
19) *Inlet runner* adalah jalur masuknya gas pada *gas admission valve.*
20) *Gas manifold* adalah tempat menampung dan mengalirnya gas ke tiap tiap silinder.
21) *Feeder pipe* adalah pipa yang menghubungkan *gas admission valve* dengan gas *manifold.*



Gambar 2.7
gas admission valve

10. Wartsila Electronic Control System 8000 (WECS 8000)



Gambar 2.8
Sistem *Wartsila Electroic Control System 8000 (WECS 8000)*

WECS8000 adalah sistem kontrol engine, yang menangani keselamatan engine,control kecepatan, penjadwalan bahan bakar, dan masalah otomasi terkait engine lainnya. *WECS 8000* dan aktuator bahan bakar dipasang di engine. Peralatan genset yang dipasang di luar engine yang dibutuhkan untuk engine *DFDE* dikendalikan oleh *Unit Control Panel (UCP*). Mesin *DFDE* dapat dioperasikan secara manual dari *UCP* oleh karena itu disarankan untuk menginstal *UCP* di ruang kontrol mesin. *UCP* dan *WECS8000* berkomunikasi melalui bus data dan sinyal penting melalui koneksi kabel (***Instruction manual book Wartsila Main Engine 12V50DF SHI 1619)***.

Fungsionalitas sistem kontrol engine *WECS8000* kategori utama berikut ini:

1) Penanganan putaran lambat, urutan start & stop.
2) Mengubah mode bahan bakar- Instrumentasi & komunikasi.
3) Pengukuran kecepatan.
4) Keamanan mesin.
5) Kontrol kecepatan / beban.
6) Tekanan gas & kontrol masuk gas.
7) Tekanan pilot & kontrol injeksi pilot.
8) Kontrol rasio udara / bahan bakar.
9) Penyeimbangan silinder & kontrol ketukan.
10) Diagnostik.

Sistem ini terdiri dari sejumlah modul elektronik terdistribusi, yang semuanya saling berhubungan. Struktur sistem yang tepat tergantung pada silinder mesin konfigurasi. Modul elektronik saling berkomunikasi melalui bus komunikasi,dan komunikasi ini didasarkan pada protokol *CAN*. Beberapa fungsi kontrol cadangan yang penting keselamatan ditangani melalui kabel kabel *to point*, dan dengan modul cadangan terpisah.

Komponen *WECS8000 (Wartsila Electronic Control System).*

1) Komponen utama

a) MCM-700 Main control module.

b) CCM10 Cylinder control module.

c) Local control panel.

d) PG-EG58 diesel actuator.

e) Cabling and CIB (Cabling Interface Box).

2) Komponen lain

a) CAN (Controller Area Network) Repeater

Repeater sinyal *CAN* memanjang dan mengisolasi galvanis di luar engine. Antarmuka eksternal ini harus dihubungkan ke konfigurasi eksternal, kalibrasi dan alat diagnostik, yang hanya digunakan oleh personel yang berwenang. kecepatan transfer adalah 500 kbit/s.

b) Media Converter

Konverter ini digunakan untuk mengubah sinyal bus komunikasi eksternal *modbus TCP / IP* dari sinyal listrik dari *Local Display Unit* ke sinyal yang ditransfer secara optik melalui serat optik (ke sistem otomasi). Kecepatan transfer menyesuaikan sendiri sesuai dengan perangkat yang digunakan secara eksternal untuk mesin, dan akan menjadi 10 Mb/s atau 100 Mb/s.

c) Current Converter

Konverter ini digunakan untuk aktuator. Model konverter sinyal ini mengubah sinyal proporsional 4-20 mA dari modul kontrol utama ke sinyal 0-200 mA oleh aktuator.

Cara kerja *WECS8000*

Sistem Kontrol Mesin Wärtsilä / *WECS8000* mengontrol engine itu sendiri dan antar muka ke *UCP (Unit Control Panel),* dengan sinyal kabel keras dan Ethernet *Modbus TCP / IP*. *WECS8000* untuk *engine* adalah sistem terdistribusi fisik yang terdiri dari tiga jenis unit:

a. Modul Kontrol Utama *(MCM700)*.
b. Modul Kontrol Silinder *(CCM10)*.
c. Modul keselamatan Unit ini dipasang di *engine*.

WECS8000 mengontrol urutan *start* atau *stop* dan merupakan sistem keselamatan *engine*. Jika ada sinyal *input* yang menunjukkan nilai *abnormal*, sistem kontrol akan memberikan *alarm* terlebih dahulu. Ini kemudian akan mengurangi sinyal daya maksimum yang tersedia atau menjalankan *trip gas*, *trip pilot*, atau *shutdown* jika sinyal terus memburuk. Semua parameter penting yang ditangani oleh *WECS8000* ditransfer ke *UCP*. Modul kontrol utama khusus digunakan untuk pengumpulan sinyal sensor dan untuk mengendalikan *waste gate*. Beberapa modul kontrol silinder digunakan, masing masing modul menangani 3 silinder. Semua modul dipasang di dekat sisi mesin sensor, mesin atau unit kontrol yang di baca atau di kendalikan. Data yang ditransfer melalui *CAN* antar modul, memiliki sejumlah berbagai grup tarif untuk transfer data yang dioptimalkan dan aman. Semua proses yang diperlukan didasarkan pada data, yang dikomunikasikan melalui *CAN* antar modul. Semua parameter yang ditangani oleh *WECS8000* juga di transfer ke antar muka operator eksternal melalui bus komunikasi Modbus TCP / IP, dan disajikan di sana sebagai bacaan dan grafik. Sejumlah sinyal berkabel, seperti *start*, *stop* dan *emergency stop* selalu disediakan, untuk mengamankan operasi yang aman bahkan jika bus eksternal akan selama *engine* bekerja menjadi tidak beroperasi. Jika perintah bawaan dan perintah bus (di mana keduanya tersedia) dalam kontradiksi, perintah yang meminta aktivasi suatu tindakan, akan mengesampingkan yang lain. Terlepas dari modul kontrol elektronik, ada sejumlah bagian lain milik sistem *WECS8000*.

a. Main Control Module (MCM)

Inti dari sistem kontrol mesin adalah modul kontrol utama. MCM bertanggung jawab untuk memastikan pengoperasian mesin yang andal dan untuk menjaga mesin pada kinerja optimal dalam semua kondisi operasi seperti memvariasikan suhu lingkungan dan kualitas gas. MCM membaca informasi yang dikirim oleh semua modul lainnya. Menggunakan informasi untuk menyesuaikan kecepatan mesin dan kontrol beban dengan menentukan nilai referensi untuk masuk gas utama, rasio udara-bahan bakar dan jumlah dan waktu bahan bakar pilot. Kontrol utama modul secara otomatis mengontrol awal dan hentikan urutan mesin dan keselamatan sistem. Modul juga berkomunikasi dengan *plant control system* (PLC).

b. Cylinder Control Module (CCM)

Cylinder Control Module (CCM) utamanya bertugas utnuk mengatur kontrol pembakaran. CCM memonitor dan mengontrol semua *injection* dan fungsi pembakaran, dan mengatur waktu katup hisap untuk silinder. Jumlah *module* beragam bergantung pada jumlah silinder. CCM umumnya terletak pada sisi mesin, tertutup oleh *wartsila terminal boxes* (WTB).



Gambar 2.9

cylinder control module (CCM)

11. Penggunaan LNG sebagai bahan bakar mesin generator utama

Proses normal pada sistem ini yang terjadi adalah *methane* yang digunakan sebagai bahan bakar berasal dari proses evaporasi muatan LNG (*Liquified Natural Gas*) yang memiliki suhu +-160°C serta memiliki kandungan *methane* + 96% yang kemudian akan dikumpulkan dalam bagian tertentu dalam tangka muatan yaitu *Gas Dome* untuk proses selanjutnya dalam sistem penyuplaianbahan bakar LNG. Setelah dikumpulkan dalam *Gas Dome*, LNG tersebut dihisapoleh 2 buah kompresor berkapasitas tinggi yang disebut dengan *Low DutyCompressor*, didalam kompresor tersebut tekanan LNG akan diatur sedemikianrupa antara 178-650 kPa (ditentukan berdasarkan tingkat kandungan *methane*dalam LNG) selain perubahan tekanan, perubahan suhu antara -30.5°C - 66.7°C juga terjadi. Pada proses normal, hanya satu kompresor yang dioperasikan sebagai pengatur tekanan LNG sekaligus sebagai pengatur suhu dan *flow rate* dari bahan bakar LNG tersebut. Sementara satu kompresor lainnya harus dalam posisi *standby* dan siap guna untuk mengantisipasi terjadinya *trip* padakompresor yang sedang di operasikan. Hal ini dilakukan demi memastikan stabilnya proses pensupplian bahan bakar LNG ke area kamar mesin serta mencegahnya kenaikan tekanan pada tangki muatan secara tiba-tiba.

Setelah melalui *low duty compressor*, pengaturan bahan bakar LNG selanjutnya akan diteruskan di dalam area kamar mesin, yaitu ruang *Gas Valve Unit.* Pada *Gas Valve Unit* terjadi suatu pengaturan tekanan dan suhu bakar *methane* berdasarkan kondisi generator utama. Data data tentang kondisi generator utama tersebut diperoleh dari *IAS (Integrated Automation System)* yang telah terintegrasi dengan sistem control mesin generator utama itu sendiri. Sementara *Pressure Regulating Valve* yang bertugas sebagai pengatur tekanan dan injeksi utama dalam ruangan tersebut diatur oleh sistem control utama mesin generator utama itu sendiri, yaitu WECS 8000. Selama proses penyalaan dan pemberhentian mesin generator utama, kendali berurut dari katup keamana dan katup ventilasi berkomunikasi antara *WECS (Wartsila Engine Control System)* dan *UCP (Unit Control Panel)* komunikasi ini juga mencakup pengecekan kebocoran katup, dilaksanakan setiap proses penyalaan mesin generator utama dan menggunakan *nitrogen* sebagai gas pengantarnya. Tekanan LNG suplai yang bersangkutan akan dihitung dan diperiksa dalam *main control module* yang bertindak sebagai inti dari WECS

8000. Sesudah itu akan dikirim sinyal referensi tentang tekanan LNG berdasarkan beban generator utama. Sinyal elektrik itu akan dikirim kepada G.A.V. tekanan LNG yang sebenarnya akan dihitung pada mesin dan dibandingkan dengan tekanan referensi. Jika perbedaan yang didapat terlalu besar, suatu alarm akan dinyalakan. Jika perbedaan semakin meningkat, katup keamanan dalam ruang *gas valve unit* akan memotong suplai LNG kedalam mesin dengan sesegera mungkin. Jumlah LNG yang diinjeksikan kedalam tiap silinder akan dikendalikan oleh G.A.V yang disediakan tiap silinder, dan dikendalikan oleh *cylinder control module*. Jumlah LNG yang terinjeksi tergantung pada tekanan LNG suplai dan waktu durasi dari pembukaankatup *solenoid gas*.

Tabel 2.4
Rendahnya suhu dan tekanan LNG sebelum masuk ke generator utama

Gejala-gejala	**Penyebab**	**Hal-hal yang harus dilakukan**
1. Penggunaan *Gas Combustion Unit* berlebihan *2.* Kerusakan pada *cylinder control module* 3. Kecilnya kapasitas suplai bahan bakar LNG 4. Kebocoran sistem bahan bakar gas 5. Pengaturan *software* pada *module* tidak tepat	1. Pengaturan *load* GCU 2. Terjadinya *grounded sistem cabling* pada CCM *3.* Kecilnya *load* pada *low duty compressor* 4. Tidak terjaganya kebersihan pada pipa dan katup bahan bakar LNG *5.* Kesalahan dalam mengatur dan instalasi *software module*	1. Mengurangi *load* dari *gas combustion unit* dan memperbesar gas *inlet valve* pada generator utama *2.* Penggantian *cylinder control module* *3.* Mengubah *low duty compressor* ke dalam *high mode* 4. Penggantian pipa dan katup bahan bakar LNG 5. Melakukan pengaturan ulang *software module* dan pemeriksaan kabel pada sistem

Tabel 2.5

Tingginya suhu gas buang pada mesin generator utama saat dalam mode gas

Gejala-gejala	**Penyebab**	**Hal-hal yang harus dilakukan**
1. *Tappet clearance valve* terlalu kecil 2. Gagal fungsi pada G.A.V *3.* Kesalahan mekanisme *exhaust gas waste valve* *4. Generator overload* 5. Temperatur udara pembakaran tinggi 6. Ketidaknormalan *injector* bahan bakar	*1.* Tingkat kekencangan baut *yoke* *2.* Gas *Admission Valve* macet ketika terbuka *3.* Tidak sesuainya pembukaan pada *exhaust gas weste gate* *4.* Kapal dengan kecepatan yang tinggi lebih dari 20 *knot* *5.* kotornya komponen *charge air cooler* *6.* terjadinya penyumbatan pada bagian-bagian dari *injector* bahan bakar	*1.* Pengencangan baut *yoke* *2.* penggantian Gas *Admission Valve* dan pemeriksaan nekanisme katup *3.* memperkecil *outlet* dari *exhaust gas weste gate valve* *4.* Menurunkan daya generator utama *5.* pembersihan pada komponen *charge air cooler* *6.* penggantian bagian-bagian dari *injector* bahan bakar

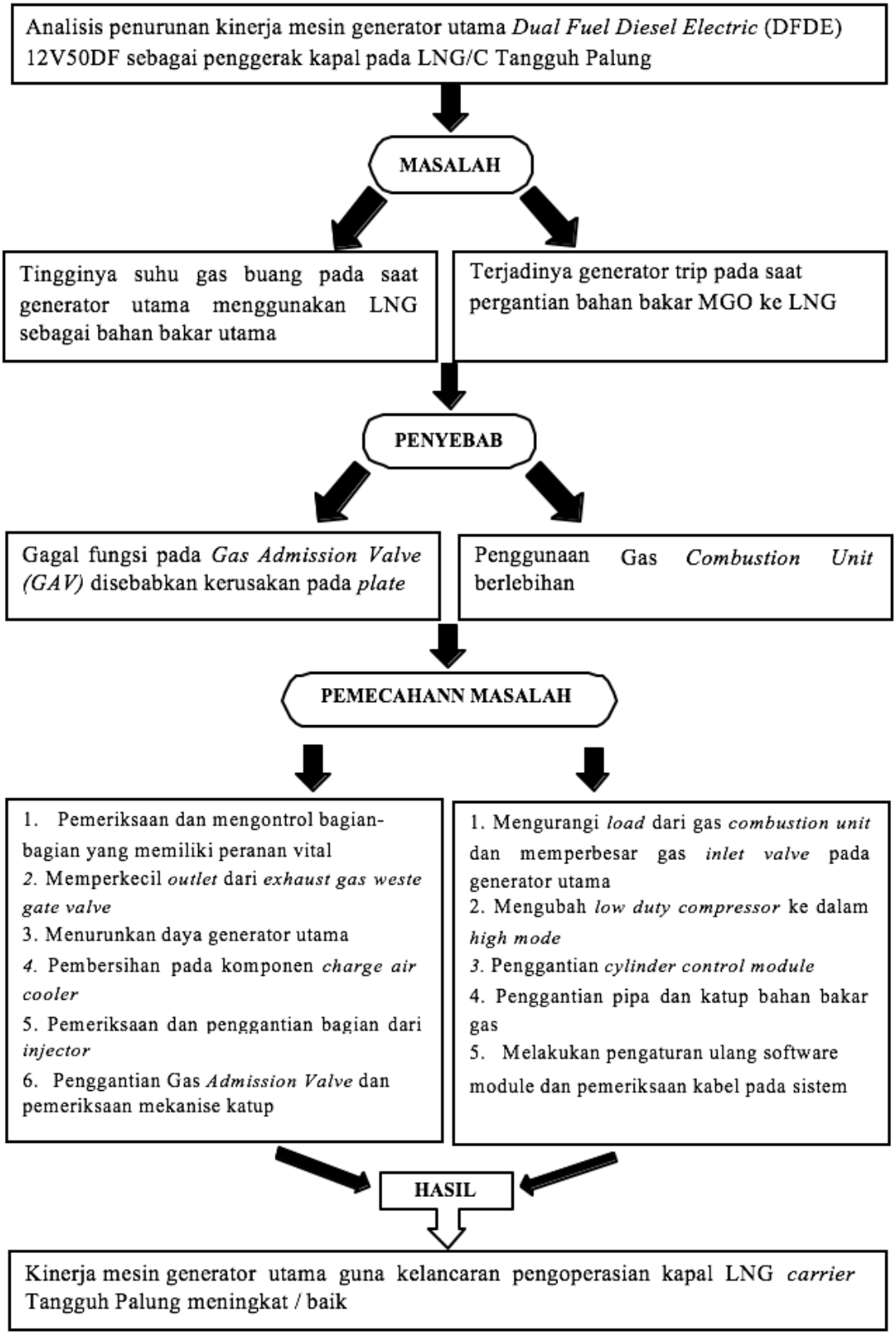
Beberapa tabel diatas adalah masalah yang dapat menyebabkan terjadi rendahnya suhu dan tekanan bahan bakar LNG. Dari beberapa permasalahan diatas terdapat masalah yang terkait dalam penelitian skripsi ini yaitu penggunaan gas *combustion unit* yang berlebihan, terjadinya kerusakan katup pemasukan gas dan modul pengendali katup pemasukan gas pada gas *admission valve*.

B. KERANGKA PEMIKIRAN

Untuk mempermudah penulisan skripsi ini maka penulis mencoba untuk menuliskan kerangka pemikiran sebagai konseptual teori yang berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diindentifikasi sebagai masalah yang penting. Pada

dasarnya mesin generator utama dengan bahan bakar LNG memiliki hubungan yang sangat erat dengan penyimpanan muatan itu sendiri, dimana jika G.C.U digunakan secara berlebih akan terjadi kurangnya suhu dan tekanan *vapour* gas yang dapat menyebabkan trip pada generator utama yang bertindak sebagai konsumen utama dari *vapour* gas. Oleh sebab itu, suhu dan tekanan dari *vapour* gas pada ruang *gas valve unit* akan diatur sedemikian rupa, yaitu untuk tekanan tidak boleh kurang dari 420 kPa dan suhu yang tidak boleh kurang dari 35^0 C. Selain itu, kurangnya pemantauan berkala pada kondisi *gas admission valve* dapat menyebabkan tidak teraturnya pemasukan *vapour* gas pada tiap silinder, sehingga berakibat suhu gas buang menjadi tinggi. Ketidaktepatan pemanfaatan LNG sebagaibahan bakar dapat mengakibatkan tingginya tekanan pada tangki muatan dan dapat mempengaruhi kinerja pada mesin generator utama *dual fuel diesel electric* di kapalLNG/C Tangguh Palung.

KERANGKA PEMIKIRAN



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

1. Waktu penelitian

Sebelum penyusunan skripsi ini dilakukan, penulis telah melaksanakan penelitian pada masa praktik laut (PRALA). Dimana penelitian dilaksanakansejak tanggal 09-09-2019 sampai dengan 15-09-2020. Akan tetapi dalam melaksanakan penelitian, penulis tidak hanya melakukan peneltian terhadap masalah turunnya kinerja mesin generator utama *dual fuel diesel electric* sebagai penggerak kapal mengingat jabatan saya sebagai *engine cadet* harus membantu para masinis untuk menyelesaikan berbagai masalah yang terjadi di atas kapal dan belajar permesinan lainnya.

2. Tempat penelitian

Adapun tempat dimana penulis melakukan penelitian tentang permasalahan yang diangkat turunnya kinerja mesin generator utama *dual fuel diesel electric* sebagai penggerak kapal pada LNG/C Tangguh Palung yang disebabkan rendahnya suhu dan tekanan bahan bakar LNG, serta tingginya suhu gas buang mesin generator utama pada saat menggunakan LNG sebagaibahan bakar utama, adalah sebagai berikut :

Nama kapal : LNG/C Tangguh Palung

Tipe kapal : *Liquefied Natural Gas Carrier*

Nama perusahaan : *K-Line Energy Ship Management* (K –ENE)

Alamat perusahaan : 15th floor, Iino Building,1-1Uchisaiwaicho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan.

Daerah pelayaran : *Foreign Going*

S*hip particular* LNG/C Tangguh Palung adalah sebagai berikut:

Nama kapal	: LNG/C Tangguh Palung
Nama panggil kapal	: H9NH
IMO *Number*	9355379
Tipe kapal	: LNG *carrier* GTT Mark III *Membrane*
Bendera	: Panama
Pelabuhan registrasi	: Panama
Tempat pembuatan	: Samsung Heavy Industries Co. Ltd, Goeje Shipyard, Republic of Korea
Tahun pembuatan	2008
Tipe mesin penggerak	: *Electric Propulsion Motor* – ABB AMZ 1120MR08 LSF
Daya mesin penggerak utama	: 12650 KW
Tipe mesin generator utama	: *Dual Fuel Diesel Electric* – Wartsila
Daya generator utama	:12V50DF – 11400 kW x 3 6L50DF – 5700 kW x 1
Kecepatan kapal	: 19,5 Knot
Berat kotor	: 97.897 tons
Berat bersih	: 30.877 tons
Length Over All	: 285,101 m

B. METODE PENDEKATAN DAN TEKNIK PENGUMPULAN DATA

1. Metode Pendekatan

Agar pemecahan masalah didalam skripsi ini dapat dilakukan dengan baik dan sistematis maka penulis menggunakan beberapa metode pendekatan masalah. Metode dalam pendekatan yang digunakan dalam skripsi ini yang dianggap sesuai dan digunakan peneliti dalam melakukan penelitian sebagai berikut:

a. Studi Kasus

Metode pendekatan studi kasus adalah suatu metode pendekatan dengan mempelajari masalah-masalah yang sedang dihadapi. Artinya, masalah-masalah yang ada dipelajari terlebih dahulu dengan mengacu kepada *manual book* atau dokumen-dokumen yang dapat membantu dalam pemecahan

masalah yang sedang dialami peneliti.

Selama penulis melakukan praktik kerja nyata di kapal LNG/C Tangguh Palung, penulis melakukan pendekatan pemecahan masalah dengan mempelajari *manual book* mesin disel generator utama. Di dalam *manual book* tersebut penulis dapat mempelajari masalah-masalah yang mungkin terjadi pada mesin *diesel* generator utama dan bagaimana cara pemecahan terhadap masalah tersebut.

b. *Problem Solving*

Metode pendekatan dengan cara *problem solving* adalah lanjutan dari pendekatan studi kasus yang telah dilakukan terlebih dahulu oleh peneliti yang mana telah dijelaskan di atas, sehingga *problem solving* adalah suatu proses menemukan masalah dan memecahkan berdasarkan data dan informasi yang akurat, sehingga dapat diambil kesimpulan yang tepat.

c. Deskriptif Kualitatif

Metode pendekatan dengan cara deskriptif kualitatif yaitu pemaparan bahasan data yang diperoleh dilapangan kemudian dibandingkan dengan berbagai teori. Metode deskriptif kualitatif adalah teknik analisis yang akan digunakan dalam menggambarkan sesuatu kejadian atau peristiwa yang terjadi diatas kapal berdasarkan pengamatan dan pandangan dengan melihat data-data yang ada.

Dengan menggunakan teknik analisis yang telah disebutkan di atas, diharapkan penelitian skripsi ini dapat menghasilkan suatu solusi ataupun pemecahan masalah yang tepat dan akurat, baik dalam mengamati dan menangani tentang permasalahan yang diangkat.

2. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah prosedur yang sistematis dan standar untuk memperolehdata yang diperlukan. Teknik pengumpulan data yang dilakukan penulis dalam penyusunan skripsi ini didasarkan pada data fakta,informasi dan pengalaman yangpernah dialami selama melaksanakan praktik laut. Kemudian data digunakan oleh penulis di dalam menyampaikan masalah untuk menggambarkan danmenguraikan objek yang diteliti berisi pemaparan, uraian dan penjelasan tentang suatu objek pada waktu tertentu, dan peneliti

menggunakan beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut :

a. Teknik Observasi

Teknik observasi merupakan pengumpulan data yang didapatkan dilapangan melalui proses pengamatan terhadap suatu objek tertentu serta pengalaman kerja dalam suatu penelitian disertai dengan pencatatan terhadap keadaan atau perilaku objek sasaran penelitian secara sistematis yang bertujuan untuk dijadikan sebagai bahan pembuatan skripsi.

Dalam melakukan observasi penulis melakukan pengamatan pada saat terjadinya masalah dan kegiataan perbaikan yang berlangsung diatas kapal LNG/C Tangguh Palung. Penulis melakukan observasi bersamaan dengan melakukan tugas-tugas yang diberikan oleh para masinis ataupun saat melakukan aktivitas di kamar mesin.

Namun dalam metode observasi langsung ini memliki kelemahan yaitu :

1) Diperlukan waktu menunggu yang lama untuk memperoleh pengamatan langsung terhadap satu kejadian. Misalnya, untuk mendapatkan mengetahui masalah pokok yang akan diteliti harus menunggu sampai terjadinya masalah tersebut, bahkan bersifat tidak pasti.

2) Pengamatan terhadap suatu fenomena yang lama, tidak dapat dilakukan secara langsung. Misalnya, untuk mengetahui evaluasi dari perbaikan yang dilakukan tidak dapat dilihathanya dengan mengambil data yang sementara.

b. Studi Dokumentasi

Metode pengumpulan data studi dokumentasi yaitu dengan melihat arta menganalisis dokumen-dokumen yang dibuat oleh subjek itu sendiri atau oranglain. Cara yang penulis lakukan dengan melakukan pengumpulan data atau dokumen dari segala macam sumber serta pencatatan yang ada. Dalam dokumentasi ini data-data yang berkaitan dengan subjek yang akan dilakukan pengamatan didapat dari arsip dan dokumen-dokumen kapal, sehingga data tersebut lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

Dokumen-dokumen kapal yang dijadikan referensi adalah :

1) Buku petunjuk manual permesinan *(Machinery Operating Manual)* yang menjelaskan proses operasional mesin generator utama dalam

berbagai mode operasi, parameter yang ditentukan, cara pengoperasian mesin generator utama dan juga GCU sebagai konsumen utama bahan bakar LNG.

2) Buku petunjuk manual muatan *(Cargo Operating Machinery)* yang menjelaskan sifat dan cara penanganan dari muatan yang nantinya jika mengalami evaporasi akan berubah menjadi bahan bakar LNG.
3) Laporan Perawatan *(Engine Maintenance Report)*, berisikan tentang laporan-laporan perawatan yang telah dilakukan pada berbagai permesinan diatas kapal baik itu mesin utama maupun bantu.
4) Buku catatan kamar mesin *(Engine Log Book)*, berisi tentang laporan kondisi permesinan-permesina yang ada.
5) *WARTSILA INSTRUCTION MANUAL FOR DFDE*, yang berisikan tentang penjelasan lengkap mengenai mesin generator utama. Dimulai dari pengoperasiannya, cara perawatannya, dan juga penyediaan suku cadang.

c. Studi Pustaka

Teknik ini diambil dengan cara mengambil dari buku-buku teori yang relevan dan berkaitan dengan permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini. Bisa juga sebagai bahan pertimbangan, perbandingan dalam penelitian dan pembahasan yang berkaitan dengan masalah yang dihadapi dalam skripsi ini.

C. SUBJEK PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis akan mengamati faktor penyebab rendahnya suhu dan tekanan bahan bakar LNG sebelum memasuki mesin generator utama dan juga tingginya suhu gas buang pada tiap silinder generator utama pada saat dalam mode gas.

Berdasarkan masalah yang telah dipilih, maka subjek yang menjadi fokus penelitian adalah analisis penurunan kinerja mesin generator utama DFDE wartsila 12V50DF di kapal LNG/C Tangguh Palung.

D. TEKNIK ANALISIS DATA

Metode yang digunakan penulis untuk menganalisis data yang ada dalam skripsi ini adalah menggunakan metode deskriptif kualitatif. Penulis berusaha memaparkan semua kejadian atau peristiwa yang terjadi saat penulis melaksanakan praktik laut di LNG/C Tangguh Palung, selanjutnya dilakukan pembahasan yang menggunakan teori-teori menurut buku manual dan para pakar.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. DESKRIPSI DATA

Dalam deskripsi data ini, akan diuraikan mengenai kejadian yang menyangkut analisis turunnya kinerja generator utama *Dual Fuel Diesel Electric (DFDE)* 12V50DF sebagai penggerak kapal pada LNG/C Tangguh Palung akibat dari terjadinya beberapa masalah yaitu:

1. Terjadinya trip pada generator saat perpindahan bahan bakar dari MGO ke LNG.

Jika muatan LNG yang berapa didalam tangki mengalami evaporasi maka tekanan yang berada didalam tangki muatan akan semakin besar, untuk mengatasi terlalu besarnya tekanan didalam tangki, LNG harus dibakar melalui GCU atau digunakan sebagai bahan bakar pada generator utama. Kesalahan yang terjadi pada proses pengolahan LNG dari tangki muatan yaitu terjadinya penyuplaian LNG yang terlalu banyak atau *load* yang tinggi kepada GCU. Hal ini memicu terjadinya kekurangan bahan bakar LNG yang disuplai ke generator utama sehingga menyebabkan kurangnya tekanan dan suhu dari LNG yang disuplai ke generator utama. Kejadian tersebut terjadi pada tanggal 17 Januari 2020 pukul 14.00 waktu setempat setelah melakukan proses pemuatan (*loading*) LNG di pelabuhan PT. BP (*British Petroleum*) untuk proyek TANGGUH LNG Bintuni.

Beberapa waktu setelah proses pemuatan selesai terjadi kenaikan tekanan pada tangki muatan karena proses evaporasi muatan akibat dari perbedaan suhu yang signifikan antara muatan yang baru saja dimasukan kedalam tangki muatan terhadap suhu tangki muatan atau sisa muatan sebelumnya yang masih ada di dalam tangki. Normalnya, setelah proses pemuatan berakhir dan kapal sudah keluar dari pelabuhan serta dalam kecepatan penuh, *Gas Engineer* akan

menyalakan GCU guna mengurangi kenaikan tekanan didalam tangka muatanyang akan sangat berbahaya jika dibiarkan terus-menerus mengalami kenaikan secara drastis yang awalnya mencapai 120 kPa turun ke titik normal (berkisar 110-112 kPa). Terkecuali jika kapal menggunakan tiga generatornya yang normalnya sudah dapat menerima suplai bahan bakar LNG yang banyak sehingga tidak diperlukan GCU untuk menurunkan tekanan yang berada didalam tangki.

Selain penyebab tersebut, kurangnya komunikasi antara *Gas Engineer* yang bertanggung jawab terhadap GCU dan masinis yang bertugas didalam kamar mesin bertanggung jawab atas generator utama juga dapat memicu berkurangnya tekanan dan suhu bahan bakar LNG untuk generator utama secara derastis.

Penyebab utama dari hal ini adalah pengaturan *load* GCU secara berlebih oleh *Gas Engineer* sehingga tekanan dan suhu LNG yang normalnya mencapai tekanan 420-550 kPa dan suhu 35-50^{o}C untuk menuju kamar mesin, menjadi bertekanan 370 kPa dan bersuhu 30 ^{o}C. Proses terjadinya penurunan tekanan dan suhu ini terjadi pada saat penggunaan GCU bersamaan dengan generator utama menggunakan mode gas setelah meninggalkan pelabuhan.

Pada kondisi tersebut, akan terjadi proses kenaikan tekanan pada tangki muatan dalam selang waktu tertentu. Sehingga langkah yang diambil oleh *Gas Engineer* adalah menyalakan *Gas Combustion Unit* guna mengurangi tekanan didalam tangki muatan akibat dari proses evaporasi yang terjadi. Kesalahan pengaturan *load* pada *Gas Combustion Unit* oleh *Gas Engineer* yang kurang berkomunikasi dengan masinis di kamar mesin yang mengoperasikan mesin generator utama ketika sudah dalam mode gas akan mengakibatkan penurunan suhu dan tekanan yang signifikan dan dapat memicu sistem proteksi pada generator utama untuk mengirim signal ke katup pemasukan utama dalam ruang unit katup gas, sehingga generator utama akan masuk ke mode trip.

Trip ini bertujuan untuk menghindari terjadinya kerusakan pada mekanisme katup di dalam *cylinder head*, dikarenakan rendahnya tekanan dan suhu bahan bakar LNG dapat memicu terjadinya *knocking* yang dapat menyebabkan keretakan pada mekanisme katup. Masalah-masalah diatas disebabkan karena terjadinya perbedaan keperluan yang saling bertolak belakang antara generator utama sebagai penghasil listrik utama diatas kapal, yang normalnya harus menyediakan

daya listrik yang tinggi untuk sistem penggerak kapal, serta *Gas Combustion Unit* yang bertugas untuk mengurangi tekanan didalam tangki muatan.

Masalah–masalah diatas terjadi secara berurutan sehingga menyebabkan terjadinya penurunan suhu dan tekanan bahan bakar LNG secara drastis pada saat perpindahan bahan bakar sehingga dapat mengakibatkan tripnya generator utama.

2. **Tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.**

Penurunan kinerja generator utama dipicu akibat indikasi kerusakan pada GAV (*Gas Admission Valve*) yang mengakibatkan tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas sehingga dapat memicu terjadinya trip pada generator utama. Kejadian tersebut terjadi pada tanggal 3 Februari 2020 jam 09.00 waktu setempat setelah melakukan proses bongkar muatan (*discharging*) LNG di pelabuhan Ensenada, Mexico. Setelah bertolak dari pelabuhan menggunakan dua generator utama nomor 2 dan nomor 4 untuk penyedia tenaga atau daya inti dikapal LNG/C Tangguh Palung. Dua jam setelah kapal *manouver* dan beralih dari bahan bakar MGO menggunakan bahan bakar LNG terjadi ketidaknormalan pada suhu gas buang generator utama nomor 2 mencapai suhu 550°C, dimana suhu nomal adalah 430°C sampai dengan 500°C hal ini mengaktifkan alarm *high temperature* sebagai indikasi ketidaknormalan pada sistem bahan bakar. Suhu gas buang dari generator utama tersebut terus naik dan mencapai 580°C.

Hal ini memaksa *main control module* dari generator utama untuk mengaktifkan *relay mode* dari generator utama masuk ke mode trip sehingga sistem propulsi penyedia tenaga inti di kapal terganggu. Pada saat terjadi masalah tingginya suhu gas buang pada generator utama nomor 2, masinis 2 langsung mengambil tindakan untuk menjalankan generator utama nomor 3 guna mengambil alih tugas dari generator utama nomor 2 sebagai penyedia tenaga inti untuk sistem propulsi di kapal. Setelah itu dilakukan analisa penyebab terjadinya masalah tingginya suhu gas buang dan dilakukan perbaikan.

B. ANALISIS DATA

Di dalam analisa ini akan dititik beratkan pada bagaimana proses terjadinya penurunan suhu dan tekanan LNG sebelum masuk ke mesin generator utama yang berujung pada penurunan kinerja generator utama di atas kapal LNG/C Tangguh Palung serta kenaikan suhu gas buang pada generator nomor 2 saat dalam mode gas.

Adapun tujuan analisis data ini adalah untuk menganalisis masalah sehingga dapat dicarikan persepsi dari masalah tersebut.

1. **Penyebab generator trip pada saat pergantian bahan bakar dari MGO ke LNG.**

   a. Penggunaan *Gas Combustion Unit* yang berlebihan

      Boil of Gas (BOG) adalah suatu bahan bakar hasil evaporasi dari muatan kapal LNG. Untuk dapat diproses dan dipergunakan pada generotor utama sebagai bahan bakarnya maka BOG perlu penyesuaian suhu dan tekanan yang akan dilakukan di *gas valve unit room*. Pada ruang ini, proses penyaringan, pengaturan, serta proses pemeriksaan bahan bakar *methane* sebagai kandungan utama dari BOG itu sendiri akan dilakukan. Pada ruang ini juga terjadi proses pembilasan bahan bakar *methane* dilakukan dengan gas nitrogen. Pada proses normal sistem ini berjalan dengan menjaga tekanan bahan bakar *methane* 420-550 kPa, dan suhu 35-50^{o}C. Dikarenakan penggunaan *load* GCU yang terlalu besar pada waktu yang bersamaan dengan pemakaian mode gas pada generator utama ataupun terjadinya kebocoran pada pipa-pipa penyuplai bahan bakar *methane* menuju kamar mesin untuk masuk ke mesin generator utama, penurunan suhu dan tekanan LNG secara tiba-tiba akhirnya terjadi.

      Hal ini dideteksi oleh sistem keamanan generator utama sehingga sebagai tindak perlindungan dari generator utama itu sendiri maka *relay module* akan mengirimkan sinyal untuk mengaktifkan mekanisme trip pada generator utama demi mencegah terjadinya kerusakan lebih lanjut dan kerusakan pada bagian lain yang berdampak lebih besar lagi.

   b. Kerusakan pada *cylinder control module* (CCM)

      Cylinder control module berfungsi untuk mengontrol *gas admission valve* dan *pilot fuel injection valve* dengan menggunakan energi tinggi tipe PWM *(pulse width modulation) outputs*. Setiap modul dilengkapi PWM-type kontrol sinyal pada tiga *gas admission valve* dan tiga *pilot fuel injection valve*, modul juga mengkalkulasi hasil yang relevan durasi penginjeksian bahan bakar gas dan *timing* pengabutan *pilot fuel*. Kedua informasi itu dikirim ke *main control module* (MCM) melalui CAN *(controller area network).* CCM

juga memberikan sinyal perintah pada posisi sudut yang relevan, modul kontrol silinder juga perlu informasi yang akurat dari sensor kecepatan dan sensor fase. CCM juga menangani pengukuran spesifik silinder, yaitu suhu gas buang dan rendahnya suhu dan tekanan LNG yang memasuki generator utama. Pada semua informasi ini dikirim melalui CAN ke MCM.

Dari hasil analisa data ditemukan kerusakan pada CCM yang mengakibatkan rendahnya tekanan dan suhu LNG pada saat memasuki generator utama.
Kerusakan pada CCM bisa disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

1) Tidak stabilnya listrik kapal

   Tidak stabilnya listrik kapal dapat menyebabkan keterlamabatan pengiriman data spesifik tentang generator utama kepada CCM.
2) Getaran mesin yang terlalu besar

   Akibat dari getaran mesin yang terlalu besar dapat mengakibatkan lepasnya komponen atau kabel dari CCM akibat dari pemasangan CCM yang kurang kencang dan tidak hati-hati.
3) Terjadinya *grounded* sistem kabel pada CCM
   Grounded pada CCM dapat terjadi akibat kabel yang terkelupas menyentuh housing dari CCM tersebut atau kabel menyentuh komponen lain sehingga kinerja dari CCM dapat terganggu dan bisa menyebabkan kerusakan.
4) CCM terlalu panas
   Apabila CCM terlalu panas dapat mengakibatkan komponen elektronik didalam CCM mengalami kerusakan akibat dari ketidaktahanan komponen pada suhu yang tinggi.

c. Kecilnya kapasitas suplai bahan bakar LNG

Pada mesin generator DFDE, gas dipasok melalui pipa umum yang berjalan di sepanjang mesin, dilanjutkan dengan pipa umpan individu ke masing masing silinder. Pemasukan gas dikendalikan dengan *"Main Gas Admission Valve"* untuk pemasukan gas utama. Katup tersebut adalah katup solenoid yang digerakkan langsung dengan dikontrol oleh sistem kontrol (WECS). Tekanan gas utama pada mesin dapat diperiksa dari tampilan panel local.

Alarm diatur untuk perbedaan tekanan rendah antara terkanan udara pembakaran dan tekanan gas.

Dari hasil analisis data diatas ditemukan penggunaan GCU yang berlebihan dan kerusakan pada CCM dapat menyebabkan rendahnya suhu dan tekanan LNG sebelum masuk ke mesin generator utama.

2. **Penyebab tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.**

a. *Tappet clearance valve* terlalu kecil

Ketidaksesuaian penyetelan *tappet clearance* merupakan masalah terkait dengan buruknya pembakaran dalam silinder dan dapat menyebabkan tingginya suhu gas buang generator utama seiring berjalannya waktu, terjadi deposit karbon disekitar katup dan juga getaran yang terjadi pada generator utama menyebabkan terjadinya perubahan signifikan pada setelan *tappet clearance.*

Tingkat kekencangan baut *yoke* merupakan sumber yang dapat menimbulkan masalah dari perubahan *tappet clearance.* Normalnya tenaga torsi yang diberikan untuk mengencangkan baut yoke sebagai tindak lanjut menentukan *tappet clearance* berdasarkan *wartsila instruction manual book* adalah 400 Nm.

Setelah dilakukan pengecekan kekencangan baut *yoke* berdasarkan *wartsila instruction manual book*, tidak ditemukan masalah yang dapat menimbulkan *tappet clearance valve* terlalu besar/ berubah dari setelah yang telah ditentukan oleh buku manualnya.

b. Gagal fungsi pada G.A.V

Tidak berfungsinya *gas admission valve* sangat berpengaruh terhadap jumlah rasio bahan bakar dan udara di dalam silinder, hal ini dapat menyebabkan suhu gas buang yang tinggi pada generator utama.

1) G.A.V macet ketika terbuka

Kemacetan G.A.V saat membuka bisa terjadi karena adanya partikel yang terkandung dalam bahan bakar LNG karena kotoran lolos dari *magnetic filter* dan *catridge filter* yang bisa merusak bagian katup atau bahkan mengakibatkan tidak ratanya permukaan pada valve dan terjadi

jamming.

2) Adanya kebocoran pada G.A.V

Dari hasil observasi bahwa *gas admission valve* harus bekerja dengan sempurna dan terhindar dari partikel-partikel kecil, kotoran atau debu yang masuk kebagian katup G.A.V. Maka kebocoran pada katup G.A.V dapat dihindari. G.A.V harus bisa bekerja secara optimal dan terhindar dari adanya kebocoran, karena sudah tidak kedapnya katup G.A.V. saat melaksanakan perbaikan dan pengecekan pada G.A.V benar terjadi beberapa kerusakan pada G.A.V sesuai dengan analisis dan pengalaman dari para masinis di atas kapal.

kerusakan G.A.V dikapal tempat penulis melaksanakan praktik disebabkan oleh adanya kebocoran pada G.A.V, maka yang terjadi pada G.A.V ini menurut para masinis akan sangat berpengaruh pada kinerja G.A.V itu sendiri dalam mengatur dan mengalirkan jumlah porsi bahan bakar gas yang masuk. Karena jika terjadi kebocoran di G.A.V dan tidak segera ditangani maka kemungkinan besar bisa mengakibatkan salah satu bagian dari G.A.V akan terjadi kerusakan dan tentunya G.A.V tidak berfungsi dengan baik. Dari hasil identifikasi oleh para masinis penggunaan O-ring yang kurang tepat dan tidak sesuai standar pada instalasi adaptor bertekanan ke *inlet gas* juga sebagai penyebab G.A.V itu mengalami kebocoran, yang bilamana pemilihan O-ring tidak sesuai maka katup gas akan menjadi tidak kedap.

Pengaturan ini disesuiakan dengan rasio bahan bakar gas yang benar dan beroperasi secara optimal dengan tujuan sesuai efisiensi emisi. Selain dengan terjadi kebocoran penyebab kerusakan juga diakibatkan oleh gas yang tidak bersih yang masuk kedalam G.A.V, dimana kotoran lolos dari *magnetic filter* dan *catridge filter* yang bisa merusak bagiankatup atau bahkan mengakibatkan tidak ratanya permukaan pada valve. Menurut buku *instruction manual book of wood word SOGAV (SolenoidG.A.V)* 250.

3) Patahnya bagian *moving plate*

Menurut hasil observasi penulis pada saat melaksanakan praktik di kapal LNG/C Tangguh Palung, dapat diidentifikasikan bahwa kerusakan yang terjadinya pada G.A.V yaitu patahnya bagian dari *moving plate*, yang diakibatkan oleh pembebanan yang tidak merata pada area atau bagian pada moving plate.

Menurut temuan yang didapat penulis pada saat praktik di kapal LNG/C Tangguh Palung bahwa ada bagian yang tergores akibat gesekan antara dua bagian yang tidak rata pada area *moving plate*. Dikarenakan bahan dari *moving plate* sensitif terhadap penekanan dan akan lebih mudah patah. Menurut buku *instruction manual book of wood word SOGAV (Solenoid Operated G.A.V) 250*

Patahnya bagian bawah *moving plate*:

Terjadinya kerusakan patahnya bagian *moving plate* menyebabkan penekanannya katup menjadi berkurang, memungkin katup pada G.A.V tidak mempunyai penekanan yang cukup terhadap gas yang masuk ke ruang pembakaran.

4) Kerusakan *cylinder control module*

Cylinder control module merupakan module elektronik yang berfungsi mengatur mekanisme pada silinder yang bekerja secara otomatis seperti pada proses pembukaan G.A.V, dan mengatur durasi atau lamanya katup gas dalam kondisi terbuka.

c. Kesalahan mekanisme *Exhaust Gas Waste Gate Valve*

Tidak sesuainya pembukaan pada *exhaust gas waste gate valve* akan mengakibatkan terlalu banyaknya gas buang yang langsung *bypass* menuju ke cerobong sebelum melewati *turbine side* pada *turbocharge* yang akibatnya putaran kompresor pada *turbocharge* juga akan berkurang. Dari hasil analisa data tidak ditemukan kesalahan mekanisme pembukaan *exhaust gas waste gate valve* dan komponen *turbocharge* kondisi baik.

d. Temperatur udara pembakaran tinggi

Asupan udara kedalam turbocharge langsung dari ruang mesin melalui filter dan peredam suara. *Impeller turbocharge* membuat kecepatan tinggi ke udara yang kemudian mengalir ke *casing volute* dan *diffuser* dimana energi kecepatan diubah menjadi energi tekanan. Kompresi meningkatkan suhu udara. Dari *volute* dan *diffuser*, udara mengalir ke pendingin yang mengurangi suhu udara untuk meningkatkan densitasnya. Pendingin udara dua tahap digunakan dan dihubungkan dengan sistem air pendingin HT (*High Temperature*) dan LT (*Low Temperature*) yang mendinginkan udara sebelum memasuki silinder mesin. Namun setelah dilakukan pemeriksaan pada sistem udara pembakaran, udara pembakaran yang masuk ke silinder mesin sesuai dengan ketentuan pembuat mesin yang tercantum pada buku petunjuk manual generator utama.

e. Ketidaknormalan injektor bahan bakar

Katup injeksi (injektor) adalah gabungan *pilot nozzle* dan katup injeksi bahanbakar minyak yang terletak di kepala silinder. Tekanan bahan bakar pilot bekerja pada kedua langkah tekanan jarum pilot (kekuatan pembukaan) dan melalui lubang pada piston pilot (kekuatan penutupan). Katup solenoid membuka lubang pembuangan dari silinder pilot dan dengan demikian menghilangkan tekanan yang bekerja pada piston dan tekanan bahan bakar yang bekerja pada gaya jarum keatas. Terdapat jarak (*clearance*) yang sangat kecil di *nozzle* dan di katup solenoid, oleh karena itu kebersihan dan pencegahan partikel asing dan kotoran yang memasuki katup atau pipa adalah yang paling penting. Pemeliharaan katup injeksi terdiri dari melepas dan memasang katup injeksi. Melakukan pengetesan terhadap katup injeksi. Dan setelah dilakukan pengecekan serta pengetesan terhadap komponen injektor bahan bakar tidak didapati keadaan yang tidak normal, artinya injektor bahan bakar bekerja sesuai fungsinya.

Dari hasil analisi data diatas ditemukan gagal fungsi gas admission valve dapat menyebabkan suhu gas buang yang tinggi pada mesin generator utama.

C. ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH

Pada bagian alternatif pemecahan masalah penulis ingin memberikan beberapa alternatif pemecahan masalah sesuai dengan apa yang sudah penulis jelaskan pada bagian analisis data, alternatif pemecahan masalah tersebut pada:

1. Penyebab generator trip pada saat perpindahan bahan bakar dari MGO ke LNG

a. Penggantian *cylinder control module*

Pada alternatif pemecahan ini dilakukan sesuatu penggantian pada *control system* dengan cara melakukan penggantian *cylinder control module* yang bertugas untuk mengatur pembukaan dan penutupan G.A.V. Penggantian CCM harus dilakukan secara menyeluruh, hal ini dilakukan karena pada CCM terdapat banyak bagian elektronik yang terintegrasi dan apabila satu bagian diganti, bagian lain harus diganti. Sehingga kesinambungan proses kerja antar bagian tetap dapat berfungsi secara optimal.

b. Mengubah *low duty compressor* kedalam *high mode*

Permasalahan yang terjadi adalah kurangnya jumlah LNG yang akan disuplai ke mesin generator utama saat GCU beroperasi. Oleh karena itu, masinis muatan sebagai operator dari *LD compressor* harus memperbesar kapasitas dari mesin tersebut demi menghindari turunnya tekanan dan suhu LNG di area kamar mesin. *Gas Engineer* harus memperbesar pembukaan katup pemasukan pada *LD compressor* serta merubah *LD compressor* menjadi *high mode* dengan cara mengaktifkan *coil* kedua serta memperbesar pembukaan V.D.V *(variable diffuser vane).* Pada cara ini memerlukan kewaspadaan dan ketelitian yang tinggi dari *Gas Engineer* selaku operator permesinan muatan, hal ini disebabkan apabila pembukaan V.D.V terlalu besar, kemungkinan ledakan bahan bakar *methane* di dalam *LD compressor* dapat terjadi.

2. Tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.

a. Melakukan perbaikan pada bagian *Gas Admission Valve* yang rusak

Pada dasarnya kebocaran pada *gas adimission valve* diakibatkan pada bagian *moving plate* yang permukaannya mulai tidak rata dan terkikisnya bagian *moving plate* akibat beban penekanan pegas yang tidak merata

sehingga pada saat katup dalam kondisi tertutup masih ada gas yang masuk kedalam silinder. Hal ini dapat ditangani dengan cara diskir untuk meratakan kembali bagian yang terkikis.

b. Menjaga atau memperhatikan jam kerja pada *magnetic filter* dan *catridge filter*. Untuk menghindari kotoran yang masuk ke dalam sistem diperlukan untuk menjaga dan memperhatikan jam kerja atau kondisi pada *magnetic filter* dan *catridge filter*, jika kotoran lolos dan merusak O-ring pada G.A.V maka akan menyebabkan kebocoran pada G.A.V.

c. Penggantian bagian-bagian *Gas Admission Valve* secara menyeluruh.

Pada dasarnya proses kerja dari G.A.V adalah berdasarkan dari akumulator yang menerima *electric signal* dari *cylinder control module* yang kemudian dari aktuator akan membuka ataupun menutup sesuai dengan kontrol sistem yg telah diintegrasikan pada G.A.V itu sendiri. Pada saat terjadinya keterlambatan penerimaan respon dari *controller* dan terjadinya keterlambatan pembukaan dari G.A.V dapat disebabkan dari kondisi bagian-bagian G.A.V yang sudah tidak bekerja secara maksimal, sehingga dilakukan penggantian beberapa bagian didalam G.A.V termasuk O-ring yang sangat penting dalam hal menjaga ke-*vacuum*-an. Namun pada saat terjadinya kerusaskan pada filter, penggantian secara menyeluruh harus dilakukan. Hal ini dikarenakan, filter pada G.A.V telah diintegrasi dan tidak dapat dilepas.

D. EVALUASI TERHADAP ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH

Pada bagian evaluasi alternatif pemecahan masalah akan dievaluasi setiap alternatif yang penulis anggap sebagai suatu alternatif pemecahan masalah. Evaluasi akan penulis lakukan dengan melihat dari segi kelemahan dan kekuatan, kekurangan dan kelebihan, kerugian dan keuntungan untuk memudahkan pengambilan keputusan dalam memilih pemecahan masalah yang tepat.

1. Terjadinya generator trip pada saat perpindahan bahan bakar dari MGO ke LNG

a. Mengubah *Low Duty Compressor* kedalam *high mode*

Salah satu alternatif pemecahan masalah yaitu dengan cara memperbesar kapasitas pemasokan LNG sebagai bahan bakar. Cara ini dilakukan dengan

mengubah *low duty compressor* kedalam *high mode* serta memperbesar pembukaan V.D.V *(variable diffuser vane).*

1) Keuntungan

   Tidak membutuhkan biaya sedikitpun

2) Kerugian

   Cukup sulit karena memerlukan ketelitian yang sangat tinggi dari masinis muatan.

b. Penggantian *Cylinder Control Module*

Pada evaluasi alternatif pemecahan masalah ini penulis memberikan evaluasi terhadap cara ini menjadi cara yang efektif karena hampir selalu dapat mengatasi penyebab masalah yang berkaitan dengan gas buang pada generator utama.

1) Keuntungan

   a) CCM yang baru akan bekerja secara sempurna karena semua komponennya dalam kondisi baru dan terkalibrasi secara keseluruhan yang akan membuat sistim CCM bekerja terintegrasi dengan baik dalam unit sistimnya.

   b) CCM yang baru memiliki kemampuan yang baik mendeteksi tekanan dan suhu bahan bakar LNG pada generator utama.

2) Kerugian

   Biaya yang besar karena komponen CCM merupakan bagian yang sangat mahal

2. Tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.

a. Melakukan perbaikan pada bagian *Gas Admission Valve* yang rusak Kebocoran pada *gas admission valve* diakibatkan pada bagian *moving plate* yang permukaannya mulai tidak rata dan terkikisnya bagian *moving plate* akibat beban penekan pegas yang tidak merata sehingga pada saatkatup dalam kondisi tertutup masih ada gas yang masuk kedalam silinder.

   1) Keuntungan:

      a) Dapat memangkas biaya pembelian *spare parts.*

      b) Bisa dilakukan saat keadaan darurat seperti kelangkaan *sparepart*

2) Kerugian:

a) Waktu pemakaiannya tidak dapat bertahan lama

b) Butuh pengukuran dan ketelitian yang tinggi saat perbaikan

c) Tidak dapatnya mengukur masa akhir batasan kerjanya dari *GAV* yang diperbaiki.

b. Penggantian bagian-bagian *Gas Admission Valve* secara menyeluruh ataupun bagian-bagiannya adalah salah satu alternatif pemecahan masalah yang dapat dilakukan terhadap masalah yang penulis alami. Hal ini dikarenakan permasalahan yang terjadi yaitu tingginya suhu gas buang dari meisn generator utama sebagai akibat dari buruknya injeksi bahan bakar LNG di dalam ruang pembakaran yang dilakukan oleh GAV. Berikut adalah keuntungan dan kerugian dari alternatif pemecahan masalah penggantian G.A.V secara menyeluruh:

1) Keuntungan:

a) Penggantian G.A.V dapat membantu mengatasi terlalu lebar atau terlalu sempitnya pembukaan G.A.V.

b) Filter pada G.A.V dapat berfungsi dengan baik untuk menyaring kotoran dan karbon yang terkandung pada LNG.

c) G.A.V dapat berfungsi dengan baik dan tidak akan menemui masalah pada G.A.V yang masih dalam kondisi baru.

d) G.A.V yang baru dapat dikeahui masa berakhirnya jam kerjanya karena mengacu pada manual bookknya.

2) Kerugian:

Biaya yang cukup besar dalam penggantian G.A.V karena bagian ini memiliki harga yang cukup mahal.

c. Melakukan penggantian pada *magnetic filter* dan *catridge filter.*

Untuk menghindari kotoran yang masuk ke dalam sistem diperlukan untuk menjaga dan memperhatikan jam kerja atau kondisi pada *magneticfilter* dan *catridge filter*, jika kotoran lolos dan merusak O-ring pada G.A.V maka akan menyebabkan kebocoran pada G.A.V.

1) Keuntungan:

   a) Penggantian filter dapat mengatasi masalah dengan cepat danmejaga sistem dalam keadaan bersih
   b) Dapat mengurangi resiko terjadi kerusakan pada gas valve untuk kedepannya.

2) Kerugian:
   Biaya yang cukup besar untuk penggantian pada *magnetic filter* dan *catridge filter.*

E. PEMECAHAN MASALAH YANG DIPILIH

Berdasarkan dari evaluasi pemecahan masalah maka penulis akan memberikan suatu pemecahan masalah yang efektif untuk masalah yang penulis bahas didalam skripsi ini.

1. Terjadinya generator trip pada saat perpindahan bahan bakar dari MGO ke LNG

Untuk masalah generator mengalami trip saat perpindahan bahan bakar MGO ke LNG, penulis mendeskripsikan pengendalian kapasitas *Low Duty Compressor* adalah penyelesaian masalah terbaik. Karena selain dapat menyelesaikan masalah generator trip saat perpindahan bahan bakar MGO ke LNG, diketahui diakibatkan rendahnya suhu dan tekanan LNG yang masuk ke dalam generator. Dengan menggunakan pemecahan masalah ini tingkat evaporasi, suhu, serta tekanan dari LNG di dalam tangki muatan juga dapat dikendalikan. Selain itu penulis menyarankan untuk melakukan penggantian *cylinder control module,* pemecahan masalah ini dapat tergolong efektif karena juga dapat menyelesaikan permasalahan tingginya suhu gas buang pada generator utama.

CCM ini merupakan salah satu *critical equipment,* jadi tidak direkomendasikan untuk melakukan perbaikan CCM di atas kapal. Masinis dikapal juga harus memperhatikan instalasi kabel yg terkelupas dan menyebabkan earth fault, sehingga dapat menggurangi resiko kerusakan pada CCM untuk kedepannya.
Adapun alasan penulis mengambil pemecahan masalah tersebut dikarenakan pada saat penulis melakukan penelitian diatas kapal LNG/C Tangguh Palung

pemecahan masalah yang dilakukan oleh masinis diatas kapal maupunbimbingan pemecahan masalah dari pihak pembuat mesin generator utama juga sama seperti yang penulis pilih.

2. **Tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.**

Pemecahan masalah yang dipilih untuk tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas adalah penggantian *Gas Admission Valve* karena kerusakanyang terjadi pada *Gas Admission Valve*, penulis juga menyarankan agar dilakukan pengecekan serta penggantian pada *magnetic filter dan catridge filter* untuk menjaga kebersihan LNG yang akan di suplai ke generator utama dan mengurangi/ mencegah resiko terjadinya kerusakan kembali pada *Gas Admission Valve.* Sehingga dapat mencegah tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas. Pemecahan masalah ini juga bertujuan untuk menghindari terjadinya trip pada mesin generator utama dan mencegah terjadinya kerusakan secara mendadak yang akan membahayakan kapal ketika beroperasi serta dapat membantu mengoptimalkan kinerja mesin generator utama sebagai penggerak kapal pada LNG/C Tangguh Palung tempat penulis melakukan penelitaan. Uap tersebut akan masuk ke bagian *shell* sementara bahan bakar LNG yang berada di dalam bagian *tube* dari *Gas Heater* tersebut. Normalnya, *Gas Heater* hanya digunakan jika suhu muatan yang diberikan olehterminal mencapai tingkat yang sangat dingin yaitu mencapai -161˚C atau biasa disebut *Cold Cargo.*

Suhu muatan yang diberikan oleh terminal normalnya berkisar -157°C sampai -159°C dibawah nol, dan kondisi muatan seperti ini disebut sebagai *Hot Cargo.* Namun, kondisi *Hot Cargo* tidak menjamin cocoknya suhu dan tekanan bahan bakar LNG yang akan disuplai menuju kamar mesin. Dikarenakan tidak stabilnya sifat dari LNG itu sendiri, serta tidak memungkinkannya pengaturan secara instan pada *Pre-cooler*. Masalah–masalah diatas terjadi secara berurutan sehingga menyebabkan terjadinya penurunan suhu dan tekanan bahan bakar LNG secara drastis sehingga dapat mengakibatkan tripnya generator utama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Kelancaran operasional kapal yang berarti kerja dari generator utama, tidak terlepas dari dukungan komponen yang terdapat dalam sistem yang terkait pada sistem bahan bakar generator induk dan sistem kontrol pada generator induk sendiri. Dimulai dari proses pemuatan *LNG*, pengolahan dan pengubahan *LNG* menjadi bahan bakar *methane*, proses penyuplaian ke dalam kamar mesin, serta mekanisme penyuplaian kedalam tiap silinder pada generator induk. Berdasarkan uraian bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. **Terjadinya generator trip pada saat perpindahan bahan bakar MGO ke LNG**

   Yang dapat menyebabkan generator trip pada saat perpindahan bahan bakar MGO ke LNG dikarenakan kecilnya kapasitas penyuplaian LNG dari tanki muatan menuju ke mesin generator utama yang dipengaruhi oleh berlebihnya penggunaan *gas combustion unit*. Tidak maksimalnya penggunaan *low duty compressor* yang bertugas untuk menyuplai dan menekan LNG sebelum masuk kedalam sistem bahan bakar gas pada mesin generator utama. Ketidaksesuaiaan antara suplai LNG yang menuju ke kamar mesin dengan kebutuhan di kamar mesin menjadi faktor utama. Selain hal tersebut permasalahan juga disebabkan oleh rusaknya *cylinder control module.*

2. **Tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.**

   Tingginya suhu gas buang pada saat generator utama dalam mode gas disebabkan oleh gagal fungsi pada GAV. GAV macet ketika terbuka dikarenakan adanya kotoran yang lolos dari *magnetic filter* dan *catridge filter*. Adanya kotoran yang

masuk tersebut dapat merusak O-ring pada GAV dan menyebabkan kebocoran. Selain hal tersebut penyebab lain adalah patahnya *moving plate* pada GAV yang disebabkan oleh adanya penekanan yang tidak merata serta ada bagian yang tergores akibat pergesekan antara dua bagian yang tidak rata pada area *moving plate* sehingga mengakibatkan kebocoran.

B. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang penulis simpulkan, dalam hal pencegahan dan penanganan terjadinya trip pada generator saat perpindahan bahan bakar MGO ke LNG dan terlalu tingginya suhu gas buang pada generator utama maka penulis memberikan saran :

1. Terjadinya generator trip pada saat perpindahan bahan bakar MGO ke LNG

Untuk masalah generator trip pada saat perpindahan bahan bakar MGO ke LNG ini penulis memberikan saran sebagai berikut :

1) Pengendalian kapasitas *Low Duty Compressor* sebagai penyelesaian masalah terbaik. Karena selain dapat menyelesaikan masalah rendahnya suhu dan tekanan LNG dengan menggunakan pemecahan masalah ini tingkat evaporasi, suhu, serta tekanan dari LNG di dalam tangki muatan juga dapat dikendalikan.
2) Melakukan penggantian *cylinder control module,* pemecahan masalah ini dapat tergolong efektif karena selalu dapat menyelesaikan masalah tingginya suhu gas buang pada mesin generator utama. CCM ini merupakan salah satu *critical equipment,* jadi tidak direkomendasikan untuk melakukan perbaikan CCM di atas kapal.
3) Selain melakukan penggantian CCM masinis juga perlu memperhatikan instalasi kabel yg terkelupas untuk menghindari earth fault, yang bertujuan menggurangi resiko kerusakan pada CCM kedepannya.

Saran tersebut dapat mengoptimalkan kinerja mesin generator utama pada kapal LNG/C Tangguh Palung.

2. **Tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas.**

Untuk pencegahan terlalu tingginya suhu gas buang dari mesin generator utama penulis menyarankan dengan beberapa cara sebagai berikut :

a. Penggantian *Gas Admission Valve*, karena kerusakan yang terjadi pada *Gas Admission Valve*

b. Melakukan pengecekan dan penggantian pada *magnetic filter dan catridge filter* untuk menjaga kebersihan LNG yang akan di suplai ke mesin generator utama serta menggurangi resiko terjadinya kerusakan kembali pada *Gas Admission Valve.*

Saran tersebut diatas dapat mencegah tingginya suhu gas buang pada saat dalam mode gas. Dengan demikian terjadinya trip dapat dihindari dan dapat mengoptimalkan kinerja generator utama sebagai penggerak kapal pada LNG/C Tangguh Palung.

DAFTAR PUSTAKA

Jansen, Scoot. 2006. Converting Diesel Engine to Dual Fuel the Pors and Cons andcommon gas engine type. Energy Conversion Inc.

KBBI. 2012. "Analisis*" (http://kbbi.web.id/analisis.html)*

Mahsun (2006), "kinerja *(performance)" Jurnal Kinerja.* 25.

Pendidikan, Guru 2014*."*Analisis–Pengertian, Contoh, Tahap, Tujuan, Para Ahli*".* *https://www.gurupendidikan.co.id/analisis/*

Samsung Heavy Industry. 2008. *Machinery Operating Manual.* Bundang:Samsung

*S*amsung Heavy Industry, 2008. *Cargo Operating Manual.* Bundang:Samsung

Setiawan, Ebta. 2012. "Pengertian Analisis"https://kbbi.web.id/analisis.html

Sugiyono, 2017. Metode Penelitian Pendidikan. Bandung:Alfabeta

Tika. 2006. "Kinerja Adalah Hasil-Hasil Fungsi Pekerjaan". Jurnal Kinerja. Hal: 212-122.

Wartsila, 2006. Wärtsilä 50DF. https://www.wartsila.com/marine/build/engines- and-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-50df

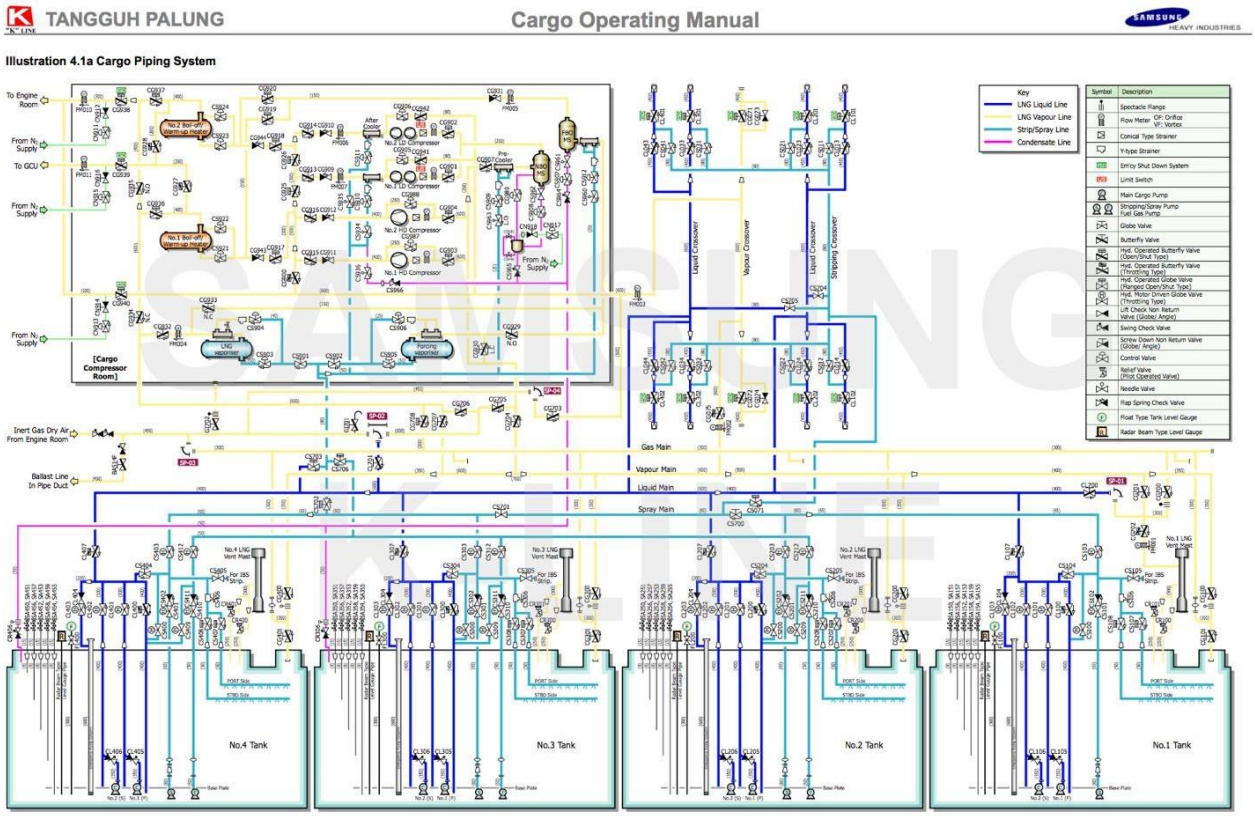
Wartsila50DF. 2006. Lean Burn Combuation . Findland:Wartsila

Wartsila. 2008. Wartsila Instruction Manual. Finlandia:Wartsila

Woodward. 2000. SOGAV 250. Instalation and Operation Manual, Manual26114 (Revision E).

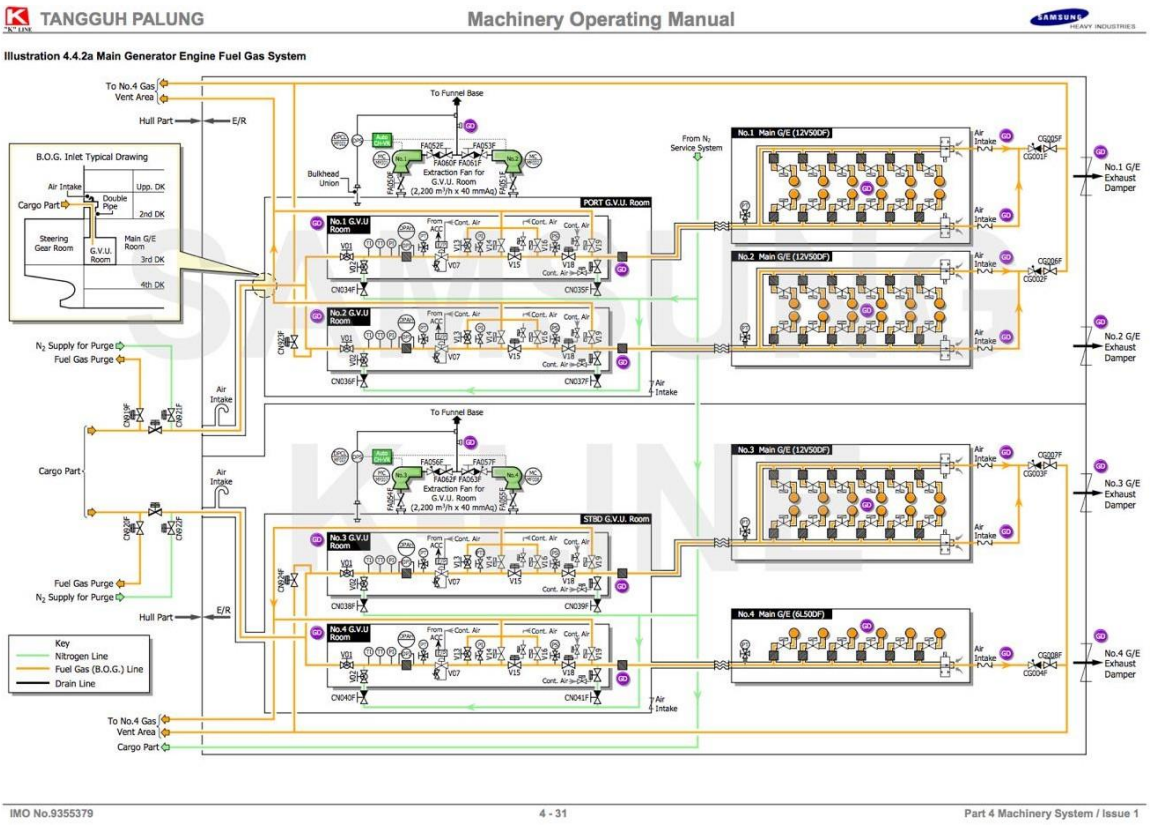
LAMPIRAN

Lampiran 1



Sistem perpipaan LNG dari tangki muatan menuju ke kamar mesin

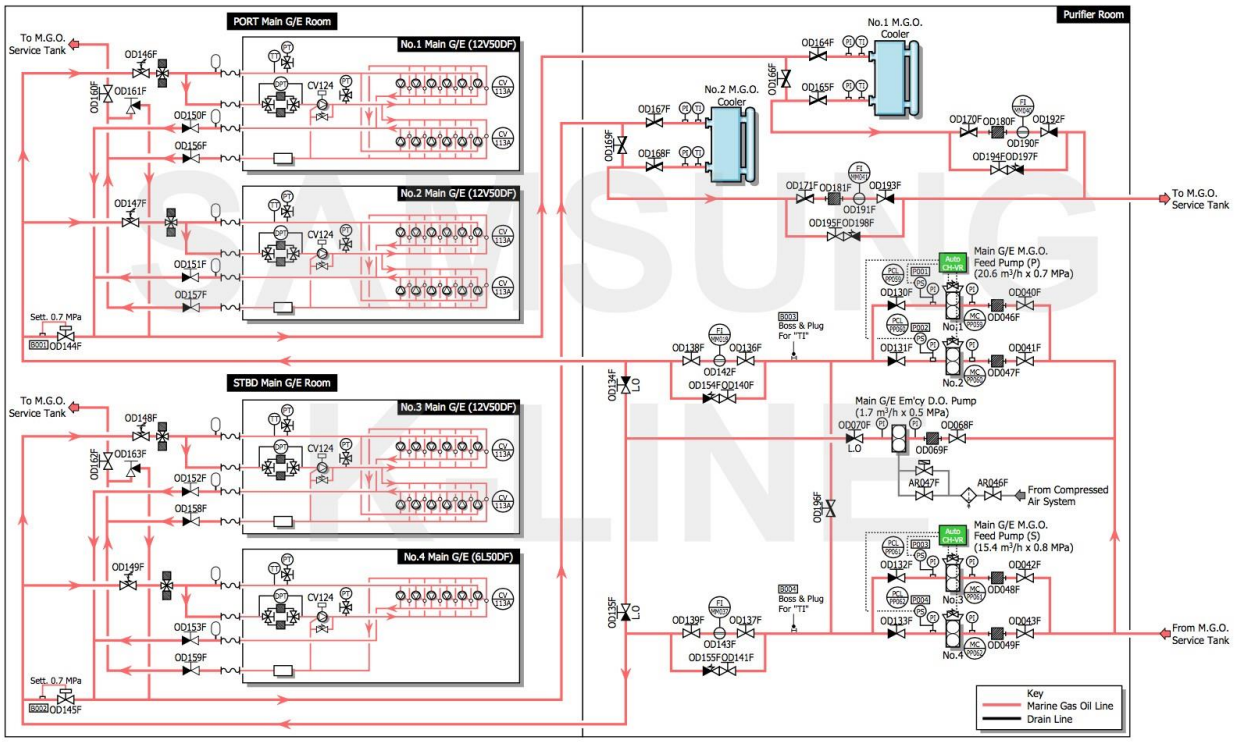
Lampiran 2



Sistem bahan bakar gas pada *dual fuel diesel electric (DFDE).*

Lampiran 3

Illustration 4.4.1a Main Generator Engine Gas Oil Supply System



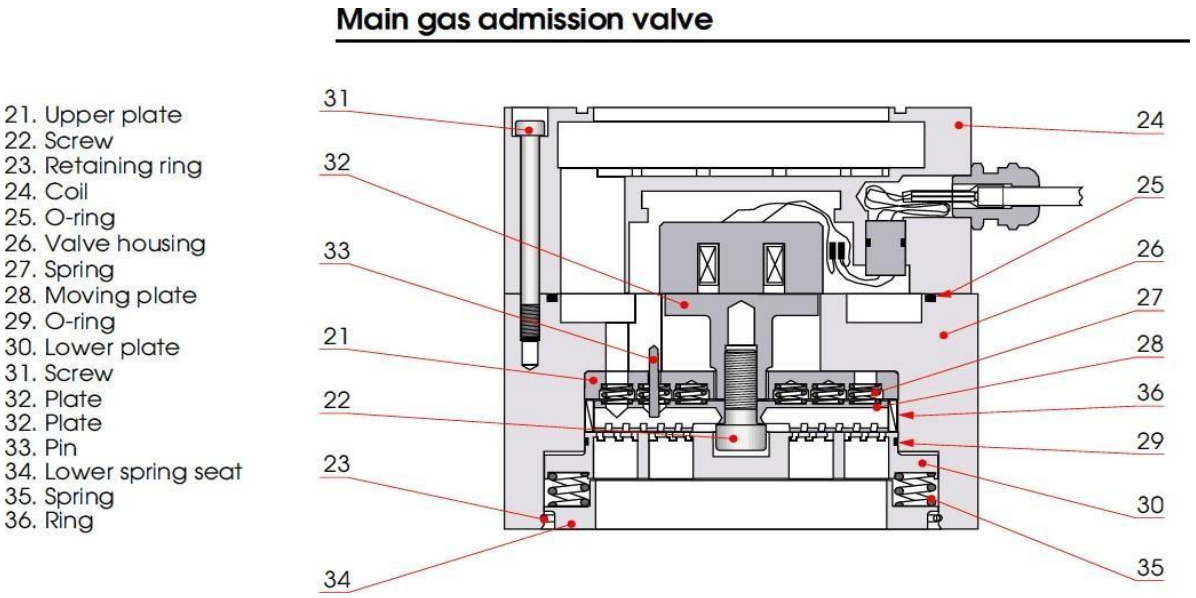
Sistem bahan bakar MGO pada *dual fuel diesel electric (DFDE)*

Lampiran 4

Gambar penemuan penyebab tingginya suhu gas buang akibat kerusakan pada GAV

1. Gas Admission Valve





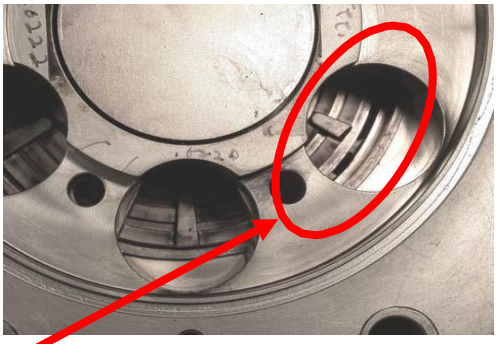
2. Komponen GAV Setelah Dilakukan Pembongkaran



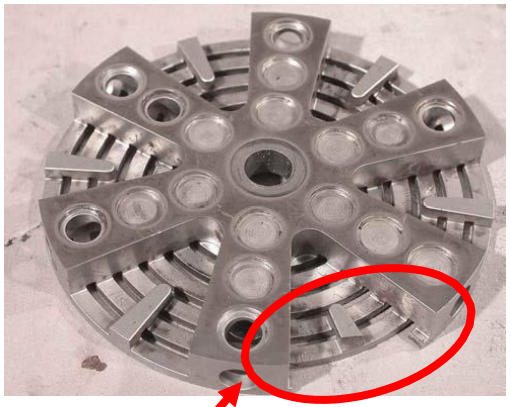
3. Kerusakan Pada Komponen GAV

a.) Patahnya Bagian *Moving Plate*

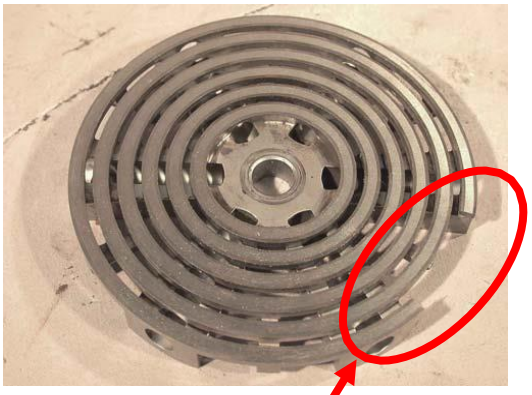




SOGAV Sebelum pembongkaran, ditemukan bagian *moving plate* patah



Moving Plate tampak dari atas



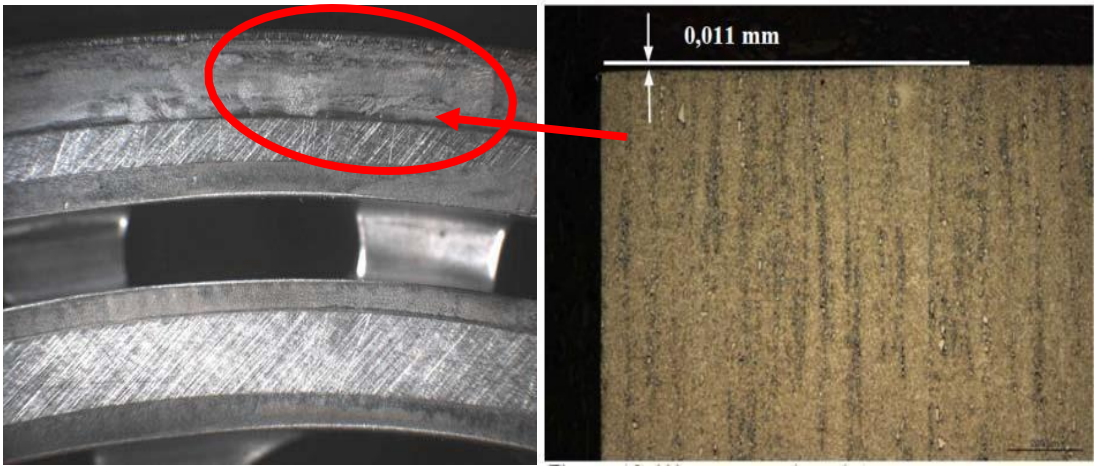
Moving Plate tampak baw

b. Terkikisnya bagian *lower plate*



Penampang dari *lower plate*

Hasil dari analisa dari *maker* SOGAV, ditemukan terkikisnya 0,011mm pada bagian sisi terluar *lower plate*

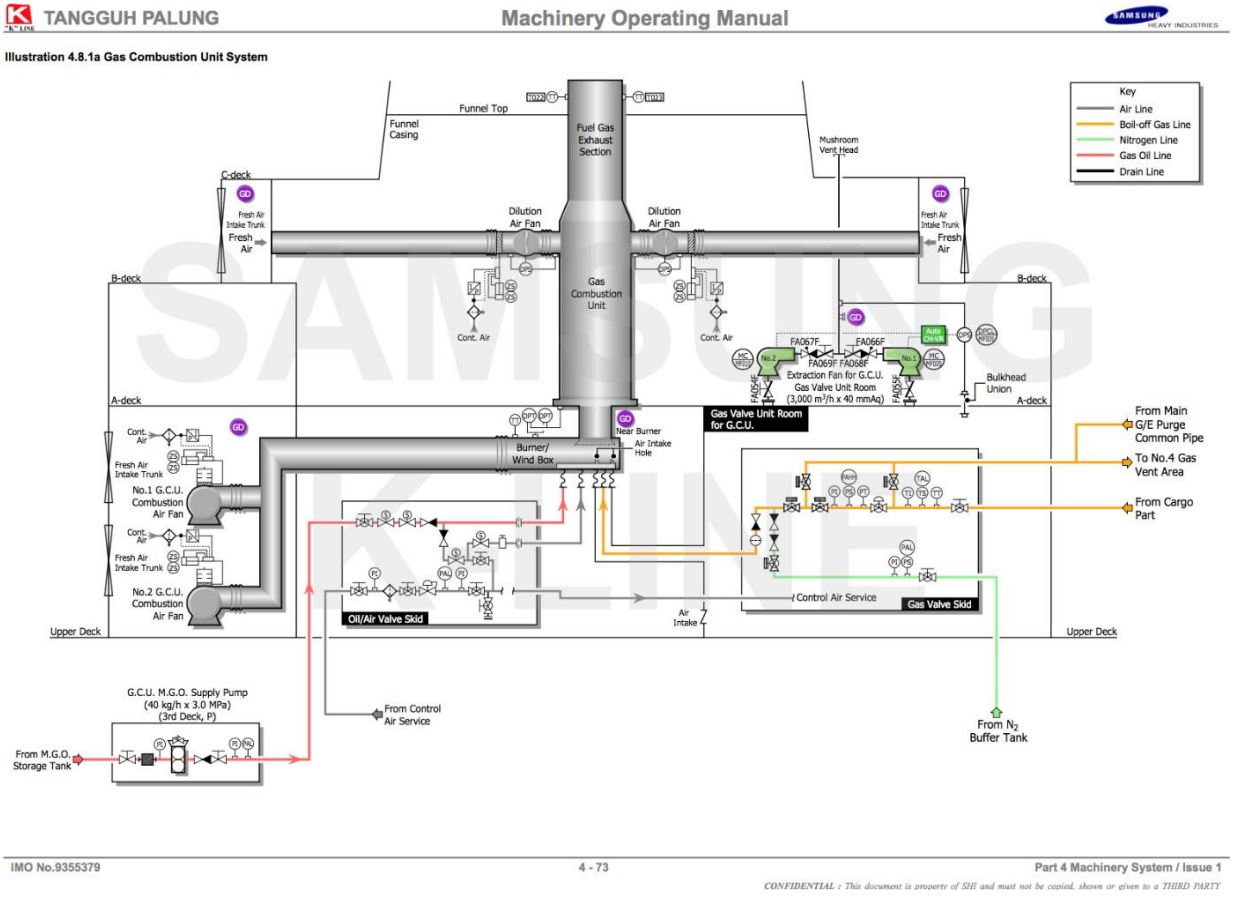


Lampiran 5



Cylinder Control Module (CCM)

Lampiran 6



Gas Combustion Unit (GCU) System.

Lampiran 7

Part 2 : Propulsion System

2.1 Main Generator Engine

2.1.1 Main Particulars : Wartsila 12V50DF x 3, 6L50DF x 1

	unit	12V50DF	6L50DF
Engine Output	kW	11,400	5,700
Cylinder Bore	mm	500	500
Stroke	mm	580	580
Swept Volume	dm^3	1,367	683
Mean Effective Pressure, Engine Speed 500/514 rpm	MPa	2.0 / 1.95	2.0 / 1.95
Mean Piston Speed, Engine Speed 500/514 rpm	m/s	9.7 / 9.9	9.7 / 9.9

Combustion Air System

	unit	12V50DF		6L50DF	
		Gas	MDF	Gas	MDF
Air temperature, max (without derating)	°C	45	45	45	45
Air flow, 100% load[1]	kg/s	17.6	23.2	8.8	11.6

Exhaust Gas System

	unit	12V50DF		6L50DF	
		Gas	MDF	Gas	MDF
Exhaust gas flow, 100%[1]	kg/s	18.2	23.8	9.1	11.9
Exhaust gas flow, 75% load[1]	kg/s	14.4	18.8	7.2	9.4
Exhaust gas flow, 50% load[1]	kg/s	10.2	13.5	5.1	6.7
Exhaust gas temperature after turbocharger, 100% load[1]	°C	400	348	400	348
Exhaust gas temperature after turbocharger, 75% load[1]	°C	430	344	430	344
Exhaust gas temperature after turbocharger, 50% load[1]	°C	450	370	450	370
Exhaust gas back pressure, rec. max.	kPa	4.0	4.0	4.0	40

Heat Balance[2]

	unit	12V50DF		6L50DF	
		Gas	MDF	Gas	MDF
Lubricating oil, LT-circuit	kW	1,030	1,310	520	660
Jacket water, Ht-circuit	kW	1,430	1,660	710	830
Charge air, HT=circuit	kW	1,440	2,480	720	1,240
Charge air, LT-circuit	kW	990	1,330	490	660
Radiation	kW	420	460	210	230

Fuel Consumption[3]

	unit	12V50DF		6L50DF	
		Gas	MDF	Gas	MDF
Total energy consumption at 100% load	kJ/kWh	7,410		7,410	
Total energy consumption at 75% load	kJ/kWh	7,710		7,710	
Total energy consumption at 50% load	kJ/kWh	8,270		8,270	
Fuel gas consumption at 100% load	kJ/kWh	7,370		7,370	
Fuel gas consumption at 75% load	kJ/kWh	7,650		7,650	
Fuel gas consumption at 50% load	kJ/kWh	8,190		8,190	
Fuel oil consumption at 100% load	g/kWh	1.0	189	1.0	189
Fuel oil consumption at 75% load	g/kWh	1.5	189	1.5	189
Fuel oil consumption at 50% load	g/kWh	2.0	196	2.0	196

Fuel Gas System

	unit	12V50DF	6L50DF
		Gas	Gas
Gas pressure at engine inlet, min[4]	MPa	0.39	0.39
Gas pressure to Gas Valve unit, min[5]	MPa	0.44	0.44
Gas temperature before engine	°C	0~50	0~50

Fuel Oil System

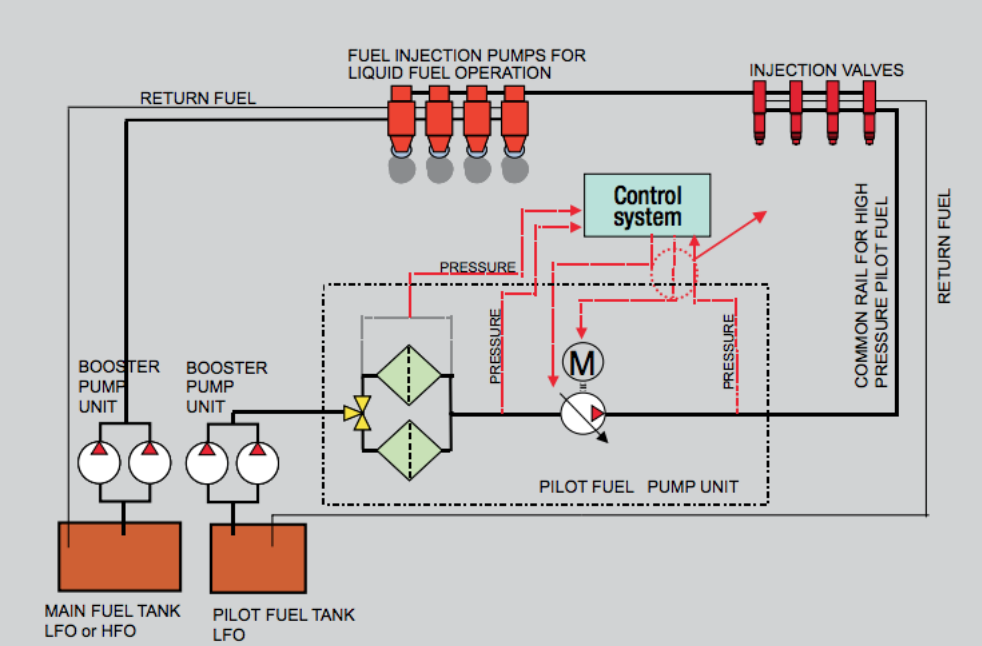
	unit	12V50DF		6L50DF	
		Gas	MDF	Gas	MDF
Circulation pump capacity	m^3/h	10.3	10.3	5.1	5.1
Leak fuel quantity (MDF), clean fuel at 100% load	kg/h	4.7	9.1	2.4	4.6
Pressure before injection pumps, max.	MPa	0.7~0.8	0.7~0.8	0.7~0.8	0.7~0.8
Filter fineness, absolute mesh size (MDF fine filter)	microns	35	35	35	35

Starting air system

	unit	12V50DF		6L50DF	
		Gas	MDF	Gas	MDF
Air pressure, nom.	MPa	3.0	3.0	3.0	3.0
Air pressure, min. (20°C)/max	MPa	1.0 / 3.0	1.0 / 3.0	1.0 / 3.0	1.0 / 3.0
Air consumption per start (20°C)	Nm^3	6.0	6.0	3.6	3.6

Spesifikasi data dari mesin generator utama *dual fuel diese electric (DFDE)*

Lampiran 8



sistem *fuel oil* pada generator wartsila DFDE 50DF