

31.00000011394

TUGAS AKHIR
NE 1701

**PERANCANGAN SISTEM PROPULSI LNG CARRIER
MENGGUNAKAN DUAL FUEL DIESEL-ELECTRIC
SEBAGAI PENGGANTI STEAM TURBINE DITINJAU
DARI ASPEK TEKNIS DAN EKONOMIS**

RSSP
623.8245
Fit
P-1
1998



Disusun oleh :

SUTOPO PURWONO FITRI

NRP. 4293 100 012

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	16-4-99
Terima Dari	4
No. Agenda Prp.	874

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1998**

**PERANCANGAN SISTEM PROPULSI LNG CARRIER
MENGGUNAKAN DUAL FUEL DIESEL-ELECTRIC
SEBAGAI PENGGANTI STEAM TURBINE DITINJAU
DARI ASPEK TEKNIS DAN EKONOMIS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

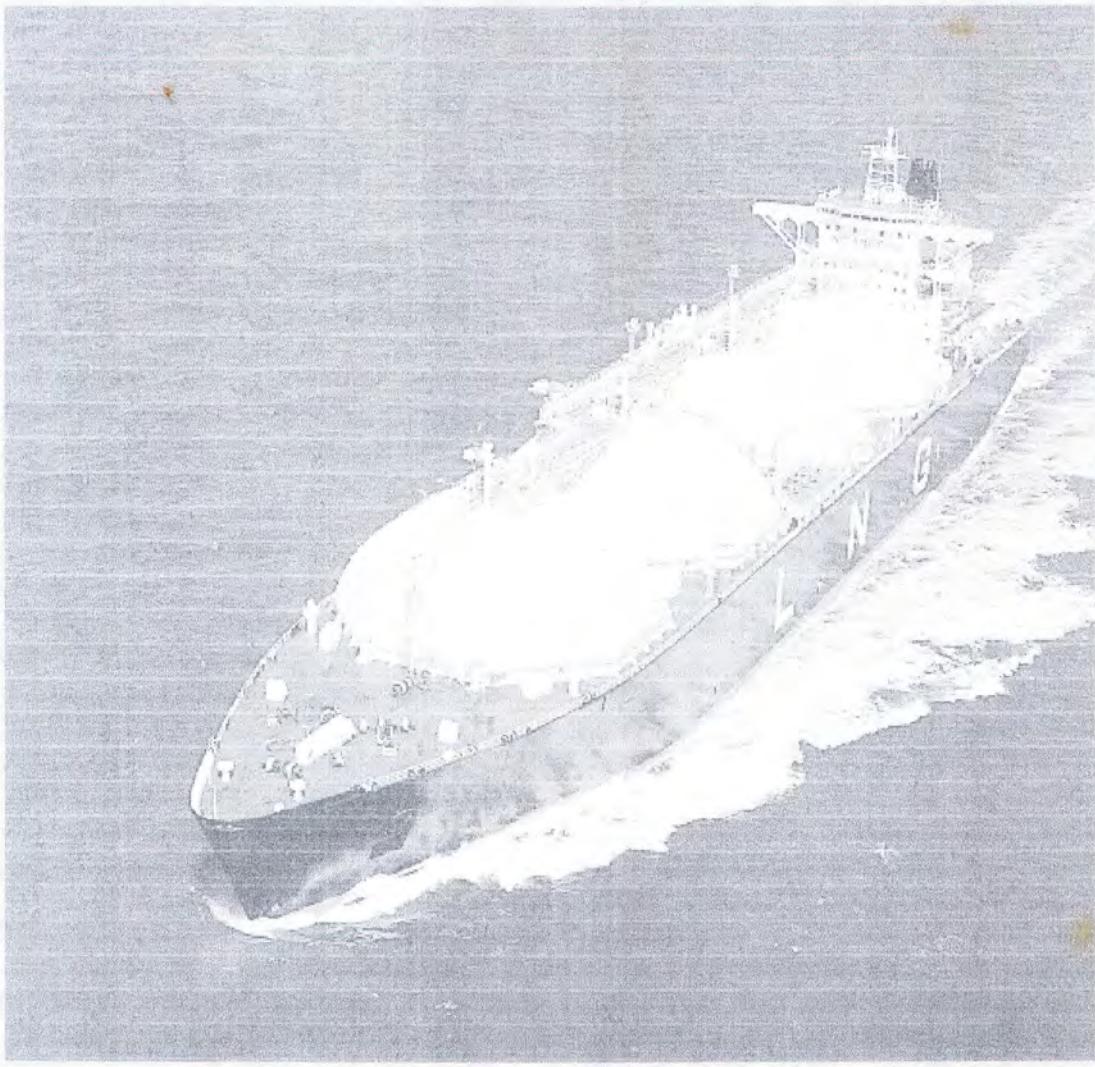


Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing,



Ir. Bambang Supangkat
NIP. 130 355 298

SURABAYA
Agustus, 1998



" Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupkan bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; sungguh (terdapat) tanda – tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan " (QS. AL BAQARAH : 164)

tugas akhir ini kupersembahkan untuk Bapak dan Ibu tercinta,
yang selalu mendoakan dan membimbing tiada putusnya
serta saudara – saudaraku, Mbak Yuli, Mas, dan Upik,
yang kusayangi

ABSTRAK

ABSTRAK

Salah satu upaya yang dilakukan dalam meningkatkan kemampuan pengangkutan LNG pada LNG Carrier adalah penggunaan sistem propulsi yang potensial. Pada saat ini, motor induk dalam sistem propulsi yang umum dipilih untuk kapal – kapal besar (large vessel) mulai beralih dari steam turbine ke diesel engine. Termasuk LNG Carrier yang mulai memakai diesel engine sebagai motor penggerak kapal yaitu dengan konfigurasi diesel – electric sebagai salah satu metode propulsi yang potensial. Walau sekarang steam turbine di LNG Carrier telah dilengkapi dengan kemampuan memanfaatkan boil-off gas (BOG) secara efisien, namun secara keseluruhan kurang efisien bila dibandingkan dengan diesel engine modern, terutama masalah mahalnya biaya karena konsumsi bahan bakar yang tinggi. Diesel engine modern mempunyai efisiensi yang tinggi dimana mampu menghasilkan power yang dibutuhkan oleh sebuah LNG Carrier dan juga memberikan penghematan konsumsi bahan bakar 30–40% jika dibandingkan dengan steam turbine.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi dari penggunaan sistem propulsi di LNG Carrier dengan membuat rancangan sistem propulsi alternatif menggunakan dual fuel diesel – electric, dalam rangka mendapatkan metoda / sistem propulsi yang baik bagi generasi LNG Carrier selanjutnya ditinjau dari aspek teknis dan ekonomis. Dalam tulisan ini akan membahas dan menganalisa rancangan sistem propulsi dan sistem – sistem berkaitan yang melayaninya. Motor induk (main engine) yang digunakan dalam rancangan sistem adalah high pressure dual fuel diesel engine dengan metoda pilot injection dengan memanfaatkan BOG sebagai bahan bakar. Hal – hal yang mempengaruhi dalam upaya pemanfaatan metoda propulsi yang diteliti mencakup unjuk kerja motor penggerak, biaya operasional, efektifitas dan efisiensi kerja sistem, dan jaminan keselamatan.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Dengan mengucap syukur Alhamdulillah atas rahmat dan hidayah-Nya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini yang berjudul ***“Perancangan Sistem Proporsi LNG Carrier Menggunakan Dual Fuel Diesel – Electric Sebagai Pengganti Steam Turbine Ditinjau dari Aspek Teknis dan Ekonomis”***, yang merupakan salah satu aplikasi teknologi alternatif untuk sistem proporsi di LNG Carrier.

Penulis menghaturkan terima kasih kepada orang tua, kakak, dan adik yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan bimbingan selama penyusunan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setulus – tulusnya juga penulis berikan kepada :

1. Bapak Dr. Ir. A. A. Masroeri, MEng, selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
2. Bapak Ir. Soerjo Widodo Adji, MSc, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
3. Bapak Ir. Hari Prastowo, MSc, selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
4. Bapak Ir. Bambang Supangkat, selaku dosen pembimbing, atas arahan dan bimbingan selama penyusunan tugas akhir.
5. Bapak Ir. I Wayan Lingga Indaya, selaku dosen wali.
6. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, MSc, staf pengajar di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, atas bantuan dan perhatiannya.



7. Bapak – bapak dosen, seluruh staf pengajar di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
8. Bapak Roland P. Gultom, selaku General Manager Pertamina LG/JTG Jakarta, beserta seluruh staf dan karyawan.
9. Bapak Ir. Temy, staf Pertamina LG/JTG Jakarta, atas arahan, dan dukungannya.
10. Bapak Budhi Halim, selaku Direktur Armada PT. Humpuss Intermoda Transportasi Jakarta.
11. Bapak Achmadi, selaku Marine Manager PT. Humolco Trans Inc. c/o PT. Humpuss Intermoda Transportasi Jakarta, atas bantuan dan dukungannya.
12. Bapak Ir. Bagoes Krisnamurti, alumni FTK – ITS, staf PT. Humpuss Intermoda Transportasi Jakarta, atas bantuan dan dukungannya.
13. Bapak dan Ibu staf dan karyawan Humas dan Dinas Operasi Perkapalan Pertamina Pusat Jakarta.
14. Seluruh staf dan karyawan di lingkungan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan di Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
15. Bapak Ngadiyat sekeluarga, atas bantuan dan perhatiannya selama di Jakarta.
16. Teman – teman di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan khususnya angkatan '93, atas kebersamaan selama ini, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang juga turut serta membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa kekurangan dan kesalahan masih terdapat di sana – sini, karena itu penulis mohon saran dan kritik membangun untuk perbaikan tugas akhir ini.

Dengan diselesaikannya tugas akhir ini, semoga dapat bermanfaat dan memberikan sumbangana pemikiran bagi para pembaca, dunia pendidikan, pihak galangan kapal, pemilik kapal, dan pihak – pihak lain yang berkepentingan.

Surabaya, Agustus 1998

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.1.1. Kebutuhan Transportasi LNG Carrier	1
1.1.2. Sistem Propulsi Alternatif	2
1.2. Permasalahan	5
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	7
1.5. Manfaat Penelitian	8
1.6. Metodologi Penelitian	8
1.7. Sistematika Penulisan	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian Judul	15
2.2. Dual Fuel Diesel Engine	17
2.2.1. Tinjauan Umum Dual Fuel Diesel Engine	17
2.2.2. Sistem High Pressure Dual Fuel Diesel Engine	18
2.2.3. Unjuk Kerja Dual Fuel Diesel Engine High Pressure Injection System dengan Metoda Pilot Injection	23
2.3. Electric Propulsion Drive	35
2.3.1. Tinjauan Umum Electric Propulsion Drive	35

2.3.2.	Pembangkitan Power dan Konfigurasi Electric Drive System	38
2.3.3.	A-C Propulsion Drive System	39

BAB III PEMANFAATAN BOIL – OFF GAS

3.1.	Karakteristik LNG	56
3.2.	Boil – Off Gas (BOG) Sebagai Bahan Bakar	57
3.2.1.	Tinjauan Umum Boil – Off Gas	57
3.2.2.	Perlakuan BOG	59
3.3.	Sistem dan Instalasi Perpipaan BOG	66
3.3.1.	Material Pipa	66
3.3.2.	Isolasi Pipa	67
3.3.3.	Sambungan Pipa	70
3.3.4.	Instalasi Pipa BOG di Kamar Mesin	74
3.3.5.	Sistem Pemanfaatan BOG Sebagai Bahan Bakar	75
3.3.6.	Peralatan – peralatan	77

BAB IV TINJAUAN EMPIRIS

4.1.	Karakteristik LNG di Sumber Bontang	85
4.2.	Desain LNG Carrier S.T. Eka Putra	86
4.2.1.	Penggerak Utama dan Permesinan Bantu	87
4.2.2.	Tangki Muat	88
4.2.3.	Compressor Room	89
4.3.	Sistem Dual Fuel Untuk Boiler	90
4.3.1.	Rasio Bahan Bakar	94

BAB V PERANCANGAN SISTEM PROPULSI

5.1.	Sistem Electric Propulsion Drive	98
5.2.	Sistem Bahan Bakar Ganda (<i>Dual Fuel System</i>)	104
5.2.1.	Instalasi Perpipaan Sistem BOG	104
5.2.2.	Perlengkapan Sistem Bahan Bakar BOG	111
5.2.3.	Dual Fuel System Untuk Sistem Propulsi	117

5.3. Sistem Keselamatan (<i>Safety System</i>)	123
--	-----

BAB VI ANALISA RANCANGAN

6.1. Analisa Sistem Electric Propulsion Drive	125
6.1.1. Perhitungan Kebutuhan Tenaga Electric Propulsion Drive	126
6.1.2. Sistem Kerja Konfigurasi Electric Propulsion Drive	128
6.2. Analisa Kebutuhan Bahan Bakar	135
6.2.1. Pembakaran di Boiler	136
6.2.2. Pembakaran di HP Dual Fuel Diesel Engine	140
6.3. Analisa Dual Fuel System Untuk Sistem Propulsi Utama	145
6.3.1. Analisa BOG Injection Compressor	145
6.3.2. Analisa Utilisasi BOG Pada Sistem Dual Fuel	153
6.4. Analisa Biaya Kebutuhan Bahan Bakar	155

BAB VII APLIKASI RANCANGAN

BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan	168
8.2. Saran	169

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

	Halaman	
Tabel 2.1.	Standar synchronous speed pada frekuensi 60 Hz	52
Tabel 2.2.	Standar sistem voltage untuk sistem elektrik (di Amerika dan beberapa negara Eropa)	53
Tabel 2.3.	Short circuit KVA untuk sistem power	54
Tabel 3.1.	Komposisi LNG secara umum	55
Tabel 4.1.	Komposisi LNG di sumber Bontang (Kaltim)	85
Tabel 5.1.	Sistem keselamatan pada sistem pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar HP dual fuel diesel engine	124
Tabel 6.1.	Spesifikasi peralatan electric propulsion drive	129
Tabel 6.2.	Kebutuhan beban tenaga untuk masing – masing kondisi operasi	134
Tabel 6.3.	Sifat – sifat gas pada kondisi standar	149
Tabel 6.4.	Perbandingan utilisasi /pemanfaatan BOG	155
Tabel 6.5.	Biaya bahan bakar pada steam turbine plant	157
Tabel 6.6.	Biaya bahan bakar pada HP dual fuel diesel – electric plant	158

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Metode operasi kontrol bahan bakar pada gas injection diesel engine	19
Gambar 2.2. Mekanisme hubungan (<i>linkage mechanism</i>) untuk fuel kontrol pada gas injection diesel engine	20
Gambar 2.3. Perbedaan karakteristik dan operasi antara dual fuel diesel engine konvensional dan dual fuel diesel engine dengan high pressure gas injection / gas injection diesel engine	21
Gambar 2.4. Perbandingan bentuk semprotan fuel gas dan marine diesel oil	24
Gambar 2.5. Efek tekanan injeksi gas pada unjuk kerja engine (medium speed diesel engine 4 langkah)	25
Gambar 2.6. Hubungan antara tekanan suplai gas dengan unjuk kerja engine (2 langkah)	26
Gambar 2.7. Metoda – metoda penyalaan	27
Gambar 2.8. Unjuk kerja pembakaran berdasar metoda – metoda penyalaan	28
Gambar 2.9. Unjuk kerja engine hasil pembakaran pada model engine 1L 42 M-G (medium speed diesel engine 4 langkah)	30
Gambar 2.10. Injeksi gas / pilot fuel pada diesel engine 2 langkah	31
Gambar 2.11. Integral gas injection valve	31
Gambar 2.12. Perbandingan unjuk kerja engine	33
Gambar 2.13. Hasil pengukuran tekanan injeksi gas	34
Gambar 2.14. Hubungan antara rasio fuel oil /gas dan unjuk kerja engine	35

Gambar 2.15. Electric drive system dengan multiple prime mover	36
Gambar 2.16. Rangkaian power converter penyearah arus	40
Gambar 2.17. Rangkaian load-commutated inverter 6 – pulsa	42
Gambar 2.18. Line commutated inverter dengan pengondisian power maksimum (ideal)	43
Gambar 2.19. Controlled rectifier dengan regenerative power ideal	43
Gambar 2.20. Rangkaian single fase dari tiga fase 6 – pulsa cycloconverter	45
Gambar 2.21. Efisiensi motor	50
Gambar 3.1. Loaded / laden voyage (without forcing BOG)	64
Gambar 3.2. Laden voyage (forcing BOG)	64
Gambar 3.3. Ballast voyage pada kondisi operasi pendinginan tangki (tanpa forcing BOG)	66
Gambar 3.4. Ballast voyage tanpa pendinginan tangki (forcing BOG)	66
Gambar 3.5. Sistem isolasi pipa – pipa cryogenic	71
Gambar 3.6. Expansion loop	72
Gambar 3.7. Ekspansi perpipaan, (a) ekspansi bellow, (b) ekspansi joint	73
Gambar 3.8. Vapor Line dan fuel gas line	79
Gambar 4.1. Sistem dual fuel untuk boiler	93
Gambar 4.2. Rasio bahan bakar untuk steam plant	94
Gambar 5.1. Rencana umum sistem propulsi menggunakan HP dual fuel diesel - electric	97
Gambar 5.2. Konfigurasi sistem electric propulsion drive	101
Gambar 5.3. Perpipaan dalam kamar mesin : (a) sistem double wall piping, (b) sistem ventilated duct/ pipe	109

Gambar 5.4. Konstruksi pipa suplai gas dan percabangan, (a) percabangan pipa, (b) sealing system, (c) konstruksi double wall piping (pengkaitan pipa luar dan pipa dalam)	112
Gambar 5.5. Sistem suplai gas tekanan tinggi pada double wall piping	118
Gambar 5.6. Sistem – sistem pada operasi dual fuel	120
Gambar 5.7. Rasio bahan bakar untuk HP dual fuel diesel engine (tanpa penambahan forcing BOG)	121
Gambar 5.8. Rasio bahan bakar : (a) oil only mode, (b) oil set mode, (c) gas set mode	122
Gambar 6.1. Konfigurasi electric propulsion drive pada kondisi operasi	133
Gambar 6.2. Kurva adiabatic head	150
Gambar 6.3. Grafik spesific speed ratio untuk tiga jenis kompresor	150
Gambar 7.1. Pandangan atas (<i>plan view</i>) lower floor konfigurasi steam turbine plant	162
Gambar 7.2. Pandangan atas (<i>plan view</i>) deck no.3 konfigurasi steam turbine plant	163
Gambar 7.3. Pandangan samping (<i>side view</i>) konfigurasi steam turbine plant	164
Gambar 7.4. Pandangan atas (<i>plan view</i>) lower floor konfigurasi diesel-electric	165
Gambar 7.5. Pandangan atas (<i>plan view</i>) 3 rd deck konfigurasi diesel-electric	166
Gambar 7.6. Pandangan samping (<i>side view</i>) konfigurasi dual fuel diesel – electric	167



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

1.1.1. Kebutuhan Transportasi LNG Carrier

Pada saat ini, kebutuhan bahan bakar sebagai sumber energi untuk aktifitas industri dan aktifitas sehari – hari semakin meningkat. Berbagai macam sumber energi dicoba diperoleh dengan beberapa pertimbangan, yaitu : murah, mudah diperoleh dan mudah digunakan. Liquefied Natural Gas (LNG) dewasa ini telah menjadi salah satu primadona pilihan dari beberapa bahan bakar yang telah ada seperti premium, solar, kerosene, dan minyak tanah. Karena selain nilai kalor yang dihasilkan cukup tinggi, harga terjangkau, juga merupakan bahan bakar bersih yang akrab lingkungan. Negara – negara industri maju sekarang sudah menggunakan LNG sebagai sumber energi dan sudah memasyarakat antara lain : Amerika Serikat, Canada, negara – negara Eropa, Jepang, Korea, Taiwan.

Bagi bangsa Indonesia, LNG merupakan sumber daya alam yang potensial dimana mempunyai cadangan gas bumi sebesar 267 trilyun kaki kubik (*trilyun cubic feet / TCF*). Sumber daya alam ini akan menjadi tombak devisa negara melalui ekspor migasnya. Indonesia pada saat ini adalah negara pengekspor LNG terbesar di dunia dimana perkembangan eksportnya semakin meningkat seiring bertambahnya penemuan sumber – sumber baru gas bumi di Indonesia.

Pasar yang sangat baik untuk LNG harus mampu dimanfaatkan sehingga membuka kesempatan membangun industri baru yang terus bergerak maju dengan teknologi yang canggih dan menggairahkan. Diperkirakan LNG di kawasan Asia

Pasifik sampai tahun 2010 berkisar antara 110 – 380 juta ton, dan diperkirakan terdapat penambahan 30 LNG Carrier hanya untuk memenuhi kebutuhan Jepang; terlihat kebutuhan transportasi LNG yang semakin besar.

1.1.2. Sistem Propulsi Alternatif

LNG Carrier adalah kapal tanker yang menggunakan teknologi canggih dan membutuhkan tingkat keamanan dan keselamatan yang tinggi. Salah satu upaya yang dilakukan dalam meningkatkan kemampuan pengangkutan LNG adalah penggunaan sistem propulsi yang potensial. Sistem propulsi yang baik dan efisien sangat penting untuk mendapatkan kecepatan kapal sesuai yang dibutuhkan.

Untuk dapat mengetahui sistem propulsi yang baik, maka perlu mengadakan penelaahan dengan seksama dua hal sebagai berikut :

- alat propulsi dari sistem propulsi yang akan memberikan gaya dorong (*thrust*) kepada kapal (mekanis dan non mekanis), dan,
- sumber tenaga untuk menggerakkan alat propulsi berasal dari motor penggerak kapal atau main engine.

Motor induk kapal dengan alat propulsi (mekanis) merupakan satu kesatuan sistem yang tidak dapat dipisahkan dalam perencanaan kapal.

Sistem propulsi mempunyai potensi untuk dikembangkan melalui penelitian – penelitian seiring dengan kebutuhan manusia akan kecepatan komunikasi dan transportasi. Diinginkan penciptaan sistem propulsi tidak saja secara teknis dapat menghasilkan gaya dorong sesuai kebutuhan, namun dapat pula meminimalkan biaya yang dikeluarkan atau lebih ekonomis terutama dari segi pemakaian bahan bakar untuk motor penggerak. Sehingga dalam pembuatan kapal, perencanaan antara

bentuk badan kapal, tahanan kapal yang timbul, kecepatan yang dihasilkan, serta pemakaian motor penggerak harus tepat dan saling mendukung.

Begitu pula untuk LNG Carrier, dari penelitian dan yang telah digunakan sampai saat ini, sebagian besar LNG Carrier berupa kapal dengan penggerak baling – baling dan motor penggerak turbin uap (*steam turbine*), dan yang masih dalam percobaan adalah transportasi LNG menggunakan kapal selam di perairan tertentu.

Steam turbine plant di LNG Carrier telah dilengkapi dengan kemampuan pemanfaatan boil-off gas (BOG) sebagai bahan bakar yang cukup efisien. Namun secara keseluruhan kurang efisien bila dibandingkan dengan diesel engine modern, terutama dalam penghematan bahan bakar fuel oil. Hal tersebut disebabkan pula adanya kondisi semakin baiknya sistem penyimpanan LNG di tangki, sehingga kapasitas uap LNG / BOG yang terjadi kurang dapat memenuhi kebutuhan bahan bakar untuk propulsi, sehingga masih diperlukan tambahan bahan bakar yaitu fuel oil untuk main engine. Karenanya diesel engine merupakan alternatif yang sangat baik untuk diaplikasikan sebagai motor penggerak dalam sistem propulsi di LNG Carrier.

Diesel engine modern mempunyai efisiensi yang tinggi dimana mampu menghasilkan power yang dibutuhkan oleh sebuah LNG Carrier dan juga memberikan penghematan konsumsi bahan bakar 30 – 40% jika dibandingkan dengan steam turbine. Selain itu, diesel engine merupakan engine yang sudah sangat dikenal oleh anak buah kapal dan banyak digunakan sebagai motor penggerak kapal. Diesel engine sebagai propulsor alternatif juga telah dikembangkan dengan pemanfaatan boil-off gas (LNG) sebagai bahan bakar. Untuk LNG Carrier, diesel yang dapat diterapkan adalah sebagai dual fuel diesel engine, yaitu selain memanfaatkan BOG namun masih tetap menggunakan fuel oil untuk keperluan pilot

injection (injeksi awal). Pemilihan main engine yang efektif untuk LNG Carrier tidak saja berhenti dari satu penemuan. Dual fuel diesel yang telah diciptakan dan telah dipergunakan selama ini antara lain : low pressure dual fuel diesel, high pressure gas injection dual fuel diesel, dual fuel low-speed diesel, mechanically coupled dual fuel medium – speed diesel, dual fuel medium – speed diesel – electric, dan gas turbine. Namun yang banyak dipakai untuk cruise ship, offshore vessel, tanker adalah konfigurasi dual fuel diesel – electric yang mempunyai keistimewaan sebagai berikut :

- Tingginya kemampuan dan meningkatnya utilisasi / pemanfaatan permesinan dengan konfigurasi multi – engine dan multi – propulsion motor
- Memberikan operasi yang fleksibel dan otomatisasi, misal : ketika menggunakan natural gas, dapat mengoperasikan beberapa equipment / engine pada beban tinggi, sedang lainnya menggunakan fuel oil untuk operasi pada beban bervariasi
- Pada single unit dengan multi diesel generator memberikan tingkat keamanan lebih tinggi dari pemakaian single diesel engine, pada harga power yang sama yang diperlukan saat bongkar di pelabuhan
- Optimisasi desain pada konstruksi badan kapal belakang untuk mendapatkan bentuk kapal yang lebih efisien, sehingga ikut mengurangi berat kapal, dan memperbesar kapasitas muat dengan perencanaan ruang muat yang lebih besar
- Dapat menggunakan high – pressure atau low pressure gas injection pada medium – speed engine
- Bila satu atau dua engine diperbaiki, kapal masih selalu siap untuk gerakan – gerakan tertentu yang diperlukan

- Dengan multi – engine diesel electric, beberapa engine akan digunakan secara bersamaan, sehingga penggunaan boil-off gas juga bersamaan pula, seperti pada steam turbine, sehingga auxiliary steam plant yang besar tidak diperlukan untuk penanganan kelebihan boil-off gas
- Dicapainya efisiensi yang optimum pada propeller dengan pengaturan putaran motor oleh penggunaan power converter, dan semakin meningkat pada aplikasi dengan controllable pitch propeller (CPP)
- Kebutuhan power tertinggi (*peak power*) dapat dipenuhi oleh multiple diesel – electric.

Dengan kemampuan dari dual fuel diesel – electric diterapkan di LNG Carrier akan membantu pula penghematan bahan bakar / fuel oil sehingga didapatkan kapal yang lebih ekonomis. Hal ini akan semakin membantu meningkatkan industri galangan kapal dimana owner akan semakin tertarik untuk terjun dalam bidang transportasi LNG dengan membuat kapal – kapal baru untuk melayani kebutuhan konsumen. Terutama bagi Indonesia yang akan terus menjadi negara pengekspor LNG terbesar di dunia seiring dengan penemuan baru sumur – sumur LNG.

1.2. Permasalahan

Dari uraian di atas, permasalahan yang timbul di dalam perencanaan dan “Perancangan Sistem Propulsi LNG Carrier Menggunakan Dual Fuel Diesel – Electric Sebagai Pengganti Steam Turbine ditinjau dari Aspek Teknis dan Ekonomis” adalah sebagai berikut :

I. Aspek Teknis :

- a. Bagaimana memanfaatkan dual fuel diesel engine untuk sistem propulsi yang dirancang yang mampu mengakomodasi adanya fuel gas/fuel oil ratio, dengan

pertimbangan untuk sifat/komposisi dan jumlah BOG yang berubah – ubah baik karena kondisi *laden* dan *return / ballast voyage* (rute bermuatan dan kosong) maupun adanya external heat yang masuk tangki serta goncangan – goncangan kapal yang menyebabkan penguapan gas alam.

- b. Bagaimana sistem propulsi baru ini memberikan optimasi dalam pengaturan tata letak permesinan.
- c. Bagaimana sistem propulsi yang dirancang mampu memberikan jaminan keselamatan di kapal karena berhubungan dengan sifat dari gas alam yang mudah terbakar.

II. Aspek Ekonomi :

- Bagaimana merancang sistem propulsi dengan engine yang dapat mengurangi biaya operasionalnya.

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah digunakan dalam penelitian ini bertujuan agar penyelesaian dapat terarah. Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian hanya membahas konfigurasi sistem propulsi yang dirancang serta sistem pemanfaatan bahan bakar boil-off gas (BOG) untuk HP dual fuel diesel engine, dengan tidak meninjau unjuk kerja main engine dan permesinan lain, unjuk kerja propeller maupun unjuk kerja kapal, sistem kontrol, serta tidak meninjau keandalan sistem yang dirancang.
- b. Perencanaan sistem propulsi (*main propulsion system*) mengacu pada proses desain kapal untuk tahap preliminary design dengan melakukan studi trade – off (*trade – off study*).

- c. Main engine yang dipilih sebagai pengganti steam turbine dalam sistem propulsi yang dirancang adalah High Pressure Dual Fuel Diesel Engine metode Pilot Injection pada medium speed engine.
- d. Sistem keselamatan (*safety system*) yang dibahas hanya berkaitan dengan sistem keselamatan pada sistem pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar.
- e. LNG Carrier yang dijadikan obyek penelitian adalah kapal S.T. Eka Putra.
- f. Konfigurasi generating set dalam sistem propulsi elektrik yang dipilih adalah menggunakan a-c electric drive dan konfigurasi integral (*integrated configuration*).
- g. Perhitungan biaya operasional hanya mencakup perhitungan biaya konsumsi bahan bakar main engine.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini bertujuan :

- a. Merancang dan menganalisa sistem propulsi baru menggantikan sistem dengan steam turbine di LNG Carrier sebagai metode propulsi alternatif bagi generasi LNG Carrier selanjutnya.
- b. Memberikan masukan dan sumbangan pemikiran dalam perancangan sistem propulsi LNG Carrier menggunakan dual fuel diesel – electric dengan pemanfaatan BOG dalam mendapatkan konfigurasi sistem propulsi kapal yang efisien, ekonomis, dan memberikan jaminan keselamatan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dengan diselesaikannya penelitian untuk tugas akhir ini adalah :

- a. Menambah khazanah ilmu pengetahuan dan acuan penelitian dalam mengembangkan teknologi sistem propulsi kapal.
- b. Dapat memberikan sumbangan pemikiran dan bahan pertimbangan bagi perusahaan – perusahaan pembuat kapal (*shipyard*) dan perusahaan pelayaran / transportasi (*shipping company*) dalam mendesain, membuat dan memakai kapal yang bernilai teknologi tinggi, efisien, dan ekonomis.

1.6. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah merupakan tahap awal dari proses penelitian ini. Langkah pertama adalah menetapkan tujuan dari penelitian yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan studi kepustakaan untuk mendapatkan konsep – konsep dan teori – teori yang tepat dan mendukung penelitian. Dari tahap ini diharapkan dapat disusun kembali kerangka pemikiran dan metoda perancangan dalam penelitian ini.

2. Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data – data yang mendukung perancangan, digunakan metode:

a. Studi Literatur :

- bahan - bahan penulisan dari buku perpustakaan dan sumber-sumber informasi terbaru yang berkaitan dengan masalah penelitian

- data - data karakteristik natural gas dari buku – buku/handbook dan hasil penelitian sebelumnya
 - pengetahuan tentang armada LNG Carrier yang beroperasi dan perusahaan – perusahaan yang mengelolanya
 - pengetahuan tentang konstruksi kapal
 - pengetahuan tentang peralatan/permesinan yang mendukung rancangan sistem yang dibuat
 - pengetahuan dan data pemanfaatan BOG di LNG Carrier.
- b. Studi komparatif
- obyek LNG Carrier yang beroperasi
 - sistem propulsi yang digunakan
 - steam turbine dengan pemanfaatan LNG di LNG Carrier
 - perancangan sistem propulsi menggunakan steam turbine dan diesel electric
- c. Survei lapangan
- kondisi kapal LNG Carrier
 - kamar mesin LNG Carrier
 - kekurangan dan kelebihan dari sistem yang telah diterapkan
 - pengambilan data – data dari BOG, konstruksi kapal, peralatan yang melayani engine dengan sistem pemanfaatan BOG.
- d. Wawancara dan konsultasi
- dinas terkait, perusahaan, ABK
 - konsultasi dengan dosen pembimbing
- e. Dokumentasi
- kondisi fisik dari LNG Carrier dan sistem propulsi yang telah digunakan.

Data utama untuk penelitian ini adalah data yang diperoleh langsung berkaitan dengan obyek yang diteliti berupa informasi dan wawancara serta dokumentasi yaitu dari perusahaan armada LNG Carrier, dinas terkait, dan kru kapal yang dapat memberikan data dan informasi. Sedang data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur dan studi komparatif, serta data – data penunjang lainnya.

3. Perancangan

Perancangan untuk sistem propulsi LNG Carrier berkaitan erat dengan konfigurasi sistem propulsi, kebutuhan ruang untuk sistem propulsi, unsur keselamatan, dan proses kerja dari konfigurasi sistem propulsi.

4. Analisis Rancangan

Analisis rancangan dengan meninjau aspek teknis dan ekonomis untuk konfigurasi sistem propulsi yang dirancang.

5. Kesimpulan dan Saran

6. Penyusunan Laporan

Kerangka Pemikiran

Kondisi Kapal LNG Carrier

- a. Main Propulsion Plant
 - memakai steam turbine
- b. Kondisi BOG
 - dibuang/dimanfaatkan ?
- c. Kebutuhan ruang
 - prosentase panjang kamar mesin dari keseluruhan panjang kapal
- d. Sistem Transmisi Tenaga
 - poros propeller diputar oleh main engine untuk memutar propeller
 - diganti dengan propulsion motor yang memutar poros propeller
- e. Kebutuhan bahan bakar Boiler
 - Konsumsi bahan bakar saat operasi beban penuh

Pustaka / Literature

- Yang berhubungan dengan :
- a. Main propulsion plant yang tepat di LNG Carrier → dual fuel diesel – electric
 - b. Sistem dan Instalasi Perpipaan pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar
 - c. Kebutuhan bahan bakar BOG dan fuel oil
 - d. Perencanaan kamar mesin

Aspek Teknis

Sistem Propulsi Alternatif Menggunakan Dual Fuel Diesel - Electric

Aspek Ekonomis

Sistem Pemanfaatan BOG :

- Sistem & Instalasi Perpipaan
- Jaminan Keselamatan

HP DUAL FUEL DIESEL ENGINE :

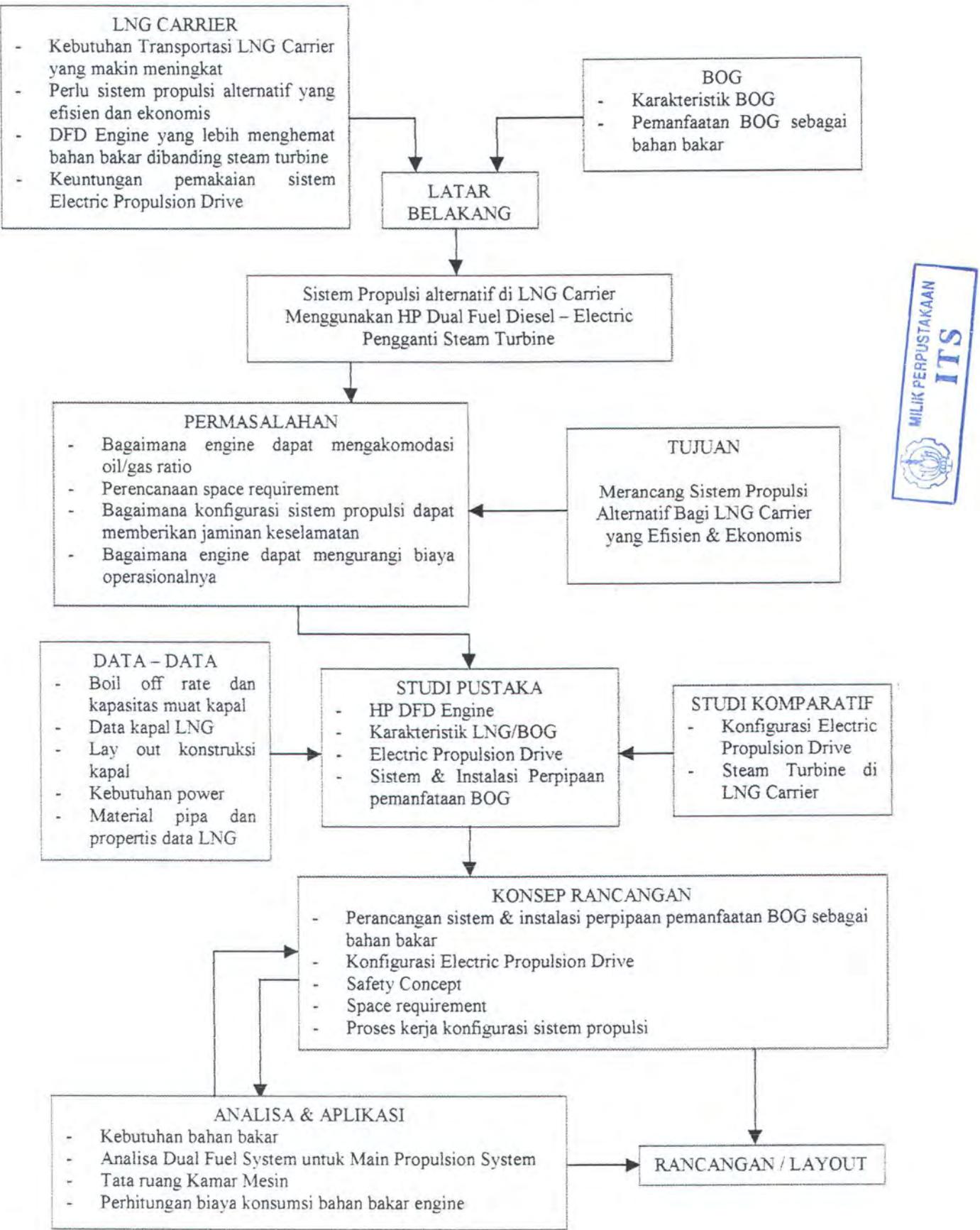
- Sistem HP dual fuel diesel engine
- Kebutuhan bahan bakar

Electric Propulsion Drive :

- Konfigurasi generating sets

RANCANGAN

Kerangka Proses Perancangan



MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

1.7. Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang, tujuan dan manfaat penelitian, permasalahan, batasan permasalahan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi tinjauan pustaka yang menguraikan teori High Pressure dual fuel diesel engine metode pilot injection pada medium speed engine dan electric propulsion drive. Serta pengertian – pengertian dan pengetahuan yang menunjang untuk membantu dalam pengolahan data.

BAB III Sistem Pemanfaatan BOG

Berisi tinjauan mengenai sistem pemanfaatan BOG di LNG Carrier yang berhubungan dengan karakteristik LNG, sistem penanganan BOG, sistem dan instalasi penunjang untuk pemanfaatan BOG.

BAB IV Tinjauan Empiris

Berisi tentang data – data karakteristik LNG dari objek kapal yang diteliti dan tinjauan mengenai desain LNG Carrier. Tinjauan ini digunakan dalam membantu melakukan analisa dan perancangan sistem propulsi dengan pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar main engine.

BAB V Perancangan sistem propulsi

Membahas tentang rencana atau rancangan yang dibuat untuk sistem propulsi objek kapal yang diteliti, berkaitan dengan konfigurasi dan proses kerja sistem propulsi menggunakan HP dual fuel diesel – electric.

BAB VI Analisa Rancangan

Berisi tentang analisa dari rencana atau rancangan sistem propulsi untuk penerapan di objek kapal yang diteliti. Analisa untuk data dan rancangan yang ada ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis.

BAB VII Aplikasi Rancangan

Membahas tentang aplikasi konfigurasi sistem propulsi yang dirancang pada objek kapal yang diteliti, berkaitan dengan kebutuhan ruang dan instalasi untuk sistem – sistem yang ada.

BAB VIII Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian / perancangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Judul

Judul : “ Perancangan Sistem Propulsi LNG Carrier Menggunakan Dual Fuel Diesel – Electric Sebagai Pengganti Steam Turbine Ditinjau Dari Aspek Teknis Dan Ekonomis ”.

Sistem propulsi adalah sistem penggerakkan kapal dengan tujuan untuk membuat kapal bergerak maju dan mempunyai kecepatan sesuai yang diinginkan melawan gaya – gaya lawan atau tahanan yang ada di kapal. Sebagian besar menggunakan alat propulsi berupa propeller yang diputar oleh main engine untuk menghasilkan gaya dorong kapal.

Sistem propulsi di kapal mempunyai tiga komponen penting untuk menunjang sistem penggerakkan kapal, yaitu : motor penggerak (*main engine*), sistem transmisi tenaga, dan propulsor (alat propulsi / penggerak). Dalam penelitian ini, akan dibahas mengenai konfigurasi motor penggerak utama kapal dan transmisi tenaganya sebagai sistem propulsi alternatif di LNG Carrier. Perubahan dan penggantian motor penggerak berarti mengganti sistem – sistem yang melayaninya.

LNG Carrier yang sedang beroperasi di dunia saat ini sebagian besar menggunakan steam turbine sebagai motor penggerak utama kapal. Steam turbine yang diaplikasikan juga telah mempunyai kemampuan memanfaatkan boil-off gas (BOG) sebagai bahan bakar, namun masih tetap menggunakan fuel oil sebagai bahan bakar utama. Karena kekurangan – kekurangan yang ada dari steam turbine dimana hal yang paling penting adalah besarnya konsumsi bahan bakar, maka dalam penelitian ini akan dibahas mengenai pengganti steam turbine dengan dual fuel diesel

– electric sebagai metode propulsi alternatif di LNG Carrier. Dual fuel diesel – electric ini juga akan memanfaatkan BOG sebagai bahan bakar sehingga penghematan bahan bakar / fuel oil akan semakin besar. Sistem ini akan menggunakan high pressure gas injection dengan metoda pilot injection pada medium speed engine. Sedangkan propeller akan digerakkan oleh propulsion motor yang merupakan bagian dari sistem electric propulsion drive dengan diesel electric sebagai penghasil tenaga listriknya.

Dari penggantian dan perubahan motor penggerak dari steam turbine ke dual fuel diesel – electric tidak lepas dari aspek teknis dan aspek ekonomis yang timbul dalam proses perancangan. Kedua aspek tersebut merupakan bahan kajian utama dan informasi balik sehingga rancangan yang dibuat dapat diterima atau tidak.

Jadi pengertian “Perancangan Sistem Propulsi LNG Carrier Menggunakan Dual Fuel Diesel – Electric Sebagai Pengganti Steam Turbine Ditinjau Dari Aspek Teknis dan Ekonomis” adalah merancang sistem propulsi baru di LNG Carrier dengan motor penggerak High Pressure dual fuel diesel – electric termasuk sistem yang melayaninya yaitu sistem pemanfaatan BOG dan sistem transmisi tenaga dengan electric propulsion drive yang menggantikan steam turbine di LNG, dimana dalam proses perancangan tersebut dilakukan dengan meninjau aspek teknis dan ekonomisnya.

Untuk menunjang perancangan sistem propulsi baru tersebut diperlukan studi pustaka dan landasan teori yang berkaitan dengan karakteristik boil-off gas / LNG, unjur kerja dual fuel diesel engine, electric propulsion drive, sistem dan instalasi perpipaan untuk pemanfaatan BOG, penataan kamar mesin, dan steam turbine plant.

2.2. Dual Fuel Diesel Engine

2.2.1. Tinjauan Umum Dual Fuel Diesel Engine

Dual fuel engine didefinisikan sebagai engine yang dirancang dan dilengkapi dengan peralatan / komponen untuk proses pembakaran kombinasi gas dan fuel oil (Stinson, 1959, h. 295). Engine dapat berupa 2 langkah atau 4 langkah, juga normally – aspirated maupun turbocharged. Operasi engine menggunakan rasio kompresi diesel engine konvensional mencapai 14 berbanding 1 (Kates, 1975, h. 369).

Gas masuk ke silinder sebelum atau saat awal dari langkah kompresi pada dual fuel diesel engine konvensional, sedangkan bila gas diinjeksikan ke udara bertekanan tinggi dalam silinder saat akhir kompresi, dinamakan gas-diesel engine, dan pada tulisan ini dinamakan high pressure dual fuel diesel engine atau gas injection diesel engine yang menggunakan injeksi gas tekanan tinggi. Pembakaran dimulai dengan penyalaan sejumlah fuel oil yang diinjeksikan mendekati akhir dari langkah kompresi, proses ini disebut pilot injection. Kuantitas normal minimum dari pilot fuel yang diinjeksikan berkisar 5% dari konsumsi bahan bakar saat beban penuh, dan ratio oil – gas antara 5% dan 100% dapat digunakan (Kates, 1975, h. 397). Fuel oil 100% digunakan bila gas tidak tersedia atau tidak dapat digunakan.

Perkembangan diesel engine sebagai motor penggerak di kapal sangat pesat. Diesel engine ini semakin menarik untuk digunakan dimana sejak diperkenalkannya dual fuel system untuk diesel sehingga berfungsi sebagai dual fuel engine dalam sistem propulsi di kapal tanker LNG / LNG Carrier. Alasan utama dipakainya dual fuel system tersebut adalah adanya muatan LNG dalam tangki yang tersimpan pada temperatur rendah sementara penguapan gas alam tersebut tidak dapat dihindarkan,

karena masuknya panas dari luar ke dalam tangki, maupun akibat guncangan – guncangan karena gerakan kapal selama berlayar. Hasil penguapan tersebut yaitu boil-off gas (BOG), tidak boleh tersimpan di dalam tangki, dan harus dibuang ke udara. Boil-off gas tersebut dapat juga dicairkan dan dikembalikan ke dalam tangki dengan menggunakan peralatan reliquefaction plant dengan didinginkan. Namun kedua cara di atas tidak ekonomis bila dilakukan di kapal – kapal LNG, karena itu BOG dialirkan ke kamar mesin untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar motor penggerak / main engine di kapal. Mengenai boil-off gas atau BOG tersebut akan dibahas lebih mendalam pada bab selanjutnya.

Pada saat gas / BOG tidak tersedia, fuel oil digunakan sebagai bahan bakar. Pada saat tersebut, sistem injeksi diesel engine konvensional digunakan kembali sebagai alternatif / pengganti untuk sistem menggunakan gas / BOG. Pada saat laden / loaded voyage, jumlah boil-off gas yang disediakan berkisar 70% dari kebutuhan bahan bakar motor penggerak, sehingga jumlah liquid fuel untuk keperluan pilot injection adalah sisanya (Bennet, 1969, h. 216).

2.2.2. Sistem High Pressure Dual Fuel Diesel Engine

A. Mekanisme Kerja HP Dual Fuel Diesel Engine

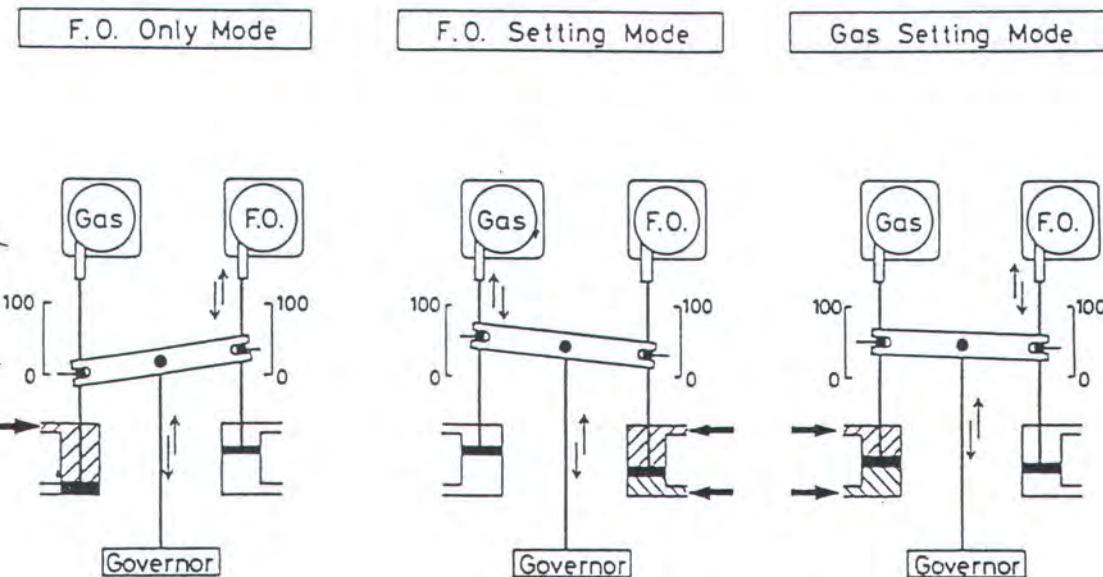
Mekanisme kontrol bahan bakar pada high pressure dual fuel diesel engine menggunakan unit lengan keseimbangan (*balance arm unit*) yang diatur dari pergerakan governor kecepatan. Rasio oil / gas dapat diatur menggunakan mekanisme ini yang terdiri dari 3 macam metode pengaturan atau mode operasi seperti terlihat pada gambar 2.1 :

- (i) metode “Oil only”, hanya menggunakan HFO sebagai pilot fuel yang digunakan untuk operasi engine, sama seperti pada diesel engine konvensional

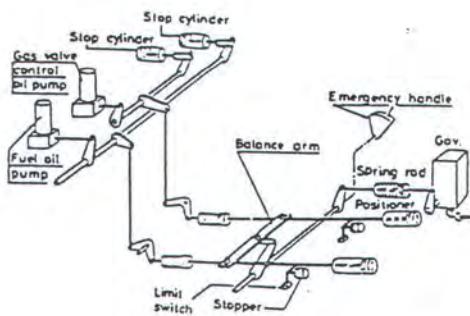
- (ii) metode “Oil set”, dimana pemakaian pilot fuel diatur konstan, sedangkan pemakaian fuel gas berubah – ubah sesuai beban engine
- (iii) metode “Gas set”, dimana pemakaian fuel gas diatur konstan, sedang pemakaian fuel oil berubah – ubah sesuai beban engine, kebalikan dari oil set.

Penggunaan mode “oil only”, dilakukan saat kondisi – kondisi tertentu seperti manoeuvring di pelabuhan, operasi tidak stabil atau instalasi gas abnormal, dan pada saat start mencapai 30 % beban dan stop engine.

Pada dual fuel engine dengan high pressure gas fuel injection system, tekanan gas saat masuk ke dalam silinder engine adalah sebesar 250 – 300 kg/cm² sedangkan pilot oil langsung diinjeksikan ke udara bertekanan dalam silinder mendekati titik mati atas, dan pembakaran dibantu dengan penyalaan dari pilot oil (Machinery Dept., 1995, h. 87).



Gambar 2.1. Metoda operasi kontrol bahan bakar pada gas injection diesel engine

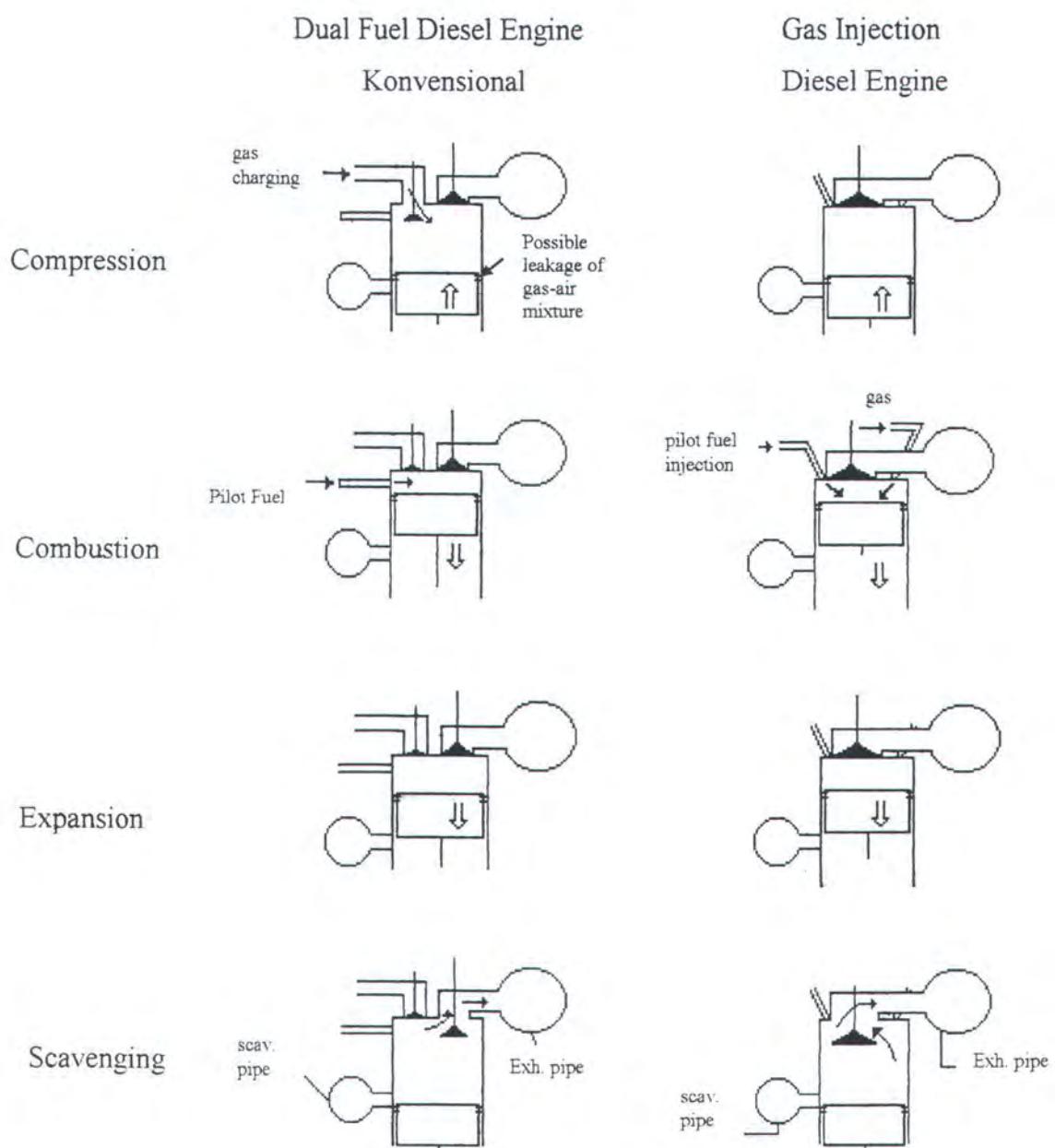


Gambar 2.2. Mekanisme hubungan (*linkage mechanism*) untuk fuel kontrol pada gas injection diesel engine

HP dual fuel diesel engine mempunyai rasio kompresi tinggi, sama dengan oil fuel diesel engine konvensional yang menghasilkan efisiensi thermal dan rasio power yang tinggi (Machinery Dept., 1995, h. 87). Beberapa manufaktur menyebut high pressure dual fuel diesel engine sebagai gas injection diesel engine. Engine ini tidak saja dapat melakukan pembakaran campuran gas dan oil, namun juga dapat menggunakan heavy fuel oil (HFO) sebagai bahan bakar. Hal tersebut sangat menguntungkan untuk diaplikasikan pada LNG Carrier dengan pemanfaatan boil-off gas.

Pada gambar 2.3 di bawah ini merupakan gambaran perbedaan antara gas injection diesel engine dengan dual fuel diesel engine konvensional. Untuk dual fuel diesel engine konvensional, digunakan sistem pembakaran dengan pre – mixture dimana fuel gas dikompresikan pada tekanan rendah antara $1 - 3 \text{ kg/cm}^2$ masuk ke silinder pada akhir pembilasan atau pada awal langkah kompresi yang kemudian bersama – sama dengan udara ditekan dan dinyalakan dengan penyalaan electric maupun dengan pilot fuel. Dengan metode tersebut cenderung menimbulkan knocking / detonasi atau pembakaran abnormal, sehingga perbandingan kompresi

tidak bisa dibuat tinggi untuk mencegah adanya detonasi tersebut. Disamping itu, terdapat bahaya kebocoran dari ruang bakar ke crankcase saat langkah kompresi.



Gambar 2.3. Perbedaan karakteristik dan operasi antara dual fuel diesel engine konvensional dan dual fuel diesel engine dengan high pressure gas injection / gas injection diesel engine.

Sedangkan pada gas injection diesel engine atau high pressure dual fuel diesel engine, udara ditekan masuk saat langkah kompresi seperti pada sistem fuel oil diesel engine konvensional. Gas dikompresikan pada tekanan tinggi dan langsung diinjeksikan ke dalam silinder saat piston mendekati akhir langkah kompresi dan dinyalakan oleh pilot fuel yang diinjeksikan hampir bersamaan. Hal tersebut mengurangi adanya kemungkinan kebocoran gas dan memungkinkan diperolehnya perbandingan kompresi yang lebih tinggi.

Perbandingan antara dual fuel diesel engine konvensional dan gas injection diesel engine (HP dual fuel diesel engine) dapat juga digambarkan seperti di bawah ini :

Dual Fuel Diesel Engine Konvensional

- Pembakaran abnormal
- Low compression ratio
- Low max. pressure
- Low thermal efficiency (37 – 41%)
- Low power ratio

Gas Injection Diesel Engine

- Pembakaran sama dengan pembakaran di fuel oil Diesel Engine
- High compression ratio
- High max. pressure
- High thermal efficiency (44 – 53%)
- High power ratio (compact design)

B. Sistem Pilot Injection

Sistem pilot injection adalah metode pembakaran di dalam ruang bakar silinder yang diawali dengan injeksi fuel oil dalam kuantitas yang kecil, dinamakan pilot oil, untuk membantu penyalaan dan membakar gas sehingga terjadi pembakaran yang merata secepat setelah diinjeksikan (Kates, 1975, h. 369). Jumlah pilot oil yang diperlukan untuk membakar campuran gas dan menstabilkan pembakaran berkisar 5% dari total bahan bakar pada saat operasi beban penuh, dan diukur dalam heat / calorific value (Btu atau Calorie) (Kates, 1975, h. 370).

Metode pilot injection digunakan karena fuel gas dengan komposisi utama yaitu methane mempunyai temperatur titik nyala yang relatif tinggi. Bahan bakar tersebut tidak dapat menyala begitu saja dengan naiknya temperatur dalam silinder saat langkah kompresi. Sehingga pada dual fuel diesel engine tidak dapat menggunakan bahan bakar hanya berupa methane atau fuel gas. Karena itu diperlukan pilot oil yaitu fuel oil, dimana pada high pressure dual fuel diesel engine pada medium speed engine dapat menggunakan heavy fuel oil. Pilot fuel dalam komposisi yang sedikit diinjeksikan ke dalam silinder untuk menimbulkan kestabilan pembakaran dari fuel gas. Karena kondisi di atas, metode pilot injection dipakai sebagai dual fuel combustion system.

Sistem pilot injection untuk gas injection diesel engine (HP dual fuel diesel engine) akan dibahas lebih lanjut dalam sub bab berikut yang berkaitan dengan unjuk kerja engine.

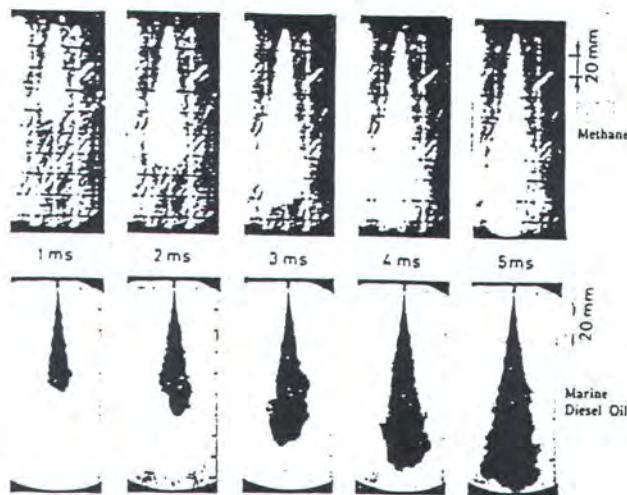
2.2.3. Unjuk Kerja Dual Fuel Diesel Engine High Pressure Gas Injection

System dengan Metoda Pilot Injection

A. Karakteristik Injeksi Gas

Untuk mendapatkan pembakaran efisien, dengan penginjeksian gas bertekanan tinggi ke dalam silinder, perlu mendapatkan karakteristik yang baik dari aliran injeksi gas, khususnya penetrasi semprotan, periode, dan sudut semprot. Dari hasil percobaan menggunakan model untuk penelitian karakteristik injeksi gas diperoleh bahwa aliran injeksi gas analog dalam proses atomisasi dari oil fuel pada oil fuel diesel engine konvensional. Sehingga secara teknis, diesel engine konvensional berbahan bakar fuel oil dapat diaplikasikan ke gas injection diesel engine (HP dual fuel diesel engine) tanpa banyak modifikasi. Berdasar hal tersebut, unjuk kerja

pembakaran dan distribusi temperatur di ruang bakar dari gas injection diesel engine dapat dianggap mempunyai kesamaan dengan oil fuel diesel engine konvensional. Dalam gambar 2.4 di bawah, terlihat hasil percobaan spray development dengan perbandingan bentuk semprotan dari methane / fuel gas dan marine diesel oil.



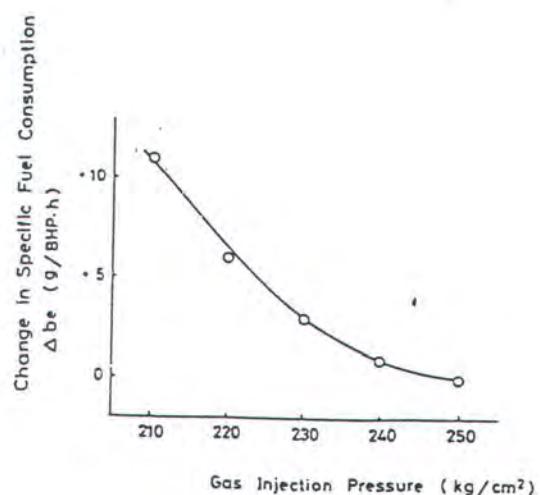
Gambar 2.4. Perbandingan bentuk semprotan fuel gas dan marine diesel oil

B. Karakteristik Tekanan Injeksi Gas

1. Diesel engine 4 langkah

Untuk mendapatkan karakteristik yang baik, tekanan injeksi gas haruslah optimum. Secara umum aliran injeksi gas dapat meningkatkan kandungan dalam rasio udara dengan meningkatkan kecepatan injeksi gas pada nozzle gas, sehingga injeksi yang baik dapat dicapai dalam waktu yang singkat. Namun jika tekanan suplai gas terus ditingkatkan, akan terjadi penambahan kecepatan injeksi menurun sampai mendekati pada tekanan kritis, sedangkan perkembangan rasio konsumsi bahan bakar spesifik akan mencapai titik jenuh. Setelah tercapai tekanan kritis, untuk penambahan kecepatan injeksi sudah tidak dapat dilakukan lagi.

Pada gambar 2.5 di bawah ini, tekanan kritis dicapai pada tekanan 250 kg/cm^2 dengan pencapaian titik jenuh dari perkembangan rasio konsumsi bahan bakar. Sehingga, tingkat penambahan kerja yang diperlukan untuk menekan gas menjadi lebih besar dibanding tingkat peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik. Dari hasil tersebut, suplai tekanan gas sebesar 250 kg/cm^2 dapat diterapkan untuk dual fuel diesel engine dengan injeksi gas tekanan tinggi. Grafik tersebut diperoleh dari percobaan pada medium speed diesel engine 4 langkah .

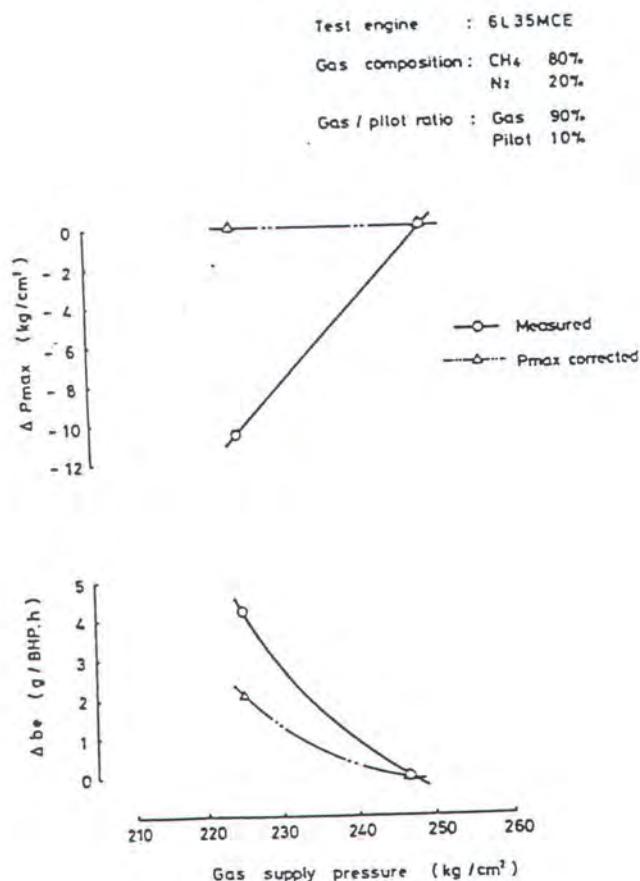


Gambar 2.5. Efek Tekanan Injeksi Gas pada Unjuk Kerja Engine
(medium speed diesel engine 4 langkah)

2. Diesel Engine 2 langkah

Pada diesel engine dua langkah dengan putaran yang lebih rendah dari engine 4 langkah di atas, tekanan suplai gas sebesar 250 kg/cm^2 juga berlaku. Pada gambar di bawah ini, menunjukkan perubahan unjuk kerja engine terhadap perubahan tekanan suplai gas. Terlihat bahwa karakteristik konsumsi bahan bakar engine hampir sama dengan pada engine 4 langkah, namun pada engine 2 langkah, penurunan unjuk kerja

engine berdasar konsumsi bahan bakar (konsumsi meningkat) bila tekanan suplai gas dikurangi, tidaklah setajam pada engine 4 langkah. Hal tersebut disebabkan putaran engine yang lebih rendah dari engine 4 langkah.



Gambar 2.6. Hubungan antara tekanan suplai gas dengan unjuk kerja engine (2 langkah)

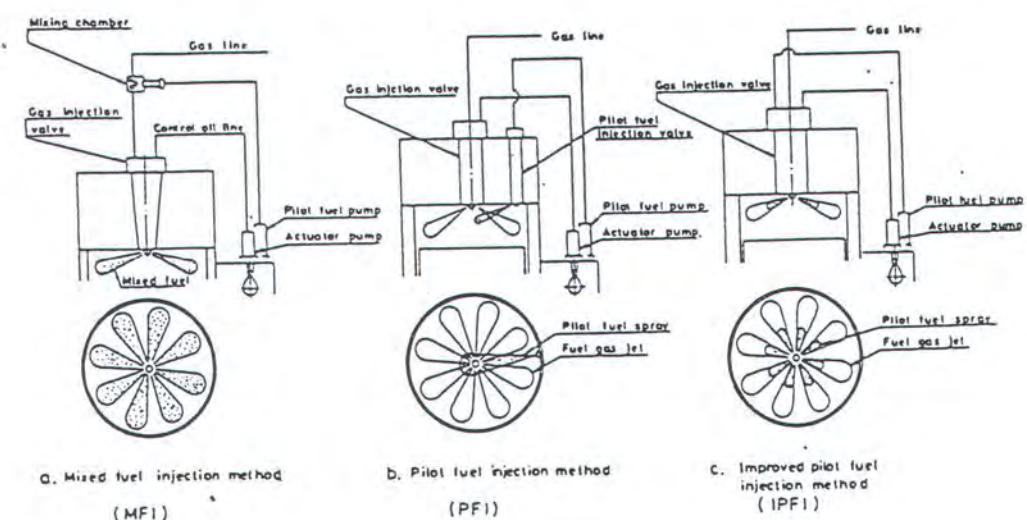
C. Metoda Penyalaan Sebagai Karakteristik Pembakaran

1. Diesel Engine 4 Langkah

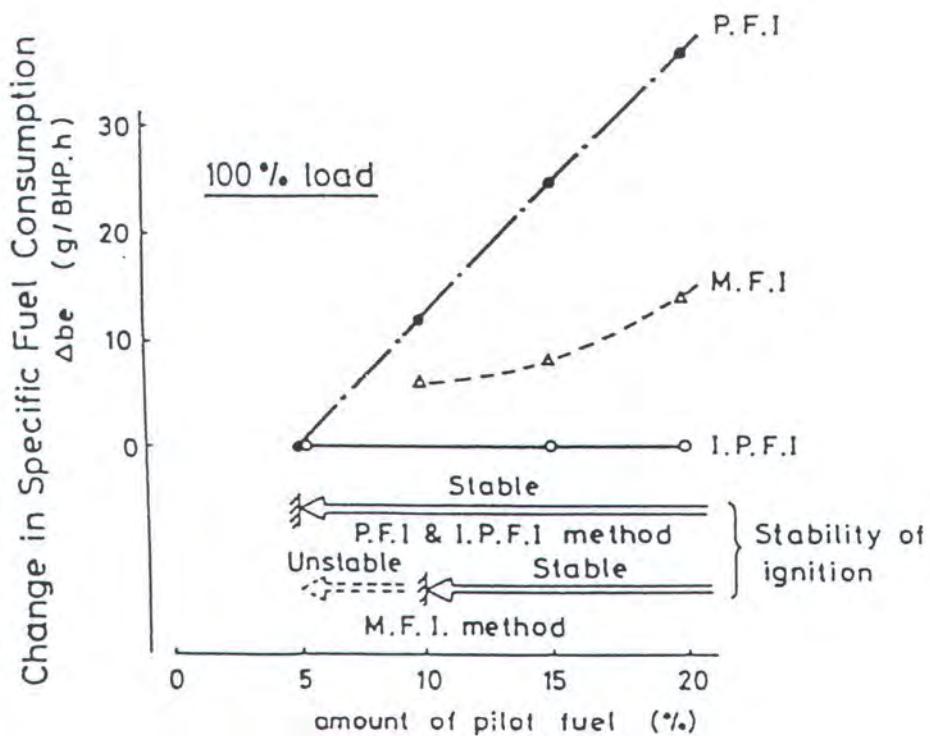
Dual fuel diesel engine high pressure gas injection system menggunakan sistem pilot injection sebagai dual fuel combustion system, dimana sistem tersebut telah

diuraikan sebelumnya. Untuk mencapai karakteristik pembakaran yang optimal, perlu perbandingan antara pilot fuel dengan main fuel secara tepat. Perbandingan tersebut berkaitan dengan metode penyalaan yang digunakan pada dual fuel engine.

Pada gambar 2.7 di bawah ini, ditunjukkan perbedaan metode - metode penyalaan yang dilakukan pada medium speed diesel engine 4 langkah. Pada gambar 2.7(a), menunjukkan metoda mixed fuel injection (MFI) dimana pilot fuel diinjeksikan ke dalam saluran gas bertekanan tinggi melewati pilot fuel injection valve untuk mendapatkan campuran pilot oil fuel dan main gas fuel yang siap diinjeksikan ke dalam silinder. Gambar 2.7(b), menunjukkan metoda pilot fuel injection (PFI) dimana pilot oil fuel diinjeksikan melewati sebuah injection valve yang berdiri sendiri. Pada gambar 2.7(c), menunjukkan metoda perkembangan dari pilot fuel injection, yaitu improved pilot fuel injection method (IPFI). Dalam metode ini posisi dari lubang nozzle dari pilot fuel valve dan gas injection valve diatur sangat dekat, sehingga pilot fuel dan gas fuel diinjeksikan pada arah dan sudut semprot yang sama.



Gambar 2.7. Metoda – metoda penyalaan



Gambar 2.8. Unjuk kerja pembakaran berdasar metoda – metoda penyalaan

Unjuk kerja pembakaran dari masing – masing metoda penyalaan terlihat pada gambar 2.8 di atas. Pada metoda MFI, ketika kuantitas pilot fuel dikurangi, stabilitas pembakaran hilang lebih cepat daripada metoda PFI. Pada metoda PFI, ketika kuantitas pilot fuel diperbesar, terjadi penurunan efisiensi thermal secara tajam, hal ini disebabkan bahwa lubang – lubang pilot injection tidak sama dalam hubungan dengan ruang bakar. Terlihat juga bahwa semakin besar kuantitas yang diinjeksikan semakin besar pula konsumsi bahan bakar spesifik, dan naik secara tajam. Hal ini sesuai juga dengan perumusan efisiensi thermal yang berbanding terbalik dengan konsumsi bahan bakar spesifik (Arismunandar & Tsuda, 1993, h. 27) :



$$\eta_{te} = \frac{632}{b_e \times H_b}$$

dimana : η_{te} = efisiensi thermal efektif

632 = konversi nilai daya ke nilai kalor (1 PS = 735,5 W = 632 kcal/jam)

b_e = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/PS.jam)

H_b = nilai kalor bawah bahan bakar (kcal/kg).

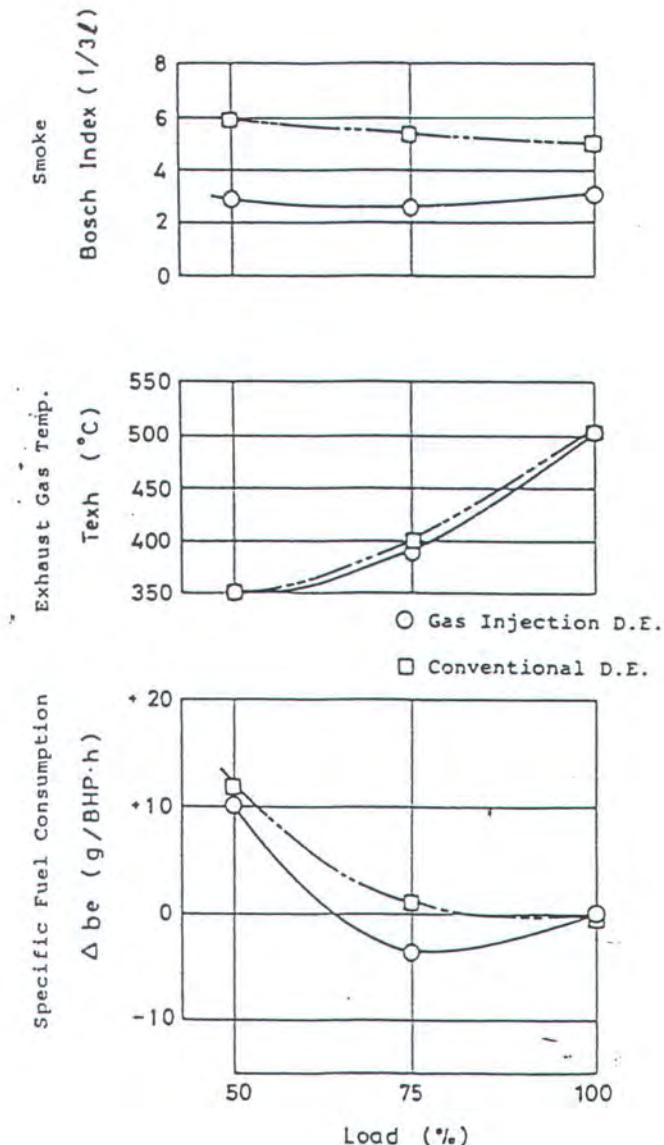
Dalam gambar 2.8 terlihat juga metoda ketiga yaitu metoda IPFI yang memberikan hasil pembakaran yang lebih baik dari pada kedua metoda sebelumnya, yaitu pada kestabilan pembakaran dan thermal efisiensi. Sehingga untuk gas injection diesel engine, metoda ini dapat diterapkan.

Dari uraian sebelumnya telah disebutkan bahwa sistem injeksi bahan bakar khususnya injeksi gas mempunyai kesamaan dengan sistem pada diesel engine konvensional. Pada gambar 2.9 terlihat hasil pembakaran yang merupakan unjuk kerja engine menggunakan metoda IPFI pada medium speed diesel engine 4 langkah dibandingkan dengan hasil pada diesel engine konvensional.

Metoda IPFI memberikan efisiensi pembakaran dan efisiensi thermal yang analog dengan yang ada pada oil fuel diesel engine, termasuk distribusi panas di ruang bakar, dimana tekanan dalam silinder mencapai 14 Mpa (140 bar). Sehingga metoda ini adalah metoda yang paling tepat untuk diterapkan pada high pressure dual fuel diesel engine.

2. Diesel Engine 2 Langkah

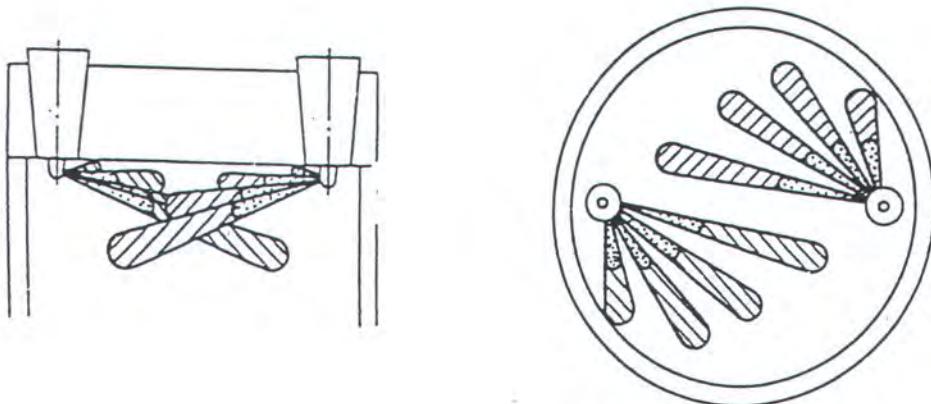
Metoda IPFI bila diterapkan pada diesel engine 2 langkah, tidak mengalami perubahan. Hanya pada perubahan titik – titik injeksi dalam proses atomisasi dimana



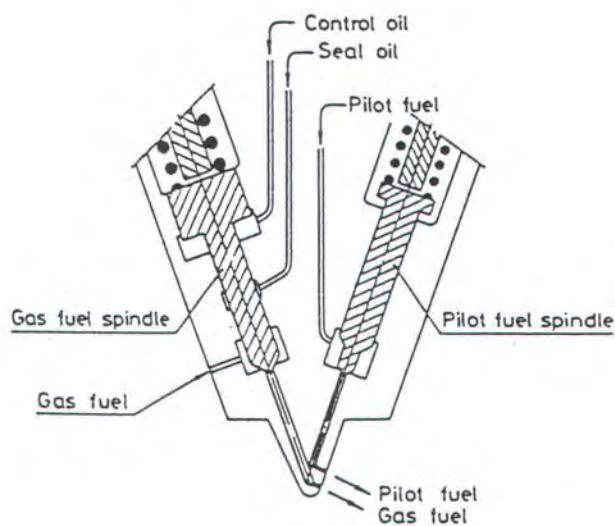
Gambar 2.9. Unjuk kerja engine hasil pembakaran pada model engine 1L42M-G (medium speed diesel engine 4 langkah)

diletakkan sedekat mungkin, dan arah serta sudut semprot yang dibuat analog dengan oil fuel diesel engine, sehingga karakteristik pembakaran yang dihasilkan seperti pada engine 4 langkah. Demikian juga dengan jumlah lubang pada nozzle untuk atomisasi dan posisi serta jumlah fuel injector dibuat analog dengan diesel engine

konvensional. Gambar 2.10 di bawah ini adalah konsep injeksi gas / pilot fuel pada diesel engine 2 langkah.



Gambar 2.10. Injeksi gas/pilot fuel pada diesel engine 2 langkah



Gambar 2.11. Integral gas injection valve

Untuk memenuhi sistem injeksi bahan bakar yang diuraikan di atas, diterapkan sebuah injector khusus yang dinamakan integral / combined gas injection valve seperti pada gambar 2.11. Masing – masing alur dari fuel gas dan pilot fuel oil

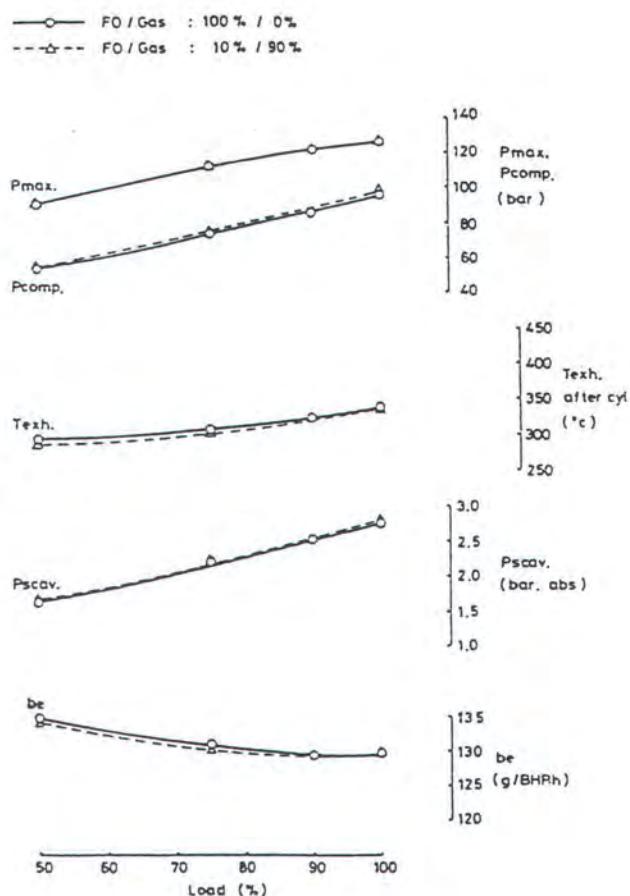
dilengkapi dengan valve spindle yang didesain seperti pada diesel engine konvensional. Alur untuk pilot fuel valve dapat membuka dan menutup yang digerakkan oleh fuel oil yang dialirkan dengan tekanan tinggi dari fuel pump. Sedang pada alur dari gas injection valve, fuel gas tekanan tinggi dimasukkan ke spindle, dan penginjeksian fuel gas dilakukan dengan mengatur gerak spindle oleh tekanan hidrolis yang dihasilkan control oil pump yang analog dengan sistem pada fuel pump. Untuk mencegah kebocoran gas saat melewati celah antara spindle dan spindle guide, sealing oil dimasukkan ke sekeliling celah dengan tekanan yang dijaga sedikit lebih tinggi dari tekanan gas. Dengan nozzle injector yang diterapkan pada metoda integral, untuk menjaga kestabilan pembakaran, jumlah minimum pilot fuel yang diinjeksikan sebesar 0,4 gr/cycle atau 5% dari total heat input pada operasi beban penuh. Pada integral gas injection valve ini, pilot fuel diinjeksikan secara simultan bersamaan dengan injeksi dari fuel gas masuk ke silinder.

Hasil pembakaran dari gas injection diesel engine 2 langkah dimana menggunakan campuran marine diesel oil 10% sebagai pilot fuel dan fuel gas 90% sebagai main fuel (dalam rasio nilai kalor), ditunjukkan pada gambar – gambar di bawah ini yang merupakan hasil tes pada diesel engine 2 langkah tipe Mitsui B&W crosshead, model 6L35MCE. Gambar 2.12 menunjukkan unjuk kerja engine. Pada gambar 2.13 menunjukkan harga dari tekanan injeksi pilot fuel, tekanan kontrol oil, dan perubahan tekanan suplai gas di inlet gas valve.

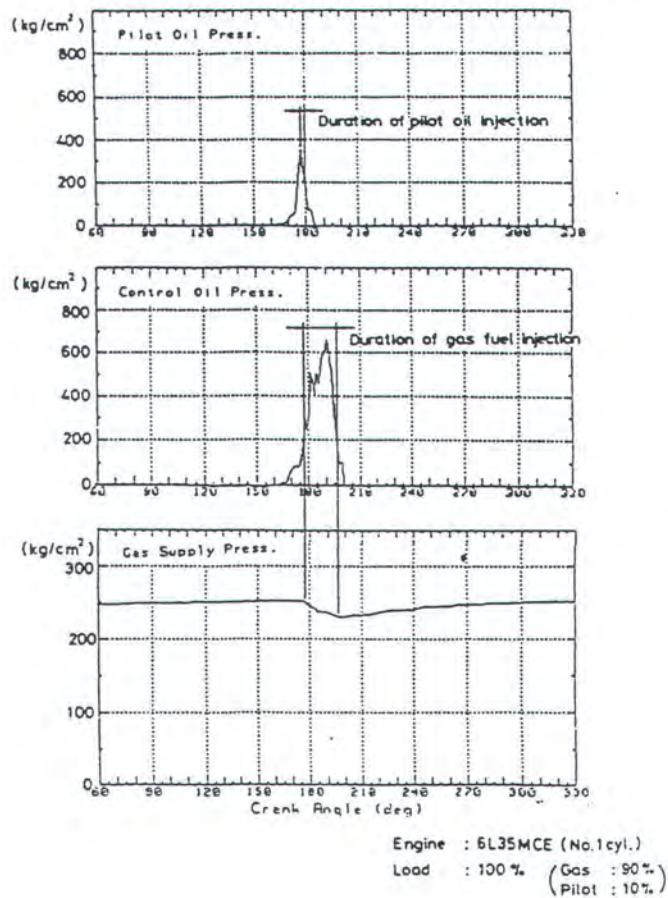
Pilot oil dan fuel gas diinjeksikan pada akhir langkah kompresi sekitar 3 derajat sebelum titik mati atas. Injeksi pilot oil berakhir saat piston mencapai titik mati atas, sedang injeksi gas berakhir 15 derajat setelah titik mati atas. Tekanan injeksi dari pilot oil mencapai sekitar 300 kg/cm^2 , tekanan injeksi gas sekitar 250 kg/cm^2 ,

sedangkan tekanan control oil mencapai 650 kg/cm^2 . Pada proses pembakaran, temperatur gas dalam silinder dapat mencapai 1400°C , sedangkan tekanan dalam silinder mencapai sekitar 130 bar.

Dari kondisi – kondisi tersebut di atas terlihat bahwa unjuk kerja engine yang baik dapat dicapai, bila faktor – faktor seperti tekanan silinder maksimum dan tekanan pembilasan dibuat sama seperti pada diesel engine konvensional.



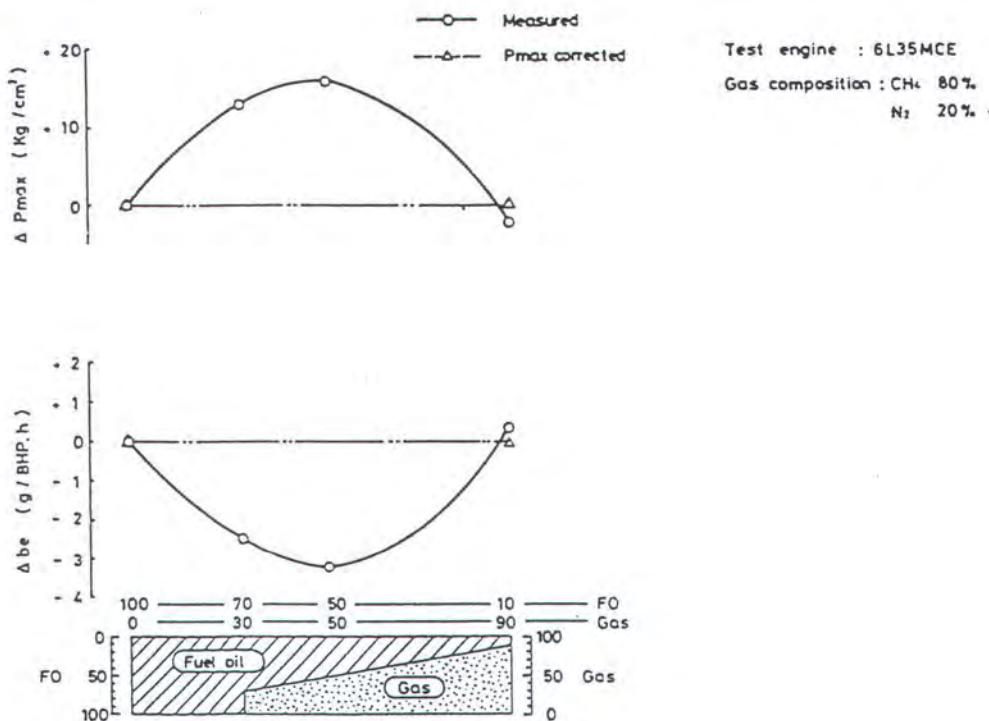
Gambar 2.12. Perbandingan unjuk kerja engine



Gambar 2.13. Hasil pengukuran tekanan injeksi gas

Di bawah ini pada gambar 2.14 memperlihatkan unjuk kerja engine bila rasio gas / pilot fuel berubah. Gambar tersebut menunjukkan perubahan karakteristik pembakaran yang dinyatakan dalam unjuk kerja engine karena perubahan rasio pilot fuel. Ketika rasio pilot fuel 50%, tekanan maksimum silinder menjadi lebih tinggi sebesar 16 kg/cm² dari pada saat pembakaran dengan pilot fuel 100%. Bila tekanan silinder maksimum konstan tanpa melihat fuel ratio, unjuk kerja engine pada konsumsi bahan bakar spesifik dapat dijaga konstan pula. Untuk tujuan ini, gas injection diesel engine menggunakan pengaturan fuel injection timing secara

otomatis sehingga dapat menjaga tekanan silinder maksimum konstan untuk fuel ratio yang bervariasi.



Gambar 2.14. Hubungan antara rasio Fuel oil/gas dan unjuk kerja engine

2.3. Electric Propulsion Drive

2.3.1. Tinjauan Umum Electric Propulsion Drive

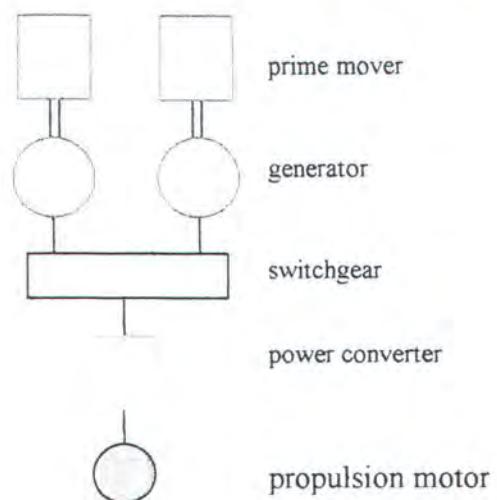
Metoda propulsi yang menggunakan electric propulsion drive terdiri dari beberapa komponen utama yaitu :

- prime mover,
- generator atau alternator (digerakkan oleh prime mover),
- propulsion motor yang digerakkan dari electric power yang dihasilkan oleh generator; hubungan dengan propeller dapat berupa direct couple maupun menggunakan low – ratio reduction gear.

Pengaturan electric drive system secara garis besar dapat digambarkan pada gambar 2.15 di bawah ini.

Electric propulsion drive system memberikan sejumlah keuntungan disamping sistem ini mempunyai karakteristik tingginya biaya awal, meningkatnya berat dan ruang, dan transmission losses dari sistem propulsi, bila dibandingkan dengan metoda propulsi konvensional lain. Penggunaan metoda dengan electric propulsion drive memberikan kemudahan dalam pengaturan antara generator set dan propulsion motor dalam hal distribusi power serta tidak mempunyai poros propeller yang menghubungkan secara mekanis. Kebutuhan power dapat dihasilkan oleh satu atau lebih diesel generator dimana dapat diletakkan dalam ruangan terbatas untuk mengurangi berat maupun mengatasi permasalahan stabilitas.

Dengan electric drive system, pemakaian kombinasi permesinan seperti diesel, gas turbine, steam turbine dapat pula diakomodasi, dengan output power mekanik diubah menjadi electric power. Untuk keperluan putaran balik (*reverse rotation*) maupun pemakaian unidirectional prime mover, electric drive system memberikan sistem pengendalian yang relatif mudah. Pemakaian electric drive system juga



Gambar 2.15. Electric drive system dengan multiple prime mover

memberikan efisiensi pada operasi kapal dikarenakan sistem ini dioperasikan secara normal (*service condition*) dengan jumlah prime mover yang beroperasi minimum, yang masing – masing beroperasi mendekati efisiensi maksimum.

Kemudahan pengontrolan dalam pengaturan kecepatan putaran propeller dan arah putaran oleh electric drive system merupakan keunggulan utama. Untuk konfigurasi pemakaian high speed generator dan putaran propeller rendah, dapat dipakai beberapa macam metoda pengurangan putaran antara prime mover dan propeller, menggunakan :

- a. low speed motor, yang dapat mengurangi putaran engine untuk keperluan putaran propeller tanpa menggunakan reduction gear
- b. geared motor, dengan ukuran dan biaya yang lebih rendah dibanding low speed motor
- c. high speed motor dengan reduction gear, lebih ringan dan harga lebih rendah dibanding low speed direct drive, namun perlu ada pertimbangan berat dan biaya dari penambahan gear.

Keunggulan dari electric propulsion drive dapat digambarkan secara singkat yang meliputi :

- kemudahan dalam kontrol
- fleksibilitas dalam pengaturan
- kemudahan adaptasi dengan macam – macam pemakaian prime mover generator set
- kemudahan dalam penerapan otomatisasi.

LNG Carrier adalah salah satu kapal yang membutuhkan pemakaian metoda electric propulsion drive karena kebutuhan akan power yang besar, khususnya untuk

keperluan cargo handling, dimana electric drive system dapat diatur dengan dua macam pemakaian yaitu untuk propulsion power dan ship service power. Sehingga saat cargo handling, propulsori power dikurangi atau dihentikan sehingga dapat pula mengurangi biaya untuk operasi engine karena pengurangan power dari kapasitas power yang tersedia.

2.3.2. Pembangkitan Power dan Konfigurasi Electric Drive System

Pembangkitan tenaga listrik terbagi menjadi 2 macam yaitu : (i) a-c propulsion system, dan (ii) d-c propulsion system. Perbedaan antara ac dan dc propulsion system dapat digambarkan di bawah ini :

d-c propulsion system	a-c propulsion system
<ul style="list-style-type: none"> - dc motor - power conditioner untuk konversi ac ke dc - aplikasi pada kapal dengan power antara 600 – 10000 hp - banyak digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan manuver dengan torsi tinggi - relatif mahal - tingkat pemeliharaan tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - ac motor - jenis power conditioner yang berbeda dengan untuk dc system, terdiri dari : <ul style="list-style-type: none"> - cyclo converter - pulse – width – modulated inverter - load commutated inverter - di atas 10000 hp - lebih ringan dan lebih efisien - lebih murah - ruang yang lebih kecil - sedikit pemeliharaan - keandalan tinggi

Konfigurasi generating set pada electric propulsion system terbagi menjadi dua macam yaitu : (i) dedicated dan, (ii) integrated configuration (Harrington, 1992). Konfigurasi dedicated adalah sistem penggunaan electric propulsion generator yang hanya melayani kebutuhan power untuk propulsori, tidak secara simultan melayani kebutuhan electric power lain di kapal (*ship service load*). Konfigurasi ini diperlukan bila power yang dihasilkan atau propulsion bus pada generator set mempunyai frekuensi yang lebih tinggi dari harga standar 50 – 60 Hz yang biasa

digunakan untuk equipment pada ship service load sehingga hanya khusus untuk melayani propulsion power. Konfigurasi integrated digunakan bila satu atau lebih busbar yang dihubungkan secara electrik digunakan untuk mendistribusikan power baik untuk propulsi maupun untuk ship service load.

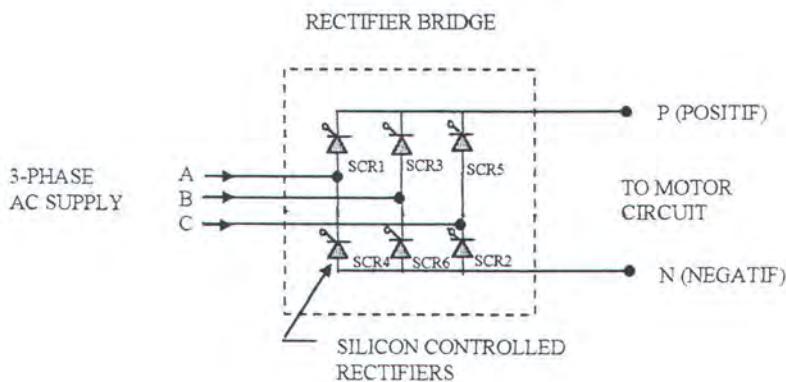
2.3.3. A-C Propulsion Drive System

A-C propulsion drive system diterapkan pada kapal – kapal dengan kebutuhan power yang tinggi. A-C motor yang dipakai dalam sistem ini mempunyai jumlah kerugian tenaga (*losses*) yang lebih kecil dari d-c motor, sehingga mempunyai efisiensi transmisi tinggi. Total kerugian dalam transmisi elektrik sistem a-c, antara prime mover dan poros propeller berkisar 6 – 8% (Harrington, 1992). Keuntungan lain dari pemakai a-c motor adalah biaya perawatan yang lebih kecil dibanding d-c motor karena tidak memakai komutator seperti pada d-c motor. Pada electric propulsion drive system dengan kebutuhan power besar banyak menggunakan motor sinkron, yang mempunyai efisiensi 96 – 98% lebih tinggi dari motor induksi berkisar 3 – 4%.

Metoda lama penggunaan a-c electric drive adalah terdiri dari single turbine sebagai prime mover yang dihubungkan langsung, generator putaran tinggi yang dapat diubah menjadi putaran rendah, dan motor sinkron direct – drive. Rasio efektif gear antara putaran turbin dan putaran motor ditentukan oleh rasio antara kutup – kutup generator dengan kutup motor. Pengaturan putaran propeller dilakukan dengan memvariasikan putaran turbin. Bila diterapkan motor induksi, pengaturan kecepatan dilakukan dengan mengubah arah kutup.

Pada metode baru, diterapkan power converter untuk mengubah frekuensi konstan dari a-c power ke frekuensi yang dapat diubah, yang digunakan oleh motor

a-c sinkron (*direct drive*). Putaran dari motor a-c sinkron ditentukan langsung secara proporsional oleh frekuensi yang terjadi pada stator. Sehingga putaran dalam sistem a-c ini ditimbulkan dari pengaturan frekuensi output dari power converter yang diakibatkan oleh pengaturan voltase pada potensiometer atau sistem digital yang diletakkan pada throttle shaft. Untuk membalik arah putaran dari a-c motor, urutan fase dari tegangan yang ditimbulkan dari power converter dibalik secara elektrik. Rotor motor a-c sinkron langsung mengikuti frekuensi dan urutan fase tegangan yang ditimbulkan di stator untuk berputar ke arah yang berlawanan.



Gambar 2.16. Rangkaian Power Converter Penyearah Arus

A. Power Converter Untuk A-C Electric Drive System

Power converter yang digunakan di sistem propulsi kapal terdiri dari komponen utama yaitu rangkaian penyearah arus yang terkendali (*Silicon Controlled Rectifier/SCR*) seperti gambar 2.16. SCR banyak digunakan keperluan – keperluan mengubah a-c power ke d-c power (*inversion*), power switching, phase control. Power converter dengan menggunakan SCR digunakan untuk mengubah a-c power ke d-c power, mengubah frekuensi untuk mengatur putaran motor, dan untuk

membalik putaran motor dengan membalik arah aliran power untuk mengubah urutan phase.

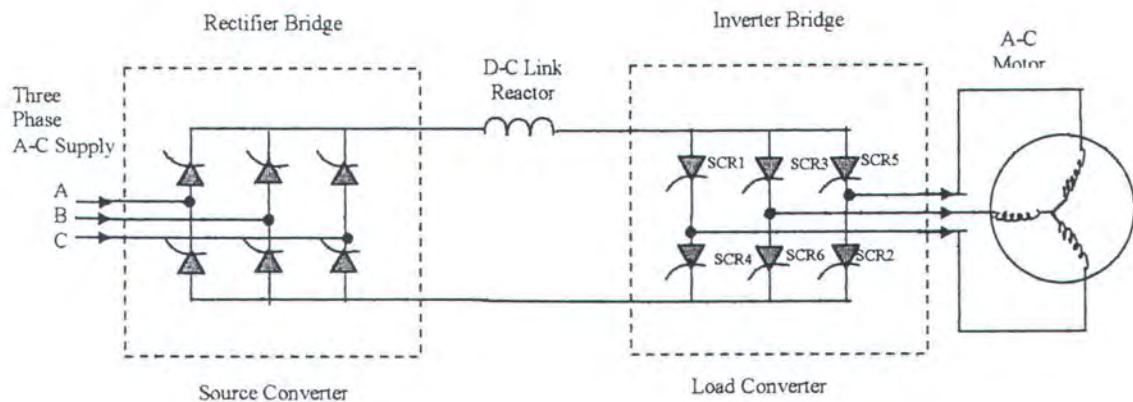
Dalam pengaturan untuk a-c converter, terdapat tiga macam pengaturan yaitu :

(i) load-commutated inverter (LCI), (ii) pulse-width modulated inverter (PWM), dan (iii) cycloconverter (CCV). Pada single – stage power converter terdiri dari bagian sebagai source converter yang dihubungkan dengan sumber tenaga, dan load converter yang dihubungkan ke motor, termasuk di dalamnya adalah tipe CCV. Pada a-c power converter memakai double stage power converter dimana terjadi dua kali konversi tenaga, pertama oleh source converter, dan yang kedua oleh load converter. Tipe LCI dan PWM termasuk tipe dengan double stage. Motor sinkron dapat digunakan pada tipe LCI, PWM, atau CCV, sedang motor induksi hanya dapat digunakan pada PWM dan CCV.

Untuk pemakaian controllable pitch propeller (CPP), power converter dapat dihubungkan dengan pitch control untuk pengaturan putaran propeller sehingga didapatkan performansi propulsi yang optimum. Sedang pemakaian fixed pitch propeller (FPP), arah putaran motor diubah secara elektrik dengan membalik urutan fase motor.

1. Load – Commutated Inverter (LCI)

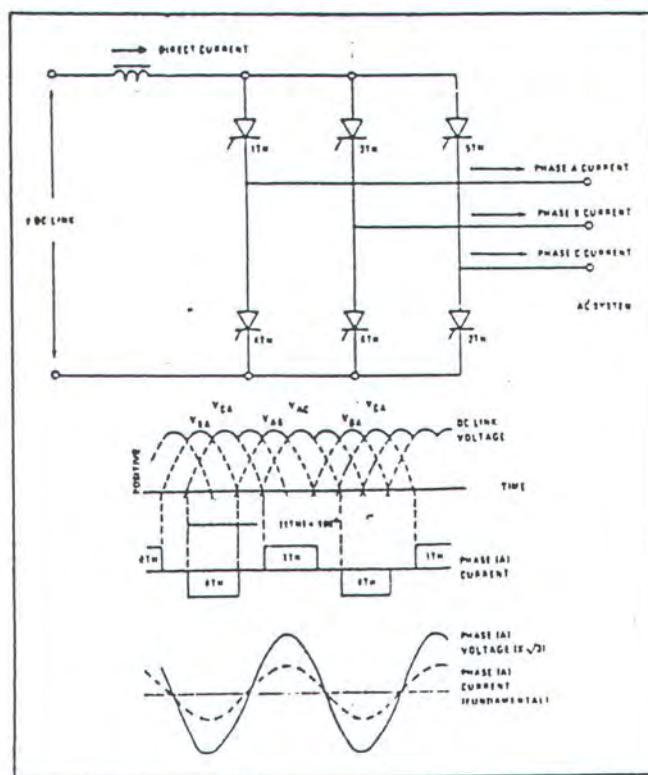
Rangkaian load-commutated inverter (LCI), pada gambar 2.17 mempunyai d-c link reactor yang menghubungkan d-c output dari source converter ke d-c input dari load converter. Link reactor adalah tempat menyimpan energi yang mengurangi d-c output ripple dari source converter dan membantu menghindarkan power system dari pulsa torsi yang dapat ditimbulkan dari propulsion motor maupun dari sistem poros propulsi.



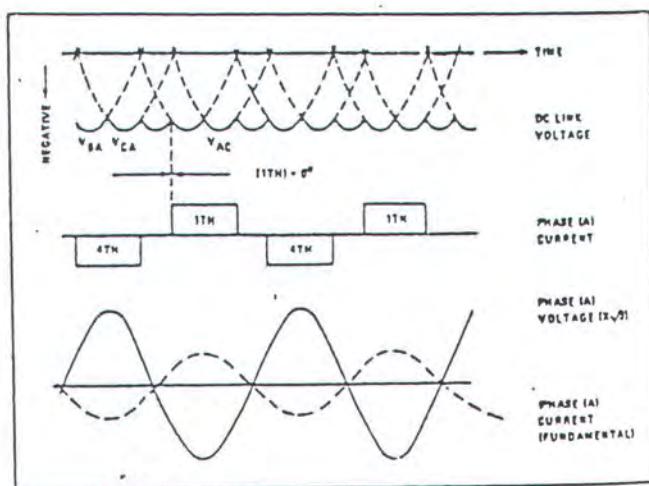
Gambar 2.17. Rangkaian load-commutated inverter 6-pulsa

Dalam rangkaian tipe LCI, power dapat mengalir dua arah, dari atau ke propulsion motor, untuk mengubah arah putaran. Untuk mengubah putaran pada fixed pitch propeller, propulsion motor membangkitkan power dan membalik arahnya ke a-c system untuk mengurangi putaran motor sebelum membalik arah putaran. Sedang arah putaran motor dibalik dengan mengubah urutan fase dimana pulsa – pulsa (*gate pulse*) dialirkan ke load inverter, yang diatur dengan sebuah electronic regulator atau secara mekanis dengan saklar pembalik.

Power converter menyediakan dua fungsi yaitu, pertama, apabila converter dihubungkan ke motor dan mengonversi power dari d-c ke a-c dengan frekuensi terkontrol dan phase seperti terlihat pada gambar 2.18, converter berfungsi sebagai “line commutated inverter”. Kedua bila beroperasi dengan phase seperti pada gambar 2.19, converter berfungsi sebagai “controlled rectifier”, dengan mengonversi power dari a-c ke d-c; digunakan pada saat ingin menghentikan motor secara cepat menggunakan rem (*brake*), yaitu memberikan regenerative power pada motor.



Gambar 2.18. Line commutated inverter dengan pengondisian power maksimum (ideal)



Gambar 2.19. Controlled rectifier dengan regenerative power ideal

2. Pulse – Width Modulated (PWM)

Pada power converter tipe pulse-width modulated converter, mempunyai rangkaian dasar yang sama dengan LCI terdiri dari source converter dan load converter. Perbedaannya terletak pada kemampuan dari load bridge untuk menghentikan arus pada motor pada saat berlangsung a-c system. Pengubahan arus tersebut dilakukan dengan memaksa arus mencapai nol menggunakan energi yang tersimpan atau menggunakan elemen rectifier seperti gate-turnoff (GTO) thyristor, dimana mampu menghentikan / menentang aliran arus.

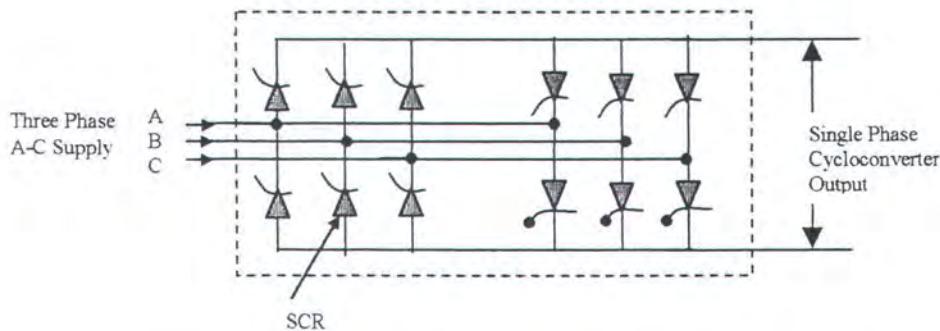
Source converter dihubungkan ke power input dan mengubah a-c ke d-c, load converter mengubah kembali dari d-c ke a-c yang digunakan oleh propulsion motor. Pada tipe ini memanfaatkan d-c link capacitor untuk menjaga tegangan d-c konstan sebagai input dari load converter.

PWM converter mempunyai karakteristik relatif power faktor input yang tinggi, mencapai 0,9 dibanding system lain menggunakan LCI atau CCV converter yang berkisar antara 0,75 dan 0,85. Power faktor yang tinggi dapat mengurangi kebutuhan desain untuk generator karena sudah terdapat harga power faktor yang baik.

Untuk membalik arah putaran dari penggunaan fixed-pitch propeller, dilakukan pembangkitan power kembali (*regenerative power*) yang mengalir dari propulsion motor dengan menaikkan tegangan pada d-c link capacitor. Hal itu dilakukan karena energi tidak dapat mengalir kembali ke dalam sistem a-c. Arah putaran motor dibalik seperti pada tipe LCI.

Static power converter dengan tipe PWM telah diaplikasikan di sejumlah low dan medium power untuk industri dan sedikit untuk keperluan marine propulsion

drive. Namun motor induksi putaran tinggi, dengan reduction gear, telah digunakan untuk propulsion power.



Gambar 2.20. Rangkaian single fase dari tiga fase 6-pulsa cycloconverter

3. Cycloconverter (CCV)

Sebuah cycloconverter menggunakan silicon-controlled rectifier (SCR) sebagai switch untuk menghubungkan terminal dari a-c propulsion motor ke urut- urutan fase a-c power source dengan frekuensi yang konstan. Rangkaian dasar single-fase dari 3-fase 6-pulsa dari cycloconverter adalah seperti pada gambar 2.20. Konfigurasi tersebut menggunakan dua conducting bridge yaitu forward dan reverse conducting bridge untuk membentuk sebuah bentuk gelombang output dengan kedua bagian positif dan negatifnya.

Cycloconverter digunakan pada sistem propulsi kapal yang mempunyai karakteristik dimana frekuensi converter tergantung pada jumlah suplai tegangan untuk komutasi arus dari satu sel ke sel berikutnya. Generator sebagai penyuplai tegangan dan reactive power, menjadikan CCV sebagai sebuah beban dengan power factor berkisar antara 0,75 sampai 0,85 pada putaran motor penuh, dan power factor turun bila putaran juga diturunkan. Hal ini berhubungan dengan ukuran generator yang dibutuhkan, sedang motor diuntungkan dari efek kerja CCV, dimana didesain

untuk tidak menyuplai reactive power ke CCV. Power factor untuk motor sinkron biasa secara spesifik dibulatkan (1,0) bila dihubungkan dengan CCV. Sedangkan bila motor dengan power rating yang sama namun dihubungkan dengan LCI, power factornya didesain sebesar 0,9.

B. Generator untuk Electric Drive

Dasar pemilihan generator untuk sistem electric propulsion drive terdiri dari tiga hal yaitu :

1. Aplikasi, mode operasi yang digunakan :
 - stand-by atau continuous operation
 - single running atau parallel generator
 - faktor – faktor beban
2. Lokasi, berdasar : ketinggian, ambient temperature, kelembaban, dan kondisi lingkungan lain yang mempengaruhi.
3. Beban dinamis : terdapat batasan – batasan pada kinerja voltase saat start motor induksi besar atau karakteristik waveform dimana converter atau thyristor hanya menjalankan sebagian beban.

Generator yang diaplikasikan pada sebagian besar kapal didesain untuk menyuplai penggunaan motor – motor induksi dan kebutuhan penerangan kapal. Kebutuhan reactive power untuk keperluan tersebut dapat dipenuhi seperti untuk keperluan industri yaitu desain pada power factor 0,8. Namun kondisi di kapal menyebabkan banyak faktor untuk mendesain generator agar mampu memenuhi kebutuhan untuk electric drive system, terutama faktor aliran arus yang non linear pada power converter karena berubah – ubahnya kebutuhan. Yang harus diperhatikan dalam desain generator untuk keperluan di kapal adalah penggunaan

tipe converter, yang ditentukan oleh fungsi inverse dari jumlah pulsa yang diproduksi. Bila jumlah pulsa meningkat, bentuk gelombang yang dihasilkan mempunyai amplitudo harmonis yang semakin kecil, sehingga mempengaruhi desain atau pemilihan generator.

Pada generator yang digerakkan oleh engine dengan output diatas 20 KVA mempunyai direct compound atau brushless excitation. Untuk eksitasi brushless, exciter diletakkan langsung pada poros generator. Pengatur tegangan yang mengatur output generator dengan memvariasikan arus yang masuk ke kumparan kecil pada brushless exciter, biasa diletakkan pada switchboard. Generator – generator yang banyak dipakai mempunyai efisiensi berkisar 95% seperti pada motor dan mesin – mesin listrik lainnya.

C. Transformer Untuk Electric Drive

Pada sebagian besar instalasi d-c dan a-c electric propulsion drive, transformer digunakan untuk pengubahan dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah yang diperlukan oleh power converter statis. Transformer juga digunakan keperluan pengubahan fase dari tegangan a-c yang disuplai pada konfigurasi dengan jumlah pulsa lebih dari 6 pulsa, serta untuk menurunkan tegangan bagi keperluan ship service load pada sistem konfigurasi integral.

Transformer yang didesain untuk marine service harus mampu mengatasi gaya – gaya inersia yang ditimbulkan oleh struktur – struktur magnet sebagai akibat gerakan kapal. Transformer tipe dry-type (kering) banyak digunakan untuk keperluan di kapal. Sedang tipe liquid-filled banyak digunakan untuk industri, khususnya bila tegangan lebih dari 4160 V atau dengan spesifikasi lebih dari 10 MVA.

Estimasi kerugian pada transformer diberikan oleh manufacturer (pabrik), dimana untuk sistem besar dengan penggunaan beban tertentu yang memadai kerugian sebesar 1% dapat mewakili (Harrington, 1992).

D. Motor Untuk A-C Electric Drive

Motor yang digunakan pada aplikasi a-c drive sebagian besar adalah tipe dengan bidang kumparan yang eksitasinya ditimbulkan oleh slip ring atau brushless exciter. Brushless exciter didesain sedemikian sehingga power eksitasi dapat disalurkan walau saat putaran motor lebih dari putaran penuh, termasuk pada saat putaran nol. Komponen – komponen untuk eksitasi harus mempunyai ketahanan dan kemampuan menjaga kontinuitas power, sehingga dapat menjaga kontrol power untuk propulsi.

Motor sinkron lebih banyak dipakai untuk instalasi sistem propulsi kapal dibandingkan motor induksi karena mempunyai efisiensi yang lebih baik. Power factor yang diperlukan dalam desain motor sinkron ditentukan oleh tipe power converter yang digunakan pada permesinan. Tipe LCI memerlukan motor yang dapat menyuplai power factor tertinggi sehingga mampu menyediakan tegangan untuk keperluan komutasi inverter. Motor seperti tersebut mempunyai leading power factor 0,9. Pengaruh penggunaan power factor 0,9 sebagai leading power factor pada desain motor adalah kemampuan meningkatkan arus yang harus diatasi oleh mesin, sehingga ukuran motor sedikit lebih besar dibanding mesin dengan power factor 1,0 dengan frekuensi dan rating yang sama. CCV dan PWM converter tidak tergantung pada tegangan motor untuk keperluan komutasi power converter dan keduanya didesain pada power factor 1,0. Standar power factor pada motor sinkron adalah 1,0 (unity) dan 0,8 (leading). Karena adanya peningkatan arus pada armature (stator)



dan field (rotor) dari operasi dengan 0,8 pf, motor dengan power factor 0,8 lebih besar dan lebih mahal. Pada motor dengan 0,8 pf mampu menyediakan reactive power pada semua tingkat beban, sedang pada 1,0 pf, memberikan reactive power pada beban kecil.

Hubungan antara putaran dan frekuensi yang dihasilkan motor terlihat pada rumus di bawah ini :

$$\text{Synchronous speed, } n = 120 \frac{f}{p} \quad (1)$$

dimana : n = putaran motor / synchronous speed (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutup motor

Frekuensi output dari CCV mempunyai batas maksimum berkisar 20 Hz. Karena itu untuk power system pada 60 Hz, tipe motor dengan CCV converter adalah direct drive. Sedang motor dengan LCI converter didesain untuk sistem 40 – 60 Hz, sehingga tipe instalasi yang digunakan bisa direct-drive maupun memakai reduction gear.

Penggunaan konfigurasi geared motor, menyebabkan permesinan lebih panjang dari pada konfigurasi direct-drive, namun menguntungkan dalam hal pemanfaatan pada ruang yang sempit dan mempunyai berat yang lebih ringan. Bila menggunakan reduction gear, kerugian transmisi power akan bertambah dimana pada operasi beban penuh, efisiensi gear dapat mencapai 98% (Harrington, 1992).

Macam motor sinkron yang dapat digunakan electric propulsion drive dengan power besar adalah :

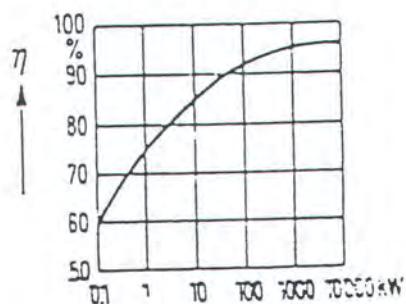
- a. Cylindrical rotor synchronous motor
 - motor pada putaran tinggi (3600 rpm)

- motor putaran rendah
- b. Salient Pole synchronous motor

Keunggulan dan karakteristik dari motor a-c sinkron dibanding motor induksi adalah :

- tidak mempunyai slip (perbedaan putaran antara synchronous speed dengan actual speed)
- eksitasi dengan d-c
- mempunyai power factor lebih tinggi dibanding motor induksi
- dapat berlaku sebagai kapasitor yang beroperasi sebagai kapasitor sinkron dengan menyuplai kapasitansi ke sirkuit
- beroperasi pada putaran konstan (*constant speed*)
- dapat digunakan untuk koreksi power factor (unity : 1,0, leading : 0,8)

Efisiensi motor tergantung kepada beban yang bekerja dan berkisar 96% untuk motor sinkron, namun dari gambar 2.21. dapat terlihat efisiensi motor terhadap besarnya power motor.



Gambar 2.21. Efisiensi motor

Motor – motor yang digunakan pada sistem electric propulsion drive dilengkapi dengan sistem pengereman (*braking*). Macam – macam sistem braking yang dapat digunakan adalah :

- External braking :

Dilakukan oleh brake yang dikopel ke motor dimana mempunyai keuntungan tidak timbulnya panas pada motor, namun membutuhkan ruang lebih pada motor, dan poros khusus dan tidak punya memutar balik (*counter torque*). Dapat digunakan sistem mekanik, elektrik, hidrolik mapun pneumatik, dan memerlukan shoe atau disk-type brake.

- Internal braking :

Pengereman dan pengurangan putaran dilakukan secara elektrik dengan pengaliran arus melalui kumparan. Pengereman ini mempunyai keuntungan : perlambatan yang terkontrol, pengontrolan putaran baik, counter torque, tambahan ruang tidak diperlukan. Sedang kerugian jenis rem ini adalah : holding power tidak tersedia, timbul panas pada motor, selalu diperlukan tambahan power untuk pengereman. Pengereman ini dapat dikombinasikan untuk mendapatkan keunggulan yang lebih baik. Macam – macam internal braking yang ada :

- Plugging
- Regenerative braking
- Dynamic braking dengan ac excitation
- Dynamic braking dengan dc excitation
- Dynamic braking dengan resistor
- Dynamic braking dengan capacitor

- Dynamic braking dengan kombinasi capacitor, rectifier, dan resistor.

E. Pemilihan Frekuensi, Sistem Voltage, dan Circuit Breaker

Pemilihan frekuensi yang bekerja pada mesin – mesin listrik tidak harus berhubungan dengan standar nasional suatu negara. Frekuensi yang banyak dipakai adalah 60 Hz dan 50 Hz. Frekuensi 60 Hz memberikan putaran yang lebih tinggi dan penurunan berat mesin listrik. Pemilihan putaran (synchronous speed) standar mesin – mesin listrik untuk kutup antara 2 sampai 32 pada frekuensi 60 Hz dapat menggunakan acuan seperti pada tabel 2.1, namun pemilihan tidak selalu mengambil standar untuk beberapa aplikasi dengan berdasar persamaan (1).

Tabel 2.1. Standar synchronous speed pada frekuensi 60 Hz¹

3600	720	400	277
1800	600	360	257
1200	514	327	240
900	450	300	225

¹ Pada 50 Hz, putaran sebesar 5/6 kali pada 60 Hz

Pemilihan sistem voltase meliputi sistem voltase untuk generator, transformer bagian sekunder, motor dan kontrol. Secara umum voltase untuk generator dan transformer bagian sekunder sama dengan sistem voltase nominal seperti terlihat pada tabel 2.2. Sedangkan motor dan kontrol mempunyai voltase yang lebih rendah dari nilai nominal karena untuk mengatasi kemungkinan tegangan turun (*voltage drop*). Sistem voltase dipengaruhi oleh sistem power yang digunakan dimana semakin besar sistem power, sistem voltase yang dibutuhkan juga semakin besar dan juga beberapa aturan standar nasional suatu negara. Sistem voltase yang dipilih akan mempengaruhi ukuran kabel dan efisiensi putaran mesin – mesin listrik serta circuit breaker atau switch gear yang digunakan.

Tabel 2.2. Standar sistem voltage untuk sistem elektrik (di Amerika dan beberapa negara Eropa)

Preferred nominal system voltage	Generator rated voltage	Transformer secondary rated voltage	Motor and control rated voltage
Single-phase systems and single-phase components applied on three-phase systems			
120	120	120	115
120/240	120/240	120/240	230
208Y/120 (3-phase)	125/216Y (3-phase)	216Y/125 (3-phase)	115*
460Y/265 (3-phase)	277/480Y (3-phase)	480Y/277 (3-phase)	
Three-phase low-voltage systems			
208Y/120	125/216Y	216Y/125	208
230	139/240Y	240Y/139 or 240	230
460Y/265	277/480Y	480Y/277	460
460	277/480Y	480Y/277	460
575	346/600Y	600Y/346 or 600	575
Three-phase medium-voltage systems			
2,400	1,388/2,400Y	2,400Y/1,388 or 2,400	2,300
4,160	2,400/4,160Y	4,160Y/2,400	4,000
4,800	2,770/4,800Y	4,800Y/2,770 or 4,800	4,600
6,900	3,980/6,900Y	6,900Y/3,980	6,600
7,200	3,980/6,900Y	7,200Y/4,160	6,600
12,000	7,210/12,500Y	12,000Y/6,920	11,000
7,200/12,470Y	7,210/12,500Y	12,470Y/7,200	
13,200	7,970/13,800Y	13,200Y/7,610	13,200
13,800	7,970/13,800Y	13,800Y/7,970	13,200
14,400	8,320/14,400Y	13,800Y/7,970	13,200

*Line-to-neutral rating.

Dalam aturan klas, dalam hal ini Biro Klasifikasi Indonesia juga memberikan pengaturan untuk pemilihan sistem tegangan yang terdiri dari :

- 11000 V : untuk peralatan permanen kecuali sistem suplai power darurat
- 500 V : dapat untuk keperluan sistem darurat
- 250 V : untuk keperluan penerangan, single phase AC
- 50 V : digunakan di ruang basah, alat jinjing (*portable*), open deck.

Untuk pemilihan switchgear atau circuit breaker tergantung dari jumlah hubungan paralel, sistem interkoneksi, dan sistem tegangan yang dipilih. Sebagai

acuan standar dapat dipakai standar pada tabel 2.3. Proteksi short circuit pada saat start mesin beban penuh dapat mencapai sekitar 600 sampai 800 kali arus nominal (McIntyre & Losee, 1991), sedang untuk mesin – mesin menggunakan brushless ataupun compound, arus short circuit mencapai sekitar 6 – 10 kali arus pada beban penuh (Laughton & Say, 1985). Untuk short circuit pada sistem voltage untuk mengatasi adanya voltage drop dapat digunakan standar seperti terlihat pada tabel 2.3.

Tipe circuit breaker yang banyak digunakan adalah tipe thermal diantaranya adalah thermal magnetic yang memberikan deteksi panas dan keterlambatan waktu (*time lag*) membuka sirkuit, semakin besar arus overload semakin cepat waktu untuk membuka sirkuit. Sedangkan tipe lain yang digunakan adalah tipe vacuum.

Tabel 2.3. Short circuit KVA untuk sistem power

System Voltage	Usual range of short circuit kVA
2400	15000 - 150000
4160	25000 - 250000
6900	50000 – 500000
13800	100000 - 1000000
23000	150000 – 1500000
34500	150000 – 1500000
69000	150000 – 1500000
115000	250000 – 2500000



BAB III

PEMANFAATAN BOIL - OFF GAS

BAB III

PEMANFAATAN BOIL-OFF GAS

3.1. Karakteristik LNG

Secara umum LNG adalah singkatan dari Liquefied Natural Gas, yaitu gas alam yang dicairkan dan bila berada pada udara normal dan tekanan atmosfir akan berubah menjadi bentuk gas kembali. Gas alam dicairkan pada suhu yang sangat rendah (berkisar -162°C) dan tekanan sedikit di bawah tekanan atmosfir ($\pm 0,25\text{ atm}$) (Widarso, Y. 1991). Gas alam terdiri dari dua macam yaitu : (i) gas yang keluar bersama – sama dengan minyak (*associated gas*) dan, (ii) gas yang murni keluar dari bumi tanpa bersama minyak (*free gas / non associated gas*). Keduanya mempunyai komposisi unsur – unsur yang berbeda, dan di Indonesia sebagian besar berupa free gas.

Tabel 3.1. Komposisi LNG secara umum

Komponen	mol %
Oxygen (O_2)	0,00
Nitrogen (N_2)	0,01
Carbon Dioxide (CO_2)	0,00
Methane (CH_4)	90,51
Ethane (C_2H_6)	6,19
Propane (C_3H_8)	2,49
i-Butane ($\text{i-C}_4\text{H}_{10}$)	0,41
n-Butane ($\text{n-C}_4\text{H}_{10}$)	0,38
i-Pentane ($\text{i-C}_5\text{H}_{12}$)	0,01
n-Pentane ($\text{n-C}_5\text{H}_{12}$)	0,00
Total	100,00

Komponen utama LNG secara umum adalah methane (CH_4), dengan campuran bawaan minoritas dari ethane (C_2H_6), propane(C_3H_8), butane (C_4H_{10}), pentane

(C₅H₁₂), nitrogen (N₂), carbon dioxide (CO₂), dan unsur – unsur lain, dengan komposisi seperti terlihat pada tabel di bawah ini. Komposisi natural gas bervariasi tergantung pada kondisi biologi dan geologi pada tempat atau sumber gas terkandung seperti pada lampiran.

LNG adalah campuran hidrokarbon molekul rendah yang sebagian besar terdiri dari methane sehingga karakteristik dan sifat – sifatnya mirip dengan methane cair. Hal terpenting dari sifat LNG adalah :

- sifat mudah menguap
- sifat mudah menyala
- spesific gravity rendah.

Gas alam mulai mencair pada suhu -82,3° C dan tekanan 45,9 atm, sehingga dinamakan temperatur dan tekanan kritis. Bila suhu dinaikkan sampai +15° C, tekanan yang timbul dapat mencapai sebesar 200 atm. Pencairan ini bertujuan untuk mengurangi volume dari natural gas, dimana 1 m³ kubik LNG sama dengan kira – kira 600 m³ dalam bentuk gas (*natural gas*) pada kondisi sekitar (*ambient conditions*). Sehingga untuk keselamatan dan mengurangi penguapan, dalam penyimpanan, pemuatan dan pengapalan LNG, dicairkan dengan suhunya diturunkan sangat rendah sekitar -162° C (*boiling point*) dan tekanan sedikit di bawah tekanan atmosfir ± 0,25 atm. Namun pada LNG Carrier, penguapan tidak dapat dihindari (*boil-off*) karena adanya panas luar dan goncangan gerakan kapal, dan timbul boil-off gas (BOG) dengan penyusutan sebesar 0,1 – 0,3% per hari dari kapasitas muatan total (Widarso, Y. 1991). Pembahasan boil-off gas akan terdapat pada sub-bab selanjutnya.

Gas alam cair mempunyai karakteristik sebagai berikut :

Suhu kritis	-82,5° C (-116,5° F)
Tekanan kritis	45,9 Bar
Boiling point pada 1 atm	-161,5° C (-258,7° F)
Freezing point pada 1 atm	-184° C (-299,2° F)
Density, pada 0° C, 1 atm	0,415 g/cm ³
Specific gravity	0,47
Specific weight	0,76 kg/Nm ³
Ignition limits (% dalam udara)	5 – 15
Flash point	537 ° C (998,6° F)
Calorific value (Lower)	7000 – 9500 kcal/Nm ³

Dengan suhu yang rendah tersebut, gas alam dikirim ke pelabuhan bongkar untuk kemudian disimpan atau diproses menjadi bentuk gas yang didistribusikan ke konsumen.

3.2. Boil-Off Gas (BOG) Sebagai Bahan Bakar

3.2.1. Tinjauan Umum Boil-Off Gas

Natural gas disimpan dalam tangki – tangki LNG Carrier dengan dicairkan pada temperatur yang mendekati temperatur penguapan (*vaporisation temperature*). Walaupun tangki telah didesain untuk membatasi masuknya panas luar, namun sebagian akan tetap menyebabkan penguapan dari muatan, termasuk akibat adanya gerakan kapal. Penguapan yang tidak dapat dihindari tersebut merupakan natural evaporation yang dikenal sebagai boil-off.

Boil-off gas yang terjadi berkisar 0,1 – 0,3 % per hari dari kapasitas total muatan berupa methane murni (*pure methane*). Kuantitas timbulnya BOG dinyatakan dengan boil – off rate (BOR) dalam persentase per hari, yaitu suatu perbandingan derajat penguapan muatan cair di dalam tangki terhadap total kapasitas

muatan tangki per hari pada suhu sekitar 45° C dan suhu air laut 32° C. Boil – off rate (*pure methane*) dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{BOR} = \frac{V_1\rho_1 - V_2\rho_2)L + V_2\rho_2\text{Cp}(T_2 - T_1)}{V_T\rho_m L_m t} \times 100\% / \text{hari}$$

dimana :

V_T = total cargo volume (m^3)

V_1 = total cargo pada saat pemuatan (berkisar 99% dari total volume tangki termasuk dome) (m^3)

V_2 = total cargo volume pada saat akan dibongkar (m^3)

ρ_1 = density rata – rata muatan pada saat pemuatan (kg/m^3)

ρ_2 = density rata – rata muatan pada saat bongkar (kg/m^3)

T_1 = suhu rata – rata muatan saat pemuatan ($^\circ\text{C}$)

T_2 = suhu rata – rata muatan saat bongkar ($^\circ\text{C}$)

t = waktu pelayaran (hari)

Cp = panas spesifik ($\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

L = kalor laten penguapan pada muatan (kcal/kg)

L_m = kalor laten penguapan methane teoritis (122 kcal/kg)

ρ_m = density methane murni ($425 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Pada beberapa LNG Carrier besar dengan isolasi tangki yang baik dapat diperoleh BOR sebesar 0,1% per hari.

Besarnya penguapan yang terjadi bisa mengakibatkan kenaikan temperatur pada tanki sehingga menyebabkan naiknya tekanan tangki. Hal ini sangat membahayakan, sehingga BOG harus dikeluarkan dari tangki. Beberapa penanganan BOG yang dapat dilakukan adalah :

- a. Membebaskan ke udara luar
- b. Pencairan kembali (*Reliquefaction Plant*) dengan pertimbangan ekonomis bila diperlukan
- c. Dialirkan ke kamar mesin untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar

Penanganan dengan metode pertama dan kedua tidak ekonomis bila dilakukan pada kapal – kapal LNG, sebab dengan metode pertama BOG akan dibuang begitu saja, sedang pada metoda kedua akan membutuhkan biaya tinggi untuk keperluan penempatan reliquefaction plant, sehingga tidak ekonomis. Metoda paling efektif yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan BOG dengan mengalirkannya ke kamar mesin sebagai bahan bakar.

3.2.2. Perlakuan BOG

Dengan adanya tiga metode penanganan BOG seperti di atas, maka perlu diperhatikan adanya sistem – sistem yang diperlukan dalam menunjang penanganan BOG dalam LNG Carrier. Untuk itu perlu diketahui kondisi uap LNG yang terjadi di kapal LNG. Uap LNG (BOG) dapat terjadi pada kondisi – kondisi sebagai berikut :

- loading
- unloading / discharging
- laden voyage (muatan penuh)
- ballast voyage (muatan kosong)

Kondisi uap LNG yang banyak mempengaruhi kebutuhan BOG sebagai bahan bakar adalah pada saat laden dan ballast voyage.

A. Operasi Pemuatan (*Loading*)

Pada saat loading, BOG di tangki dikeluarkan dengan menggunakan high – duty (H/D) compressor melalui vapor suction dan ditransfer ke darat (*shore base*). Namun kadang – kadang BOG juga dipanaskan dahulu untuk memenuhi persyaratan atau permintaan darat, menggunakan H/D heater dan ditransfer. Pada waktu operasi loading tekanan tangki harus dijaga konstan pada $0,07 - 0,10 \text{ kg/cm}^2$ G, karena pembentukan BOG tergantung pada tekanan tangki pada saat tersebut. Bila tekanan tangki menurun, BOG yang terjadi dan ditransfer ke darat semakin besar, begitu sebaliknya.

Muatan maksimum yang diijinkan dalam tangki (*filling rate*) adalah 98% dari kapasitas tangki pada temperatur tertentu sesuai aturan dari klas maupun IMO (IGC Code). Namun dapat diijinkan melebihi batas tersebut oleh klas, tergantung dari bentuk tangki, pengaturan pressure relief valve, dan ketepatan pengukuran level cairan dan temperatur, seperti oleh NV dan ABS pada MOSS –type spherical tank dengan filling rate 99,5%.

B. Operasi Bongkar Muatan (*Unloading*)

Sebelum pembongkaran muatan, aliran BOG ke kamar mesin dihentikan. Pada saat unloading tekanan dalam tangki cenderung turun karena berkurangnya jumlah muatan, dan tekanan tangki darat cenderung naik, sehingga gas dalam tangki darat mengalir ke tangki kapal karena perbedaan tekanan, sedang tekanan dalam tangki harus dijaga konstan berkisar $0,07 - 0,13 \text{ kg/cm}^2$. Karena itu masih diperlukan pengaliran gas dengan tekanan yang dilakukan oleh blower di darat. Bila hal ini tidak dapat dilakukan, dapat dilakukan metode pengaliran LNG (*unloaded LNG*) ke LNG vaporizer dan mengalirkan gas yang ditimbulkan ke dalam tangki muat.

Ketika LNG Carrier memasuki pelabuhan bongkar, BOG yang timbul dalam tangki masih dimanfaatkan sebagai bahan bakar, sampai masuk ke dermaga. Terdapat tiga macam metoda untuk penanganan BOG selama operasi di pelabuhan bongkar :

1. Tangki dibuat kedap dan BOG terkumpul di dalam tangki.
2. BOG dialirkan ke kamar mesin sebagai bahan bakar.
3. BOG dipanaskan dan dibuang ke udara melalui vent mast.

Untuk metoda ke-3, pembuangan BOG ke udara ditolak oleh sebagian pelabuhan di beberapa negara. Untuk metoda ke-2, selama operasi di pelabuhan bongkar beban engine kecil, sehingga tidak ekonomis untuk tetap menggunakan BOG sebagai bahan bakar. Metoda yang paling efektif adalah yang ke-1, yaitu mengumpulkan BOG dalam tangki selama tekanan dalam tangki masih dalam batas yang diijinkan. Pengondisian tangki kedap tersebut memakan waktu sekitar 4 jam sampai selesai persiapan untuk pengaliran BOG ke darat. Karena BOG harus dikumpulkan dalam tangki, maka tekanan tangki harus diturunkan sejauh mungkin sebelum kapal masuk pelabuhan bongkar.

Pada operasi unloading, sejumlah liquid LNG harus disisakan dalam tangki No. 3, 4, atau 5 untuk keperluan pendinginan tangki selama ballast voyage.

C. Laden Voyage

Pada kondisi laden voyage (kondisi muatan penuh / *full load voyage*), BOG terjadi secara alami di dalam tangki dan tidak dapat dihindarkan, sehingga tekanan tangki naik. Untuk mengurangi tekanan ini, maka BOG dialirkan ke kamar mesin untuk dijadikan bahan bakar main engine. BOG keluar dari tangki LNG dan masuk ke sistem pipa uap LNG (*vapor line*) pada kondisi suhu berkisar -150°C dan tekanan

1 bar. Dalam peraturan klas tentang kapal LNG dari Lloyd's Register of Shipping (1986), dan berdasar IMO (IGC Code) disebutkan bahwa methane (LNG) adalah satu – satunya muatan (*cargo*) yang uapnya (BOG) dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam kamar mesin untuk sistem propulsi utama atau kamar mesin kategori A dan ruang – ruang yang digunakan hanya untuk boiler, inert gas generator, combustion engine dan gas turbine.

Cargo tank pada kapal LNG normal didesain dengan diisolasi sedemikian sehingga kuantitas BOG yang terjadi pada kondisi suhu air laut 32°C dan suhu atmosfer 45°C adalah sebesar 5000 kg/jam (120 t/hari). Dalam perjanjian pengangkutan biasanya diijinkan BOG yang dibakar sebesar 0,25 %/hari dari kapasitas tangki total.

Kuantitas BOG yang terjadi selama berlayar disebabkan oleh beberapa faktor :

- panas yang masuk ke dalam tangki
- komposisi LNG
- getaran dan goncangan kapal
- tekanan dalam tangki.

Hubungan antara kuantitas BOG yang dibakar dan tekanan tangki sebagai berikut:

1. Bila tekanan tangki konstan maka kuantitas uap yang dibuat dalam tangki sama dengan kuantitas BOG yang dibakar.
2. Bila tekanan tangki dinaikkan maka kuantitas BOG yang dibakar berkurang, kurang dari kuantitas uap yang terjadi di tank.
3. Bila tekanan tangki diturunkan maka kuantitas BOG yang dibakar bertambah, lebih dari kuantitas uap yang dihasilkan dalam tangki.

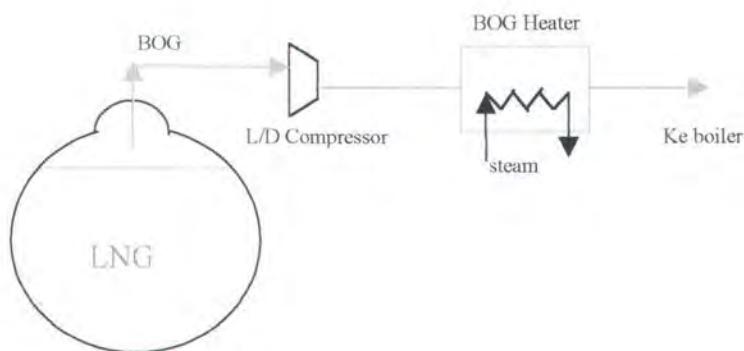
Selama laden voyage tidak diperlukan cooling down karena secara otomatis suhu ruang muat akan selalu konstan pada tekanan atmosfer, meskipun ada sedikit pengaruh dari ambient temperature. Sehingga jarang terjadi boil-off gas berlebihan, dan hampir seluruhnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar engine, tidak dibuang ke udara.

Bila terdapat tekanan tangki yang tidak dapat dikontrol, untuk mengurangi tekanan penguapan dalam tangki dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

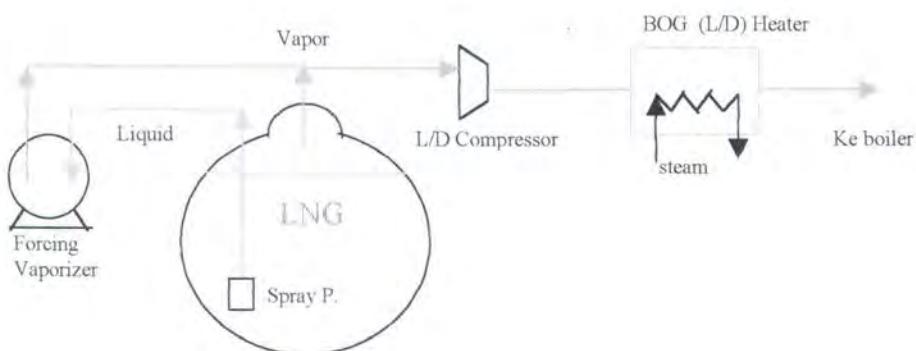
1. Mengeluarkan atau membuang kelebihan uap LNG dalam tangki lewat sistem bahan bakar BOG.
2. Secara darurat bila tekanan tangki tidak dapat dikontrol dalam batas yang diijinkan selama kondisi pelayaran normal, kelebihan uap LNG dikeluarkan ke udara lewat vent riser dengan remote control vent valve.

Namun pada perairan dengan larangan pembuangan uap LNG ke udara, steam dumping system dan atau meningkatkan tekanan tangki sampai batas yang diijinkan dapat dilakukan.

Pengiriman uap LNG ke kamar mesin juga berguna untuk mengurangi panas yang timbul dari LNG, sehingga suhu muatan LNG tetap dipertahankan. Bila selama pelayaran masih dibutuhkan lebih banyak uap LNG untuk dijadikan bahan bakar, dapat dilakukan forcing BOG, yaitu mengalirkan liquid LNG ke forcing vaporizer dan menghasilkan uap yang disuplai ke kamar mesin. Forcing vapor ini mempunyai nilai kalor sama dengan LNG karena berisi methane, ethane, propane, dan yang lain, tergantung dari suhu penguapan vaporizer. Nilai kalor natural BOG (*pure methane*) berbeda dengan forcing BOG karena itu kebutuhan per meter kubik bahan bakar untuk menghasilkan power juga berbeda.



Gambar 3.1. Loaded / Laden voyage (without forcing BOG)



Gambar 3.2. Laden voyage (forcing BOG)

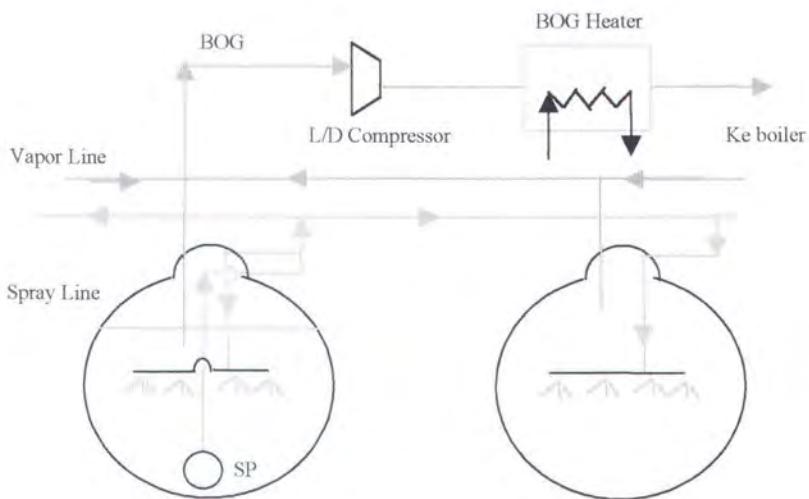
D. Ballast Voyage

Ballast voyage yaitu pelayaran kapal pada saat muatan kosong setelah melakukan bongkar muatan di pelabuhan bongkar. Selama ballast voyage, temperatur dalam tangki cenderung meningkat karena muatan yang sedikit, kecuali dilakukan pendinginan. Walaupun temperatur cenderung naik namun jumlah BOG yang dihasilkan lebih sedikit dibanding sewaktu laden voyage, hal ini disebabkan pada laden voyage jumlah muatan lebih besar dan adanya perambatan panas yang meningkat karena besarnya perbedaan (*gradient*) temperatur antara temperatur rata – rata dalam tangki yang menurun dengan ambient temperatur.

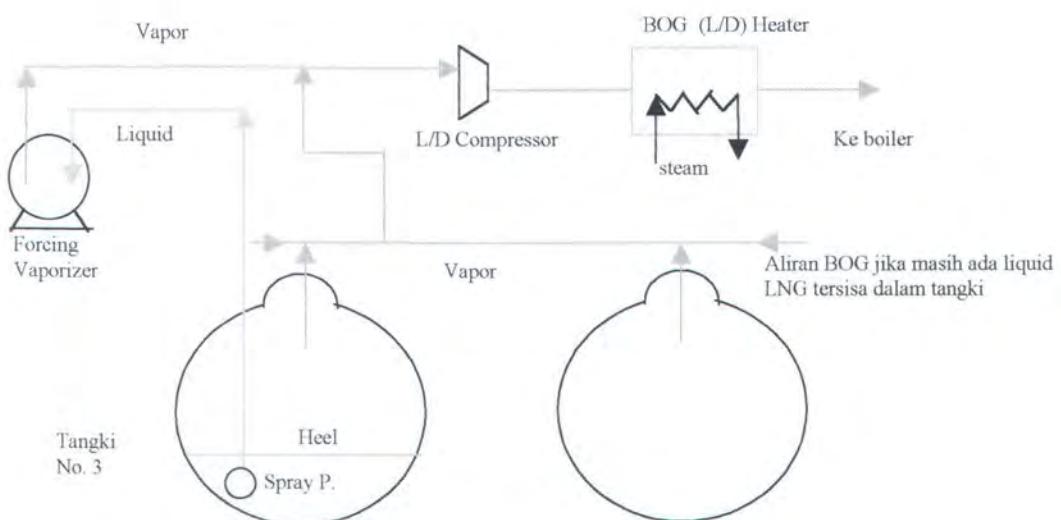
Ketika LNG Carrier berlayar dalam kondisi ballast, liquid LNG yang tersisa dalam tangki, disebut *cooling stock / heel*, digunakan untuk pendinginan tangki dengan cara menyemprotkan liquid LNG ke dinding tangki menggunakan spray pump, mencapai suhu sekitar -130° C pada equator dan suhu gas dalam tangki sekitar -150° C. Spray yang dilakukan selain mendinginkan tangki juga menghasilkan uap LNG. Pendinginan selama ballast voyage dilakukan dengan tujuan mendinginkan tangki sebelum operasi loading agar selama proses loading tidak terjadi panas berlebih dalam tangki dan mengurangi timbulnya BOG. Tangki yang tidak terdapat heel dan tidak dilakukan pendinginan, temperatur akan naik mencapai sekitar 10° C mendekati equator, dalam sehari; tergantung dari suhu udara dan suhu air laut .

Selama ballast voyage tanpa proses pendinginan tangki (*cooling down*), kuantitas BOG yang terjadi pada level terendah. BOG yang terjadi semuanya dimanfaatkan untuk bahan bakar, baik dari heel (tangki no. 3) maupun tangki lain bila masih terdapat sisa liquid LNG. Bila dilakukan cooling down, jumlah BOG akan meningkat karena hasil spray di tangki – tangki lain. Kuantitas BOG yang terjadi saat operasi tersebut akan maksimum selama pelayaran normal. Karenanya, cooling rate harus ditentukan dan dibatasi agar kuantitas BOG yang dihasilkan tidak melebihi kapasitas bakar yang dibutuhkan boiler.

Untuk mencukupi kebutuhan bahan bakar selama ballast voyage kadang – kadang perlu dilakukan forcing LNG ke forcing vaporizer untuk menghasilkan forcing BOG, karena suplai natural BOG yang sedikit.



Gambar 3.3. Ballast voyage pada kondisi operasi pendinginan tangki (tanpa forcing BOG)



Gambar 3.4. Ballast voyage tanpa pendinginan tangki (forcing BOG)

3.3. Sistem dan Instalasi Perpipaan BOG

3.3.1. Material Pipa

Material dari cargo piping yang bekerja untuk fluida cryogenic dituntut untuk memiliki kekuatan tegangan tarik yang cukup baik serta mampu bertahan pada temperatur rendah dan tahan terhadap perubahan temperatur yang cukup tajam

selama proses cooling down maupun proses warm up. Pada umumnya material tidak akan tahan pada temperatur kerja LNG -162°C . Pada suhu tersebut material akan bersifat rapuh dan mudah pecah. Karena itu perlu adanya paduan logam untuk mengurangi sifat logam yang merugikan tersebut, yang sebagian besar menggunakan nickel alloy. Pada LNG Carrier untuk temperatur kerja berkisar -160°C dapat digunakan nickel steel yaitu baja dengan campuran nickel 2 – 9%. Namun agar memiliki koefisien muai yang rendah, nickel steel 36% (INVAR) dapat digunakan.

Untuk pipa – pipa di atas deck yang rentan terhadap korosi, menggunakan stainless steel yang mengandung nickel, cromium, molybdenum, vanadium dan lainnya untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan material bila digunakan untuk temperatur dan tekanan tinggi. Sedangkan pipa – pipa dalam cargo tank menggunakan alluminium alloy. Pipa – pipa pada aplikasi untuk cargo mempunyai keuntungan yaitu sedikit terjadi korosi terutama pada pipa bagian dalam karena menggunakan fluida cryogenic pada temperatur yang rendah. Sedang korosi pipa bagian luar dapat diatasi dengan penggunaan isolasi pipa.

3.3.2. Isolasi Pipa

Pada LNG Carrier, untuk mengurangi terjadinya penguapan LNG karena pengaruh panas atau temperatur tinggi, semua cargo piping yang bekerja dengan fluida pada temperatur rendah (*cryogenic piping*) dan berhubungan dengan kondisi sekitar harus dilengkapi dengan isolasi pipa yang memadai, kecuali flens, katup – katup, dan expansion joint tipe bellow. Sedang menurut aturan klas dari Lloyd's Register of Shipping, perpipaan yang bekerja pada temperatur rendah harus berisolasi dengan isolasi thermal (*thermal isolation*) bila berdekatan dengan badan

kapal, untuk mencegah turunnya suhu badan kapal di bawah suhu desain untuk material badan kapal (Rules for ships for liquefied gases, 1986, h.67).

Syarat minimum material untuk keperluan isolasi pipa antara lain :

- a. Tahan terhadap gaya – gaya statis dan dinamis selama operasi sehingga tetap berfungsi sebagai isolator, serta mampu menahan besarnya tegangan thermal perubahan suhu yang ekstrem dari suhu normal ke suhu rendah - 160°C.
- b. Mampu tidak mengalami perubahan pada sifat / properti isolator, karena bila terdapat gangguan akan mengubah performansi dari isolator.
- c. Mudah untuk digunakan.
- d. Tidak mudah terbakar (*non combustible material*).
- e. Mudah diperbaiki.

Bila pipa digunakan di udara terbuka seperti di dek kapal, material juga harus tahan perubahan cuaca khususnya tahan air, dan tahan api.

Jenis material untuk isolasi thermal terbagi menjadi dua golongan yaitu:

- Gas – solid combined type
- Vacuum type

Gas-solid type banyak digunakan di LNG Carrier. Kebanyakan dari material untuk isolasi thermal adalah campuran material padat (*solid material*) yang mempunyai void ratio tinggi, dimana udara mengisi pada bagian void space. Material ini mempunyai thermal conductivity yang rendah berkisar 0,02 kcal/mh°C. Campuran material yang berisi gas mempunyai thermal conductivity lebih kecil dari udara sehingga memiliki kapasitas isolasi panas yang lebih tinggi dari pada yang berisi udara, seperti pada hard urethane foam yang diisi gas freon (thermal conductivity : 0,006).

Solid material dapat berbentuk fiber, powder/grain atau foam (berlubang angin) yang masing – masing mempunyai karakteristik.

Jenis fiber : glass fiber, glass wool, wood (balsa).

Jenis powder/grain : perlite

Jenis foam : foam glass, polyurethane foam, phenol foam.

Material – material tersebut digunakan pada tekanan atmosfer dan disebut atmospheric insulator. Jika material digunakan dalam kondisi vakum, dimana gas yang ada dihilangkan dan panas hanya bisa ditransfer dengan radiasi, sistem ini merupakan isolasi dengan vacuum type.

Isolasi pada pipa – pipa yang bekerja pada temperatur rendah di LNG Carrier banyak menggunakan polyurethane foam yang tahan api. Isolasi dipasang menerus sepanjang pipa kecuali pada bagian – bagian tertentu antara lain : pipa dalam cargo tank, katup – katup, liquid shore dan vapor connection, dan yang lain. Polyurethane foam dihasilkan dari reaksi pencampuran antara poly-isocyanite dan poly-ol sehingga menjadi bahan yang mudah dibentuk, mempunyai sifat tarik yang kuat serta tahan api, serta merupakan material yang cukup murah. Namun polyurethane mempunyai kelemahan kurang mampu mengatasi adanya retak karena kontraksi (*contraction cracking*) ketika digunakan pada temperatur untuk LNG. Karenanya, material ini tidak cocok untuk dipakai pada fasilitas – fasilitas LNG yang menggunakan site-foaming technique seperti yang biasa digunakan pada LPG Carrier.

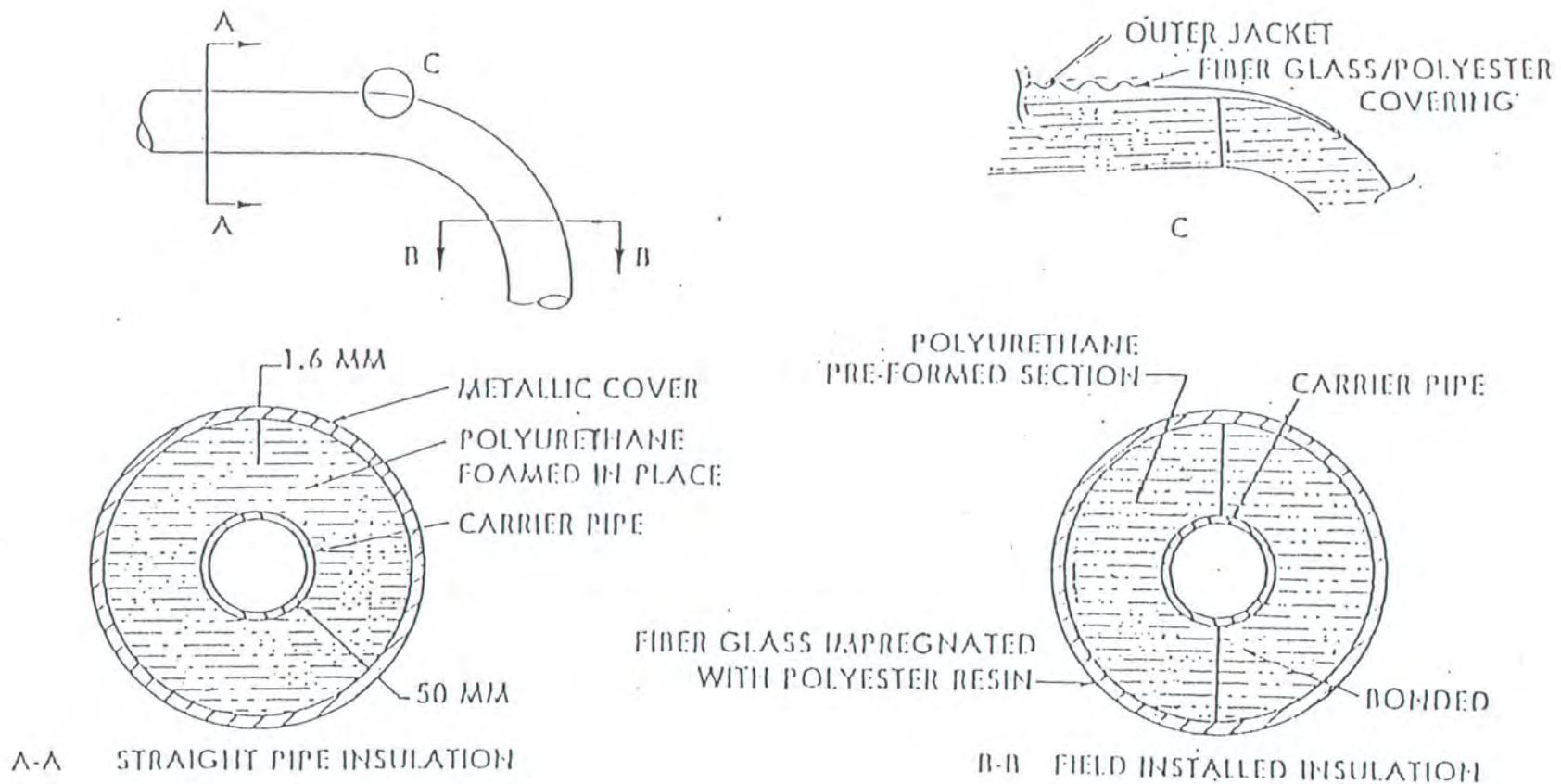
Tebal isolasi pipa tergantung pada besarnya pipa dan berkisar antara 50 – 150 mm, seperti terlihat pada contoh gambar 3.5. Syarat khusus untuk insulation material, harus mempunyai rambatan kalor yang rendah, serta tahan terhadap panas selama proses warm up pada suhu 80° C. Selain itu perlu adanya penetrasi dari unsur – unsur listrik (*electrically bonded / electrically ground*) bila perpipaan

maupun tangki terpisahkan dari badan kapal oleh isolasi thermal. Hal tersebut perlu untuk menghilangkan penimbunan listrik statis yang terjadi akibat pergeseran muatan selama discharge maupun loading. Penimbunan listrik statis ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan percikan bunga api. Hal tersebut juga berlaku untuk semua gasketed pipe joint dan hose connection sesuai aturan dari klas.

3.3.3. Sambungan Pipa

Sambungan untuk pipa – pipa di LNG Carrier baik di dalam maupun di luar cargo tank dapat menggunakan sambungan dengan butt weld penetrasi penuh, slip on welded joint, maupun screwed coupling. Untuk pipa dengan temperatur kerja di bawah -10°C digunakan butt weld dengan double welded. Sambungan dengan menggunakan ulir diperkenankan untuk perpipaan asesoris dan pipa – pipa untuk instrumen dengan diameter luar di bawah 25 mm (Rules for ships for liquefied gases, 1986). Untuk perencanaan perpipaan sedapat mungkin untuk menjamin agar aliran dapat mengalir secara rata.

Pada saat loading & discharge, sambungan flens mengalami penyusutan dengan cepat karena temperatur turun mendadak, sedangkan baut pengikat belum menyusut. Hal ini akan berakibat ikatan flens tersebut mengendor dan baut tergigit dengan kuat oleh lubang baut pada flens, sehingga memungkinkan terjadinya kebocoran pada sambungan. Untuk mengatasi hal ini digunakan dua material yang berbeda antara flens dengan bautnya. Flens menggunakan bahan alluminium alloy sedangkan bautnya menggunakan stainless steel, dimana bedanya memiliki koefisien muai yang berbeda.

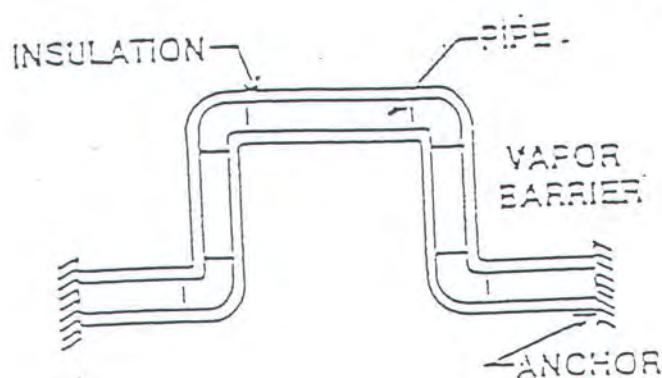


Gambar 3.5. Sistem isolasi pipa – pipa cryogenic

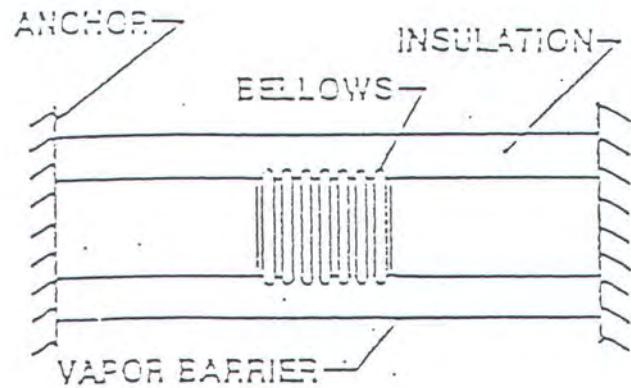
Sambungan expansion joint digunakan pada sistem perpipaan untuk menangani perpipaan dengan gaya – gaya axial maupun angular, dapat juga digunakan untuk menyambung dua pipa yang tidak lurus (*offset*). Untuk menunjang fleksibilitas dari perpipaan agar mengurangi tegangan thermal (*thermal stress*), digunakan dua tipe expansion yaitu :

- a. Expansion loop
- b. Expansion bellow

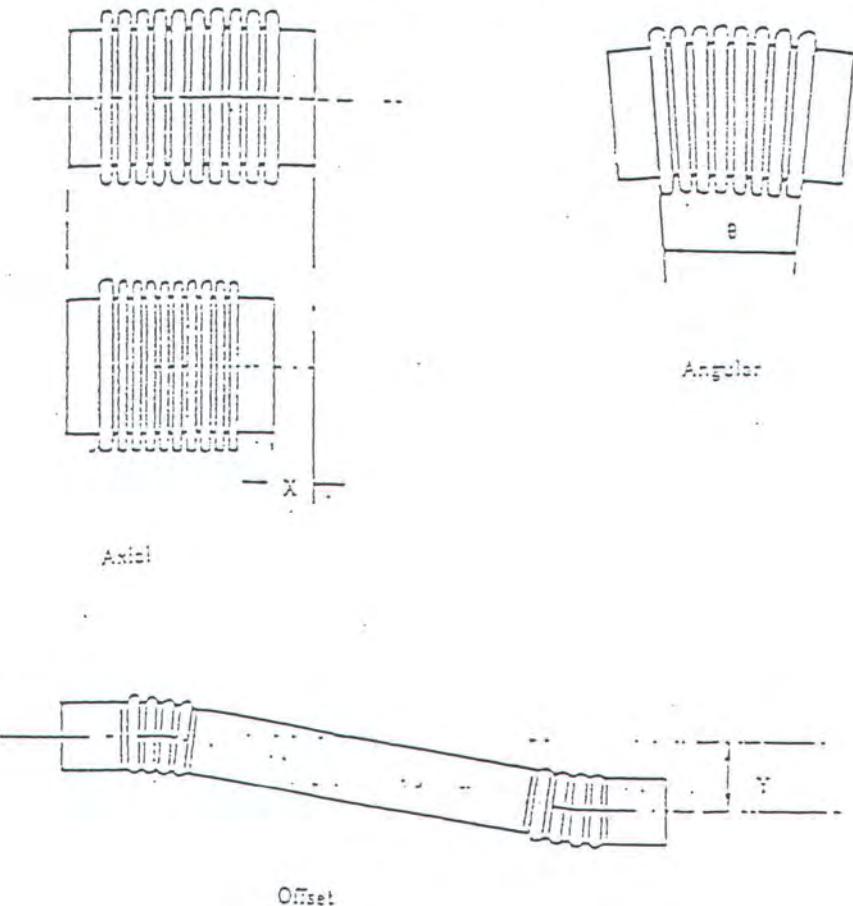
Expansion loop jarang dipakai karena relatif mahal dan menghasilkan pressure drop pada extra elbow serta menambah panjang pipa karena ada extra elbow. Namun untuk beberapa aplikasi, tipe ini harus dipakai seperti pada perpipaan di deck pada spherical tank. Sedang expansion bellow banyak dipakai terutama untuk pipa – pipa yang panjang dan lurus. Selain itu juga menghasilkan pressure drop yang rendah dan harga yang lebih murah dibanding tipe loop. Tipe bellow banyak dipilih daripada tipe loop pada aplikasi – aplikasi yang bertujuan untuk menyerap beban karena perbedaan tegangan tarik dan tekan yang ditimbulkan kontraksi thermal, defleksi badan kapal, dan yang lain.



Gambar 3.6. Expansion Loop



(a) Ekspansi bellow



Gambar 3.7. Ekspansi perpipaan, (a) Ekspansi bellow, (b) ekspansi joint

3.3.4. Instalasi Pipa BOG di kamar mesin

LNG Carrier pada masa sekarang telah memanfaatkan BOG sebagai bahan bakar permesinan utama di kamar mesin. Peraturan klas dan perjanjian internasional juga telah dibuat untuk mengantisipasi kondisi tersebut. Tujuan utama penanganan suplai gas ke kamar mesin adalah untuk jaminan keselamatan dimana gas / BOG merupakan gas yang berbahaya mudah terbakar (*flammable gas*). Penanganan suplai gas ke kamar mesin digunakan perpipaan berdinding ganda (*double wall piping*) dimana ruang diantaranya diisi dengan gas inert atau ventilasi yang memadai, untuk mengatasi dan mencegah keluarnya gas apabila terdapat kebocoran. Dalam aturan klas dan aturan internasional IGC Code, disebutkan mengenai perpipaan suplai gas di kamar mesin :

Gas fuel piping should not pass through accommodation spaces, services spaces, or control stations. Gas fuel piping may pass through or extend into other spaces provided they fulfil one of the following :

1. The gas fuel piping should be a double-wall piping system with the gas fuel contained in the inner pipe. The space between the concentric pipes should be pressurized with inert gas at a pressure greater than the gas fuel pressure. Suitable alarms should be provided to indicate a loss of inert gas pressure between the pipes; or
2. The gas fuel piping should be installed within a ventilated pipe or duct. The air space between the gas fuel piping and inner wall of this pipe or duct should be equipped with mechanical exhaust ventilation having a capacity of at least 30 air changes per hour. The ventilation (IGC Code, 1993, h. 127)

Sistem sambungan antar pipa untuk suplai gas ke kamar mesin menggunakan pengelasan (*welded joint*) yang harus dapat mengatasi karakteristik pipa tekanan tinggi dan harus dilakukan test hydraulic pressure mencapai 7 bar atau dua kali tekanan kerja, diambil yang terbesar (Rules for ships for liquefied gases, 1986, h.112).

3.3.5. Sistem Pemanfaatan BOG sebagai Bahan Bakar

Sistem boil-off gas untuk bahan bakar engine (*BOG fuel system*) di kamar mesin berkaitan erat dengan sistem penanganan uap LNG seperti telah diuraikan dalam sub-bab perlakuan BOG khususnya selama laden dan ballast voyage. Sistem Pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar mencakup dua sistem yang saling berkaitan yaitu :

- a. Sistem Uap LNG (*Vapor Line*)
- b. Sistem Bahan Bakar (*Fuel Gas Line / Gas Burning Line*).

Sistem uap LNG adalah sistem penanganan uap LNG yang keluar dari tangki, berhubungan dengan perpipaan antar tangki dan perpipaan darat. Sistem bahan bakar gas (BOG) adalah sistem penanganan BOG yang masuk ke kamar mesin melalui vapor line untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar main engine.

Sistem uap LNG mempunyai bagian – bagian sebagai berikut :

- a. Vapor header / pipa utama vapor
- b. Vapor crossover dan shore connection
- c. Vapor suction line / pipa hisap uap LNG
- d. Vapor return line / pipa discharge vapor ke darat
- e. Compressor suction line
- f. Cargo tank relief valve dan vent mast.

Sedangkan fuel gas line dialiri BOG yang telah mengalami penekanan dan pemanasan mencapai temperatur ruang oleh compressor. Karenanya sistem ini dilengkapi dengan peralatan – peralatan :

- a. Flow meter dan integrator
- b. Flame arrester
- c. Emergency shutdown untuk master gas valve (master ESD valve)
- d. Purging dan sistem inert gas.

Sedangkan BOG fuel system untuk pemakaian boiler terdiri dari komponen – komponen utama yaitu :

- a. Low Duty (L/D) Compressor
- b. Heat exchanger (L/D heater atau Vapor heater)
- c. Master gas valve
- d. Double-Wall piping system untuk Propulsion Plant
- e. Gas odorizer atau gas detector.

Aliran boil-off gas sebagai bahan bakar engine di LNG Carrier adalah sebagai berikut :

Vapor suction → vapor header → compressor suction line → L/D compressor
→ L/D heater → fuel gas line → engine room / boiler

Pada gambar 3.8. terlihat dua sistem : vapor line dan fuel gas line secara garis besar. Sedangkan untuk contoh gambar detail mengenai pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar terdapat pada lampiran : BOG Burning Operation dan Engine Room BOG Pipe Diagram.

BOG yang akan digunakan untuk bahan bakar boiler mempunyai kondisi suhu berkisar -150°C dalam tangki saat laden voyage dan kisaran suhu -40°C saat ballast

voyage (kecuali dilakukan pendinginan). BOG masuk ke low duty (L/D) compressor pada suhu yang meningkat sekitar -120°C karena adanya gesekan pada dinding – dinding pipa dan kemudian ditekan keluar oleh compressor pada discharge temperature berkisar masih dibawah 0°C dan discharge pressure berkisar 1 – 2 kg/cm². Namun pada saat warming dan aeration tangki discharge temperature mengalami kenaikan. BOG kemudian dipanaskan oleh low duty (L/D) heater sampai mencapai suhu normal berkisar 30°C sebelum masuk ke engine untuk dibakar. Sedangkan dalam aturan klas disebutkan bahwa tekanan suplai gas ke dalam kamar mesin tidak boleh lebih dari 1 bar G untuk boiler, dan 7 bar G untuk oil engine, serta temperatur gas untuk dua kondisi tersebut berkisar pada suhu ambient (Rules for Ships for Liquefied Gases, 1986, h.111).

Pipa – pipa untuk uap LNG di dalam kamar mesin berupa pipa ganda (*double wall piping*) yang bertujuan mencegah kebocoran gas pada pipa keluar ke kamar mesin. Udara antara kedua pipa secara terus-menerus dihisap ke luar dan dideteksi.

3.3.6. Peralatan – peralatan

A. Katup (*Valve*)

Pada sistem dan instalasi perpipaan BOG, pemilihan dan aplikasi katup yang benar sangat penting karena menyangkut kontinuitas jalannya sistem dan keselamatan kerja. Dasar pemilihan katup adalah katup yang mempunyai local pressure drop kecil dan aliran rata saat dilewati fluida. Syarat bagi katup – katup untuk pelayanan fluida cryogenic sebagai berikut :

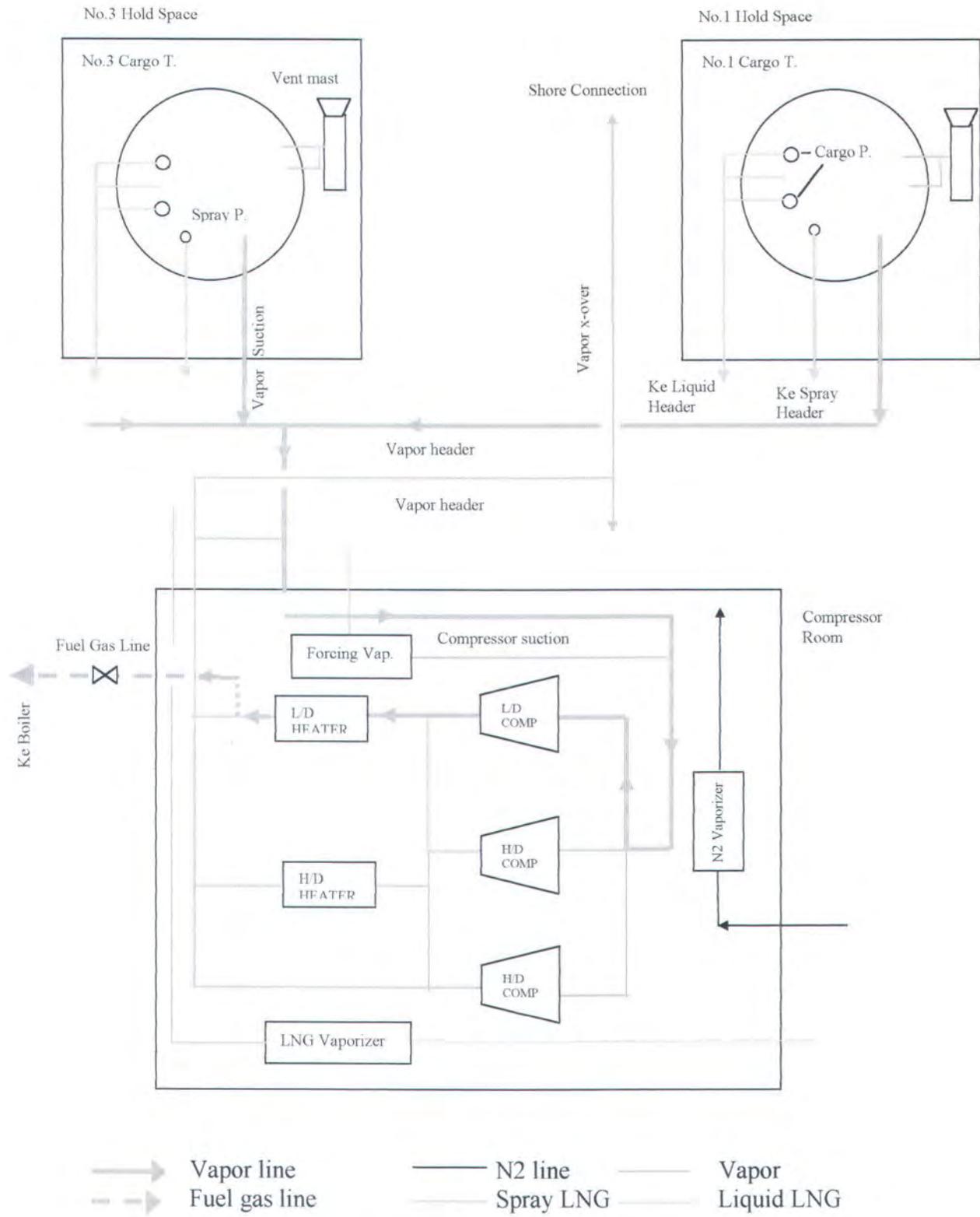
- Massa katup harus sekecil mungkin karena makin kecil massa, makin sedikit panas yang ditransfer ke fluida cryogenic dan semakin mempercepat pendinginan dari kondisi ambient ke temperatur cryogenic



- Mempunyai thermal conductivity rendah
- Tidak membatasi / menghalangi adanya aliran tak wajar pada saat membuka, karena kemungkinan timbul pressure drop yang dapat menyebabkan penyalaan maupun timbul dua bentuk fluida (liquid dan vapor)
- Katup dilengkapi dengan extended stem yang mengijinkan adanya perbedaan temperatur sehingga akan mengurangi adanya cold temperatur sebelum mencapai stem sealing.
- Katup dilengkapi dengan extended bonnet untuk mencegah pembekuan yang terjadi pada stem sealing karena rendahnya temperatur fluida.

Macam – macam katup pada sistem pemanfaatan BOG :

1. Ball valve, membutuhkan torsi yang tinggi untuk membuka dan menutup pada saat bekerja untuk cryogenic temperature.
2. Globe valve, jarang digunakan karena menyebabkan local pressure drop dan terbentuknya dua fluida (liquid dan vapor) yang dapat menimbulkan korosi dan kavitasii.
3. Gate valve, dapat terjadi kebocoran pada saat posisi menutup, dan bila katup diketatkan dapat mengakibatkan kerusakan pada dudukan katup, terdapat juga pada globe valve.
4. Butterfly valve, ringan sehingga mempercepat proses cool down pada sistem cryogenic, mempunyai seal yang baik untuk mencegah kebocoran, mudah penggunaan (buka dan tutup) dan tidak terjadi pembekuan pelumas, dapat digunakan untuk berbagai keperluan.



Gambar 3.8. Vapor line dan fuel gas line

- a. Royal butterfly valve
 - flanged valve, untuk menghubungkan valve ke pipa yang berbeda material, dapat digunakan pada vapor line, untuk throttling service sampai -423°C.
 - weld valve, digunakan pada semua LNG tanker pada liquid lines untuk mencegah kemungkinan kebocoran ke isolasi pipa, untuk throttling service -320°C.
 - wafer valve, hampir sama dengan flanged valve, tidak mempunyai flens, diletakkan diantara flens – flens pada pipa, lebih ringan dari flanged valve dan terbuat dari stainless steel.
 - 5. Safety relief valve, didesain untuk dapat menangani tekanan lebih dari setting point dalam tangki LNG, hold space, maupun perpipaan.
Untuk meminimumkan kehilangan cargo ketika venting dan agar katup dapat terbuka penuh pada ukuran setting point, digunakan pilot valve untuk mengontrol kerja safety valve.
Untuk sistem vapor LNG umumnya menggunakan butterfly valve, sedang untuk liquid LNG umumnya menggunakan gate valve. Namun sebagian besar untuk cryogenic cargo di LNG Carrier banyak menggunakan butterfly valve dibanding gate, globe, maupun ball valve. Safety relief valve digunakan untuk diletakkan pada tiap cargo tank minimum dua buah untuk mengatasi kelebihan tekanan uap (*vapor pressure*) dalam tangki.
- Pada LNG Carrier, untuk sistem perpipaan sesuai aturan, sebagian katup dilengkapi dengan valve actuator berupa emergency shutdown valve secara otomatis atau memakai remote control yang dioperasikan saat keadaan darurat seperti

kebakaran ataupun kerusakan pada perpipaan. Macam – macam sistem remote control katup terdiri dari : tipe hidrolis, pneumatik, elektrik, dan kombinasi. Pada metoda awal mempergunakan switch kontrol elektrik dan solenoid valve yang sangat aman untuk alur indikator remote dan untuk pengontrolan, namun sekarang banyak dipakai sistem hidrolis yaitu hydraulic pilot valve dan subcylinder untuk pengontrolan. Pada LNG Carrier banyak menggunakan electric-hydraulic system sebagai valve actuator untuk pengontrolan (kontrol tekanan, kontrol arah arus, kontrol aliran).

Katup untuk cryogenic service terbuat dari material yang tahan terhadap suhu rendah yaitu stainless steel. Untuk dudukan katup (*valve seat*) yang merupakan non-metalic material digunakan bahan dari PTFE (TEFLON) atau PCTFE (KEL-F). Stem sealing atau gland packing terbuat dari teflon murni (PTFE) atau Teflon impregnated asbestos.

B. Compressor

Compressor yang ada dalam instalasi BOG fuel system berfungsi untuk melayani uap LNG, dan terbagi menjadi 2 macam yaitu :

- High Duty (H/D) Compressor
- Low Duty (L/D) Compressor

High/Heavy Duty Compressor mempunyai kapasitas alir besar yang berfungsi untuk :

- a. Mengalirkan vapor dari tangki kapal ke darat pada saat loading dan tank cool-down)
- b. Mensirkulasikan vapor di tangki – tangki pada saat warming operation sebelum docking

- c. Menyuplai udara ke dalam tangki yang diambil dari udara sekitar pada saat operasi aeration sebelum docking, namun ini tidak banyak digunakan karena proses aearating yang baik menggunakan inert gas generator dengan udara kering.
- d. Sebagai back-up / cadangan bagi L/D compressor.

Sedangkan fungsi utama dari L/D compressor adalah mengalirkan vapor (BOG) ke boiler sebagai bahan bakar. Walaupun berkapasitas kecil, namun L/D compressor dapat juga berfungsi sebagai back-up bagi H/D compressor. Compressor ini mempunyai sistem kontrol otomatis untuk menangani tekanan di tangki muat. Sistem kontrol otomatis akan mendeteksi tekanan vapor di tangki muat dan menyesuaikan dengan putaran impeller compressor.

Kedua macam compressor di atas diletakkan dalam compressor room. Compressor room terletak di dek (*weather deck*) diantara tangki No. 4 dan No. 5. Tipe compressor yang digunakan adalah centrifugal compressor single stage karena tekanan kerja tidak lebih dari 1 kg/cm^2 .

Compressor yang digunakan di LNG Carrier sebagian besar merupakan steam turbine driven (digerakkan oleh steam turbine). Hal tersebut karena desain BOG yang terjadi pada rate sebesar 0,25% serta keuntungan dari bentuknya yang kompak, kemudahan kontrol rpm, serta kontrol kapasitas lebih yang diijinkan. Namun untuk S.T. Eka Putra, compressor digerakkan oleh electric motor (*electric motor driven compressor*) disebabkan rendahnya rate BOG sebesar 0,10% dan kapasitas steam yang kecil. Pemakaian electric motor memberikan keuntungan performance start-up yang lebih baik dan memerlukan sedikit perawatan, sedangkan kerugiannya adalah membutuhkan ruang tersendiri yaitu motor room yang terpisah dari permesinan

dengan fluida gas menggunakan gas tight bulkhead, dan kontrol rpm / putaran yang tidak mudah.

Untuk seal pada rotating shaft compressor banyak digunakan labyrinth seal. BOG yang melalui compressor tidak boleh bocor ke luar, karena itu nitrogen diinjeksikan pada intermediate stage dari labyrinth gland. Material yang digunakan pada casing compressor untuk cryogenic service menggunakan stainless steel atau austenitic ductile steel. Impeller terbuat dari alluminium alloy (pada H/D compressor) dan titanium alloy (pada L/D compressor), serta 9% Ni steel. Sedangkan shaft compressor terbuat dari 17 – 4 PH Stainless steel (15,5 – 16,7% Cr, 3,6 – 4,6% Ni Precipitation Hardening type stainless steel).

Untuk sistem pada L/D compressor S.T. Eka Putra dilengkapi pula dengan penanganan untuk vapor dari forcing vaporizer.

C. LNG Heat Exchanger

Semua heat exchanger yang digunakan untuk LNG merupakan tipe shell & tube dengan tipe U-tube. HE yang digunakan untuk menaikkan suhu vapor merupakan heater. Sedangkan HE yang berfungsi mengubah liquid LNG menjadi bentuk uap/vapor merupakan vaporizer.

Jenis heater yang ada di LNG Carrier adalah low duty (L/D) Heater dan high duty (H/D) heater. Pada sistem BOG digunakan L/D heater yang berfungsi memanaskan vapor LNG mencapai suhu 30°C, sedangkan H/D heater digunakan secara kombinasi dengan L/D heater untuk memanaskan uap dalam volume besar mencapai suhu 75°C yang ditransfer ke dalam tangki muat ketika operasi warm-up sebelum docking. Fluida pemanas pada vapor heater adalah uap yang dihasilkan dari

perpindahan panas dari uap boiler ke air. Vapor heater pada S.T. Eka Putra mempunyai kapasitas 160000 kcal/h dan temperatur output maximum 30°C.

Vaporizer yang digunakan di LNG Carrier adalah forcing vaporizer dan LNG vaporizer. Forcing vaporizer digunakan dalam sistem BOG untuk kebutuhan menambah jumlah BOG disamping natural BOG yang ada dengan suplai LNG oleh spray pump ke vaporizer untuk dijadikan uap. LNG vaporizer digunakan untuk keperluan initial cool down sebelum proses loading, dengan melakukan inert gas purging menggunakan hot LNG vapor yang dihasilkan, sedang liquid LNG disuplai dari darat.

Bahan shell dari tipe shell & tube HE terbuat dari stainless steel, sedangkan tube terbuat dari baja karbon.

BAB IV

TINJAUAN EMPIRIS

BAB IV

TINJAUAN EMPIRIS

4.1. Karakteristik LNG di Sumber Bontang

Sumber Bontang (Kalimantan Timur) sebagai salah satu kilang LNG di Indonesia saat ini mempunyai persediaan kapasitas sekitar 16 juta ton per tahun. Salah satu konsumen dari LNG Bontang adalah Chinese Petroleum Corporation di Taiwan yang menggunakan S.T. Eka Putra sebagai kapal pengangkut LNG. Seperti diuraikan sebelumnya pada Bab III bahwa karakteristik LNG berbeda – beda pada masing – masing sumber. Pada kilang LNG Bontang, LNG yang diperoleh dari proses pengolahan gas bumi mempunyai karakteristik terdiri dari komposisi sebagai berikut :

Tabel 4.1. Komposisi LNG di sumber Bontang (Kaltim)

Komponen	mol %
Oxygen (O ₂)	0,00
Nitrogen (N ₂)	0,02
Carbon Dioxide (CO ₂)	0,00
Methane (CH ₄)	90,64
Ethane (C ₂ H ₆)	5,92
Propane (C ₃ H ₈)	2,57
i-Butane (i-C ₄ H ₁₀)	0,44
n-Butane (n-C ₄ H ₁₀)	0,40
i-Pentane (i-C ₅ H ₁₂)	0,01
n-Pentane (n-C ₅ H ₁₂)	0,00
Hexane & heavier (C ₆ H ₁₄ Plus)	0,00
Total	100,00

Komposisi di atas diperoleh dari hasil analisis dan inspeksi laboratorium yang dilakukan oleh Pertamina, seperti terlihat pada lampiran.

4.2. Desain LNG Carrier S.T. Eka Putra

S.T. Eka Putra merupakan LNG Carrier yang dibuat pada tahun 1990 oleh Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Jepang. Kapal ini digunakan untuk melayani pengangkutan LNG dari kilang Bontang ke Taiwan. Dalam desain, tidak diijinkan untuk mengangkut cargo LPG. S.T. Eka Putra mempunyai ukuran utama dan karakteristik :

Loa	:	290,00	m
Lpp	:	276,00	m
Breadth (mld)	:	46,00	m
Depth (mld)	:	25,50	m
Draft (design draft mld.)	:	10,80	m
DWT (draft 10,80 m)	:	66500	Ton
Speed	:	18,50	knot
Cargo capacity (-163°C)	:	136400	m^3
Jumlah tangki muatan	:	5	
Sistem tangki	:	Moss – Rosenberg	Spherical Tank
Power Output (MCO)	:	26700	SHP
Putaran Propeller	:	80	Rpm
Desain BOR (45°C ambient, 32°C sea water)	:	0,1%	/ hari

S.T. Eka Putra merupakan single screw turbine driven LNG Carrier yang mempunyai bulbous bow, buritan transom dan rudder tipe gantung (*hanging type*). Propulsion machinery, ruang akomodasi dan ruang navigasi terletak di bagian belakang kapal. Sedangkan ruang kompresor terletak di upper deck diantara tangki 4 dan 5 pada portside.

LNG Carrier S.T Eka Putra termasuk di dalamnya permesinan, equipment, dan outfitting dibangun berdasarkan aturan – aturan klas sesuai kesepakatan / kontrak. Klas yang dipakai dalam pembangunan kapal ini adalah dari Lloyd's Register of Shipping. Eka Putra diklaskan dengan simbol : “ +100A1, Liquefied Gas Carrier, Ship Type 2G ”, +LMC, UMS, dengan tambahan :

Type B independent type

Liquefied Natural Gases

Maximum vapour pressure : 0,25 kg/cm² g (at sea)
2,00 kg/cm² g in harbour at emergency
discharge

Minimum cargo temperature : -163°C

Maximum cargo density : 500 kg/m³

Design ambient temperature : air -18°C
Water 0°C

4.2.1. Penggerak Utama dan Permesinan Bantu

a. Steam Turbine

Type : Impulse Turbine, Mitsubishi

Two cylinder cross-compound marine steam turbine with
reduction gear

Jumlah : 1 set

Maximum continuous output (MCO=CSO) : 26700 PS x 80 rpm

Desain konsumsi bahan bakar : 133 T/day atau 207,0 g/PS.h
(pada MCO, tanpa air condition/tanpa BOG,
High Cal. Value 10280 Kcal/kg)



b. Boiler

Type : Mitsubishi CE C2M-8W
Two drum marine water tube boiler (with dual burning)

Jumlah : 2 set

c. Generator

Main : Steam turbine driven (multi stage impulse, single reduction)

1800 Rpm

AC, 450 V, 3250 kVA (2600 kW), 60 Hz

2 set

Auxiliary : Diesel engine driven (4-stroke, turbocharged, MDO fuel oil)

720 Rpm

AC, 450 V, 2500 kVA (2000 kW), 60 Hz

1 set

Emergency : Diesel engine driven (4-stroke, turbocharged, MDO fuel oil)

1800 Rpm

AC, 450 V, 375 kVA (300 kW), 60 Hz

1 set

4.2.2. Tangki Muat

Kapasitas tangki muat termasuk tank dome :

- Pada kondisi atmosfer (20°C , tekanan atmosfer, 100% full) : 137850 m^3
- Pada kondisi cryogenic (-163°C , tekanan atmosfer, 100% full) : 136400 m^3

Sistem tangki yang dipakai adalah tipe Moss Rosenberg Spherical Tank yang merupakan tipe B independent tank. Tipe B independent tank adalah tangki yang didesain menggunakan model uji, dilakukan dengan peralatan dan metoda analitis untuk menentukan tingkat tegangan, jangka waktu kelelahan (*fatigue life*), dan karakteristik penyebaran retak, dimana komponen utama tangki dibangun dari plane surface (*gravity tank*) dengan batas maksimum desain vapor pressure sebesar 0,7 bar (10 psig), (Rules for Ships for Liquefied Gases, 1986, h.4). Independent tank merupakan tangki yang berdiri sendiri, terpisah dan tidak mempengaruhi kekuatan badan kapal. Pada Moss Rosenberg Spherical Tank mempunyai kemampuan tangki dengan tekanan lebih pada saat emergency discharge (bila pompa cargo rusak) yaitu dengan setting point safety relief valve pada $2,0 \text{ kg/cm}^2$ atau 3 ata (30 psig).

BOR untuk tangki ini didesain sebesar 0,1% / hari dari volume tangki muat 136400 m^3 pada saat kondisi full loaded, berupa methane murni.

4.2.3. Compressor Room

Ruang kompressor terletak di antara tangki No. 4 dan No. 5 Portside. Peralatan yang terdapat dalam ruang kompresor terdiri dari :

a. L/D Compressor (2 set)

- Suction & Discharge Temperature : -35°C & $\pm 18,5^\circ \text{C}$
- Suction & Discharge Pressure : $1,06 \text{ & } 2 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$
- Kapasitas : $4600 \text{ m}^3/\text{h}$ Methane
- Motor : 160 KW

b. H/D Compressor (2 set)

- Suction & Discharge Temperature : $-140 \text{ & } -112^\circ \text{C}$
- Suction & Discharge Pressure : $1,06 \text{ & } 2 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$

- Kapasitas : 30160 kg/h Methane
- c. L/D Heater (2 set)
 - Discharge Temperature : max. 30°C
 - Kapasitas : 160000 kcal/h
- d. H/D Heater (2 set)
 - Discharge Temperature : max. 75°C
 - Kapasitas : 3000000 kcal/h
- e. LNG Vaporizer (1 set)
 - Discharge Temperature : - 60°C dan 20°C
 - Kapasitas : 18000 kg/h LNG (disch. temp -60°C)
8300 kg/h LNG (disch. temp 20°C)
- f. Forcing Vaporizer (1 set)
 - Discharge Temperature : - 40°C
 - Kapasitas : 1800 kg/h LNG
- g. LN2 Vaporizer (1 set)

4.3. Sistem Dual Fuel untuk Boiler

Penanganan BOG yang paling ekonomis dalam LNG Carrier apabila tidak terdapat reliquefaction plant adalah memanfaatkan BOG sebagai bahan bakar main engine. S.T. Eka Putra menggunakan steam turbine sebagai main propulsion machinery dengan dua buah boiler yang mempunyai dual fuel burner untuk kombinasi fuel oil dan fuel gas. Sistem dual fuel untuk boiler terdiri dari dua sistem yaitu :

- a. Sistem bahan bakar boil-off gas (BOG).

b. Sistem bahan bakar fuel oil (HFO).

Sistem BOG terdiri dari vapor suction line dari tangki LNG masuk ke L/D compressor. Vapor kemudian dipanaskan oleh heat exchanger (L/D heater) mencapai suhu 30°C dan masuk ke kamar mesin melewati double wall pipe / duct, dan selanjutnya BOG masuk ke burner untuk dibakar. Double wall pipe dilengkapi dengan gas detector dan ventilasi yang mengalirkan gas ke udara di atas dek bila terdapat kebocoran gas pada pipa.

Pada sistem dual fuel terdapat pengaturan komposisi gas/oil ratio sehingga burner membakar sesuai kebutuhan dan atau sesuai ketersediaan bahan bakar. Metoda pembakaran pada burner terdiri dari 3 macam yaitu :

- a. Fuel oil burning (oil 100%), dilakukan saat operasi bongkar muat (*loading* dan *discharging*) dan operasi pada cold start boiler.
- b. Dual fuel burning, dilakukan pada saat operasi dinas (*continuous service output* / CSO), manoeuvering, operasi di pelabuhan.
- c. BOG burning (BOG 100%), dapat dilakukan pada saat operasi dinas / CSO :
 - BOG on operation, dilakukan dengan remote manually yang dibuka secara pneumatik oleh block valve yang ada di burner
 - BOG off operation, shutdown secara otomatis yang diatur oleh satu set gas shutdown valve atau master gas fuel valve.

Pada sistem dual fuel, karena suplai BOG bervariasi tergantung kondisi pada saat laden maupun ballast voyage, kekurangan yang ada secara otomatis diganti dengan meningkatkan suplai fuel oil ke burner untuk memenuhi jumlah kalori total yang dibutuhkan tanpa adanya penghentian pembakaran atau berhentinya sistem propulsi. Pengaturan tersebut dilakukan oleh fuel divider. Input data yang

dibutuhkan oleh fuel divider (*automatic combustion control / ACC*) untuk menjaga kinerja dari pembakaran adalah :

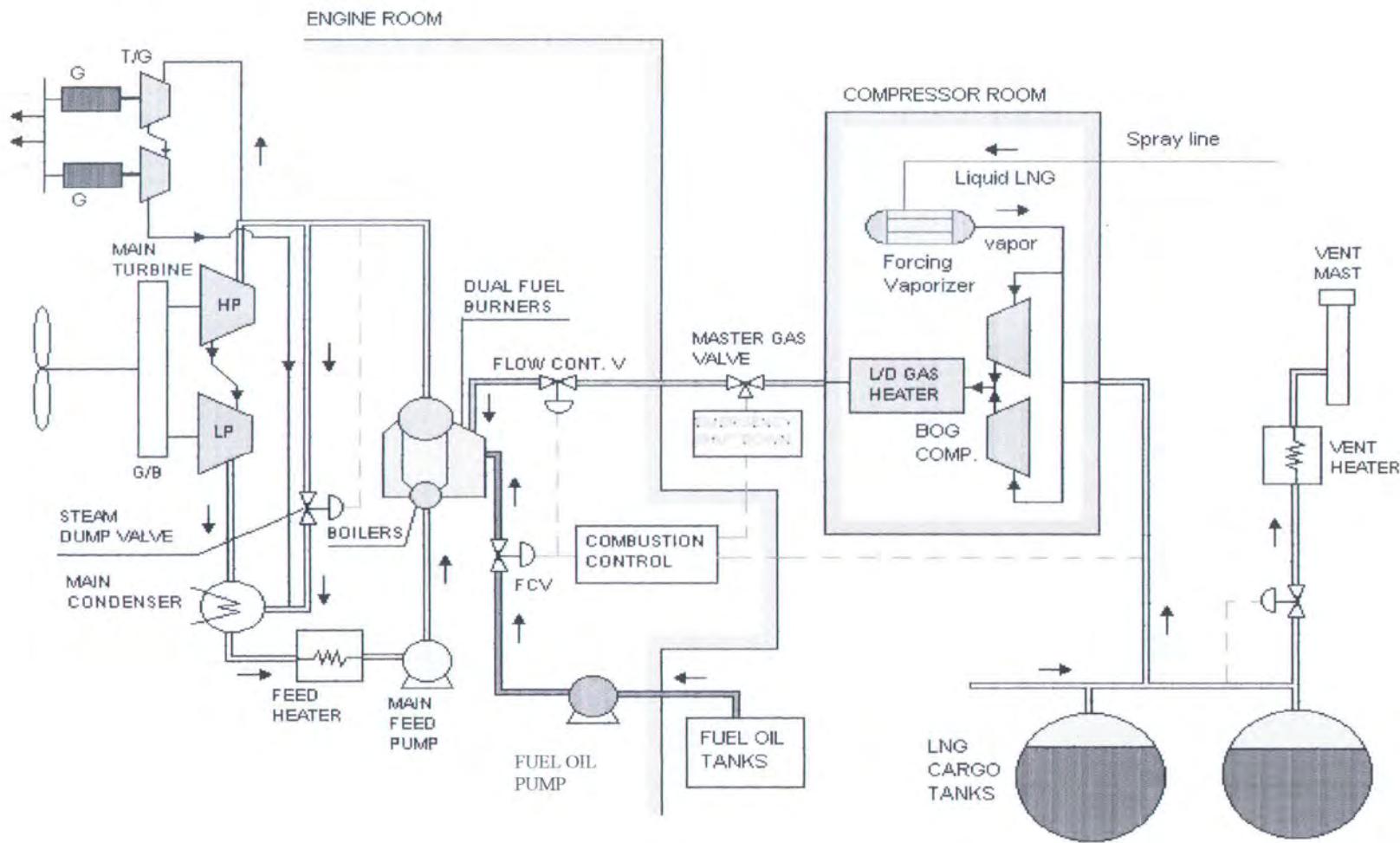
- tekanan BOG dari sensor
- panas pembakaran dari detector yang mendekksi kualitas LNG
- putaran (rpm) dari tachometer dan putaran yang dibutuhkan sesuai permintaan dari bridge console / panel kontrol
- jumlah pilot fuel oil yang digunakan.

Sedangkan apabila terjadi instalasi abnormal atau kebocoran gas pada pipa automatic shutdown dari master gas valve segera menghentikan aliran gas ke burner. Pengaliran BOG ke burner dan atau ke kamar mesin dihentikan sampai diselesaikannya perbaikan. Input – input yang dibutuhkan oleh peralatan ini adalah :

- kehilangan penyalaan bahan bakar
- deteksi adanya kebocoran gas di double wall pipe
- tidak bekerjanya ventilasi exhaust di double wall pipe
- tekanan gas abnormal.

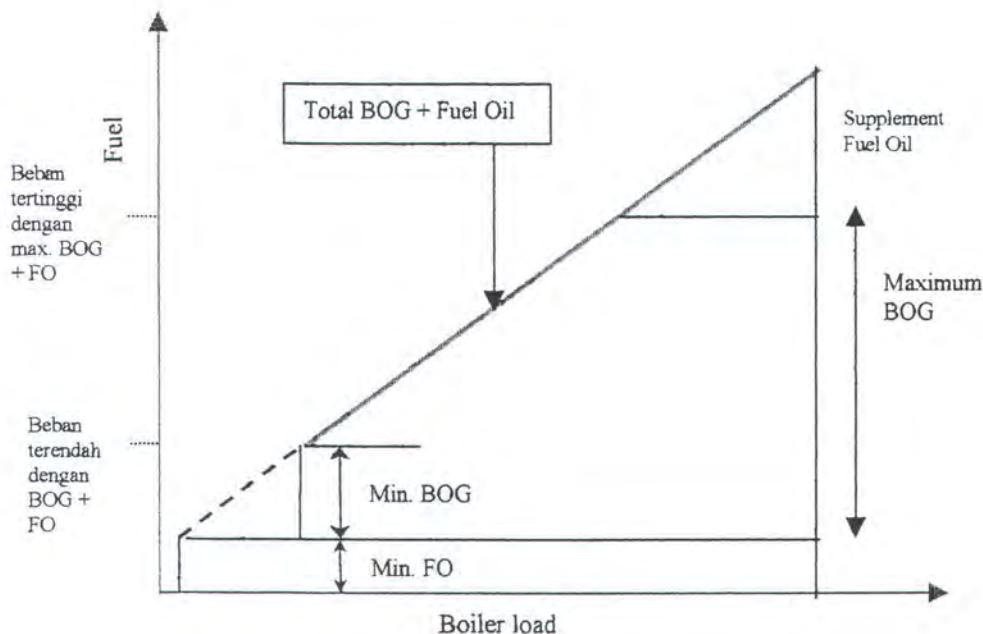
Pada gambar 4.1. terlihat sistem dual fuel untuk boiler dengan bahan bakar fuel oil dan BOG.

Karena proses terjadinya BOG tidak dapat dihentikan ketika kapal bermuatan sementara BOG tetap dibakar, maka untuk menangani kelebihan uap akibat pengurangan kebutuhan power yang dihasilkan boiler (seperti saat manoeuvring), diperlukan sebuah steam dump system. Pada sistem tersebut kelebihan uap yang dihasilkan boiler dijadikan uap panas lebih (*desuperheated*) tanpa melewati turbin (*by-pass*) dan dicampurkan dengan feedwater (*seawater*)



Gambar 4.1. Sistem dual fuel untuk boiler

melalui desuperheater valve masuk kondensor. Uap ekspansi turbin juga dialirkan ke kondensor. Feedwater kemudian dipompa kembali ke boiler.



Gambar 4.2. Rasio bahan bakar untuk steam plant

4.3.1. Rasio Bahan Bakar

Kapasitas boiler ditentukan oleh faktor beban dan kemampuan untuk membakar dan mengontrol pembakaran sampai kapasitasnya. Untuk menyesuaikan adanya kebutuhan beban yang harus disuplai oleh boiler dan menjaga stabilitas pembakaran di burner, terdapat pola rasio gas/oil yang menunjukkan kebutuhan bahan bakar, seperti terlihat pada gambar 4.2. Karena jumlah BOG tergantung dari boil-off rate (BOR) muatan, maka harus dijaga minimum tekanan positif methane dalam tangki muatan dan jumlah minimum yang dapat dikontrol dan dibakar di boiler. Tekanan minimum methane (BOG) pada burner harus berada di atas tekanan gas dalam burner (furnace gas pressure) untuk menjamin penyalaan positif. Bila jumlah minimum fuel oil yang dibakar pada beban terendah ($\pm 10\%$) berkisar 1/10

dari total pilot fuel oil pada beban penuh, jumlah minimum methane pada beban terendah tersebut berkisar 1/3 dari total methane pada beban penuh (Culver, 1969).

BAB V

PERANCANGAN SISTEM PROPULSI

BAB V

PERANCANGAN SISTEM PROPULSI

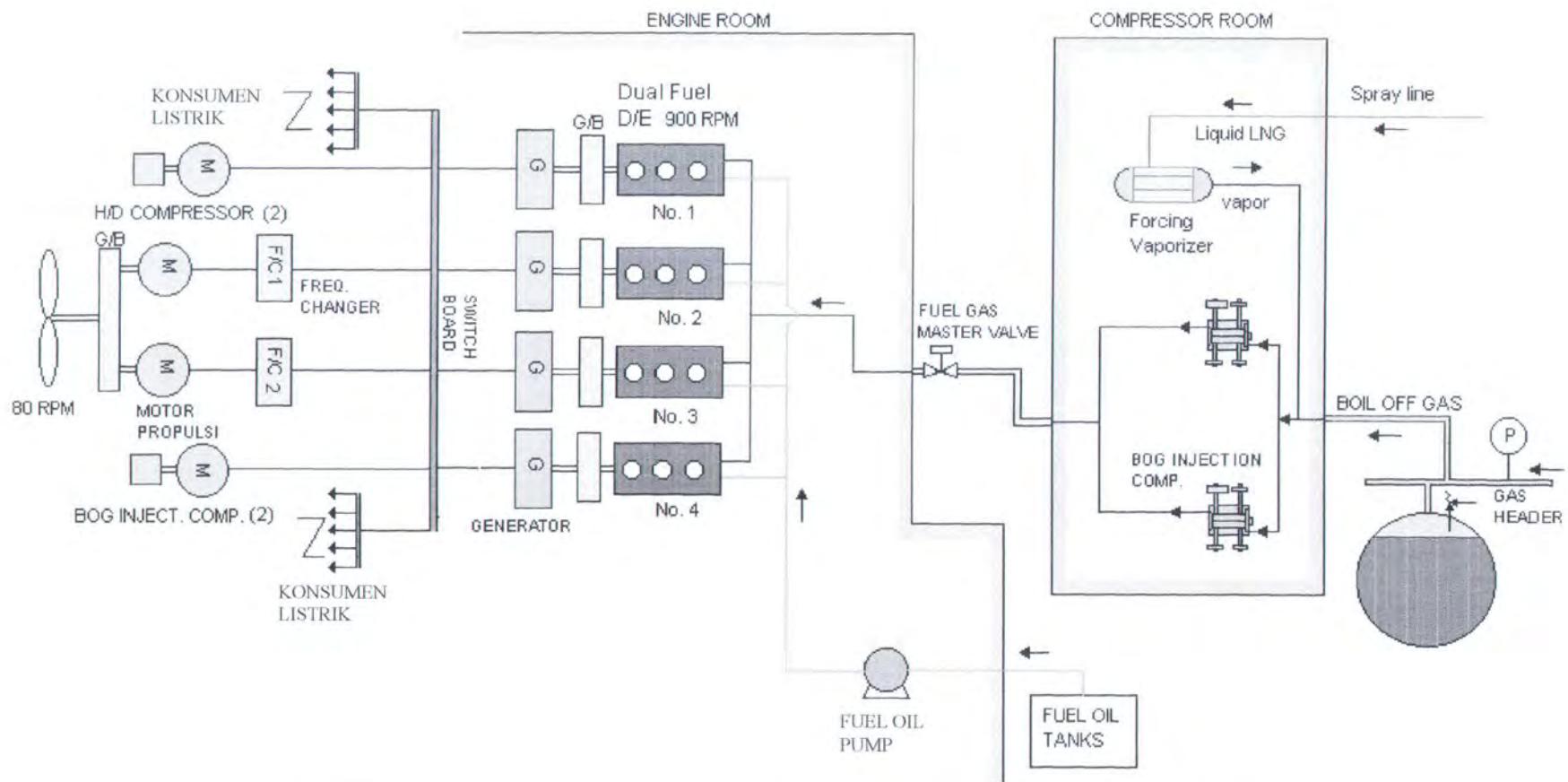
Perancangan sistem propulsi utama pada tahap preliminary design dari proses desain kapal melibatkan studi perancangan tanpa melakukan pemilihan peralatan yang diproduksi manufaktur (*trade-off study*), namun dengan melakukan evaluasi dan perhitungan dari tujuan diterapkannya sistem – sistem. Pada tahap ini daftar sementara permesinan yang akan digunakan disusun, dan memberikan jaminan bahwa rancangan yang dibuat secara teknis dapat memenuhi sesuai kebutuhan.

Perancangan sistem propulsi di LNG Carrier menggunakan High Pressure Dual Fuel Diesel – electric sebagai pengganti steam turbine melibatkan beberapa hal yang berkaitan dengan sistem – sistem antara lain :

- a. Sistem high pressure dual fuel diesel engine
- b. Sistem electric propulsion drive
- c. Sistem bahan bakar (*dual fuel system*)
- d. Sistem keselamatan (*Safety system*)

Rencana umum (*general arrangement*) sistem propulsi menggunakan HP dual fuel diesel – electric terlihat pada gambar 5.1.

Untuk sistem high pressure dual fuel diesel engine, mengacu pada sistem yang telah dilakukan penelitian sebelumnya dan dapat diaplikasikan untuk keperluan di kapal serta memberikan unjuk kerja dan efisiensi yang memadai. Hal tersebut telah diuraikan dalam bab tinjauan pustaka mengenai HP dual fuel diesel engine.



Gambar 5.1. Rencana umum sistem propulsi menggunakan HP dual fuel diesel – electric

5.1. Sistem Electric Propulsion Drive

Electric Propulsion Drive diterapkan di kapal dengan pertimbangan semakin dibutuhkannya sistem kerja yang lebih fleksibel, kontrol otomatis, efisien dalam penggunaan dan ekonomis. Pada kapal tanker dan penumpang modern telah banyak digunakan sistem propulsi elektrik sebagai sistem propulsi utama dan untuk suplai kebutuhan beban listrik lain secara integral (*integrated configuration*). Karakteristik dari kapal – kapal tanker seperti LNG Carrier adalah dapat digunakannya kebutuhan power besar (berkisar 5 MW) untuk operasi cargo handling, sedangkan power untuk propulsi tidak ada / nol, sehingga secara keseluruhan kebutuhan / kapasitas power untuk kapal dapat diminimalkan. Hal tersebut akan menurunkan capital cost dari jumlah main machinery plant yang akan dipasang di kapal.

LNG Carrier yang muatan utamanya adalah gas alam cair, mempunyai karakteristik muatan yang mudah menyala (*flammable cargo*) bila berada pada temperatur dan tekanan tertentu. Namun dengan semakin tingginya teknologi untuk pencegahan kebakaran dan jaminan keselamatan di kapal, tidak ada halangan lagi untuk dapat menerapkan sebuah teknologi elektrik yang diaplikasikan untuk sistem propulsi utama dengan pemanfaatan uap LNG sebagai bahan bakar pada prime mover.

Perkiraan kebutuhan power untuk LNG Carrier tergantung pada kondisi – kondisi operasi kapal yang terdiri dari : laden voyage, ballast voyage, manoeuvring, loading dan unloading. Pada konfigurasi integral perkiraan konsumsi power untuk kapal berdasar rata – rata kebutuhan untuk large vessel tanker terutama untuk kebutuhan beban propulsi pada operasi manoeuvring dan ship service load (SS load) pada operasi dinas, manoeuvring, loading dan unloading. Untuk LNG Carrier

136400 m³, kebutuhan tenaga listrik untuk propulsi dan SS load pada masing – masing kondisi operasi tersebut sebesar :

	Propulsi (MW)	SS load (MW)
Dinas / service	-	1,0
Manoeuvring	5,0	1,0
Loading	0	3,5
Unloading	0	5,0

SS load saat operasi dinas meliputi kebutuhan untuk penerangan kapal, navigasi, pemanas ruang, alat penukar panas (*heat exchanger*), elektro–hidrolis, motor untuk keperluan general service (pompa, kompresor, dll). Sedang pada saat loading dan unloading, SS load bertambah karena adanya operasi dari peralatan – peralatan seperti LNG compressor, LNG heater, windlass, capstan dan peralatan lain. Pada operasi manoeuvring memasuki pelabuhan hanya dibutuhkan power kecil untuk olah gerak baik untuk propulsi utama maupun untuk alat propulsi lain seperti bow thruster.

Perencanaan electric propulsion drive dengan konfigurasi integral mengacu pada metode Advanced Integrated Electric Propulsion Plant (AIEPP) beroperasi dengan sistem integral. AIEPP mempunyai karakteristik yaitu penggunaan mesin – mesin listrik berpendingin air dan penggunaan power conditioner untuk menambah kemampuan kapal dalam sistem manuver. Sebuah konfigurasi electric propulsion drive terdiri dari komponen – komponen utama yaitu :

- Prime mover
- Generator listrik
- Switch board / busway / busbar

- Transformer
- Switchgear
- Frequency changer / converter, dan
- Motor propulsi.

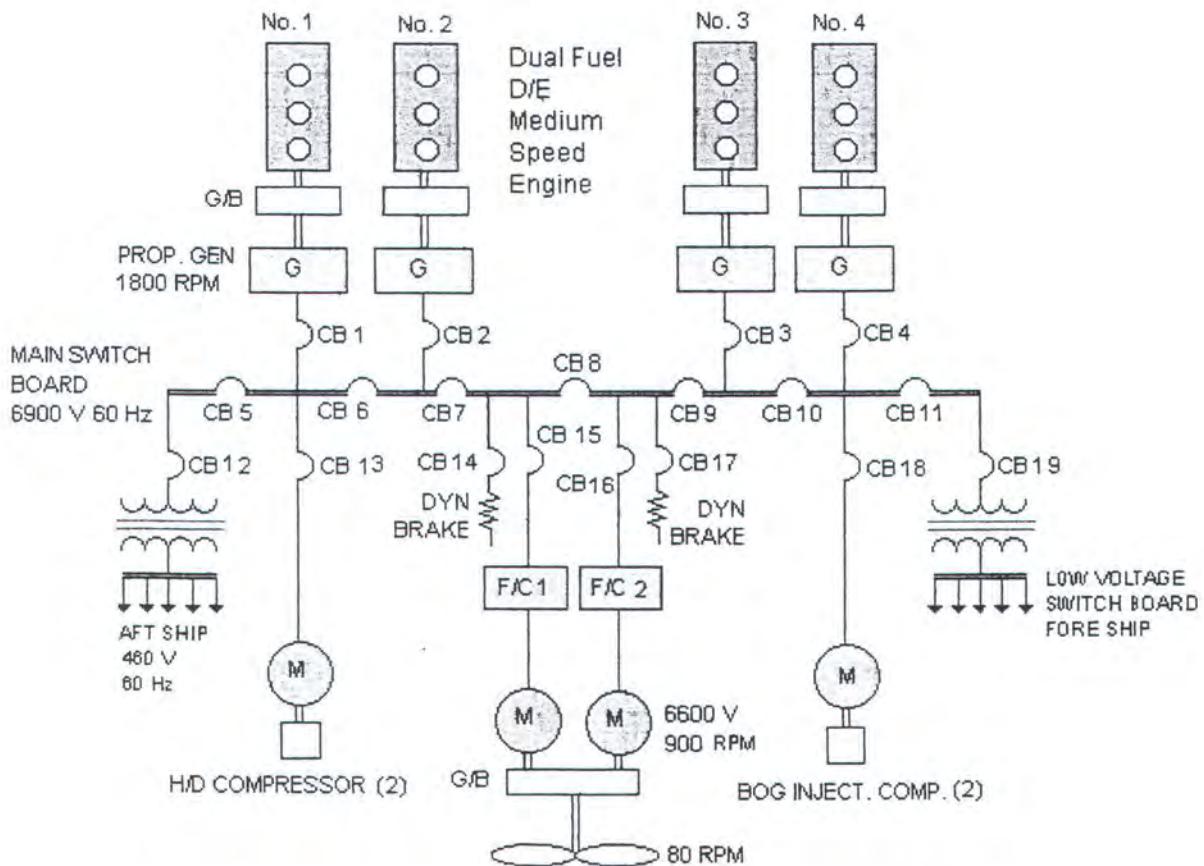
Gambar rencana konfigurasi electric propulsion drive seperti terlihat pada gambar 5.2.

A. Penggerak Utama dan Generator Listrik

Pada sistem electric propulsion drive direncanakan menggunakan empat motor diesel penggerak generator yaitu : dual fuel diesel engine putaran menengah. Sedangkan generator listrik pada frekuensi 60 Hz dan putaran 1800 rpm (4-kutup). Antara prime mover dengan generator dilengkapi dengan step-up gear. Generator digerakkan oleh prime mover lewat poros, dimana sesuai aturan klas, generator harus mampu menahan gerakan gerakan – gerakan dinamis dan getaran – getaran akibat gerakan kapal dan dihubungkan dengan kopling fleksibel sehingga dapat dilepas dari prime movernya.

Generator dipasang secara paralel untuk memberikan power listrik kepada beban propulsi dan SS load secara simultan dengan melakukan sinkronisasi frekuensi, putaran, dan phase. Sesuai aturan klas, prime mover yang mempunyai putaran dan daya yang sama dan dipasang paralel, harus dapat menjamin bahwa pada 20 – 100% dari daya aktif total, power / beban yang disalurkan oleh masing – masing penggerak tidak boleh beda dan melebihi 15% daya aktif nominal pada rated power (bagian seimbangnya), (Rules for Electrical Installations, 1985). Beban yang disuplai oleh generator mempengaruhi jumlah bahan bakar yang harus disuplai ke prime mover yaitu dual fuel diesel engine, yang terdiri dari BOG dan fuel oil.

Sesuai dengan standard pemilihan tegangan untuk peralatan instalasi listrik dalam bab tinjauan pustaka, dapat dipilih generator dengan tegangan 6900 V, frekuensi 60 Hz. Hal tersebut sesuai dengan aturan dari klas yang menyebutkan bahwa tegangan kerja generator sebesar 2,5 – 5% lebih tinggi dari tegangan kerja pemakai daya (beban), dalam hal ini adalah konsumen / peralatan yang disuplai oleh main switch board pada 6600 V. Hal tersebut bertujuan untuk mengatasi adanya kemungkinan timbulnya tegangan turun (*voltage drop*) sepanjang transmisi.



Gambar 5.2. Konfigurasi sistem electric propulsion drive

B. Switch Board

Tenaga listrik yang dihasilkan dari generator dialirkan ke beban – beban yang ada di kapal yaitu untuk propulsi dan ship service load (SS load) melalui switchboard

/ busbar. Busbar utama dipilih dengan spesifikasi tegangan 6900 Volt, frekuensi 60 Hz, untuk dapat menyediakan tegangan yang cukup kepada beban / pemakai daya.

Busbar utama (*main switch board*) 6900 V membagi tenaga listrik untuk beberapa pemakai daya yaitu :

- 1 unit propulsi FPP (*fixed pitch propeller*)
- Transformer untuk 460 V switch board, aft dan fore ship
- Motor boil-off gas injection compressor (2 buah)
- Motor H/D compressor (2 buah)

Motor untuk BOG injection compressor dan H/D compressor dihubungkan langsung ke busbar utama bertujuan untuk memudahkan kontrol instalasi listrik dengan dipisahkan dari instalasi untuk SS load lain, karena kedua peralatan tersebut merupakan komponen penting dalam sistem bahan bakar dan proses bongkar muat.

Switch board lain yang dimiliki sistem adalah low voltage switch board untuk suplai beban SS load untuk peralatan – peralatan bagian depan dan belakang kapal pada tegangan 460 V 60 Hz.

C. Transformer

Transformer yang digunakan dalam sistem ini adalah untuk menyediakan tegangan bagi low voltage switch board yaitu menurunkan tegangan dari busbar utama 6900 V ke 460 V untuk keperluan SS load.

D. Switchgear

Switchgear dalam sistem electric propulsion drive yang terdiri dari circuit breaker digunakan untuk keperluan proteksi sistem dari timbulnya arus lebih

F. Motor Propulsi

Motor propulsi digunakan untuk menggerakkan satu propeller tipe FPP untuk mendapatkan kecepatan kapal dinas 18,5 knot. Untuk mendapatkan efisiensi propeller optimum, dipilih motor sinkron (*synchronous motor*) tipe salient-pole, karena motor sinkron mempunyai efisiensi yang lebih baik untuk keperluan power besar dibandingkan dengan motor induksi, serta tidak mempunyai putaran slip.

Karena motor sinkron adalah motor untuk putaran konstan (*constant speed*), untuk keperluan pengaturan putaran (*variable speed*), motor dikombinasikan dengan frekuensi changer untuk mengatur putaran dengan kontrol frekuensi sesuai dengan persamaan rumus pada bab tinjauan pustaka, dilengkapi pula dengan sistem pengereman menggunakan dynamic braking dengan resistor.

5.2. Sistem Bahan Bakar Ganda (*Dual Fuel System*)

Seperti pada sistem bahan bakar untuk boiler di LNG Carrier S.T. Eka Putra yang menggunakan dual fuel system untuk sistem propulsi utama (gambar 4.1), pada dual fuel diesel engine juga menggunakan bahan bakar ganda memanfaatkan boil-off gas sebagai bahan bakar dan fuel oil sebagai pilot fuel. Karena itu dalam sistem bahan bakar untuk high pressure dual fuel diesel engine, terdapat dua sistem yaitu :

- a. Sistem bahan bakar BOG
- b. Sistem bahan bakar fuel oil

5.2.1. Instalasi Perpipaan Sistem BOG

Sistem instalasi perpipaan untuk bahan bakar BOG terbagi menjadi dua bagian yaitu :

- Sistem pipa dalam cargo area pada open / weather deck

- Double wall piping system dalam kamar mesin sebagai salah satu aspek sistem keselamatan.

A. Sistem pipa BOG di weather deck

Karakteristik dari pipa yang digunakan untuk sistem pipa bahan bakar BOG di dek terbuka yaitu pipa tersebut harus tahan terhadap korosi, dan tahan terhadap tegangan akibat tekanan tinggi fluida dalam pipa berkisar 300 bar. Untuk mengurangi terjadinya korosi dan perambatan panas ke dalam pipa, digunakan isolasi pipa.

Pada sistem pipa BOG ini, sesuai dengan aturan dari klas untuk pipa – pipa dengan temperatur kerja minimum -165° C, dapat menggunakan pipa dari bahan stainless steel (*seamless/welded austenitic stainless steel*) Grade TP 304 yang banyak dipakai di LNG Carrier, dengan komposisi :

Carbon (C)	0,08%
Manganese (Mn)	2,0%
Phosphorus (P)	0,04%
Sulfur (S)	0,03%
Silicon (Si)	0,75%
Nickel (Ni)	8,0 – 11%
Chromium (Cr)	18,0 – 20%
Tensile strength (MPa), min	515
Yield strength (MPa), min	205

Ukuran dari pipa dapat ditentukan dari nominal pipe size (NPS) dari ASTM standard untuk stainless steel, yang menentukan ukuran diameter luar pipa dan ketebalan pipa dalam inchi atau milimeter.



Untuk bahan isolasi pipa direncanakan bahan dengan karakteristik – karakteristik material seperti telah diuraikan dalam bab III, yaitu mudah digunakan, tidak mudah terbakar, mampu mengatasi perambatan panas yang besar (isolasi thermal), dan harga relatif tidak terlalu tinggi. Dapat digunakan bahan polyurethane foam, yang sering dipakai di LNG Carrier, tipe gas-solid combined type dengan thermal conductivity $0,018 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$.

Sambungan perpipaan untuk suplai gas tekanan tinggi yang tidak dilengkapi dengan ventilated duct atau pipa dan berada di open deck harus dilakukan dengan pengelasan jenis butt weld penetrasi penuh dan dilakukan radiografi (IGC Code, 1993, h.129)

B. Sistem Pipa BOG Dalam Kamar Mesin

Pada kapal LNG Carrier yang memanfaatkan methane / boil-off gas (BOG) sebagai bahan bakar di kamar mesin, sistem keselamatan merupakan salah satu sistem utama yang harus disediakan untuk keperluan tersebut. Salah satu aplikasi sistem keselamatan adalah proteksi kebocoran gas dari pipa – pipa yang melalui ruang – ruang boleh dilewati menurut aturan dari klas berdasar peraturan dari IGC Code. Dalam chapter 16 peraturan IGC Code, disebutkan aturan mengenai perpipaan suplai fuel gas, seperti telah diuraikan pada bab III, sub bab instalasi pipa BOG di kamar mesin. Perpipaan suplai gas di kamar mesin dapat menggunakan sistem double wall piping maupun ventilated duct / pipe, dan ruang antara pipa dalam dan pipa / duct luar diisi dengan aliran gas inert atau ventilasi dengan pergantian udara 30 kali per jam atau lebih.

Aplikasi pipa dalam aturan – aturan tersebut di atas mengacu kepada aturan sistem suplai gas yang berlaku untuk boiler tekanan rendah maupun dual fuel diesel

engine konvensional dimana ketentuan besarnya tekanan suplai gas yang masuk ke kamar mesin, tidak lebih dari 1 bar g untuk boiler, dan 7 bar untuk oil engine, serta suhu gas keduanya berada dalam suhu sekitar. Sedangkan untuk sistem suplai gas pada high pressure dual fuel diesel engine, dibutuhkan modifikasi dari sistem proteksi pipa double wall seperti pada gambar 5.3, untuk dapat menangani suplai gas tekanan tinggi pada 300 bar. Modifikasi yang perlu ditambahkan adalah :

1. Double wall piping

- a. Pipa bagian luar (*outer pipe*)

- Desain pipa bagian luar harus dapat mengatasi tekanan dalam annular space (ruang antar pipa) dan juga adanya kecepatan tinggi dari fluida gas serta mampu mengatasi tekanan ekspansi dari gas bila terjadi kebocoran pada pipa bagian dalam.
- Sambungan dengan pengelasan yang dapat mengatasi tekanan tinggi pipa.
- Dilengkapi dengan saluran buang untuk relief valve (Machinery Dept., NKK, 1995).

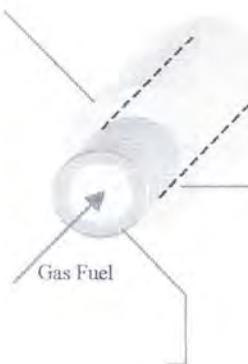
- b. Ruang antar pipa (*annular space*)

- Monitoring tekanan secara kontinu (dilengkapi alarm untuk pressure drop).
- Penghentian gas supply ketika terjadi pressure drop.
- Tekanan ruang selalu dijaga di atas tekanan suplai gas atau dengan penentuan lain tekanan $\geq 0,0025 \text{ MpaG}$ (Machinery Dept., NKK, 1995).
- Monitor kandungan O_2 dengan setting alarm max. 5% (Machinery Dept., NKK, 1995).
- Detektor gas dengan setting : 30% LEL (alarm) dan 60% LEL (shut down master gas valve / trip)

- Relief valve (Machinery Dept., NKK, 1995).
 - Dialiri dengan gas inert bertekanan secara otomatis.
 - c. Pipa bagian dalam (*inner pipe*)
 - Desain pipa untuk gas supply tekanan tinggi (*stress analysis*).
 - Sambungan antar pipa dapat menggunakan pengelasan (*butt weld full penetration*) dengan Post-weld heat treatment (PWHT)
 - Dilakukan uji tak merusak (*non destructive test/NDT*) untuk welded joint.
2. Ventilated Duct atau Pipa
- a. Pipa / duct bagian luar
 - Desain untuk bagian luar harus dapat mengatasi tekanan dalam annular space (ruang antara) dan juga adanya kecepatan tinggi dari fluida gas serta mampu mengatasi tekanan ekspansi dari gas bila terjadi kebocoran pada pipa bagian dalam.
 - Saluran ventilasi keluar ke daerah yang cukup aman.
 - Saluran masuk ventilasi dilengkapi dengan non-return device bila terjadi kebocoran gas dari pipa dalam.
 - Sambungan antar pipa dapat dengan pengelasan.
 - b. Ruang antara pipa dalam dengan pipa luar atau duct luar (*annular space*)
 - Dilengkapi dengan ventilasi mekanik dengan pergantian udara 30 kali per jam atau lebih.
 - Tekanan ruang selalu dijaga dibawah tekanan atmosfer.
 - Deteksi gas secara kontinu.

Pipa luar :

- Desain pipa untuk tekanan dan kecepatan tinggi dari fluida gas serta tekanan ekspansi dari gas bila terjadi kebocoran pada pipa bagian dalam.
- Las sambungan dengan kemampuan memadai
- Dilengkapi dengan saluran buang untuk relief valve.

**Pipa dalam :**

- Desain pipa untuk gas supply tekanan tinggi (*stress analysis*).
- Sambungan dengan butt weld penetrasi penuh dan PWHT
- Dilakukan uji non destructive test (NDT) untuk welded joint.

Annular space (*inerted*) :

- Monitoring tekanan secara kontinu (alarm)
- Penghentian gas supply ketika terjadi pressure drop
- Tekanan dijaga di atas tekanan suplai gas atau tekanan ruang $\geq 0,025 \text{ MPaG}$
- Monitor kandungan O_2 , alarm $> 5\%$
- Detektor gas : 30% LEL (alarm) dan 60% LEL (trip)
- Relief valve
- Dialiri dengan gas inert bertekanan secara otomatis.

(a)

Duct / Pipa luar :

- Desain pipa untuk tekanan dan kecepatan tinggi dari fluida gas serta tekanan ekspansi dari gas bila terjadi kebocoran pada pipa bagian dalam.
- Las sambungan dengan kemampuan memadai
- Outlet ventilasi ke daerah aman.
- Inlet ventilasi dilengkapi non-return device bila terjadi kebocoran gas dari pipa dalam.

**Pipa dalam :**

- Desain pipa untuk gas supply tekanan tinggi (*stress analysis*).
- Sambungan dengan butt weld penetrasi penuh dan PWHT
- Dilakukan uji non destructive test (NDT) untuk welded joint.

Ruang antara pipa dalam dan duct / pipa luar (*ventilated*) :

- Dilengkapi dengan ventilasi mekanik dengan pergantian udara 30 kali per jam atau lebih.
- Tekanan ruang selalu dijaga dibawah tekanan atmosfer.
- Deteksi gas secara kontinu.
- Monitor aliran ventilasi secara kontinu.

(b)

Gambar 5.3. Perpipaan dalam kamar mesin : (a) Sistem double wall piping, (b) sistem ventilated duct / pipe

- Monitor aliran ventilasi secara kontinu.
- c. Pipa bagian dalam (*inner pipe*)
- Desain pipa untuk gas supply tekanan tinggi (*stress analysis*).
- Sambungan antar pipa dapat menggunakan pengelasan (*butt weld full penetration & Post-weld heat treatment/PWHT*)
- Dilakukan uji tak merusak (*non destructive test/NDT*) untuk welded joint.

Bila terjadi kebocoran gas, suplai fuel gas harus dihentikan sampai kebocoran ditemukan dan diperbaiki. Engine dapat dijalankan dengan menggunakan fuel oil saja.

Pipa untuk sistem double wall piping dibuat dengan konstruksi terdiri dari pipa dalam yang dikaitkan dengan pipa bagian luar menggunakan baut pada tiga titik di lingkaran berjarak sama untuk dapat mendukung / menyanggah kedudukan pipa dengan kuat, seperti pada gambar 5.4. Sambungan untuk pipa – pipa dapat menggunakan pengelasan sejauh dapat memenuhi kebutuhan dan memadai. Namun untuk keperluan pemeliharaan dan perbaikan pipa, instalasi pipa BOG di kamar mesin, juga dilengkapi dengan flens, yang juga bertujuan untuk mengurangi adanya getaran mekanis. Percabangan pipa BOG dari pipa utama dengan sistem double wall piping dibuat dengan modifikasi dari sistem ekspansi joint yang memberikan fleksibilitas untuk pipa, dan dilengkapi dengan sistem kekedapan (*sealing system*), terlihat pada gambar 5.4 (Sasaki & Masaki, 1998)

Untuk material pipa – pipa dalam sistem double wall piping dalam kamar mesin dapat digunakan material carbon manganese steel dengan kekuatan bahan yang dapat dipilih untuk dapat mengatasi beban tekanan tinggi dalam pipa, dimana

sesuai aturan klas, desain suhu untuk pipa carbon manganese steel tidak kurang dari 0°C.

5.2.2. Perlengkapan Sistem Bahan Bakar BOG

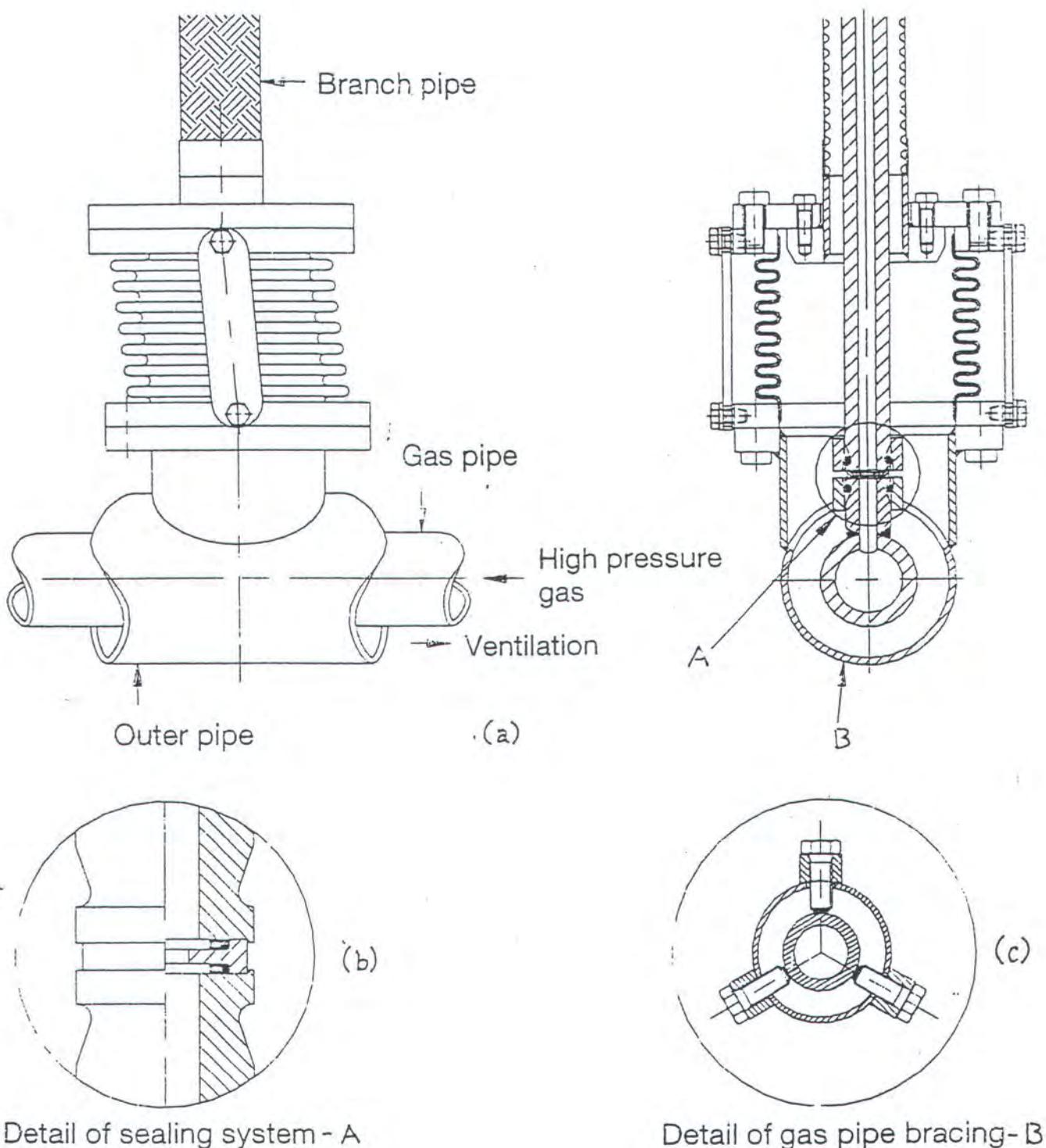
Perlengkapan yang ada dalam instalasi sistem bahan bakar BOG setelah melalui vapor line hampir sama dengan perlengkapan yang ada untuk dual fuel system di boiler. Namun karena karakteristik engine berbeda, terdapat perbedaan pada equipment sistem bahan bakar. Perlengkapan yang dibutuhkan antara lain :

A. BOG Injection Compressor

Dibutuhkan compressor dengan tekanan kerja tinggi berkisar 300 bar untuk dapat memasukkan gas ke dalam silinder pada tekanan sekitar 250 bar sesuai dengan karakteristik tekanan gas untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar spesifik minimum seperti pada gambar 2.5.

Jenis compressor yang dapat digunakan adalah tipe positive displacement dengan kompresor torak (*reciprocating*) maupun dynamic compressor dengan kompresor sentrifugal. Masing – masing mempunyai karakteristik tersendiri dimana sistem kompresor yang harus digunakan adalah kompresor banyak tingkat (*multistage*) karena tekanan kerja lebih dari 1 psig (Yeaple, Frank, 1990). Keuntungan menggunakan kompresor banyak tingkat adalah :

- Dapat mengurangi kebutuhan power $\pm 15\%$ dari kompresor satu tingkat (*single stage*).
- Pendingin yang digunakan (*intercooler*) antar tingkat mengurangi temperatur yang dihasilkan pada saat proses kompresi adiabatik, sehingga mengurangi kesulitan pelumasan, carbon deposit dan thermal stress.



Detail of sealing system - A

Detail of gas pipe bracing- B

Gambar 5.4. Konstruksi pipa suplai gas dan percabangan, (a) percabangan pipa, (b) Sealing system, (c) konstruksi double wall piping (pengaitan pipa luar dan pipa dalam)

- Mengurangi perbedaan tekanan tiap silinder sehingga mengurangi beban dan stress pada komponen – komponen kompresor.
- Mengurangi ukuran dan jumlah silinder yang dioperasikan pada saat final discharge pressure.

Kompresor tekanan tinggi yang digunakan untuk aplikasi di kapal mempunyai karakteristik dapat menyuplai kapasitas antara 5 – 30 cfh dengan discharge pressure pada 1000 sampai 5000 psig, dan sebagian besar menggunakan jenis kompresor torak 4 – 5 tingkat (Harrington, 1992, h. 540). Untuk pemakaian kompresor torak, harus dilengkapi dengan relief valve yang diarahkan ke tempat yang aman (Rules for ships for Liquefied Gases, 1986, h. 113).

BOG Injection compressor direncanakan mempunyai 4 tingkat dengan dilengkapi intercooler dan aftercooler untuk menurunkan temperatur keluar (*discharge temperature*) dari BOG sehingga tidak melebihi temperatur flash point. Untuk mengontrol kapasitas aliran BOG ke engine, kompresor dilengkapi dengan kontrol untuk mengatur putaran dari motor (*varying speed motor*) dan automatic suction valve unloader. Kompresor juga dilengkapi dengan sensor tekanan untuk mengontrol tekanan hisap positif pada bagian inlet dari kompressor. Motor penggerak kompresor harus dapat menjaga tekanan positif, dan akan berhenti secara otomatis bila tekanan pada bagian hisap kompresor kurang dari 0,035 bar G, dilengkapi juga keperluan shutdown dari open deck dan kamar mesin (Rules for ships for Liquefied Gases, 1986, h. 113).

BOG injection compressor direncanakan 2 buah dengan satu buah dapat digunakan sebagai stand-by compressor. Keduanya diletakkan di gas machinery room / compressor room diantara tangki No. 4 dan 5, yang dilengkapi dengan

detektor gas dan sekat kedap gas (*gastight bulkhead*) sedangkan motor penggerak kompresor diletakkan di ruang motor yang dipisahkan dengan *gastight bulkhead*.

B. Fuel gas master valve

Master gas valve yang dapat dioperasikan dari dalam kamar mesin diletakkan di dalam cargo area yang mudah dijangkau dan dioperasikan manual apabila terdapat kebakaran di dalam kamar mesin. Kerja valve diatur secara otomatis dengan melakukan penutupan aliran apabila dideteksi terjadi kebocoran gas pada sistem, kehilangan ventilasi pada duct atau casing, atau kehilangan tekanan pada double wall gas fuel piping (IGC Code, 1993, h.129).

Master gas valve merupakan salah satu aplikasi sistem keselamatan (*safety system*) berupa emergency shut-down untuk suplai fuel gas.

C. Gas detector

Detektor gas merupakan komponen penting di dalam sistem keselamatan untuk sistem pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar di kamar mesin. Detektor gas yang digunakan berhubungan dengan dua macam sistem keselamatan yang diaktifkan yaitu :

- Detektor gas pada level 30% LFL (*Lower Flammable Limit*) atau LEL dengan pengaktifan alarm.
- Detektor gas pada level 60% LEL dengan melakukan shutdown master gas fuel valve.

Detektor gas dalam sistem bahan bakar BOG untuk suplai fuel gas diletakkan di annular space pada sistem double wall piping dan ruang antara pipa dalam dan duct/pipa bila memakai sistem ventilated duct/pipe.

D. Relief valve

Relief valve dalam sistem BOG diletakkan pada annular space antara pipa dalam dengan pipa luar pada sistem double wall piping.

E. Ventilasi

Ventilasi digunakan pada sistem pipa dalam kamar mesin yaitu ruang antara pipa dalam dengan duct / pipa luar apabila menggunakan sistem ventilated duct / pipe. Sistem ventilasi yang digunakan adalah mechanical exhaust ventilation (*extraction type / hisap*) dengan fan sebagai mekanisme penggerak fluida udara. Motor penggerak fan diletakkan diluar dari saluran ventilasi. Saluran keluar – masuk ventilasi harus diletakkan pada daerah yang aman dimana tidak terdapat campuran gas – udara yang mudah terbakar. Sistem ventilasi harus tetap beroperasi selama masih ada suplai gas di pipa. Master gas fuel valve harus dapat menutup secara otomatis bila udara untuk ventilasi tidak ada dan tidak memenuhi ketentuan.

Sistem ventilasi lain dari sistem BOG adalah rumah ventilasi (*ventilation hood / casing*) yang terpasang pada gas utilization unit di valve block engine. Sistem double wall piping maupun ventilated duct / pipe semuanya berujung di ventilation hood. Bila rumah ventilasi tidak dilayani oleh exhaust fan di ventilated duct / pipe, maka dilengkapi dengan sistem ventilasi exhaust sendiri ditambah dengan detektor gas yang dapat mengindikasikan kebocoran gas dan menghentikan suplai gas ke kamar mesin dengan menutup master gas valve (IGC Code, 1993, h. 128).

F. Valve Block untuk Gas Utilization

Tiap silinder engine dari high pressure dual fuel diesel engine dilengkapi dengan gas utilization yang berisi unit katup – katup (*valve block*) penanganan gas /

BOG yang akan masuk ke silinder dan gas accumulator. Satu unit katup / valve block berisi tiga katup otomatis (IGC Code, 1993, h. 128). Dua katup diatur secara seri diletakkan pada sistem pipa fuel gas untuk penyaluran selanjutnya ke gas injection valve. Katup ketiga diletakkan pada pipa yang digunakan untuk ventilasi bagian pipa suplai gas, dan disalurkan ke udara terbuka. Ketiga katup tersebut diatur secara otomatis, sehingga ketika terjadi kerusakan pada sistem exhaust ventilation, kehilangan penyalaan di burner boiler, tekanan abnormal di pipa suplai gas, atau kesalahan dari valve control, dua pipa seri menutup dan katup untuk ventilasi membuka otomatis. Pada gas utilization unit juga harus dipasang sistem shut-off secara manual (Rules for ships for liquefied gases, 1986).

Gas accumulator adalah tabung penyimpan gas bertekanan, yang berfungsi untuk mengantisipasi adanya pressure drop ketika gas valve membuka. Peralatan ini difungsikan dengan mengaktifkan pressure switch menghubungkan ke saluran suplai gas melalui dua katup di atas. Dilengkapi pula dengan alarm untuk terjadinya pressure drop.

G. Sistem Pembersihan Pipa (*Purging system*)

Bila terdapat kerusakan atau sistem pemanfaatan gas abnormal, harus dilakukan shut down mode atau penghentian operasi menggunakan gas. Setelah itu engine dapat dijalankan hanya dengan menggunakan bahan bakar fuel oil dan sistem perpipaan gas dibersihkan dengan pengaliran gas inert, dapat berupa N₂.

H. Perlengkapan lain

Perlengkapan lain yang digunakan dalam sistem pipa BOG berupa perlengkapan penunjang untuk sistem keselamatan yaitu : alarm, indikator, dan

penghubung (*switch*). Perlengkapan – perlengkapan tersebut antara lain :

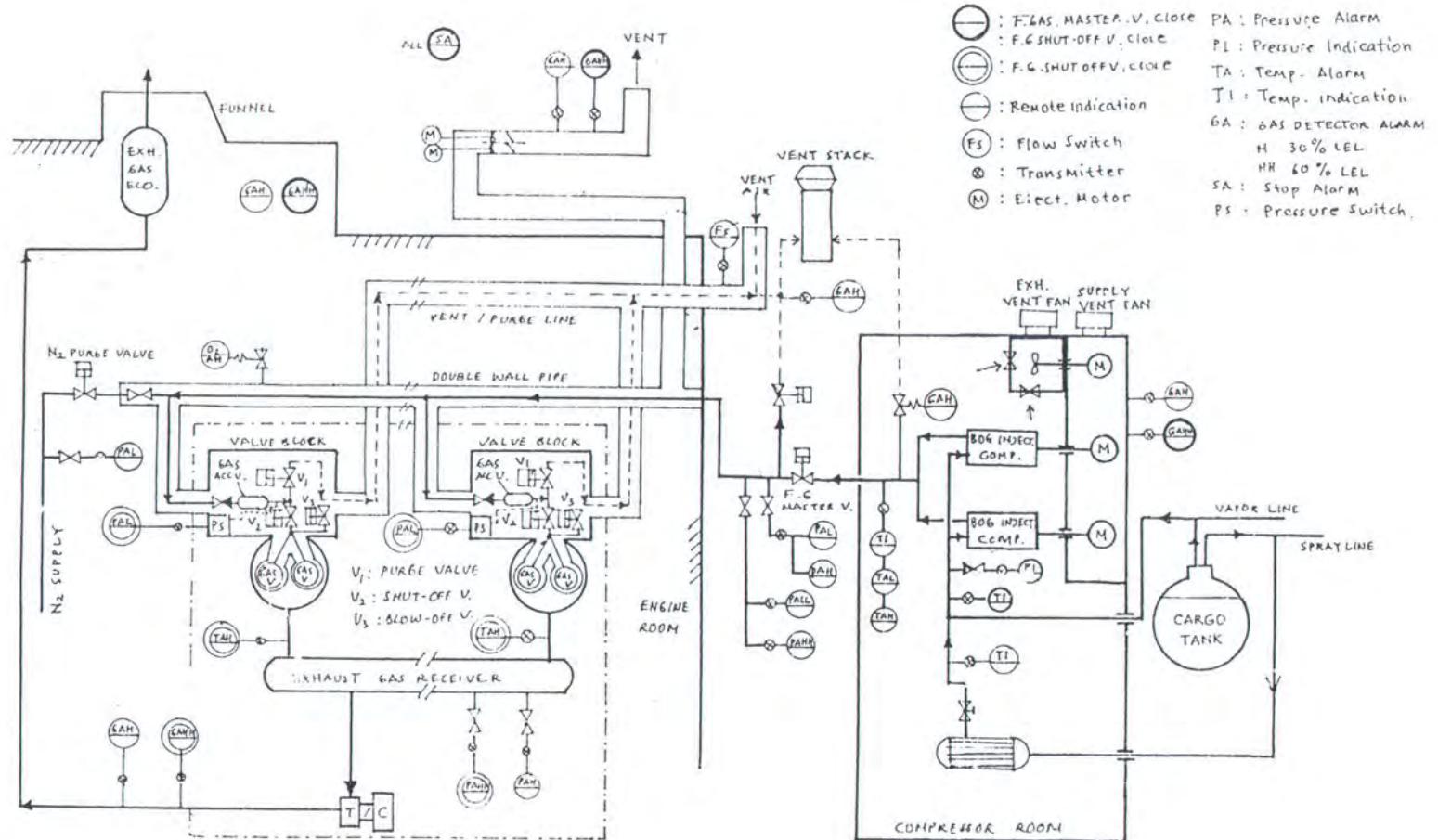
- Pressure alarm di annular space sistem double wall piping
- Pressure indicator di pipa suplai gas
- Temperature alarm dan indicator di pipa suplai gas
- Pressure switch pada sistem gas utilization untuk pengaktifan gas accumulator

Sistem bahan bakar BOG di kamar mesin keseluruhan terlihat pada gambar 5.5 yang memperlihatkan sistem suplai gas tekanan tinggi yang direncanakan menggunakan sistem double wall piping.

5.2.3. Dual Fuel System Untuk Sistem Propulsi

Sistem dual fuel untuk sistem propulsi menggunakan high pressure dual – fuel diesel engine yang dapat diatur penggunaan komposisi bahan bakarnya atau oil / gas ratio yaitu dari 100% fuel oil sampai 5% fuel oil. Karena suplai BOG dapat bervariasi, maka untuk menjaga kontinuitas proses pembakaran untuk menghasilkan tenaga sesuai kebutuhan, pada HP dual fuel diesel engine diterapkan sebuah governor elektrik yang mengatur secara otomatis suplai jumlah / prosentase bahan bakar baik fuel oil maupun fuel gas.

Boil-off rate (BOR) LNG Carrier S.T. Eka Putra didesain sebesar 0,1% per hari, sehingga apabila kebutuhan bahan bakar BOG kurang dari jumlah kalori yang dibutuhkan dalam proses pembakaran, kekurangan dapat disuplai oleh fuel oil atau dilakukan penguapan liquid LNG menggunakan forcing vaporizer untuk memperoleh forcing BOG.



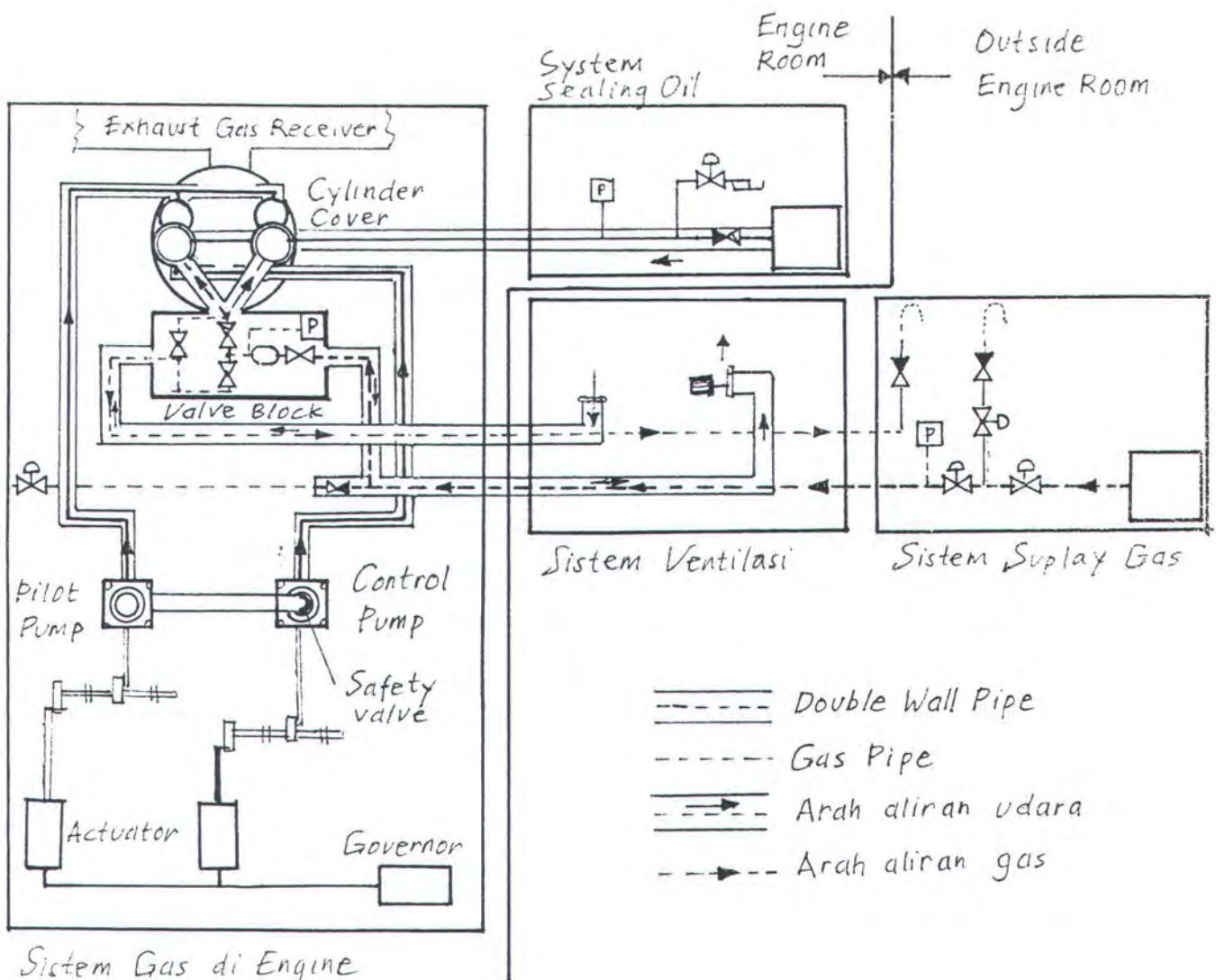
Gambar 5.5. Sistem suplai gas tekanan tinggi pada double wall piping

Dari bab tinjauan pustaka, rasio gas dan pilot oil HP dual fuel diesel engine dapat diatur untuk mendapatkan kestabilan pembakaran dan menghasilkan power sesuai yang diinginkan, yang terdiri dari mode – mode operasi :

- Oil only mode, hanya menggunakan pilot fuel oil sebagai bahan bakar.
- Oil set mode, suplai fuel oil diatur konstan, sedang suplai fuel gas bervariasi.
- Gas set mode, fuel gas diatur konstan, pilot oil bervariasi tergantung beban.

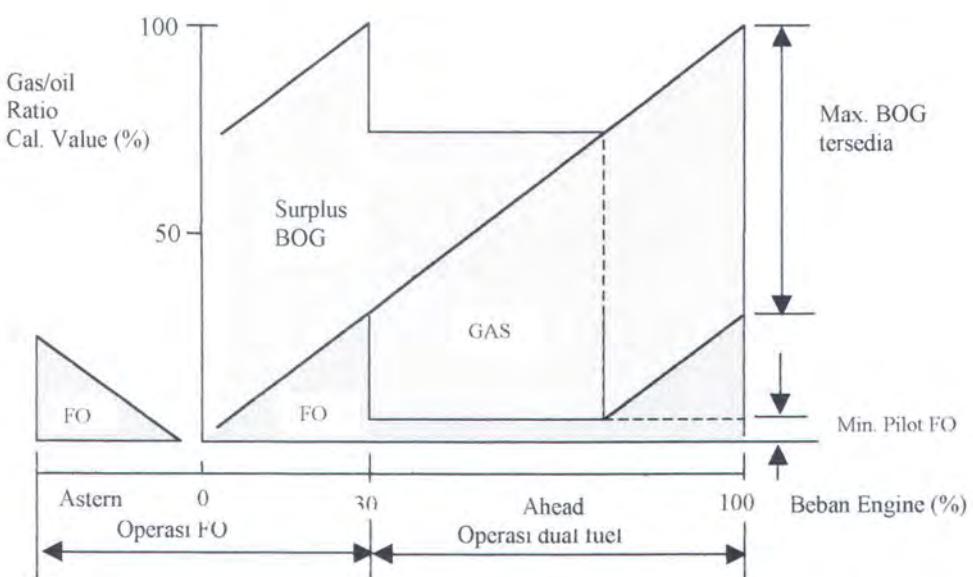
Pada sistem untuk dual fuel main oil engine, untuk keperluan start hanya menggunakan fuel oil sebagai bahan bakar (Rules for ships for liquified Gases, 1986). Untuk HP dual fuel diesel engine pada oil only mode, dilakukan saat start dan stop engine, manoeuvring (di pelabuhan), atau ketika operasi engine tidak stabil. Sedangkan saat kondisi normal, operasi fuel gas dimulai saat beban engine sudah mencapai 30% atau lebih untuk menjaga kestabilan operasi engine dan suplai pilot fuel diturunkan yang dapat mencapai minimum 5% dari kebutuhan total bahan bakar saat beban penuh (MER, 1997).

Dari penetapan mode operasi, akan memberikan input bagi governor kecepatan untuk mengatur actuator dari sistem pilot oil maupun fuel gas. Dari actuator melalui penghubungan mekanis (*linkage mechanism*, gambar 2.2) mengatur pergerakan camshaft untuk pilot oil pump dan control oil pump. Sealing oil system tekanan tinggi untuk gas injection valve juga bekerja secara otomatis ketika engine beroperasi dengan gas. Sistem – sistem untuk operasi dual fuel yang bekerja terlihat pada gambar 5.6, yang terdiri dari : sistem suplai gas (BOG injection compressor), sistem ventilasi, sistem pada engine (governor, control oil pump, pilot oil pump, sealing oil system, gas utilization, gas & pilot oil injection).



Gambar 5.6. Sistem – sistem pada operasi dual fuel

Untuk sistem kontrol secara umum pada penggunaan HP dual fuel diesel engine di LNG Carrier dapat menggunakan pengontrol berupa prosesor mikro (*micro processor controller*) (Permana, 1994). Input yang diperlukan oleh prosesor mikro adalah kebutuhan beban engine, tekanan vapor / BOG dari sensor, dan harga parameter operasi diesel sesaat yaitu umpan balik (*feed back*) berupa rpm engine dan beban torsi pada flywheel. Berdasar input yang ada, dikalkulasi kebutuhan bahan bakar (pilot fuel dan gas), udara, saat (timing) pembakaran dan pengaturan motor diesel. Hasil kalkulasi digunakan untuk mengontrol kerja peralatan yaitu governor kecepatan (dapat digunakan governor elektrik) untuk penetapan mode operasi, pilot fuel supply valve, BOG Injection compressor, dan flow indicator control pada forcing vaporizer. Untuk komunikasi antara prosesor mikro dan peralatan – peralatan digunakan sistem interface berupa ADC (*analog to digital converter*) dan DAC (*digital to analog converter*) untuk melakukan konversi masukan dan keluaran dari analog ke digital atau sebaliknya.



Gambar 5.7. Rasio bahan bakar untuk HP dual fuel diesel engine (tanpa penambahan forcing BOG)

Agar terjadi kestabilan pembakaran pada HP dual fuel diesel engine digunakan rasio bahan bakar, terlihat pada gambar 5.7 (Machinery Dept., NKK, 1995), sedangkan untuk masing – masing mode operasi dapat menggunakan rasio bahan bakar seperti pada gambar 5.8 (Sasaki & Masaki, 1998).

5.3. Sistem Keselamatan (*Safety System*)

Sistem keselamatan pada sistem pemanfaatan BOG menggunakan HP dual fuel diesel engine terdiri dari tiga golongan yaitu :

- a. Sistem keselamatan pada HP dual fuel diesel engine
- b. Sistem keselamatan pada sistem bahan bakar BOG
- c. Sistem keselamatan pada ruangan yang berkaitan dengan sistem pemanfaatan bahan bakar BOG (kamar mesin dan ruang kompresor).

Sistem keselamatan yang diterapkan untuk sistem pemanfaatan bahan bakar BOG dengan HP dual fuel diesel engine menggunakan peralatan dengan sistem – sistem otomatis yang dilengkapi dengan sistem manual dan saling berhubungan terutama dalam sistem suplai gas ke engine di kamar mesin. Sistem keselamatan juga mencakup kebutuhan desain suatu peralatan dimana mampu bekerja dengan sesuai dengan spesifikasi kerja yang dibutuhkan.

Hal – hal penting dalam sistem pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar pada HP dual fuel diesel engine yang harus diterapkan sistem keselamatan antara lain seperti pada tabel 5.1. di bawah ini (Machinery Dept., NKK, 1995; Rules for ships for liquefied gases, 1986).



Tabel 5.1. Sistem keselamatan pada sistem pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar HP dual fuel diesel engine

Aspek Keselamatan	Aplikasi		
	Engine	Sistem BOG	Ruangan
Deteksi gas	<ul style="list-style-type: none"> - Pada piston bagian bawah atau scavenging manifold (tipe crosshead). - Crankcase (tipe trunk piston). - Pipa gas buang engine. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pada sistem ventilated duct / pipe seperti telah diuraikan di atas. - Pada annular space sistem double wall piping. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kamar mesin - Ruang kompresor
Proteksi ledakan	<p>Pemasangan relief valve pada :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pipa dan manipol gas buang - Scavenging manifold - Crankcase (tipe trunk piston) - Ruang camshaft driving gear <p>Injeksi gas inert otomatis :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pada crankcase (tipe trunk piston) 	<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan ventilasi atau inert gas pada annular space / ruang antara - Relief valve pada annular space sistem double wall piping 	-
Monitoring pembakaran	<ul style="list-style-type: none"> - Gas fuel injection valve - Pilot oil injection valve - Exhaust gas valve - Exhaust gas temperatur - Cylinder pressure 	-	-
Pencegahan kebocoran gas	<p>Pengaturan kestabilan pembakaran :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengaturan gas injection valve - Sumber penyalakan / pilot oil - Penggunaan oil only mode ketika kondisi engine tidak stabil - Pergantian mode pembakaran dengan baik, gas ke oil / sebaliknya - Pengaturan terhadap variasi beban <p>Keandalan komponen :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistem perpipaan suplai gas tekanan tinggi - Gas fuel injection valve dan mekanismenya - Governor - Cylinder cover <p>Pemasangan konstruksi engine:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kekedapannya tiap sambungan / fitting pada cylinder cover 	-	-

BAB VI

ANALISIS RANCANGAN

BAB VI

ANALISA RANCANGAN

Analisa hasil rancangan sistem propulsi di LNG Carrier menggunakan dual fuel diesel – electric menggunakan analisis evaluatif yang menekankan adanya pertimbangan keputusan terhadap rencana yang dibuat. Tujuan utama dari analisa ini adalah kemampuan rencana sistem diaplikasikan pada objek yang diteliti, dalam hal ini adalah LNG Carrier S.T. Eka Putra.

Analisa dan perhitungan rancangan sistem meliputi beberapa hal sebagai berikut :

1. Analisa sistem Electric Propulsion Drive
2. Analisa konsumsi bahan bakar dual fuel diesel engine
3. Analisa dual fuel system untuk sistem propulsi utama
4. Analisa biaya operasional.

6.1. Analisa Sistem Electric Propulsion Drive

Untuk menganalisa sistem electric propulsion drive, dibutuhkan data – data pembangkitan listrik di kapal S.T. Eka Putra berkaitan dengan rancangan konfigurasi electric propulsion drive, jumlah tenaga yang dihasilkan oleh generator, macam generator, aplikasi kondisi operasi dan asumsi kebutuhan tenaga listrik. Data – data tersebut telah diuraikan dalam bab sebelumnya yaitu di bab tinjauan empiris, sub bab penggerak utama dan permesinan bantu, serta dalam bab perencanaan sistem propulsi sub bab sistem electric propulsion drive.

6.1.1. Perhitungan Kebutuhan Tenaga Electric Propulsion Drive

Jumlah tenaga listrik yang dihasilkan dari generating set di S.T. Eka Putra sebesar 7200 KW ditambah dengan emergency diesel generator berdaya 300 KW. Berdasar SOLAS 1974, emergency generator pada kapal cargo yang digerakkan penggerak utama (*prime mover*) harus mempunyai sistem bahan bakar berdiri sendiri dan mampu menyuplai kebutuhan tenaga listrik pada saat terjadi black out untuk keperluan – keperluan penting seperti penerangan darurat di kamar mesin, tanda bahaya umum, navigasi selama jangka waktu 6 jam; disebabkan kebakaran atau bencana lain sehingga instalasi utama tidak berfungsi. Dalam analisa ini emergency generator S.T. Eka Putra tidak dimasukkan dalam perhitungan analisa (tetap).

Tenaga yang dihasilkan steam turbine pada MCO (=CSO) sebesar 26700 SHP dengan putaran propeller 80 rpm.

a. Delivered horse power ke propeller :

$$P_D = \eta_s \cdot P_S$$

$$= 0,97 \cdot 26700 \quad \eta_s = \text{eff. Transmisi di poros (K.M di belakang)}$$

$$= 25899 \text{ HP} \quad = 97\%$$

$$= 19035,77 \text{ KW}$$

b. Power motor :

$$P_M = P_D / (\eta_{G/B} \cdot \eta_m)$$

$$\eta_{G/B} = \text{eff. Gear} = 98\%$$

$$= 25899 / (0,98 \cdot 0,95)$$

$$\eta_m = \text{eff. Motor} = 95\%$$

$$= 27818,47 \text{ HP}$$

$$= 20446,58 \text{ KW (20,5 MW)}$$

c. Power generator

Asumsi yang diambil :

1. Kebutuhan power untuk cargo handling : 5 MW
(dapat disuplai oleh propulsion generator / generator utama saat operasi handling, sedangkan kebutuhan propulsion power = 0)
2. Beban listrik yang ada (SS load) dapat disuplai oleh generator – generator pada S.T. Eka Putra sebelumnya, dengan total power 7200 KW.

Sisa beban power yang harus disuplai oleh main generator :

- Propulsion power motor : 20446,58 KW

- Aux. Load / SS load termasuk power

BOG Injection Compressor (pengganti

L/D Compressor) : 2200 KW

Total beban power generator : 22646,58 KW

Total Power Generator :

$$P_G = 22646,58 / (\eta_{tr} \cdot \eta_G) \quad \eta_{tr} = \text{eff. Transmisi / cabling} = 97\%$$

(losses 1-5%)

$$\eta_G = 95\%$$

$$= 22646,51 / (0,97 \cdot 0,95)$$

$$= 24575,78 \text{ KW (24,6 MW)}$$

d. Total Power Engine

$$P_E = P_G / \eta_{G/B}$$

$$= 24575,78 / 0,98 \quad , \eta_{G/B} = \text{eff. Gear} = 98\%$$

$$= 25077,33 \text{ KW}$$

$$= 34120 \text{ HP}$$

Total power engine tersebut merupakan brake horse power diesel engine pada harga MCR (BHP MCR).

6.1.2. Sistem Kerja Konfigurasi Electric Propulsion Drive

Perencanaan konfigurasi electric propulsion drive (EPD) menggunakan metoda Advanced Integrated Electrical Propulsion Plant (AIEPP) memberikan konsekuensi kepada sistem untuk bekerja secara integral menggabungkan kerja untuk propulsion power dan ship – service power. Rencana konfigurasi tersebut mempunyai 3 mode operasi yaitu :

- operasi di pelabuhan (*port*)
- operasi dinas (*normal operation*) dan
- operasi darurat (*emergency mode*).

Dari hasil perencanaan pada bab V dibutuhkan empat buah generator dengan spesifikasi masing – masing sama, dan power yang dihasilkan tiap generator sebesar 6,15 MW pada terminal output. Tiap generator digerakkan oleh satu prime mover yaitu HP dual fuel diesel engine dengan power 8530 HP. Tiap generator direncanakan mempunyai putaran kerja (*synchronous speed*) 1800 rpm yang digerakkan oleh prime mover pada putaran menengah (*medium speed engine*) 900 rpm, menggunakan step-up gear. Keempat generator diparalel untuk menyuplai kebutuhan propulsion power maupun untuk ship service load dengan melakukan synchronizing power, phase, frekuensi, dan putaran agar dapat dilakukan parallel generator. Generator yang dipilih mempunyai spesifikasi : 4 – kutup (*pole*), 1800 rpm, 60 Hz, 3 – phase, 0,8 pf, AC synchronous power, dan brushless excitation. Brushless exciter diletakkan di ujung poros generator. Unit yang terdiri dari a-c exciter dan rectifier assembly, diletakkan berdekatan dengan generator pada poros, sedang permanent magnet generator (PMG) diletakkan di bagian lain dari ujung

poros. Untuk generator darurat (*emergency generator*) mempunyai spesifikasi tetap dengan yang telah ada di S.T. Eka Putra.

Sistem pendinginan yang dipakai adalah pendinginan udara pada rotor dan pendinginan air pada stator , dimana mampu memberikan berat dan ukuran yang lebih kecil dibanding generator dengan spesifikasi hampir sama berpendingin air (rotor dan stator) maupun berpendingin udara (rotor dan stator) (Jolliff & Greene, 1982). Karakteristik spesifikasi generator terlihat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1. Spesifikasi peralatan electric propulsion drive

Parameter	Generator	P. Conditioner / Converter	Propulsion Motor
Tipe	air cooled rotor – water cooled stator, brushless exciter	Load commutated-inverter (LCI)	Salient – Pole Synchronous Motor, Brushless exciter
Jumlah	4	2	2
Power	@ 6,15 MW (output)	@ 10,25 MW	@13950 HP
KVA	@ 7,7 MVA (output)	-	-
Speed (rpm)	1800	-	900
Power factor / p.f	0,8		0,9
Frekuensi (Hz)	60	60 (input)	60
Voltage (V)	6900	6600	6600
Efisiensi	95%	-	95%
Dimensi (p x l x t), cm	366 x 241 x 437 ¹	660 x 138 x 215 ²	449 x 270 x 337 ^{3a} 434 x 241 x 297 ^{3b}
Berat (kg)	39000 ¹	10280 ²	67800 ^{3c}
Peralatan tambahan	Sistem pendingin Sistem pelumas Brushless Exciter	Sistem pendingin UPS	Sistem pendingin Sistem pelumas Brushless Exciter

¹ Pendekatan dimensi dan berat dari generator lain pada spesifikasi yang sama (Wartsila Vasa 32 tipe 16V32)

² Pendekatan dimensi dan berat power conditioner dari LCI AIEPP pada spesifikasi voltase (Jolliff & Greene, 1982)

³ Pendekatan dimensi dan berat total motor dan gear secara linear terhadap power motor, dari data perkiraan dimensi untuk geared motor (sistem LCI) pada double reduction gear (Harrington, 1992, h. 321)

^{3a} dimensi motor; ^{3b} dimensi gear; ^{3c} berat total (motor + gear)

Power generator dengan frekuensi 60 Hz disuplai ke motor melalui sebuah power conditioner / power converter / frequency changer. Power conditioner yang dipilih adalah tipe load commutated inverter (LCI) dengan rangkaian 6-pulsa converter. Dengan melewati power conditioner, putaran motor dapat diubah arah putarannya. Selain itu dengan menggunakan power conditioner, power dari generator yang dialirkan balik oleh motor dapat untuk melakukan beberapa olah gerak (*manoeuvre*) baik di pelabuhan maupun di laut dengan penggereman, dan membalik arah putaran. Power conditioner mempunyai kemampuan mengubah frekuensi dari busway 60 Hz ke motor dengan variasi frekuensi antara 0 – 60 Hz. Sehingga arus yang mengalir ke motor dapat divariasikan pula, dan torsi serta putaran motor juga akan terkontrol. Spesifikasi power conditioner terdapat pada tabel 6.1.

Frekuensi output dari power conditioner digunakan untuk mengubah / memvariasikan putaran motor. Motor yang dipakai untuk menggerakkan single screw propeller dipilih motor dengan spesifikasi dimana putaran maksimum propeller dapat mencapai 80 rpm. Motor yang dipilih adalah tipe salient – pole synchronous motor, 3-phase, 900 rpm, 8-kutub (*pole*), 0,9 pf, 60 Hz, putaran tetap (*constant speed*). Motor dengan putaran tetap diperlukan dalam sistem electric propulsion drive karena tidak terpengaruh oleh bervariasi beban / torsi, sehingga power conditioner akan dapat pula mengontrol jumlah putaran untuk mendapatkan kecepatan kapal yang diinginkan, juga untuk proses penggereman, maupun putaran mundur. Motor menggerakkan fixed-pitch propeller (FPP) pada putaran maksimum 80 rpm menggunakan reduction gear dua tingkat. Motor sinkron dilengkapi dengan

Untuk keperluan manoeuver kapal di pelabuhan, kebutuhan listrik dapat disuplai dari satu atau dua diesel generator yang diambil dari perencanaan kebutuhan daya sebesar 5 MW. Kebutuhan propulsi utama adalah untuk olah gerak yang dilakukan oleh sistem propulsi utama maupun oleh bow thruster kapal.

Tabel 6.2. Kebutuhan beban tenaga untuk masing – masing kondisi operasi

	1	2	3	4	5	6	7
Kondisi Operasi	Kebutuhan Beban						
	Propulsi (MW)	Power motor (1:0,931 ¹) (MW)	SS load (MW)	Total Load (2 + 3) (MW)	Power Engine (4:0,9031 ²) (MW)	Jml. Eng. yg. di – gunaikan	% dari MCR
Loaded ³ 18,5 Kn CSO + 15% S.M	16,6	17,8	1,0	18,8	20,8	4	82,9
Loaded 17,5 Kn	13,9	14,9	1,0	15,9	17,6	3	93,5
Ballast ³ 18,5 Kn CSO + 15% S.M	15,3	16,4	1,0	17,4	19,3	4	76,9
Ballast 17,5 Kn	13,1	14,1	1,0	15,1	16,7	3	88,7
Manoeuvring	5,0	5,4	1,0	6,4	7,1	2	56,6
Port Loading	0	0	3,5	3,5	3,9	1	62,2
Port Unloading	0	0	5	5	5,5	1	87,6

¹ Faktor efisiensi transmisi power terhadap losses dari gear box dan motor

² Faktor efisiensi transmisi power terhadap losses kabel,generator, dan gear box

³ Garis air (*draught*) Loaded = 10,80 m, Ballast = 9,5 m

Dari tabel di atas dapat terlihat bahwa pemakaian generator set untuk menyuplai beban pada masing – masing kondisi operasi mempunyai efisiensi utilisasi (penggunaan) tertinggi pada saat operasi dinas muatan penuh dengan kecepatan 17,5 knot (*cruise mode*). Efisiensi utilisasi yang tinggi dapat mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) dari dual fuel diesel engine karena efisiensi tersebut menunjukkan besar beban masing – masing engine, efisiensi semakin tinggi,

semakin besar beban tiap engine. Sedangkan karakteristik kebutuhan bahan bakar spesifik engine akan menurun terhadap semakin bertambahnya beban engine, terlihat pada grafik gambar 2.9 dan 2.12 pada bab II.

Beban yang ada pada sistem electric propulsion drive menentukan sistem kerja dari dual fuel diesel engine, dalam sistem pembakaran menggunakan dual fuel yaitu fuel oil dan BOG, yang akan dibahas dalam sub bab berikutnya.

6.2. Analisa Kebutuhan Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) antara steam turbine pada S.T. Eka Putra dan HP dual fuel diesel engine mempunyai perbedaan yang cukup besar, dimana HP dual fuel diesel engine mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar mencapai 30 %. Kondisi ini ditunjang dengan adanya penerapan electric propulsion drive yang mampu mengontrol kerja dari sistem propulsi dengan lebih cepat dan akurat sehingga memberikan kinerja sistem yang efektif dan efisien.

Pada boiler S.T. Eka Putra mempunyai tiga mode operasi pembakaran yaitu: oil burning, dual fuel burning, dan gas burning. Sedangkan pada HP dual fuel diesel engine juga mempunyai tiga mode operasi yang berbeda yaitu : oil only mode, oil set mode (*dual fuel combustion*), dan gas set mode (*dual fuel combustion*), dimana pembakaran dalam silinder tidak dapat hanya menggunakan BOG, dengan tujuan untuk stabilitas pembakaran dikarenakan kualitas pembakaran sendiri (*self ignition*) gas yang kurang baik. Masing – masing jenis pembakaran yang ada tersebut dianalisa untuk melihat jenis kebutuhan bahan bakar yang dapat digunakan untuk mendapatkan pembakaran yang efisien dan biaya yang murah.

Kuantitas pembakaran untuk masing – masing jenis bahan bakar yang digunakan ditentukan prosentase konsumsi dan nilai kalor bahan bakar. Untuk

perhitungan digunakan nilai kalor rendah (*low calorific value / LCV*). Berikut ini karakteristik bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran yaitu : pilot fuel oil (bunker) dan methane / boil-off gas (BOG).

LCV LNG Bontang (rata – rata)	: 11740 kcal/kg
Density LNG Bontang (rata – rata)	: 454 kg/m ³
LCV methane (liquid)	: 11950 kcal/kg
Density methane (liquid)	: 425 kg/m ³
LCV dalam volume LNG Bontang (liq.)	: 5329960 kcal/m ³
LCV dalam volume methane (liquid)	: 5078750 kcal/m ³
LCV fuel oil (bunker)	: 9600 kcal/kg
LCV fuel oil (HCV 10280 kcal/kg)	: 9713 kcal/kg

Perhatian harus diberikan terhadap kuantitas natural BOG yang bervariasi terhadap kondisi sedangkan desain BOR untuk natural BOG pada tangki Moss – Rosenberg Sperichal Tank sebesar 0,1% per hari. Kekurangan suplai gas ke engine dapat diatasi dengan penggunaan forcing BOG yang dihasilkan oleh forcing vaporizer di gas machinery room atau compressor room.

6.2.1. Pembakaran di Boiler

A. Dual Fuel Burning

1. Desain konsumsi bahan bakar boiler

Pada MCO(=CSO) 26700 HP membutuhkan 133 T/hari fuel oil dengan high calorific value (HCV) = 10280 kcal/kg.

- LCV fuel oil = 9713 kcal/kg
- Kalor hasil = 133000×9713 (kcal/hari)

$$= 1291829000 \text{ kcal/hari}$$

2. Konsumsi methane (natural BOG)

Desain BOR : 0,1%/hari

Volume total LNG : 136400 m³

- LCV methane (volume) = 5078750 kcal/m³
- Kapasitas natural BOG = $136400 \times 0,1\% = 136,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Kalor hasil = $136,4 \times 5078750 \text{ (kcal/hari)}$
= 692741500 kcal/hari

Kekurangan kebutuhan kalor :

$$1291829000 - 692741500 \text{ kcal/hari} = 599087500 \text{ kcal/hari}$$

3. Konsumsi fuel oil

Fuel oil yang dibutuhkan untuk operasi dual fuel dari grafik rasio bahan bakar ,bab IV, pada operasi beban penuh berkisar 20% dari total kebutuhan bahan bakar.

- $20\% \times 1291829000 \text{ kcal / hari} = 258365800 \text{ kcal / hari}$
- LCV fuel oil (bunker) = 9600 kcal/kg
- Konsumsi fuel oil = $258365800 / 9600 \text{ (kg/hari)}$
= 26913,10 kg/hari
= 27 Ton/hari

Sisa kekurangan kalori bahan bakar :

$$599087500 - 258365800 \text{ kcal/hari} = 340721700 \text{ kcal / hari}$$

4. Konsumsi forcing BOG

Sisa kekurangan kalori dipenuhi dari suplai forcing BOG :

- LCV forcing BOG = LCV LNG Bontang = 5329960 kcal/m³

B. Oil Burning (fuel oil 100%)

1. Desain konsumsi bahan bakar boiler

Pada MCO(=CSO) 26700 HP membutuhkan 133 T/hari fuel oil dengan high calorific value (HCV) = 10280 kcal/kg.

- LCV fuel oil = 9713 kcal/kg
- Kalor hasil = 133000×9713 (kcal/hari)
- = 1291829000 kcal/hari

2. Konsumsi Bahan bakar total dari suplai fuel oil (bunker)

Fuel oil yang dibutuhkan untuk operasi oil burning sebesar 100% dari total kebutuhan bahan bakar.

- LCV fuel oil (bunker) = 9600 kcal/kg
- Konsumsi fuel oil = $1291829000 / 9600$ (kg/hari)
- = 134565,52 kg/hari
- = 134,57 Ton/hari

C. Gas Burning (Fuel oil 0%)

1. Desain konsumsi bahan bakar boiler

Pada MCO(=CSO) 26700 HP membutuhkan 133 T/hari fuel oil dengan high calorific value (HCV) = 10280 kcal/kg.

- LCV fuel oil = 9713 kcal/kg
- Kalor hasil = 133000×9713 (kcal/hari)
- = 1291829000 kcal/hari

2. Konsumsi methane (natural BOG)

Desain BOR : 0,1%/hari

Volume total LNG : 136400 m³



- LCV methane (volume) = 5078750 kcal/m^3
- Kapasitas natural BOG = $136400 \times 0,1\% = 136,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Kalor hasil = $136,4 \times 5078750 (\text{kcal/hari})$
= $692741500 \text{ kcal/hari}$

Kekurangan kebutuhan kalor :

$$1291829000 - 692741500 \text{ kcal/hari} = 599087500 \text{ kcal/hari}$$

3. Konsumsi forcing BOG

Sisa kekurangan kalori semua dipenuhi dari suplai forcing BOG :

- LCV forcing BOG = LCV LNG Bontang = 5329960 kcal/m^3
- Suplai forcing BOG = $599087500 / 5329960 (\text{m}^3/\text{hari})$
= $112,4 \text{ m}^3/\text{hari}$

4. Total kebutuhan bahan bakar boiler

Natural BOG	: $136,4 \times 0,5290 \text{ T/hari}$	= $72,16 \text{ T/hari (FO Equiv.)}$
Forcing BOG	: $112,4 \times 0,5552 \text{ T/hari}$	= $62,4 \text{ T/hari (FO Equiv.)}$
	Total	$134,56 \text{ T/hari}$

6.2.2. Pembakaran di HP Dual Fuel Diesel Engine

A. Dual Fuel Combustion (*Oil Set Mode*)

1. Desain konsumsi bahan bakar HP dual fuel diesel engine

Kebutuhan bahan bakar spesifik untuk HP dual fuel diesel engine pada operasi beban penuh (BHP maks. Engine = 8530 HP) berkisar 130 g/BHP.h dari grafik unjuk kerja engine (gambar 2.17), dengan pembakaran menggunakan bahan bakar equivalent fuel oil (HCV = 10280 kcal/kg).

- LCV fuel oil = 9713 kcal/kg
- Kalor hasil = $130 \text{ g/BHP h} \cdot 8530 \text{ HP} \cdot 24 \text{ h} \cdot 9713 \text{ kcal/kg} \cdot 10^{-3} (\text{kcal/hari})$

$$= 258501782 \text{ kcal/hari}$$

Untuk 4 main engine dengan rating power sama (8530 HP), total kalori yang diberikan untuk proses pembakaran berjumlah :

- Kalor hasil = $258501782 \times 4 \text{ (kcal/hari)}$
- = $1034007128 \text{ kcal/hari}$
- = $1034007128 / 9713 \text{ (kg/hari)}$
- = $106,5 \text{ T/hari}$

2. Konsumsi methane (natural BOG)

Desain BOR : 0,1%/hari

Volume total LNG : 136400 m^3

- LCV methane (volume) = 5078750 kcal/m^3
- Kapasitas natural BOG = $136400 \times 0,1\% = 136,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Kalor hasil = $136,4 \times 5078750 \text{ (kcal/hari)}$
- = $692741500 \text{ kcal/hari}$

Kekurangan kebutuhan kalor :

$$1034007128 - 692741500 \text{ kcal/hari} = 341265628 \text{ kcal/hari}$$

3. Konsumsi fuel oil

Fuel oil yang dibutuhkan untuk operasi dual fuel dari grafik rasio bahan bakar ,bab V, pada operasi beban penuh berkisar minimum 5% dari total kebutuhan bahan bakar.

- $5\% \times 1034007128 \text{ kcal / hari} = 51700356,4 \text{ kcal / hari}$
- LCV fuel oil (bunker) = 9600 kcal/kg
- Konsumsi fuel oil = $51700356,4 / 9600 \text{ (kg/hari)}$
- = $5385,45 \text{ kg/hari}$

$$= 5,4 \text{ Ton/hari}$$

Sisa kekurangan kalori bahan bakar :

$$341265628 - 51700356,4 \text{ kcal/hari} = 289565271,6 \text{ kcal / hari}$$

4. Konsumsi forcing BOG

Sisa kekurangan kalori dipenuhi dari suplai forcing BOG :

- LCV forcing BOG = LCV LNG Bontang = 5329960 kcal/m^3
- Suplai forcing BOG = $289565271,6 / 5329960 (\text{m}^3/\text{hari})$
 $= 54,33 \text{ m}^3/\text{hari}$

5. Kebutuhan bahan bakar total (4 engine)

Untuk dual fuel combustion dibutuhkan :

- Natural BOG : $136,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Forcing BOG : $54,33 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Fuel oil (bunker) : $5,4 \text{ T/hari}$

Kebutuhan bahan bakar dalam FO Equivalent :

- Natural BOG : $136,4 \times 0,5290 (\text{T}/\text{hari}) = 72,16 \text{ T}/\text{hari}$ (FO Equiv.)
 - Forcing BOG : $54,33 \times 0,5552 (\text{T}/\text{hari}) = 30,16 \text{ T}/\text{hari}$ (FO Equiv.)
 - Fuel oil : $5,4 \text{ T}/\text{hari}$
- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Total kebutuhan bahan bakar | $107,72 \text{ T}/\text{hari}$ |
|-----------------------------|--------------------------------|

Periksa :

$$107,72 \times \frac{9600}{9713} \text{ T}/\text{hari} = 106,5 \text{ T}/\text{hari}$$

(konsumsi bahan bakar HP dual fuel diesel

engine dengan LCV = 9713 kcal/kg)

B. Dual Fuel Combustion (*Gas Set Mode*)

1. Desain konsumsi bahan bakar HP dual fuel diesel engine

- Power engine = 8530 HP
- SFOC = 130 g/BHP.h
- LCV fuel oil = 9713 kcal/kg
- Kalor hasil = $130 \text{ g/BHP h} \cdot 8530 \text{ HP} \cdot 24 \text{ h} \cdot 9713 \text{ kcal/kg} \cdot 10^{-3} (\text{kcal/hari})$
= 258501782 kcal/hari

Untuk 4 main engine, total kalori yang diberikan :

$$\begin{aligned}\text{Kalor hasil} &= 1034007128 \text{ kcal/hari} \\ &= 1034007128 / 9713 \text{ kg/hari} \\ &= 106,5 \text{ T/hari}\end{aligned}$$

2. Konsumsi methane (natural BOG)

Desain BOR : 0,1%/hari

Volume total LNG : 136400 m³

- LCV methane (volume) = 5078750 kcal/m³
- Kapasitas natural BOG = $136400 \times 0,1\% = 136,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Kalor hasil = $136,4 \times 5078750 (\text{kcal/hari})$
= 692741500 kcal/hari

Kekurangan kebutuhan kalor :

$$1034007128 - 692741500 \text{ kcal/hari} = 341265628 \text{ kcal/hari}$$

3. Konsumsi fuel oil

Bila kekurangan kalori yang ada disuplai oleh pilot fuel oil pada gas set mode,

maka :

- LCV fuel oil (bunker) = 9600 kcal/kg
- Konsumsi fuel oil = $341265628 / 9600 (\text{kg/hari})$
= 35548,5 kg/hari

- a. Gas ideal / perfect
- b. Kompresor dengan peminimalan proses adiabatik menggunakan :
 - Ideal intercooler (kompresi & temperatur tiap tingkat konstan (*isothermal*)).
 $p_1 q_1 = p_i q_i = \text{konstan}$
 - Proses adiabatik (*reversible adiabatic/isentropic*) pada tiap stage.
- c. Desain rasio kompresi di tiap tingkat sama.

Sehingga power kompresor untuk ideal adiabatic power dapat dinyatakan dalam persamaan dibawah ini :

$$P_{ad} = \frac{1}{229,2} n \cdot p_1 \cdot q_1 \cdot \frac{k}{(k-1)} (r_p^{\frac{k-1}{k-n}} - 1) \quad (\text{HP}) \quad (1)$$

Untuk dapat menghitung power kompresor, parameter yang dibutuhkan adalah:

- a. Kapasitas volume aliran, q_1 , cfm
 - q_1 = kapasitas gas alir terbesar (natural BOG + forcing BOG)
 - = 190,73 m³/hari (pada saat oil set mode)
 - = 6735,6 ft³/hari
 - = 4,7 ft³/menit (cfm)
- b. Tekanan masuk gas (*inlet pressure*), p_1 , psia
 - p_1 = 14,5 psia (1 bar)
- c. Tekanan suplai gas (*discharge pressure*), p_2 , psia
 - p_2 = 4350 psia (300 bar)
- d. Jumlah tingkat (*stage*) kompresor, n
 - $n = 4$
- e. Rasio panas spesifik (Specific heat ratio), k
 - k methane = 1,3
 - k udara = 1,4

f. Rasio kompresi, r_p

$$r_p = p_2/p_1 = 300$$

Dari persamaan (1), power yang dibutuhkan kompresor sebesar :

$$P_{ad} = \frac{1}{229,2} \cdot 4 \cdot 14,5 \cdot 4,7 \cdot \frac{1,3}{(1,3 - 1)} (300^{\frac{1,3-1}{1,3-4}} - 1) \text{ (HP)}$$

$$= 2,01 \text{ HP}$$

$$= 1,5 \text{ KW}$$

Dengan memperhitungkan kerugian mekanik dalam mendapatkan power kompresor maka power yang dibutuhkan oleh motor :

$$P_m = 1,4 \times P_{ad}$$

$$= 1,4 \times 2,01 \text{ HP}$$

$$\approx 3,0 \text{ HP}$$

B. Analisa Pemilihan Kompresor

Kompresor yang banyak diproduksi oleh manufaktur adalah kompresor dengan karakteristik untuk media / fluida udara. Karena itu perlu dilakukan equivalensi performansi kompresor fluida udara untuk jenis fluida gas yang lain, dalam hal ini adalah methane.

Dalam menyeleksi permesinan yang sesuai untuk aplikasi kompresor, langkah pertama adalah mendefinisikan sistem – sistem yang dibutuhkan :

- Molecular weight dan rasio specific heat gas
- Rasio tekanan atau rasio kompresi
- Temperatur gas masuk (BOG)
- Debit aliran gas

Selanjutnya menentukan tipe kompresor optimum berdasar :

- Perhitungan adiabatic head (H) dari kurva adiabatic head.
- Penentuan putaran rotasional, n (rpm).
- Perhitungan putaran spesifik (specific speed) dari persamaan :

$$N = n \cdot Q^{1/2} / H^{3/4}$$
- Memilih tipe kompresor.

Langkah pertama :

- Molecular weight, M = 1,6
(Sifat – sifat beberapa gas terlihat pada tabel 6.3)
- Specific heat ratio, k = 1,3
- Rasio kompresi, r_p = 300
Jumlah tingkat / stage, n = 4
Rasio kompresi tiap tingkat sama, $r_{p,st}$ = $(p_2/p_1)^{1/n} = 300^{1/4} = 4,16$
- Temperatur gas masuk (BOG), $T_1(^{\circ}\text{F})$ = -220°F (-140°C)
- Flow rate / debit, q_1 = 4,7 cfm

Langkah kedua :

- a. Perhitungan adiabatic head (H)

Dari kurva adiabatic head (gambar 6.2.) didapatkan $\frac{HM}{T + 460} = 2530$

$$H = (2530 \cdot 240)/16$$

$$= 37950$$

- b. Putaran rotasional, n = 3600 rpm
- c. Perhitungan putaran spesifik

$$N = 3600 \cdot 4,7^{1/2} / 37950^{3/4}$$

$$= 2,87$$

d. Pemilihan tipe kompresor

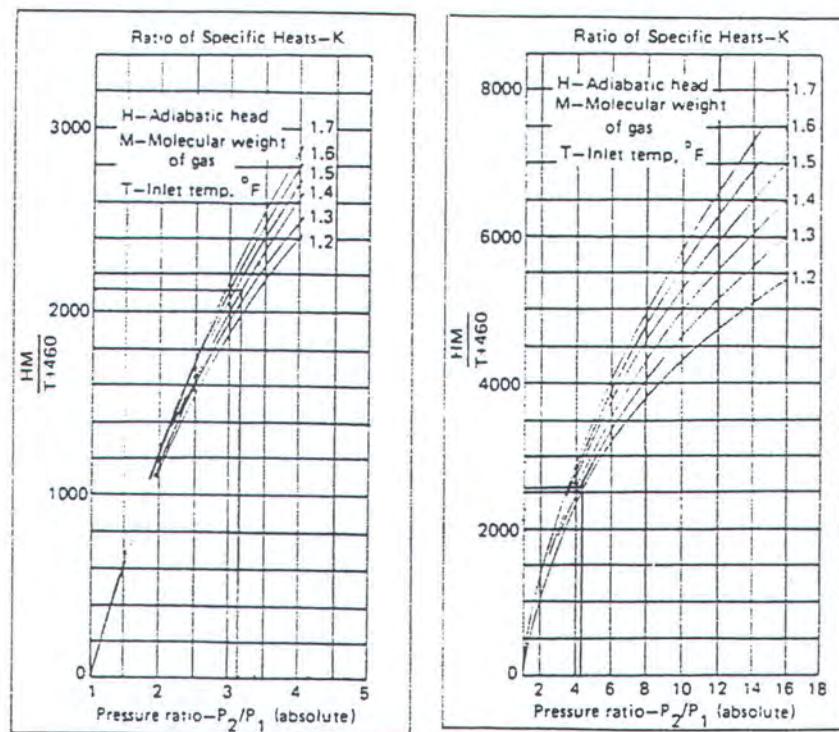
Pada gambar 6.3 dapat dipilih tipe kompresor berdasar putaran spesifik N. Dari angka putaran spesifik rendah sebesar 2,87, dipilih kompresor :

- ◆ Tipe : positive displacement compressor (Reciprocating compressor / kompresor torak)
- ◆ Rotational speed : 3600 rpm

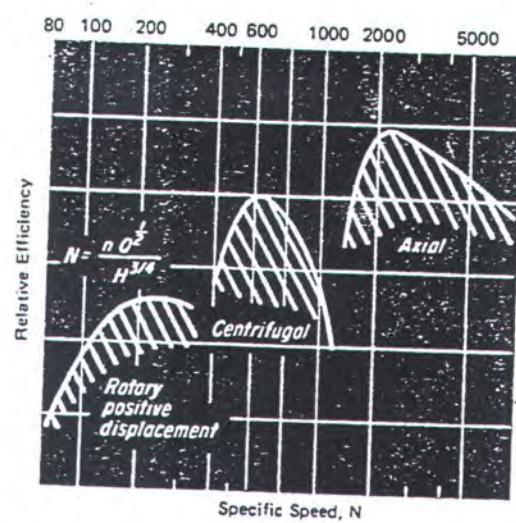
Tabel 6.3. Sifat – sifat beberapa gas pada kondisi standar (14,7 psia dan 60° F)

	Molecular weight	Ratio of specific heats ^a
Hydrogen	2	1.4
Helium	4	1.7
Methane	16	1.3
Ammonia	17	1.3
Steam	18	1.3
Nitrogen	28	1.4
Carbon monoxide	28	1.3
Air	29	1.4
Oxygen	32	1.4
Carbon dioxide	44	1.3
Freon 12	121	1.1

^aValues are for input temperatures in the normal ambient range.



Gambar 6.2. Kurva adiabatic head



Gambar 6.3. Grafik spesific speed ratio untuk tiga jenis kompresor

Langkah ketiga :

Equivalensi performansi kompresor fluida methane ke kompresor fluida udara kondisi standar (14,7 psia, 60° F) dengan flow rate dan adiabatic head yang sama.

Data – data yang dibutuhkan :

- a. Molecular weight, M : 29
- b. Temperatur gas masuk : 60° F (520° R)
- c. Inlet pressure, p₁ : 14,7 psia
- d. Rasio specific heat, k : 1,4
- e. Adiabatic head, H : 37950

$$- \quad (H \cdot M) / T = \frac{37950 \cdot 29}{520} = 2116,44$$

- Dari kurva adiabatic head didapatkan : pressure ratio (p_2/p_1) = 3,17 (ratio kompresi tiap tingkat)

Equivalensi kompresor yang digunakan untuk fluida udara kondisi standar mempunyai spesifikasi :

- ◆ Kapasitas alir / flow rate : 14,7 cfm
- ◆ Inlet temperature : 60° F (520° R)
- ◆ Inlet pressure : 14,7 psia
- ◆ Pressure ratio, r_p : $r_p = r_{p,st}^n$, n = jumlah tingkat
 $r_p = 3,17^4 = 100,98$
- ◆ Discharge temperature, T₂

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 \cdot r_p^{\frac{k-1}{k}} \\ &= 520 \cdot 100,98^{\frac{1,4-1}{1,4}} \\ &= 1943,76^\circ R = 1483,76^\circ F = 807^\circ C \end{aligned}$$

- ◆ Discharge pressure, p_2

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 \cdot r_p \\ &= 14,7 \cdot 100,98 \\ &= 1484,41 \text{ psia} \end{aligned}$$

Kompresor tersebut digunakan untuk mengalirkan fluida methane dengan spesifikasi :

- ◆ Flow rate : 4,7 cfm
- ◆ Inlet temperature : -220°F (240°R)
- ◆ Inlet pressure : 14,5 psia (1 bar)
- ◆ Discharge temperature, T_2

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 \cdot r_p^{\frac{k-1}{k}} \\ &= 240 \cdot 300^{\frac{1,3-1}{1,3}} \\ &= 895,07^\circ \text{R} = 435,07^\circ \text{F} = 224^\circ \text{C} \end{aligned}$$

- ◆ Discharge pressure, p_2 : 4350 psia (300 bar)

Dengan kata lain, kompresor yang digunakan adalah kompresor dengan desain untuk mengalirkan 4,7 cfm udara pada tekanan keluar 1484,41 psia dengan temperatur udara masuk 60°F , yang akan digunakan untuk mengkompres 4,7 cfm methane dari 14,5 psia ke 4350 psia pada temperatur gas masuk -220°F .

Penggunaan kompresor tekanan tinggi dan bekerja pada temperatur berkisar -160°C , masih membutuhkan penelitian yang lebih mendalam terhadap beberapa hal berkaitan dengan aplikasi di kapal / LNG Carrier antara lain :

- Kondisi lingkungan di kapal
- Keandalan dan masa kerja komponen – komponen

- Konstruksi dari bed / dudukan
- Getaran torsional pada poros
- Penyaringan boil-off gas dari kemungkinan kotoran
- Tekanan pulsa dari gas discharging
- Material
- Kontrol temperatur dan heat transfer.

6.3.2. Analisa Utilisasi BOG Pada Sistem Dual Fuel

Pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar HP dual fuel diesel – electric menimbulkan beberapa aspek teknis dan ekonomis yang sangat berpengaruh terhadap penerapannya di LNG Carrier sehingga akhirnya dapat diterima untuk digunakan sebagai sistem propulsi utama. Salah satu aspek teknis yang perlu mendapat perhatian adalah utilisasi dari pemanfaatan BOG dan perlengkapan tambahan yang harus disediakan terhadap pemakaian HP dual fuel diesel- electric.

Pada pemakaian HP dual fuel diesel – electric dengan sejumlah prime mover dan generator yang dipasang secara parallel, memberikan keuntungan dengan pemakaian atau pemanfaatan BOG secara bersama – sama seperti pada aplikasi boiler dengan sistem dual fuel di LNG Carrier, sehingga sisa BOG yang tidak terpakai dapat dikurangi. Pada kondisi tertentu (seperti : operasi engine tidak stabil / *failure gas operation*, manoeuver / di pelabuhan), engine hanya menggunakan mode “oil only” atau oil/gas ratio yang kecil, sementara terjadinya BOG dalam tangki tidak dapat dihindarkan. Penanganan BOG tak terpakai dapat melalui beberapa cara antara lain :

1. Menggunakan boil-off gas disposal yaitu pressure vessel dengan desain tekanan tertentu yang berfungsi mengumpulkan BOG selama engine tidak menggunakan atau mengurangi penggunaan BOG sebagai bahan bakar.
2. BOG dibuang ke udara melalui vent mast (dilarang di pelabuhan beberapa negara).
3. Peningkatan tekanan dalam tangki muat LNG sampai batas yang diijinkan, sehingga mengurangi suplai BOG untuk bahan bakar (bab III, 3.2.2.c).

Hal tersebut berbeda dengan aplikasi boiler dengan dual fuel system di LNG Carrier yang dapat menggunakan steam dumping system untuk utilisasi BOG, seperti terlihat pada tabel 6.4.

Kebutuhan BOG disposal ditentukan berdasarkan kebutuhan minimum untuk terjadinya BOG berlebih berdasarkan proses operasi bongkar muat, sistem kerja dan keandalan sistem dari HP dual fuel diesel engine dan sistem pemanfaatan BOG sehingga mampu memberikan spesifikasi yang mampu memanfaatkan BOG dengan optimal. Utilisasi BOG juga ditentukan kemampuan dan kondisi kapal sehingga dapat dilakukan kombinasi dari sistem utilisasi BOG antara : pemakaian bahan bakar pada prime mover, BOG disposal, vent riser, dan meningkatkan tekanan dalam tangki.

Konsekuensi lain dari tidak digunakannya sistem uap (*steam plant*) berupa auxiliary boiler yang memanfaatkan BOG pada sistem propulsi HP dual fuel diesel engine, adalah keperluan kapal terhadap sistem – sistem untuk heat transfer seperti, pemanas ruang, heating / heat exchanger, maupun untuk pembersihan tangki – tangki selain tangki LNG. Untuk keperluan tersebut dapat dipenuhi dari power listrik yang dihasilkan oleh diesel – electric untuk kebutuhan heating dan keperluan panas lain.



Metoda lain yang dapat digunakan adalah waste heat recovery dari gas buang 4 buah HP dual fuel diesel engine menempatkan boiler heat recovery yang menghasilkan uap untuk kebutuhan – kebutuhan di kapal. Aplikasi dari sistem – sistem pemanas elektrik maupun boiler waste heat recovery membutuhkan penelitian yang lebih mendalam terutama terhadap pengaruh performansi dari prime mover dan sistem elektrik yang dihasilkan oleh paralel generator, kebutuhan ruang, serta sistem keselamatan.

Tabel 6.4. Perbandingan utilisasi / pemanfaatan BOG

Kondisi	Steam Turbine Plant	HP Dual Fuel Diesel Electric Plant
BOG tersedia (<i>natural BOG</i>)	Main Boiler	4 HP DFD engine
Back up system	No2. Boiler	-
BOG lebih (<i>Excess BOG</i>)		
Langkah 1	Dump condenser (<i>steam BOG disposal dumping system</i>)	
Langkah 2	Buang ke udara lewat vent mast / vent riser	Buang ke udara lewat vent mast

6.4. Analisa Biaya Kebutuhan Bahan Bakar

Penerapan HP dual fuel diesel engine sebagai sistem propulsi utama di LNG Carrier dengan kemampuan memanfaatkan BOG dan fuel oil sebagai bahan bakar mempunyai keunggulan dengan adanya penghematan konsumsi bahan bakar mencapai 30% dibandingkan dengan steam turbine plant di LNG Carrier. Hal ini tentu saja berpengaruh terhadap biaya operasional engine yang harus dikeluarkan. Berdasar hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar untuk masing – masing tipe

pembakaran pada boiler dan tiap – tiap mode operasi pembakaran pada HP dual fuel diesel engine, di bawah ini terlihat perbandingan antara keduanya dan optimasi komposisi bahan bakar berdasar mode operasi pada HP DFD engine.

Karena harga LNG dan HFO berubah – ubah atau berfluktuasi terhadap harga gas bumi dan minyak bumi di pasar internasional, maka untuk perhitungan diambil perkiraan patokan harga di LNG Carrier yaitu (Basic design Dept., 1998):

- Harga HFO berkisar US\$ 85 / ton

$$\text{LCV} = 40 \text{ MJ/kg} = 9600 \text{ kcal/kg}$$

- Harga BOG berkisar US\$ 168 /ton

$$\text{LCV} = 50 \text{ MJ/kg} = 11950 \text{ kcal/kg}$$

Karena LCV forcing BOG sebesar 11740 kcal/kg, untuk perkiraan dapat ditentukan harga forcing BOG dibawah harga di atas, diambil harga US\$ 165 / ton untuk LCV = 11740 kcal /kg.

Pada diesel engine, sistem pelumasan cukup memberikan tambahan biaya operasional dibanding power plant lain seperti gas turbine dan steam turbine. Karena itu perkiraan harga konsumsi bahan bakar adalah termasuk harga dari minyak pelumas (*lubrication oil*) dimana harga minyak pelumas lebih besar dari harga fuel oil. Kebutuhan bahan bakar total untuk 4 HP dual fuel diesel engine dengan LCV FO = 9713 kcal/kg sebesar 107 T/hari, sedangkan kebutuhan minyak pelumas berkisar 0,5 – 1% dari kebutuhan bahan bakar total (Harrington, 1992, h.23). Sehingga LO consumption adalah berkisar 1 T/hari dengan harga US\$ 90/Ton.

Dari tabel 6.5 dan tabel 6.6 terlihat bahwa aplikasi HP dual fuel diesel-electric plant di LNG Carrier mampu menurunkan biaya konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan steam turbine plant. Karena kondisi jumlah BOG yang semakin

sedikit dengan semakin baiknya sistem penyimpanan di tangki mencapai BOR 0,1%, sehingga untuk mencukupi kebutuhan proporsi, masih dibutuhkan suplemen bahan bakar berupa fuel oil. Penggunaan diesel engine yang mampu menghemat bahan bakar memberikan alternatif yang baik sebagai sistem proporsi utama di LNG Carrier dibanding steam turbine plant.

Dari tabel di bawah dapat terlihat bahwa biaya terendah diperoleh apabila menggunakan bahan bakar HFO saja, namun hal itu hanya dilakukan pada kondisi – kondisi tertentu seperti operasi engine tidak stabil, manoeuvring. Sementara BOG yang terjadi di LNG Carrier akan lebih efektif bila dialirkan ke kamar mesin sebagai bahan bakar main engine.

Tabel 6.5. Biaya bahan bakar pada steam turbine plant

Burning Mode	Steam Turbine Plant			Harga USS /hari
	Bahan Bakar	M3 /hari	Ton / hari	
Dual Fuel Burning	Natural BOG ¹	136,40	58	9744
	Forcing BOG ²	63,93	29	4785
	HFO (bunker)	-	27,0	2295
			Total harga	16824
Oil Burning	Natural BOG	-	-	-
	Forcing BOG	-	-	-
	HFO (bunker)	-	134,57	11438
			Total harga	11438
Gas Burning	Natural BOG	136,4	58	9744
	Forcing BOG	112,4	51	8415
	HFO (bunker)	-	-	-
			Total harga	18159

¹ LCV = 11950 kcal/kg, density = 425 kg/m³

² LCV = 11740 kcal/kg, density = 454 kg/m³

Tabel 6.6. Biaya bahan bakar pada HP Dual Fuel Diesel - Electric Plant

Combustion Mode	HP Dual Fuel Diesel – Electric Plant			
	Bahan Bakar	M3 /hari	Ton / hari	Harga US\$ /hari
Oil Set Mode	Natural BOG ¹	136,40	58	9744
	Forcing BOG ²	54,33	25	4125
	HFO (bunker)	-	5,4	459
	LO	-	1	90
				Total harga 14419
Gas Set Mode	Natural BOG	136,4	58	9744
	Forcing BOG	-	-	-
	HFO (bunker)	-	35,55	3018
	LO	-	1	90
				Total harga 12852
Oil Only Mode	Natural BOG	-	-	-
	Forcing BOG	-	-	-
	HFO (bunker)	-	107,71	9155
	LO	-	1	90
				Total harga 9245

¹ LCV = 11950 kcal/kg, density = 425 kg/m³² LCV = 11740 kcal/kg, density = 454 kg/m³

Kondisi optimum pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar di HP dual fuel diesel engine dicapai bila menggunakan mode operasi “gas set mode” saat operasi beban penuh, yang menggunakan natural BOG dan HFO sebagai bahan bakar. Pemakaian mode operasi tersebut juga mampu menghemat biaya bahan bakar sekitar 30 % bila dibandingkan dengan biaya bahan bakar dengan mode operasi gas burning pada steam turbine plant. Dengan kondisi tersebut, maka penghematan dalam per tahun dan per 20 tahun akan cukup besar pada aplikasi HP dual fuel diesel – electric plant, walaupun terdapat kenaikan dan fluktuasi harga minyak bumi dan gas bumi.

BAB VII

APLIKASI RANCANGAN

BAB VII

APLIKASI RANCANGAN

Dalam steam turbine plant memiliki beberapa komponen penting yang menentukan konfigurasi dalam penataan kamar mesin di LNG Carrier S. T. Eka Putra yaitu :

1. Main Boiler dan No.2. Boiler
2. L.P Turbine dan H.P. Turbine
3. Condenser
4. Reduction Gear

Pada konfigurasi steam turbine plant terlihat pada gambar 7.1, 7.2, 7.3 untuk gambar pandangan atas lower floor, deck no.3 dan pandangan samping.

Untuk konfigurasi pada dual fuel diesel – electric mempunyai komponen – komponen utama yaitu :

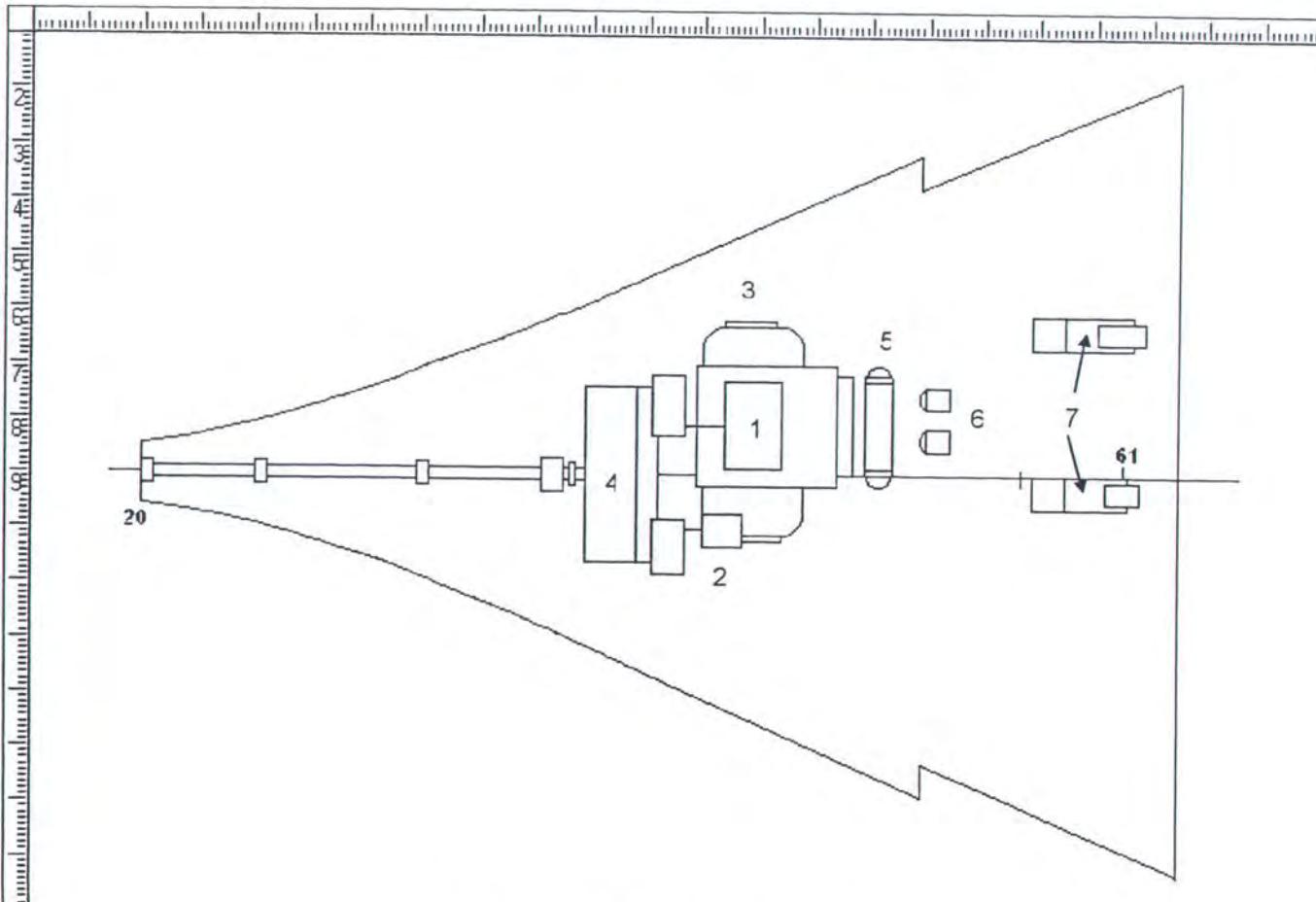
1. Prime mover / diesel engine
2. Generator
3. Motor propulsi
4. Dan reduction gear

Gambar konfigurasi dual fuel diesel electric terlihat pada gambar 7.4, 7.5, 7.6 untuk gambar pandangan atas lower floor, deck no.3, dan pandangan samping konfigurasi.

Ukuran / dimensi permesinan :

- a. Steam turbine plant
 - Ukuran steam turbine + reduction gear + condenser (p x l x t) : 13074 x 12193 x 6000 mm
 - Boiler (2 set) (p x l x t) : 4500 x 7000 x 7000 mm

changer, dan juga dapat diletakkan sistem – sistem untuk pendinginan komponen seperti reservoir de-ionisasi air pendingin untuk generator maupun motor, sistem pendingin air tawar, sistem pendingin udara.

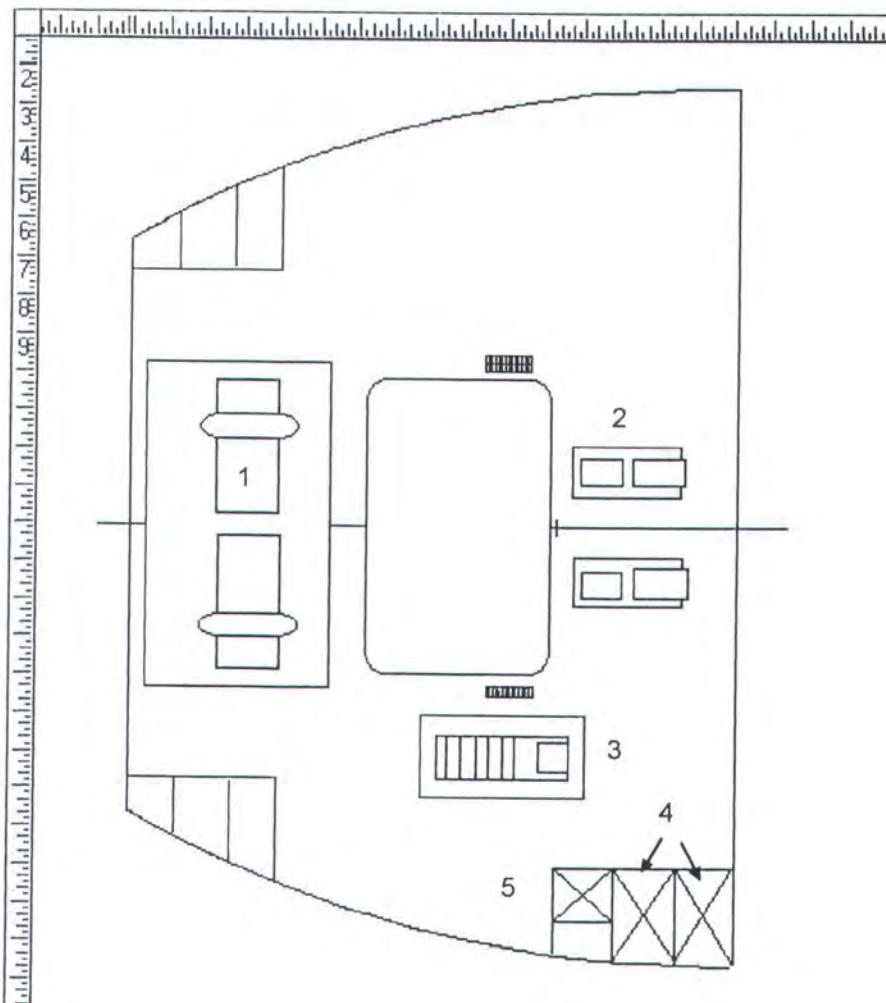


LOWER FLOOR PLAN VIEW

KONFIGURASI
STEAM TURBINE PLANT

1. L.P. Turbine
2. H.P. Turbine
3. Main Condenser
4. Reduction gear
5. L.O. Clrs (2 set)
6. Main Condenser pump (2 set)
7. Ballast Pump (2 set)

Gambar 7.1. Pandangan atas (*plan view*) Lower Floor konfigurasi steam turbine plant

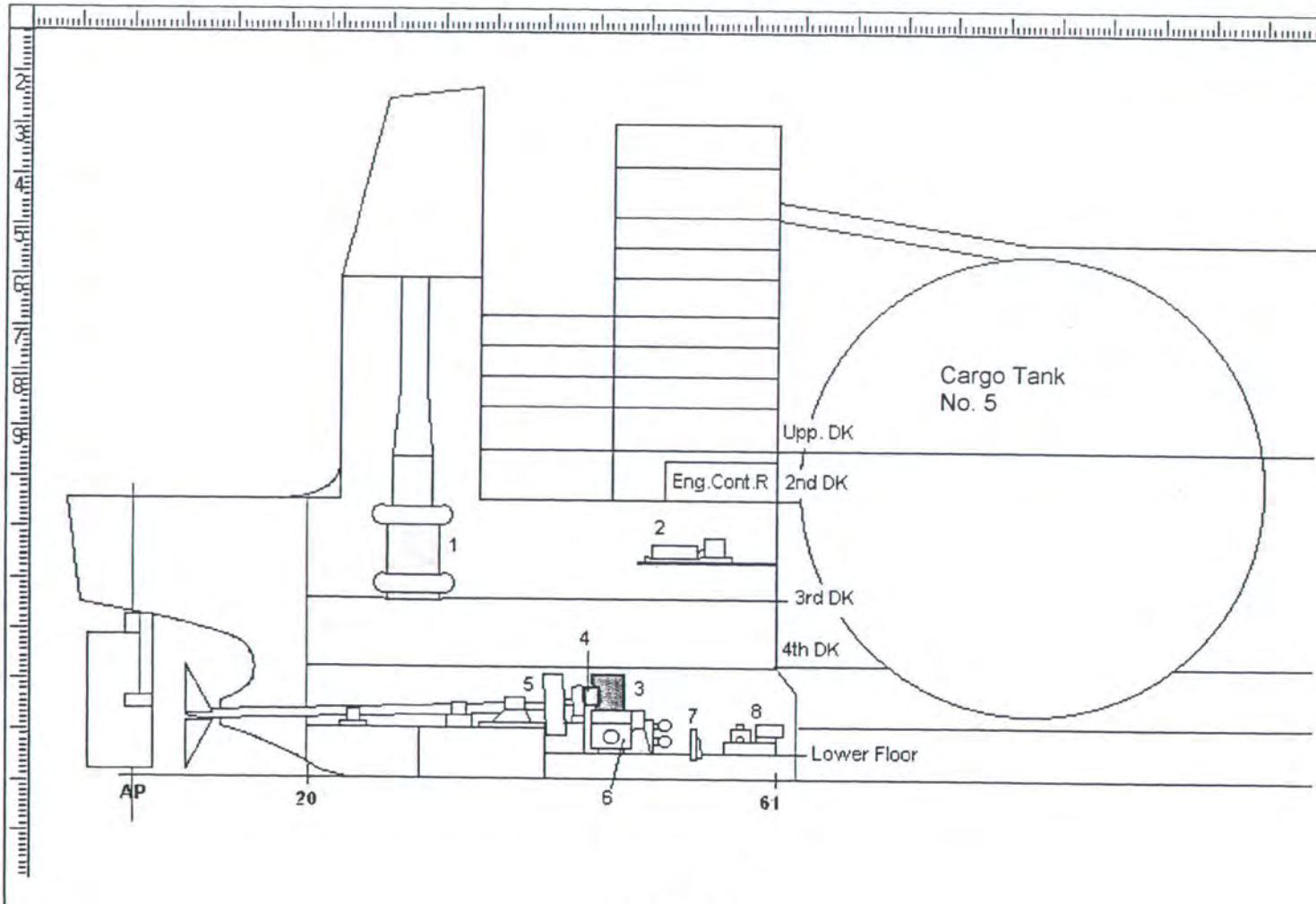


**KONFIGURASI
STEAM TURBINE
PLANT**

1. Boiler (2 set)
2. Turbo Generator (2 set)
3. Aux. Diesel Generator (1 set)
4. DO storage Tank (2 set)
5. DO service tank

3rd DECK PLAN VIEW

Gambar 7.2. Pandangan atas (*plan view*) deck no. 3 konfigurasi steam turbine plant



SIDE VIEW

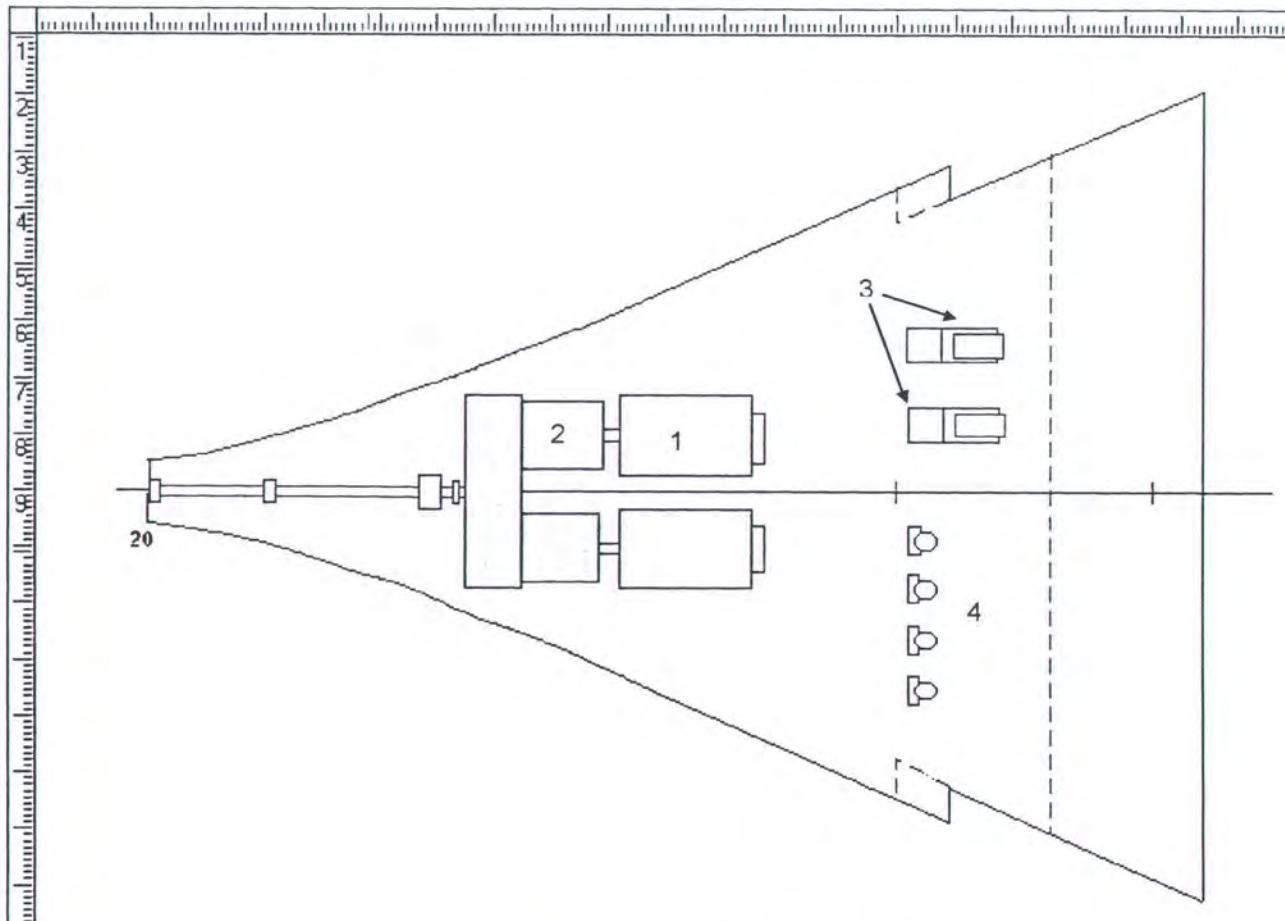
Gambar 7.3. Pandangan samping (*side view*) konfigurasi steam turbine plant

KONFIGURASI STEAM TURBINE PLANT

1. Boiler (2 Set)
2. Turbo Generator (2 set)
3. L.P. Turbine
4. H.P. Turbine
5. Reduction Gear
6. Main Condenser
7. Main Cond. Pump (2 set)
8. Ballast Pump

PRINCIPAL DIMENSION

Loa	: 290,00 m
Lpp	: 276,00 m
B	: 46,00 m
H	: 25,50 m
D	: 10,80 m

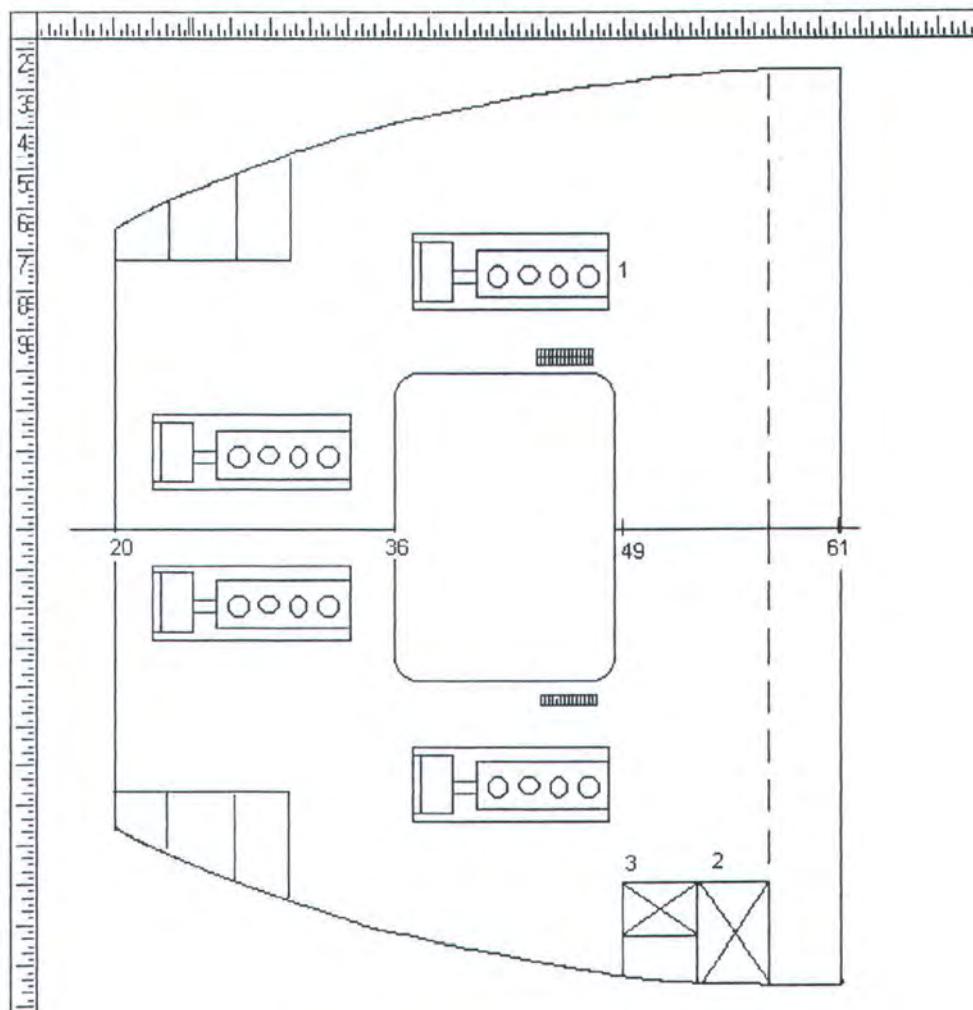


LOWER FLOOR PLAN VIEW

KONFIGURASI
DIESEL – ELECTRIC

1. Motor propulsi (2 set)
2. Reduction gear (2 set)
3. Pompa ballast (2 set)
4. Pompa pendingin air tawar motor (2 set tiap motor)

Gambar 7.4. Pandangan atas (*plan view*) lower floor konfigurasi diesel - electric



KONFIGURASI DIESEL-ELECTRIC

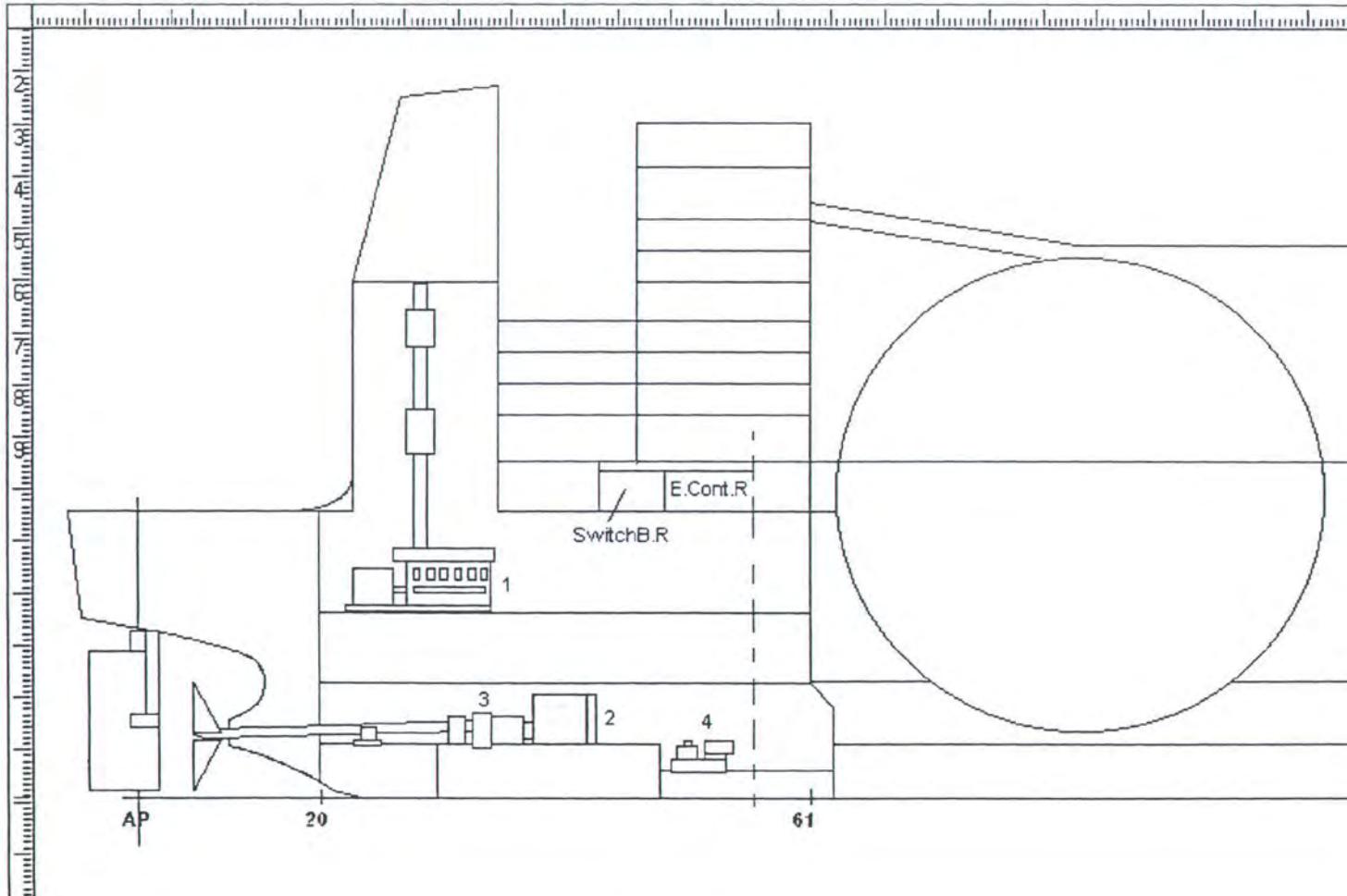
1. Diesel – electric
(4 set)
2. DO storage tank
(untuk Emer-
gency D/E)
3. DO service tank

3rd DECK PLAN VIEW

Gambar 7.5. Pandangan atas (*plan view*) 3rd deck konfigurasi diesel - electric

KONFIGURASI
DIESEL-ELECTRIC

1. Diesel-electric (4 set)
2. Motor propulsi (2 set)
3. Reduction gear
4. Ballast pump



SIDE VIEW

Gambar 7.6. Pandangan samping (*side view*) konfigurasi dual fuel diesel - electric

BAB VIII

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VIII

KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Sistem propulsi menggunakan High Pressure Dual Fuel Diesel – Electric dapat diterapkan pada LNG Carrier menggantikan steam turbine plant dengan beberapa karakteristik dan keuntungan yaitu :
 - a. Mampu menyediakan power besar sebanding dengan yang dihasilkan steam turbine.
 - b. Memberikan penghematan bahan bakar mencapai 30% dibandingkan pemakaian dengan steam turbine.
 - c. Memberikan fleksibilitas pengaturan peralatan sehingga penggunaan ruang kamar mesin lebih optimal dan membutuhkan ruang lebih sedikit dibandingkan dengan steam turbine plant.
2. Penerapan electric propulsion drive di LNG Carrier dengan multiple generator, mampu memberikan penggunaan power secara optimal sehingga memberikan efisiensi yang tinggi untuk beberapa keperluan, dimana dapat diatur jumlah generator dan power yang digunakan, serta memberikan kontrol otomatisasi yang menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi untuk kerja sistem.
3. Sistem pemanfaatan BOG / methane sebagai bahan bakar HP dual fuel diesel engine pada sistem propulsi di LNG Carrier, membutuhkan modifikasi sistem dan peralatan dari sistem pada steam turbine plant, diantaranya :

- a. Penggunaan BOG injection compressor untuk menyuplai gas dengan tekanan tinggi.
 - b. Dapat digunakannya sistem kontrol bahan bakar menerapkan suatu prosesor mikro dan governor otomatis untuk mengatur mode operasi pembakaran.
 - c. Modifikasi instalasi perpipaan BOG di kamar mesin dengan sistem double wall piping maupun ventilated duct / pipe.
 - d. Tidak diperlukannya vapor heater dan L/D compressor karena kondisi BOG untuk masuk ke dalam silinder diesel engine sudah memenuhi persyaratan untuk HP dual fuel diesel engine yaitu :
 - Temperatur keluar BOG dari BOG Injection compressor mencapai sekitar 224° C (gas) di bawah temperatur flash point BOG / methane
 - Tekanan suplai mencapai 300 bar.
 - e. Memerlukan boil-off gas disposal untuk penanganan BOG lebih (*excess BOG*) dan sistem penghasil uap (*steam plant*) bila diperlukan
4. Sistem keselamatan dalam pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar HP dual fuel diesel engine sangat penting untuk menjamin keselamatan kapal, dengan titik berat perhatian pada sistem pemanfaatan gas di engine, di instalasi perpipaan dan di ruang – ruang yang berhubungan dengan pemanfaatan gas.

8.1. Saran

1. Masih diperlukan penelitian dan analisa lebih mendalam dalam penerapan HP dual fuel diesel – electric dengan pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar, diantaranya :
 - Keandalan sistem pemanfaatan gas di engine
 - Unjuk kerja BOG injection compressor

- Analisa fluida gas di instalasi perpipaan
 - Sistem kontrol otomatis pengaturan pembakaran dengan pemanfaatan gas dan fuel oil sebagai bahan bakar untuk mendapatkan pembakaran yang baik dan stabil
 - Metode pemeliharaan dan perbaikan pada sistem dengan HP dual fuel diesel – electric.
 - Metode pengelasan untuk konstruksi permesinan pada kompressor bagian hisap (*suction*) pada temperatur rendah dan instalasi perpipaan untuk fluida gas tekanan tinggi.
2. Dalam penelitian mengenai sistem – sistem di LNG Carrier sebaiknya perlu meninjau objek kapal secara langsung karena banyak faktor – faktor dan kondisi yang mempengaruhi kerja suatu sistem, dimana LNG Carrier merupakan kapal dengan tingkat otomatisasi sistem dan sistem keselamatan yang tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Buku :

- Abda'oe, F. dan Baharuddin, H. LNG Indonesia. Pertamina, Jakarta, 1996.
- Arismunandar, W dan Tsuda, Koichi. Motor Diesel Putaran Tinggi. Pradnya Paramita, Jakarta, 1993.
- ASTM Standards. Volume 01.01 – A 312/A 312M – 93. 1993.
- Basic Design Department and Ship and Ocean Division, Gas Injection Diesel Engine Brochure, Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd., 1998.
- Burghardt, M. David and Kingsley, George D. Marine Diesels. Prentice-Hall, Inc., 1983.
- Clark, George H. Industrial and Marine Fuels Reference Book, Butterworths, 1988.
- Croft, Terrel & Summers, Wilfred I. American Electrican's Handbook. 12th Edition, Mc Graw-Hill, Inc., 1992.
- Daugherty, Robert L. Fluid Mechanics with Engineering Applications. Mc Graw-Hill Book Company, Inc., 1985.
- Halim, Budhi. Ceramah Umum Mengenai Transportasi LNG. 1997.
- Harrington, Roy L. Marine Engineering. Jersey City, 1992.
- IGC Code. 2nd Edition, International Maritime Organization, 1993.
- Joseph AS and Allen EE. Handbook of Fluid Dynamic and Fluid Machinery. Volume I, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- Kates, Edgar J. and Luck, William E. Diesel and High Compression Gas Engines. 3rd Edition, American Technical Society, Chicago, 1975.
- King, Reno C. Piping Handbook. 5th Edition, Mc Graw – Hill Company, 1973.
- Labberton, J.M. Marine Engineers's Handbook. Mc Graw – Hill Handbook, 1945.
- Laporan Pertamina, 1998.
- Laughton, M.A. and Say, M.G. Electrical Engineer's Reference Book. 14th Edition, Butterworths, 1985.

LNG 136,400 m³ Manual, 1990.

Maleev, V.L. Internal Combustion Engine. 2nd Edition, Mc Graw – Hill International Book Company, 1982.

Mc Intyre, Robert L. and Losee, Rex. Industrial Motor Control Fundamentals. 4th Edition, Mc Graw – Hill Book Company, 1991.

Peraturan Instalasi Listrik. Volume IV, Biro Klasifikasi Indonesia, 1978.

Rollins, John P. Compressed Air & Gas Handbook. 4th Edition, Compressed Air & Gas Institute, New York, 1973.

Rules for Electrical Installations. Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta, 1985.

Rules for Ships for Liquefied Gases. Lloyd's Register of Shipping, 1986.

Ruseffendi, E.T. Dasar – dasar Penelitian Pendidikan dan Bidang Non – Eksakta Lainnya, IKIP Semarang, 1994.

S.T. Eka Putra LNGC Manual, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 1990.

SIEMENS AG and Heyden & SON LIMITED, Electrical Engineering Handbook, 1981.

Smeaton, Robert W. Motor Application and Maintenance Handbook. 2nd Edition, Mc Graw-Hill Book Company.

Stallcup, James G. Motors and Transformer, American Technical Publishers, Inc., 1987.

Stinson, Karl W. Diesel Engineering Handbook. Diesel Publications, Inc., 1959.

Widarso, Y. Analisa Pemanfaatan Boil – Off Gas LNG Sebagai Bahan Bakar Pada Tenaga Penggerak Kapal Pengangkut LNG. Tugas Akhir Jurusan Teknik Permesinan Kapal FTK – ITS. 1991.

Wooler, R.G. Marine Transportation of LNG and Related Products, Cornell Maritime Press, Inc., 1975.

Yeaple, Frank. Fluid Power Design Handbook. 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, 1990.

Jurnal :

Courtay, Roger. La propulsion Diesel – Electrique Appliquee Aux Navires Methaniers – Review Technique GEC ALSTHOM No. 16. Chantiers De L'Atlantique. France. 1995.

Jolliff, James V. and Greene, David L. Advanced Integrated Electric Propulsion A Reality of The Eighties. Naval Engineers Journal. 1982.

Machinery Department. Dual – Fuel Diesel Engine with High Pressure Gas Fuel Injection System. Nippon Kaiji Kyokai, 1995.

Marine Engineers Review. LNG Carrier Propulsion – Options for The Future. The Institute of Marine Engineers, November 1997.

Marine Engineers Review. Will Diesel – Electric Propulsion Take The Steam Out of LNGCs ?, The Institute of Marine Engineers, April 1997.

Miyake, Mikihiko. and Biwa, Tadashi. Dual – fuel Diesel Engine with High – Pressure Fuel – Gas – Injection Systems. Nippon Kaiji Kyokai, 1986.

Permana, Adhi Dharma. Penerapan Teknologi Dual Fuel Pada Motor Diesel. BPPT, 1994.

LAMPIRAN

**PERTAMINA LIQUIFIED GAS / JOINT TRANSPORTATION GROUP
SHIPS DATA**

NO.	ITEM	VESSEL NAME				MCGC - PROJECT
		HOEGH GANDRIA	GOLAR SPIRIT	EKAPUTRA	DWIPUTRA	
1.	Build	KHI (1977)	KHI (1981)	MIII (1990)	MIII (1993)	KHI (1995)
	* General Arrangement					
2.	Principal Dimensions:					
	L.O.A	287.55 M	289.00 M	290.00 M	272.00 M	ABT. 151.00 M
	L.p.p	274.00 M	275.00 M	276.00 M	259.00 M	140.00 M
	Breadth (B.mld.)	43.40 M	44.60 M	46.00 M	47.20 M	28.00 M
	Depth (D.mld.)	25.00 M	25.00 M	25.50 M	26.50 M	16.00 M
	Draft (design draft mld.)	11.522 M	12.524 M	10.800 M	10.85 M	7.30 M
	(summer draft mld.)				11.83 M	
3.	D.W.T.	71,620.00 tons	80,239.00 tons	66,500 tons	61,700 tons	10,600 tons
	G.R.T.	95,683.38 tons	93,815.14 tons	110,000 tons	106,000 tons	Abt. 20,000.00 tons
	Nett	65,681.95 tons	70,102.87 tons	-	-	68,028.00 tons
4.	Cargo Cap. (-163°C)	125,862 m³	128,997 m³	136,400 m³	125,000 m³ (98.5 %)	19,100 m³
	Number of Tank	5	5	5	4	3
	Tank system	Moos Rosenberg Spher. Tank	Moos Rosenberg Spher. Tank	Moos type spher. Tank	Moos type spher. Tank	Moos Rosenberg Spher. Tank
5.	Speed	19.50 knots	20.60 knots	18.50 knots	19.3 knots	19.5 kknots / ballast
	* Registration					
6.	Flag / Class	Norwegian / DNV	Monrovia – Liberia / DNV	Liberian / LR	Bahamas / NK	Bahamas / NK
	* Machinery					
7.	N C O	38,790 SHP	42,000 Shp x 103 rpm	26,700 ps (SHP) x 80 rpm	32,000 ps (SHIP) x 85 rpm	12,000 ps x 121 rpm(8,826 kw)
8.	F.O. Consumption	191 MT / day - Service	192 MT / day	142 T/day at MCO	157 T/day 130 T	320 gr/kw/hr (236 gr/PS/hr)
9.	Capacity of F.O. Tank	6,334 MT	8,472.7 m³(7,838 MT/sg.0.94)	5,679 MT	3,800 m³	
	* Cargo System					
10.	Cargo Pump	11,000 m³ / hrs				
	Number / type	5 x 11,000 m³ / hrs	10 x 1,100 m³/hr x 140 mTH	10 x 1,300 m³/hr x 147 mTH	8 x 1,400 m³/hr x 135 mTH	6 x 850 m³/hr – 130 mTH
11.	H/D Compressor number / type	-	2 x 27,000 m³/hr x 2.03 kg/cm²	2 x 20,000 m³/hr x 2 kg/cm²	2 x 20,000 m³/hr x 2 kg/cm²	-

INDONESIA - TAIWAN

<i>EXPORTER</i> <i>Plant</i>	<i>IMPORTER</i> <i>Terminal</i>	<i>Vessels</i> <i>Employed 1996/97</i>
PERTAMINA LNG	CHINESE PETROLEUM CORPORATION (CPC)	Dwi Putra Eka Putra ✓ LNG Bonny
Bontang	Yung-An	

PRELIMINARY SPEED & POWER CURVES (LOADED & BALLAST)

L_{pp} x B_{mld} x D_{mld} - d_{mld}(des) : 276.0m x 46.0m x 25.5m - 10.8m

M/E : STEAM TURBINE

M.C.O. (S.H.P.) = C.S.O. (S.H.P.) : 26,700 PS x 80 RPM

M.C.O. (= C.S.O.) 26,700 PS

25,000

24,000

23,000

S.H.P.(PS)

20,000

19,000

18,000

15,000

$D = 10.8m$ (FULL LOAD)
 $D = 9.5m$ (BALLAST)

18.5 knots

C.S.O. with 15% S.M.
(23,220 PS)

15

16

17

18

19

20

V_s (knot)

Physical Constant of LNG, LPG etc.

			Methane	Ethane	Propane	ISO-butane	Butane	Carbon Dioxide	Hydrogen Sulfide (Sulfurated III)	Nitrogen
Molecular Formula	C ₂ H ₆	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₂ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	CO ₂	H ₂ S	N ₂		
Molecular Weight	16.04	30.07	44.09	58.12	58.12	44.01	34.08	28.02		
Molecular Volume	22.36	22.16	21.82	21.77	21.49	22.26	22.14			
Melting P't (1 atm) °C	-182.5	-183.3	-187.7	-159.6	-138.4	-56.6	-85.5	-209.8		
Boiling P't (1 atm) °C	-161.5	-88.6	-42.2	-10.0	-0.6	-78.5	-60.3	-195.8		
Specific Weight (Liq. Boil. P)	0.425	0.549	0.583	0.595	0.605	0.816	0.790	0.808		
Ditto (Gas Boiling P't)	0.555	1.049	1.522	2.007	2.010	1.529	1.176	0.967		
Critical Temp. °C	-82.5	32.3	96.8	135.0	152.0	31.1	100.4	-147.1		
Critical Press. kg/cm ²	47.4	50.45	44.5	38.3	37.2	73.5	91.8	34.7		
Density at Critic. Pt kg/m ³	162	203	220	221	228	460	286			
Boiling Latent Heat kcal/kg	121.9	116.9	101.8	87.56	92.09	137.8	131.1	47.7		
Melting Latent Heat kcal/kg	14.0	22.2	19.1	-	18.0	45.3	-			
Explosion High (%)	5.3	3.12	2.37	1.6	1.86	-	4.30	-		
Limit (Air Mix.) Low (%)	13.9	15.0	9.50	8.5	8.41	-	45.50	-		
Total Gas kcal/NM ³	9,520	16,820	24,320	31,530	32,010	-	-	-		
Calorific Value Liq. kcal/kg	13,270	12,400	12,030	11,810	11,840	-	-	-		
Lower calorific Value	Gas kcal/NM ³	8,550	15,370	22,350	29,050	29,510	-	-		
		11,950	11,350	11,080	10,900	10,930	-	-		
Specific Cp kcal/kg°C	0.534	0.422	0.404	0.404	0.407	-	-	-		
Heat (Gas) Cv kcal/kg°C	0.401	0.356	0.359	0.370	0.373	-	-	-		
Cp/Cv = λ	1.308	1.193	1.133	1.097	1.094	1.164	1.32			
Specific Heat (Liq.) kcal/kg°C	-	1.2006	0.6023	0.5824	0.5748	-	-			
Vapor Pres. kg/cm ² (20°C)	293.0	37.0	8.0	2.95	2.0	-	39.1			
Theoretic Burn. Air Ratio	9.55	16.70	23.86	31.03	31.03	-	-			
Flash Point °C	(632)	(472)	(481)	(544)	(441)	-	-			
Gas Density kg/m ³ , 0°C 1 atm	0.7173	1.3550	2.0082	-	2.6960	-	-			
Gas Specific Volume Nm ³ /kg	1.394	0.7369	0.4948	0.3745	0.3697	0.5059	-	0.7994		
Vaporize Volume Nm ³ /kg	418.4	281.0	258.7	218.7	223.7	-	-			
Volume Gas/	228	264	240	-	222	-	-	175		
Liq.	619	431	311	-	242	-	-	694		
20°C										

Composition of natural gases from different gasfields

Gasfield	Composition (%vol.) (v/v)									Calorific value <i>Btu/ft³</i> <i>(Btu/lb gross)</i>
	CH ₄ Methane	C ₂ H ₆ Ethane	C ₃ H ₈ Propane	C ₄ H ₁₀ Butane	C ₅₊ Carbon	N ₂	CO ₂	O ₂	H ₂ S	
France, Lacq: Crude	69.2	3.3	1.0	0.6	0.5	0.6	9.6	—	15.2	—
Purified	97	—	2	—	—	—	—	—	36.2	972 (21114)
Canada, Alberta	≈ 90	—	8	—	—	—	0.5	0.2	1.0	—
Venezuela	88.5	—	2.9	—	—	4.6	3.8	0.2	0.3	39.1 (22805) 1049
Italy, Po Valley	≈ 98	—	—	—	—	≈ 1.0	—	—	—	38.0 (22164) 1020
USA	70-95	3-18	—	5.0	—	—	1-14	0.1-7	—	— ≈ 39.1 (22805) 1049
UK North Sea (average)	90.5	3.9	0.9	0.3	0.2	3.9	0.3	—	—	37.4 (22805) 1004
Iran	73.0	21.5	—	—	—	—	—	—	5.5	— 1068
USSR	89-98	—	2.5	—	1.0	—	—	7.5	—	1.0 (23214) 39.8 875
Holland, Gröningen	81.3	2.9	0.4	0.2	—	14.3	0.9	—	—	32.6 (23214) 1049)
Algeria	83.8	7.1	2.1	0.9	0.4	5.5	0.2	—	—	39.1 (22805) —
Libya	64.5	21.0	8.4	4.2	1.9	—	—	—	—	— 988
Australia, Bass Straits	93.0	2.0	1.0	—	—	3.0	1.0	—	—	36.8 (21463)

Table 2.5 Physical properties of gases

Gas	Atmospheric boiling point (°C)	Critical temp (°C)	Critical pressure (bars, absolute)	Condensing ratio $\frac{\text{dm}^3 \text{ liquid}}{\text{1m}^3 \text{ gas}}$	Liquid relative density at Atm. Boiling Pt. (Water = 1)	Vapour relative density (Air = 1)
Methane	- 161.5	- 82.5	44.7	0.804	0.427	0.554
Ethane	- 88.6	32.1	48.9	2.453	0.540	1.048
Propane	- 42.3	96.8	42.6	3.380	0.583	1.55
n-Butane	- 0.5	153	38.1	4.32	0.600	2.09
i-Butane	- 11.7	133.7	38.2	4.36	0.596	2.07
Ethylene	- 103.9	9.9	50.5	2.20	0.570	0.975
Propylene	- 47.7	92.1	45.6	3.08	0.613	1.48
α -Butylene	- 6.1	146.4	38.9	4.01	0.624	1.94
γ -Butylene	- 6.9	144.7	38.7	4.00	0.627	1.94
Butadiene	- 5.0	161.8	43.2	3.81	0.653	1.88
Isoprene	34	211.0	38.5		0.67	2.3
VCM	- 13.8	158.4	52.9	2.87	0.965	2.15
Ethylene oxide	10.73	195.7	74.4	2.13	0.896	1.52
Propylene oxide	34.2	209.1	47.7		0.830	2.00
Ammonia	- 33.4	132.4	113.0	1.12	0.683	0.597
Chlorine	- 34	144	77.1	2.03	1.56	2.49

(6K)

CUSTODY TRANSFER MEASUREMENT DATA LOG

DATE: 12-04-1998
 TIME: 18:04
 SHIP: EKAPUTRA
 VOYAGE NO.: (JTG)213 (JMG)9804 BY04 CP04 EP04
 CARGO NO.: 004 BY24
 PORT: YUNG AN
 CARGO OFFICER: N. YAGI
 LIST (DEG): 0.0
 TRIM (METRES): 0.00
 CARGO COMP. CODE: 1
 COMPOSITION mol (%):

	C1 90.64	C2 5.920	C3 2.570	IC4 0.440	NC4 0.400	C5 0.010	N2 0.020
--	-------------	-------------	-------------	--------------	--------------	-------------	-------------

	TANK 1 MAIN	TANK 2 MAIN	TANK 3 MAIN	TANK 4 MAIN	TANK 5 MAIN
LEVEL (METRES)	33.252	35.930	35.677	35.497	33.342
	33.252	35.930	35.676	35.497	33.343
	33.252	35.930	35.676	35.497	33.343
	33.252	35.930	35.676	35.497	33.343
	33.252	35.930	35.677	35.497	33.344
AVERAGE LEVEL	33.252	35.930	35.676	35.497	33.343

TEMP (DEG C)					
VAPOR T1	-130.62	-142.44	-125.32	-123.92	-138.16
TOP T2	-158.46	-158.39	-158.41	-158.47	-158.24
MIDDLE T3	-158.77	-158.49	-158.48	-158.50	-158.31
BOTTOM T4	-158.46	-158.56	-158.45	-158.40	-158.64
VAPOR PRESSURE (KG/CM ²)	1.215	1.214	1.215	1.208	1.216

DATE: 12-04-1998
 TIME: 18:05

BUYER'S REPRESENTATIVE

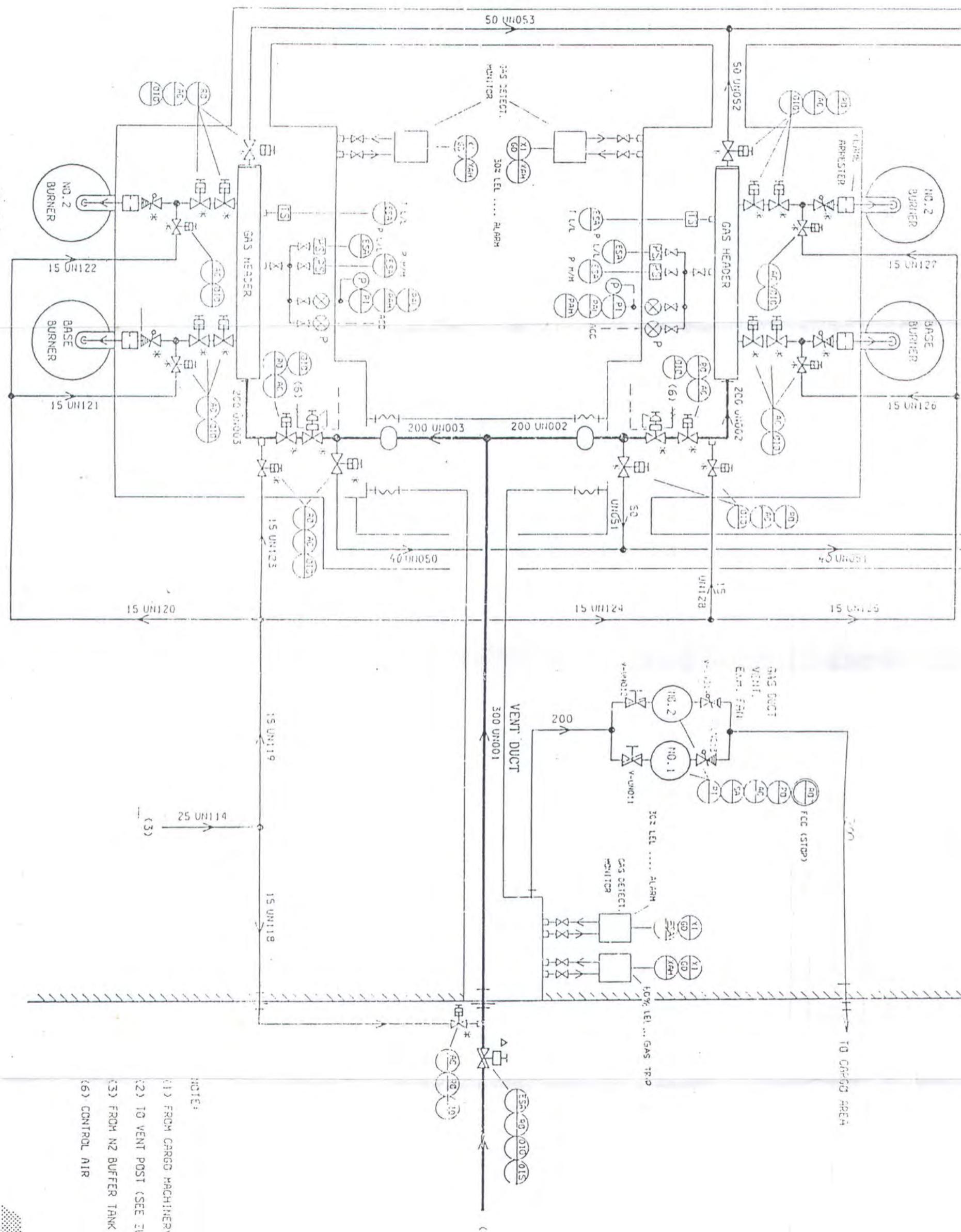
Tsai Heng-chung

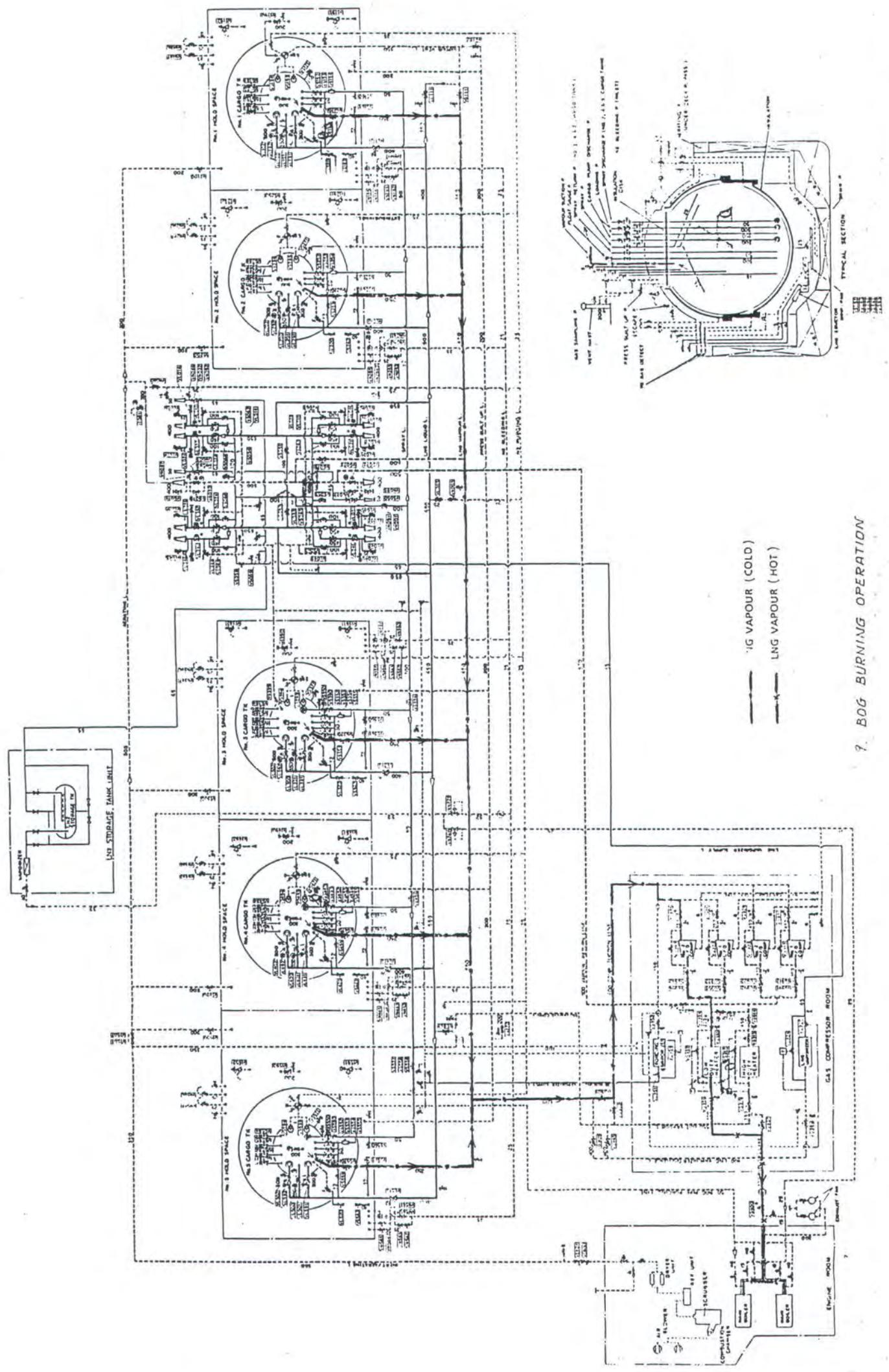
SELLER'S REPRESENTATIVE

Y. FURUTA

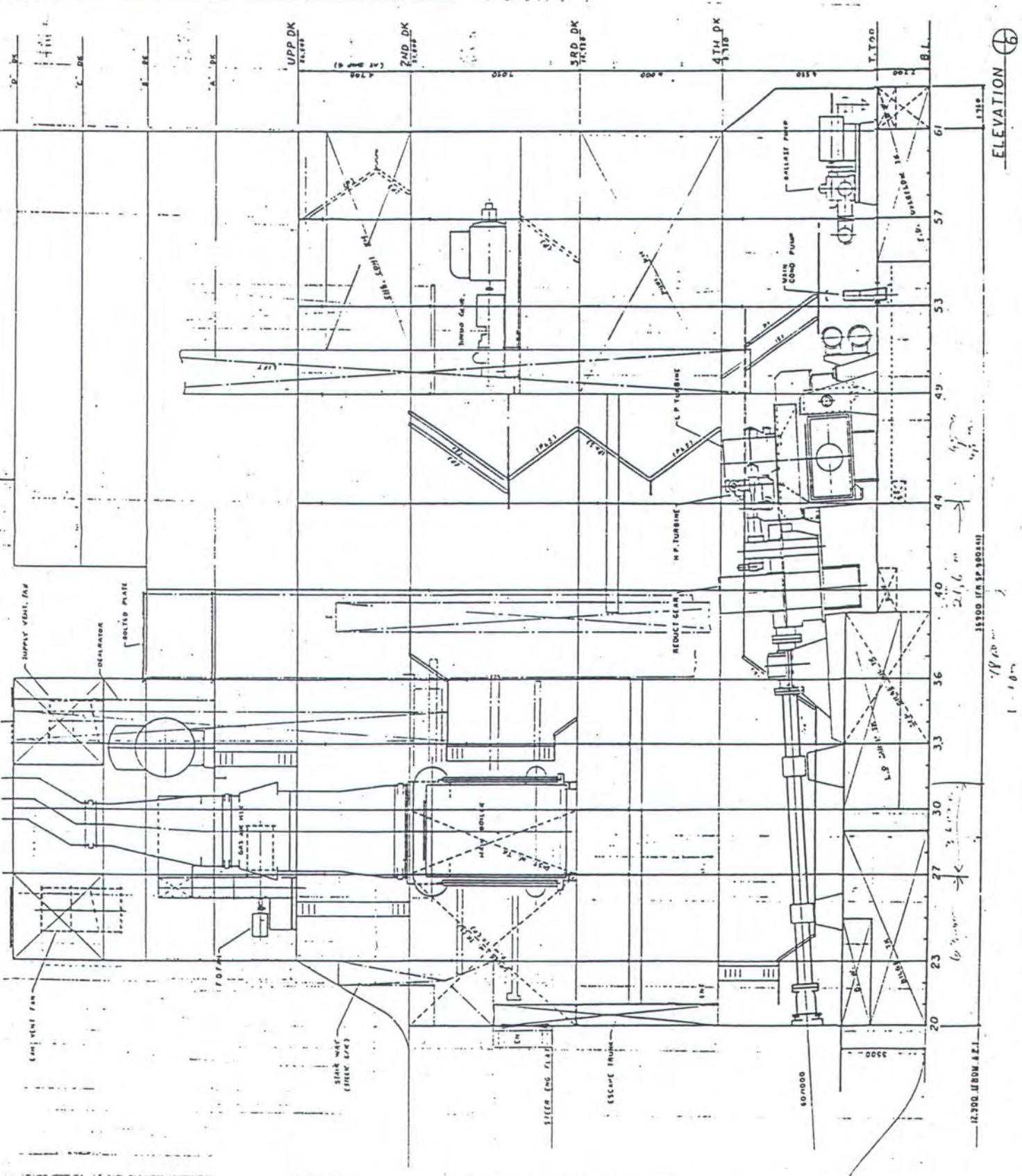
MASTER

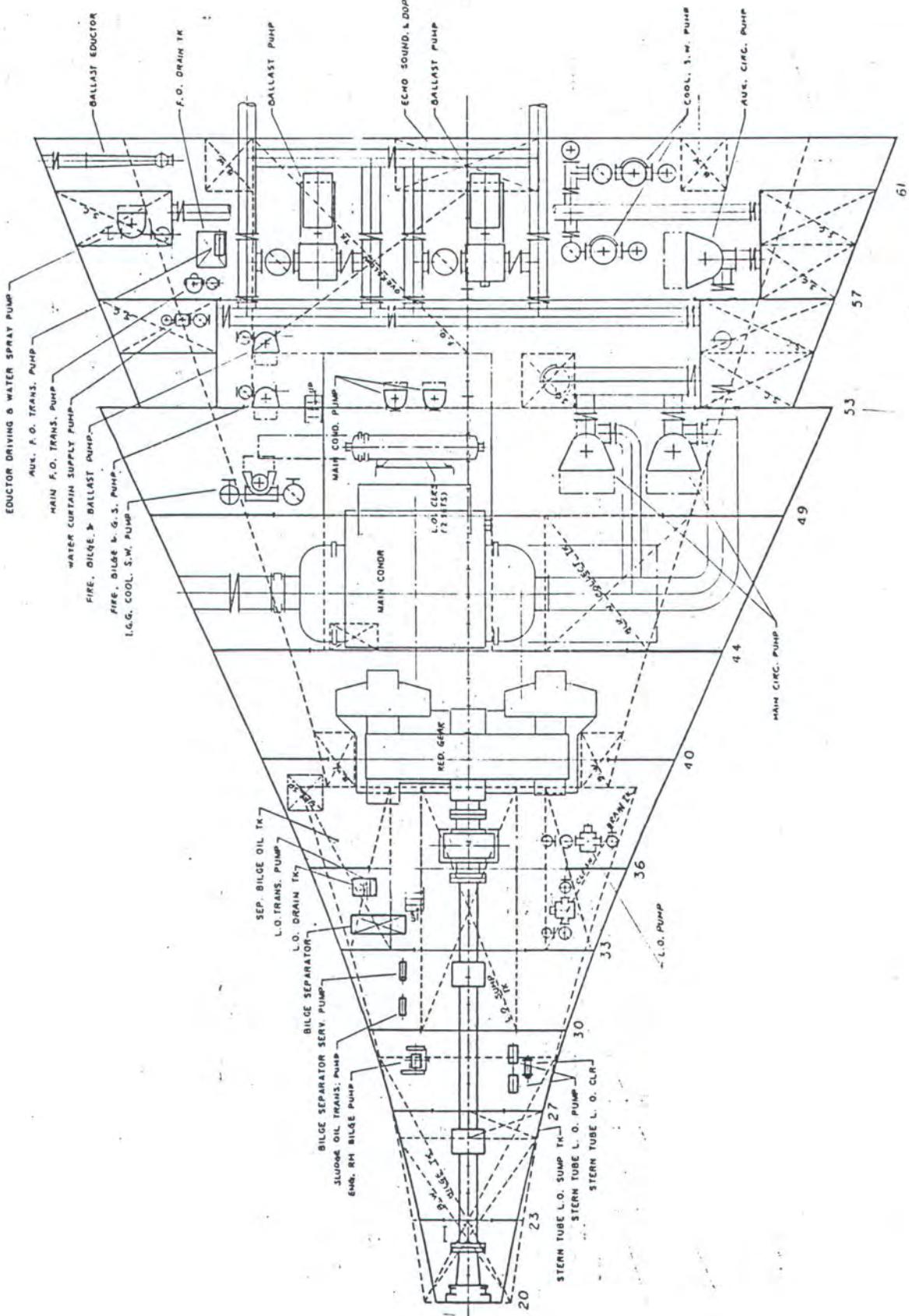
INDEPENDENT SURVEYOR

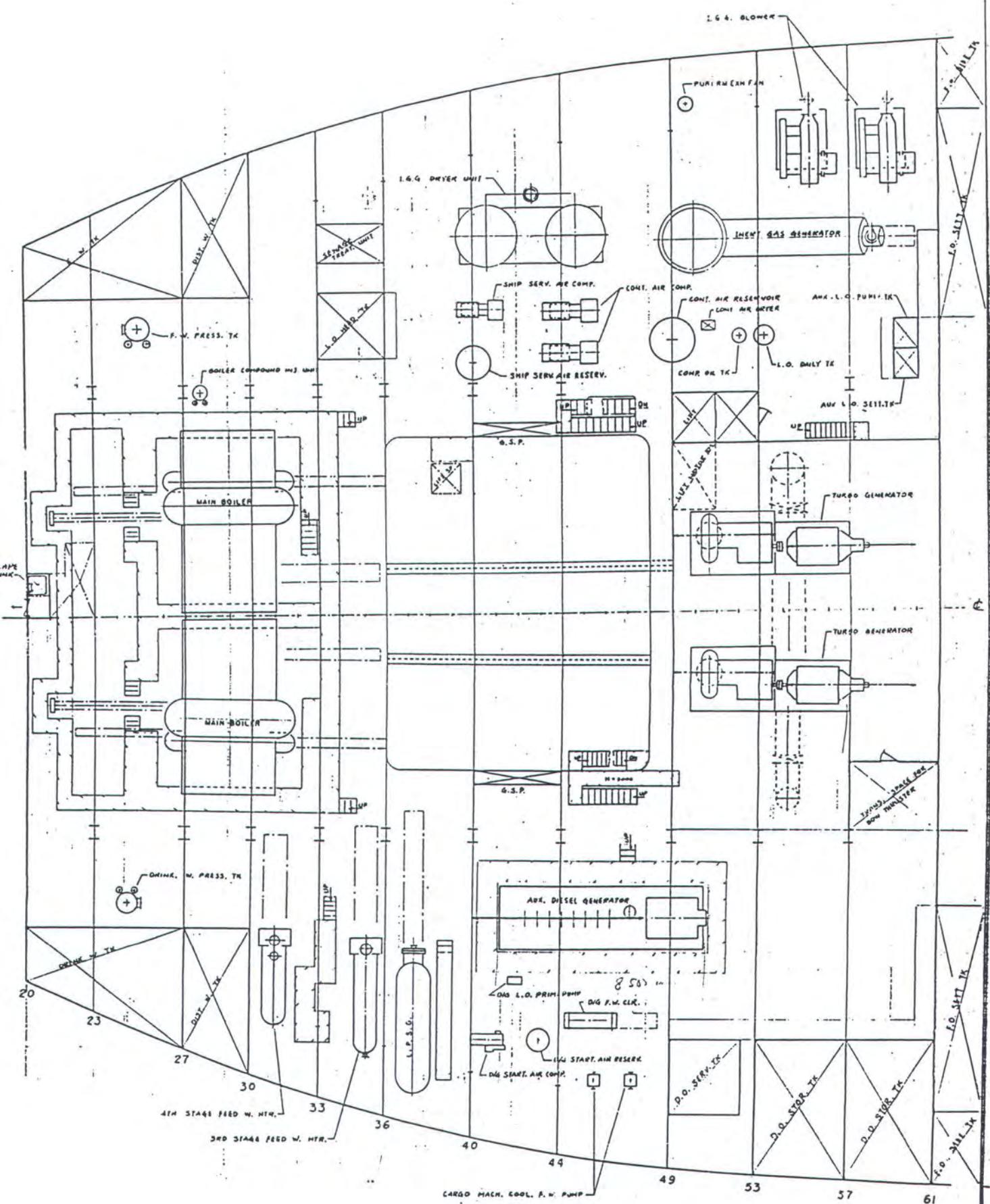




7. BOG BURNING OPERATION

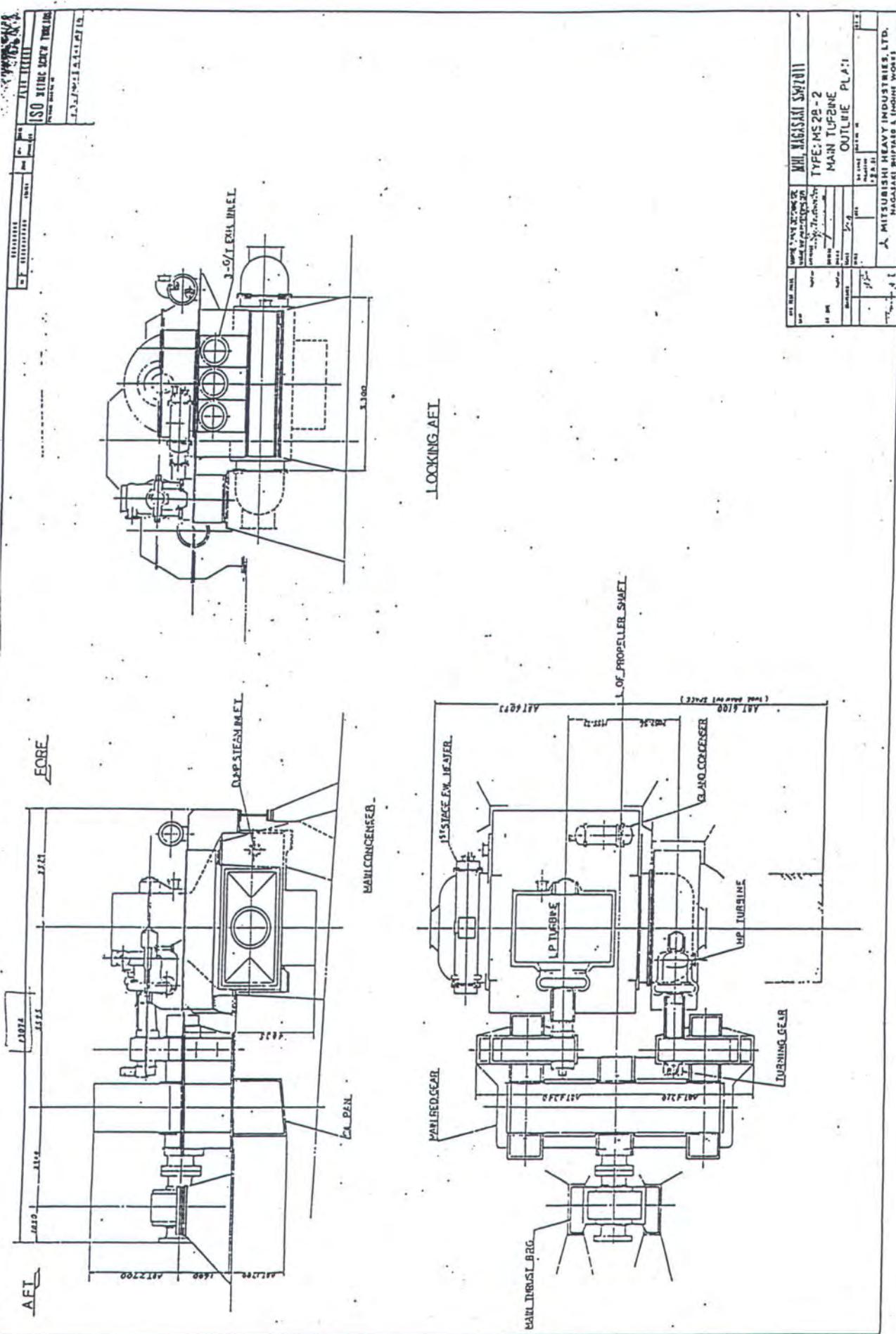






MAIN TURBINE OUTLINE PLAN

FIG. 1-1





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

Kampus ITS Sukolilo 60111 Telp. 5948757, 5947254 & 5947274 Pes. 261 - 142 Telex 34224 Fax 5948757

Nomor : 1238 /PT12.H4.FTK/Q/1997
Perihal : Permohonan Data Tugas Akhir

15 Desember 1997

Kepada : Yth. Sdr. Pimpinan
PT. HUMOLCO TRANS. INC.
Wisma Antara Lt. 17
Jl. Medan Merdeka Selatan No. 17
di Jakarta Pusat



Dengan ini kami mohon bantuan Saudara agar mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Kelautan – ITS Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dapat diberikan data – data untuk pembuatan Tugas Akhirnya.

Adapun mahasiswa dimaksud adalah sebagai berikut :

Nama : Sutopo Purwono Fitri
Nomor : 4293. 100. 012

Data yang diperlukan meliputi :

- a. Data kapal LNG yang beroperasi di Indonesia (dengan rute dan jumlah yang beroperasi)
- b. Data kapal LNG (dimensi, kapasitas muat, sistem bongkar muat & sistem instalasi pipanya) pada kapal dengan penggerak :
 - Steam turbine (tanpa/sudah memanfaatkan boil-off-gas)
 - Diesel engine (tanpa/sudah memanfaatkan boil-off-gas)
- c. Data karakteristik kinerja/performance dual fuel diesel engine yang memanfaatkan boil-off-gas dengan sistem pilot injection
- d. Data karakteristik kinerja/performance steam turbine yang memanfaatkan boil-off-gas.

Demikian atas bantuan dan kerja samanya yang baik kami sampaikan terima kasih.





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

Kampus ITS Sukolilo 60111 Telp. 5948757, 5947254 & 5947274 Pes. 261 - 142 Telex 34224 Fax 5948757

Nomor : 872/PT12.H4.FTK/Q/1998
Perihal : Permohonan Data Tugas Akhir

15 April 1998

Kepada : Yth. Sdr. Direktur Utama
PT. HUMPUSS INTERMODA TRANSPORTASI
GEDUNG GRUP HUMPUSS 10th Floor
Jl. Medan Merdeka Timur No. 17
di Jakarta Pusat

Dengan ini kami mohon bantuan Saudara agar mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Kelautan – ITS Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dapat diberikan data – data untuk pembuatan Tugas Akhirnya.

Adapun mahasiswa dimaksud adalah sebagai berikut :

Nama : Sutopo Purwono Fitri
Nomor : 4293. 100. 012

Data yang diperlukan meliputi :

- a. Data kapal LNG yang beroperasi di Indonesia
- b. Data kapal LNG (dimensi, kapasitas muat, sistem bongkar muat & sistem instalasi pipanya, Boil off rate/BOR) pada kapal dengan penggerak :
 - Steam turbine (dengan pemanfaatan boil-off-gas)
 - Dual Fuel Diesel engine (dengan pemanfaatan boil-off-gas)
- c. Data karakteristik kinerja/performance dual fuel diesel engine yang memanfaatkan boil-off-gas dengan sistem pilot injection
- d. Data karakteristik kinerja/performance steam turbine yang memanfaatkan boil-off-gas.

Demikian atas bantuan dan kerja samanya yang baik kami sampaikan terima kasih.





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

Kampus ITS Sukolilo 60111 Telp. 5948757, 5947254 & 5947274 Pes. 261 - 142 Telex 34224 Fax 5948757

Nomor : 871 /PT12.H4.FTK/Q/1998
Perihal : Permohonan Data Tugas Akhir

15 April 1998

Kepada : Yth. Sdr. General Manager
Pertamina LG/JTG
Jl. Gatot Subroto Kav. 32-34
Jakarta 12950

Dengan ini kami mohon bantuan Saudara agar mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Kelautan – ITS Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dapat diberikan data – data untuk pembuatan Tugas Akhirnya.

Adapun mahasiswa dimaksud adalah sebagai berikut :

Nama : Sutopo Purwono Fitri
Nomor : 4293. 100. 012

u.c.m. → Data yang diperlukan meliputi :

- a. Data kapal LNG yang beroperasi di Indonesia
- b. Data kapal LNG (dimensi, kapasitas muat, sistem bongkar muat & sistem instalasi pipanya, Boil off rate/BOR) pada kapal dengan penggerak :
 - Steam turbine (dengan pemanfaatan boil-off-gas)
 - Dual Fuel Diesel engine (dengan pemanfaatan boil-off-gas)
- c. Data karakteristik kinerja/performance dual fuel diesel engine yang memanfaatkan boil-off-gas dengan sistem pilot injection
- d. Data karakteristik kinerja/performance steam turbine yang memanfaatkan boil-off-gas.

Demikian atas bantuan dan kerja samanya yang baik kami sampaikan terima kasih.





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

Kampus ITS Sukolilo 60111 Telp. 5948757, 5947254 & 5947274 Pes. 261 - 142 Telex 34224 Fax 5948757

Nomor : 1069 /PT12.H4.FTK/Q/1998
Perihal : Permohonan Data Tugas Akhir

22 - Juni 1998

Kepada : Yth. Sdr. General Manager
PERTAMINA LG/JTG
Jl. Gatot Subroto Kav. 32 - 34
Jakarta 12950

Dengan ini kami mohon bantuan Saudara agar mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Kelautan – ITS Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dapat diberikan data – data untuk pembuatan Tugas Akhirnya.

- Adapun mahasiswa dimaksud adalah sebagai berikut :

Nama : Sutopo Purwono Fitri
Nomor : 4293. 100. 012

Judul Tugas Akhir :

“Perancangan Sistem Propulsi LNG Carrier Menggunakan Dual Fuel Diesel – Electric Sebagai Pengganti Steam Turbine Ditinjau dari Aspek Teknis dan Ekonomis”

Data yang diperlukan meliputi :

1. Gambar Machinery Arrangement LNG Carrier ST. Eka Putra sebagai objek kapal yang diteliti.
2. Gambar General Arrangement ST. Eka Putra.
3. Steam Turbine Plant (Pabrik pembuat/manufacterer, Initial cost)
4. Auxiliary Engine (Generator listrik yang digunakan & manufacturer, Initial cost)

Demikian atas bantuan dan kerja samanya yang baik kami sampaikan terima kasih.

D e k a n ,

ub.

Pembantu Dekan I ,

Ir. M. Orianto, BSE, MSc.
Nip. 130 786 955



LEMBAR KEMAJUAN PENGERJAAN TUGAS AKHIR (NE 1701)

Nama : Sutopo Purwono Fitri
NRP : 4293 100 012

Judul Tugas Akhir : Perancangan Sistem Propulsi LNG Carrier Menggunakan Dual Fuel Diesel – Electric Sebagai Pengganti Steam Turbine Ditinjau Dari Aspek Teknis dan Ekonomis

Dosen Pembimbing : Ir. Bambang Supangkat

No.	Tanggal	Kegiatan	Paraf Dosen
1.	16 SEPT. '97	Konsultasi awal	SI
2.	23 Nop '97	Literature, perstaka keruangan.	SI
3.	2 Jan '98	Segarn data, literature untuk bahan magu XII.	SI
4.	21 Jan '98	ACC ke XII	SI
5	10 Februari '98	Temu pemanfaatan gas	SI
6	8 Juli '98	Perancangan dual-electric / EPD	SI
7	23 Juli '98	Analisa Electric Prop. Drive	SI
8	4 Agt '98	Analisa sistem propulsi	SI
9.	10 - Agt. '98	Siap untuk dilaksanakan !	SI

Catatan :

1. Mahasiswa siap/tidak siap/dibatalkan*) untuk diujikan.
2. Catatan lain yang dianggap perlu :

Surabaya, 10 Agustus 1998
Dosen Pembimbing,

Ir. Bambang Supangkat
NIP. 130 355 298

*) Coret yang tidak perlu