

TINJAUAN TEKNIS EKONOMIS PEMAKAIAAN DUAL FUEL PADA TUG BOAT PT. PELABUHAN INDONESIA II

Nama Mahasiswa : Ariffah Fitriana
NRP : 4210 100 033
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : DR. I Made Ariana, ST, MT
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

Dual fuel system adalah salah satu sistem bahan bakar yang telah lama diterapkan pada mesin induk pada kapal-kapal pengangkut gas cair. Gas alam yang murah dan ketersediaannya yang luas, kemudian disusul dengan peraturan pemerintah yang mendesak untuk menurunkan hasil emisi gas buang pada pengoperasian kapal, maka sistem dual fuel ini menjadi solusi bagi para konsumen bahan bakar minyak. Mesin *dual fuel* beroperasi menggunakan CNG dan MDO (atau bahan bakar diesel lainnya) secara bersamaan. Dalam hal ini, MDO menjadi pemantik yang mampu terbakar secara otomatis saat langkah kompresi dan selanjutnya membakar gas CNG yang tercampur dengan udara dan masuk pada ruang bakar. Kali ini penulis bermaksud untuk menerapkan *dual fuel system* pada mesin induk kapal tunda PT. Pelabuhan Indonesia II. Dengan analisis teknis dan ekonomis yang terukur, penulis bermaksud memberikan hasil maksimal. Maka, metode yang dilakukan pertama kali adalah menganalisa konversi mesin dari bahan bakar tunggal hingga menjadi mesin berbahan bakar ganda. Komponen-komponen dasar seperti tabung gas, katup, *pressure regulator* dan *mixer* (pencampur gas dengan udara yang akan memasuki ruang bakar) adalah hal-hal teknis yang akan ditinjau. Hal selanjutnya adalah tinjauan ekonomis yang menggunakan perbandingan biaya instalasi dan konsumsi bahan bakar yang dihabiskan saat sebelum melakukan konversi *dual fuel* dan setelahnya. Perbandingan dilakukan pada kapal tunda milik PT. Pelabuhan Indonesia II agar dapat terlihat secara signifikan perbedaan antara sistem bahan bakar diesel

konvensional dengan sistem *dual fuel*. Hasil dari analisa yang didapatkan adalah untuk konsumsi bahan bakar per hari pada sistem bahan bakar diesel konvensional adalah sebesar 3,600 kg MDO dengan biaya bahan bakar per tahun sejumlah Rp 15,461,400,000.- dan pada sistem *dual fuel*, konsumsi bahan bakar per hari adalah 131.61 mmBTU CNG & 1,080 kg MDO dengan biaya total pada tahun pertama adalah sebesar Rp 8,249,544,600.- yang termasuk biaya instalasi sekali konverter *dual fuel* untuk dua mesin induk. Hasil analisa ini nanti diharapkan menjadi masukan yang baik bagi penulis, pembaca, serta PT. Pelabuhan Indonesia II.

TECHNICAL AND ECONOMIC REVIEW OF DUAL FUEL INSTALLATION ON THE TUG BOAT OF PT. PELABUHAN INDONESIA II

Name : Ariffah Fitriana
NRP : 4210 100 033
Department : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Advisor : DR. I Made Ariana, ST, MT
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

Dual fuel system is one of the fuel system that has long been applied to the main engine on the ships transporting liquefied gas. Natural gas is more economical and widespread availability, and followed by government regulations that urged to reduce exhaust emissions result in the operation of the ship, then the dual fuel system is a solution for consumers of fuel oil. Operated dual fuel engine using CNG and MDO (or other diesel fuel) simultaneously. In this case, MDO becomes the pilot-ignited fuel and injected during the compression stroke and the subsequent burning CNG that is mixed with air and into the combustion chamber. This time, the author intends to implement a dual fuel system on the main engine of the tug boat of PT. Pelabuhan Indonesia II. With the technical and economic analysis are measured, the authors intend to provide maximum results. Thus, the first method is to analyze the conversion of a single fuel engines to be dual-fueled engine. Basic components such as gas cylinders, valves, pressure regulator and mixer (mixing the gas with air to enter the combustion chamber) are technical matters that will be reviewed. The next thing is the economical review that compares the cost of installation and fuel consumption that is spent while before doing a dual fuel conversion and thereafter. Comparisons were made on a tugboat owned by PT. Pelabuhan Indonesia II in order to see significant differences between conventional diesel fuel system with dual fuel system. The results of the analysis are obtained for the fuel consumption per day on

conventional diesel fuel system is equal to 3,600 kg MDO with fuel costs per year which amounted to Rp 15,461,400,000. - And the dual fuel system, fuel consumption per day was 131.61 mmbtu of CNG & 1,080 kg of MDO with a total cost in the first year is Rp 8,249,544,600. - which includes all installation costs for the two converters dual fuel main engine. The results of this analysis are expected to be good study for writers, readers, and PT. Pelabuhan Indonesia II.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Prinsip Kerja Sistem Bahan Bakar pada Mesin Diesel

Angkutan transportasi yang bekerja dengan beban yang besar umumnya memakai mesin diesel sebagai mesin penggerak utama. Jika pada transportasi darat dapat ditemui pada bis, truk dan beberapa mobil beukuran besar, maka kapal adalah transportasi laut yang mayoritas memakai mesin diesel sebagai mesin induk. Tentunya dengan memakai jenis bahan bakar minyak diesel yang lebih beragam ketimbang mesin diesel pada kendaraan darat.

Mesin diesel dapat dikategorikan dalam motor bakar torak dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Prinsip kerja mesin diesel adalah merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia di dapatkan melalui proses reaksi kimia (pembakaran) dari bahan bakar (solar) dan udara di dalam silinder atau ruang bakar. (Jayan, 2007)

Pada mesin diesel hanya udara bersih yang dihisap dan dikompresikan. Bahan bakar dan udara dicampur di dalam silinder dengan cara setelah udara dikompresikan, bahan bakar disemprotkan kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Persyaratan tekanan udara kompresi 1,5-4 Mpa (15-40 bar) sehingga temperatur udara naik 700-900°C. Bahan bakar harus dikabutkan halus, oleh pompa injeksi pada tekanan (100-250 bar).

Ada dua cara penyemprotan bahan bakar kedalam ruang bakar yaitu injeksi langsung dimana *injection nozzle* menyemprotkan bahan bakar langsung keruang bakar utama (*main combustion chamber*) pada akhir langkah kompresi. Udara

tertekan dan menerima pusaran cepat akibatnya suhu dan tekanannya naik bahan bakar cepat menguap dan menyala dengan sendirinya setelah disemprotkan.

Cara menyemprotkan yang kedua ialah injeksi tidak langsung dimana bahan bakar disemprotkan oleh *injection nozzle* ke kamar depan (*precombustion chamber*). Udara yang dikompresikan oleh torak memasuki kamar pusat dan membentuk aliran turbulensi ditempat bahan bakar yang diinjeksikan. Tetapi sebagian bahan bakar yang belum terbakar akan mengalir ke ruang bakar utama melalui saluran transfer untuk menyelesaikan pembakaran.

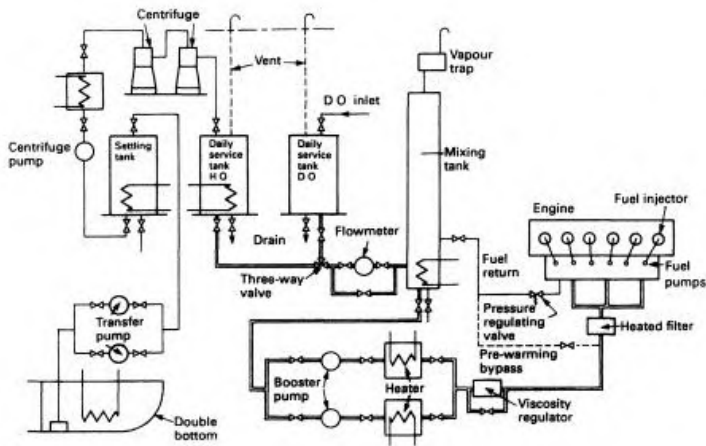


Figure 2.11 Fuel oil supply system

Gambar 2.1. Sistem Bahan Bakar pada Kapal

(Sumber: Arismunandar, Wiranto. 1988)

Pada sistem bahan bakar mesin diesel, *feed pump* menghisap bahan bakar dari tangki bahan bakar. Bahan bakar disaring oleh *fuel filter* dan kandungan air yang terdapat pada bahan bakar dipisahkan oleh fuel sedimenter sebelum dialirkan ke pompa injeksi bahan bakar. Dari pompa injeksi selanjutnya

melalui pipa injeksi bahan bakar dialirkan ke injektor untuk diinjeksikan ke ruang bakar.

Proses Pembakaran

Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar oksigen (O_2) sebagai oksidan dengan temperaturnya lebih besar dari titik nyala. Mekanisme pembakarannya sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran dimana atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen yang dapat membentuk produk yang berupa gas. (Sharma, S.P, 1978).

Untuk memperoleh daya maksimum dari suatu operasi hendaknya komposisi gas pembakaran dari silinder (komposisi gas hasil pembakaran) dibuat seideal mungkin, sehingga tekanan gas hasil pembakaran bisa maksimal menekan torak dan mengurangi terjadinya detonasi. Komposisi bahan bakar dan udara dalam silinder akan menentukan kualitas pembakaran dan akan berpengaruh terhadap *performance* mesin dan emisi gas buang.

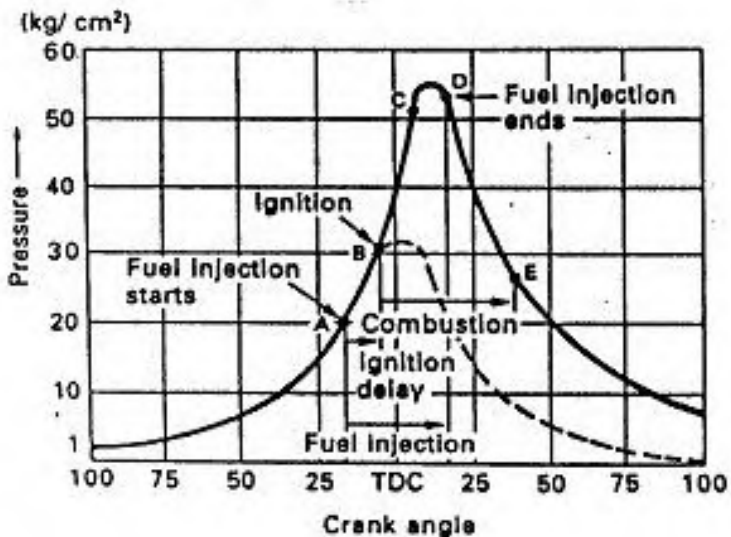
Dalam sebuah mesin terjadi beberapa tingkatan pembakaran yang digambarkan dalam sebuah grafik dengan hubungan antara tekanan dan perjalanan engkol. Gambar 2.2 adalah grafik tingkatan pembakaran. Proses atau tingkatan pembakaran dalam sebuah mesin terbagi menjadi empat tingkat atau periode yang terpisah. Periode-periode tersebut adalah :

1. Fase persiapan pembakaran a-b (Ignition delay).

Ignition delay adalah waktu yang diperlukan antara bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadinya pembakaran. Waktu pembakaran bergantung pada beberapa faktor, antara lain pada tekanan dan temperatur udara pada saat bahan bakar mulai disemprotkan, gerakan udara dan bahan bakar, jenis dan derajat pengabutan bahan bakar, serta

perbandingan bahan bakar - udara lokal. Jumlah bahan bakar yang disemprotkan selama periode persiapan pembakaran bukan merupakan faktor yang terlalu menentukan waktu persiapan pembakaran. (Dody Darsono, 2010)

Pada fase ini terjadi dua jenis reaksi, yaitu reaksi fisik dan reaksi kimia. Reaksi fisik yang terjadi adalah saat bahan bakar cair dikabutkan sehingga menjadi partikel-partikel kecil dan dapat tercampur dengan udara bakar. Sedangkan reaksi kimianya adalah perubahan dari energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanis yang menggerakkan torak / *piston*, batang torak, dan poros engkol.



Gambar 2.2. Tingkat pembakaran dalam sebuah mesin
(Sumber: Maleev.V.L, 1995)

2. Fase pembakaran cepat b-c (*premixed or rapid combustion phase*)

Pada fase ini udara dan bahan bakar yang telah tercampur (*air-fuel mixture*) akan terbakar dengan cepat dalam beberapa derajat. Proses pembakaran tersebut terjadi dalam suatu proses pengecilan volume (selama piston masih bergerak menuju ke *top dead center*). Sampai piston bergerak kembali beberapa derajat sudut engkol sesudah TDC, tekanannya masih bertambah besar tetapi laju kenaikan tekanan yang seharusnya terjadi dikonvensasikan oleh bertambah besarnya volume ruang bakar sebagai akibat bergerak piston dari TDC ke BDC (*bottom dead center*). Pada *premixed* terjadi kenaikan tekanan dan suhu secara drastis. (Dody Darsono, 2010)

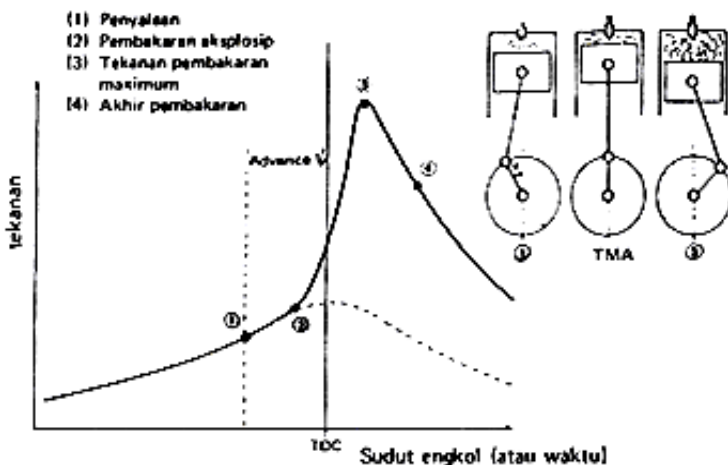
3. Fase pembakaran terkendali c-d (*mixing controlled combustion phase*)

Setelah campuran bahan bakar-udara (*air-fuel mixture*) terbakar pada fase *premixed*, kecepatan pembakaran ditentukan oleh tersedianya campuran yang siap terbakar. Beberapa proses yang terjadi disini adalah antara lain atomisasi bahan bakar, penguapan, pencampuran dengan udara dan reaksi kimia, sehingga proses pembakaran ditentukan oleh proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. (Dody Darsono, 2010)

4. Fase pembakaran lanjutan d-e (*late combustion phase*)

Pada fase ini terjadi proses penyempurnaan pembakaran dan pembakaran bahan bakar yang belum sempat terbakar. Pelepasan energi akan terus berlangsung dengan kecepatan rendah sampai langkah ekspansi. Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya pembakaran lanjut ini antara lain sebagian kecil bahan bakar belum terbakar dan sebagian energi bahan bakar tersebut menjadi soot dan produk pembakaran campuran kaya, yang energinya masih dapat terlepas. (Dody Darsono, 2010)

Pembakaran normal terjadi bila bahan bakar dapat terbakar seluruhnya pada saat dan keadaan yang dikehendaki. Pada motor diesel, pembakaran terjadi karena kenaikan temperatur campuran udara dan bahan bakar akibat kompresi torak hingga mencapai temperatur nyala. Karena prinsip penyalaaan bahan bakarnya akibat tekanan maka motor diesel juga disebut *compression ignition engine*. Di dalam pembakaran normal, pembagian nyala api terjadi merata di seluruh bagian. Pada keadaan yang sebenarnya pembakaran bersifat kompleks, yang mana berlangsung pada beberapa *phase*. Dengan timbulnya energi panas, maka tekanan dan temperatur naik secara mendadak, sehingga piston terdorong menuju TMB. Pembakaran normal pada motor diesel dapat ditunjukkan pada (gambar grafik 2.3) dibawah sebagai berikut :



Gambar 2.3. Pembakaran campuran udara-bensin dan perubahan tekanan didalam silinder

(Sumber: Toyota Astra Motor, 1996)

Gambar grafik diatas dengan jelas memperlihatkan hubungan antara tekanan dan sudut engkol, mulai dari penyalaaan sampai akhir pembakaran. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa

beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA, bahan bakar disemprotkan sehingga mulai terjadi pembakaran, sedangkan lonjakan tekanan dan temperatur mulai point 2, sesaat sebelum piston mencapai TMA, dan pembakaran point 3 sesaat sesudah piston mencapai TMA.

II.2. Pemilihan Gas Alam Terkompresi Sebagai Bahan Bakar Alternatif

Keberadaan minyak bumi sebagai bahan bakar telah lama digantikan oleh bahan bakar alternatif. Minyak bumi atau bahan bakar fosil selain persediaannya yang telah menipis, emisi yang dihasilkan juga cukup berbahaya. Estimasi emisi CO_2 dunia tahun 1989 yang dihasilkan dari aktifitas manusia sebesar 5,8 – 8,7 juta ton, dimana 71% - 89% berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Konsumsi energi memberikan kontribusi sebesar 75% terhadap emisi CO_2 antropogenik dunia. Maka, bahan bakar alternatif cukup memiliki peranan penting dalam pengurangan emisi di dunia.

Gas alam adalah salah satu bahan bakar alternatif yang bersih. Gas alam yang dijadikan sebagai bahan bakar memiliki dua jenis dengan wujud yang berbeda, yaitu gas alam terkompresi (CNG) dan gas alam cair (LNG). *Liquefied natural gas* (LNG) adalah gas metana dengan komposisi 90% metana (CH_4) yang dicairkan pada tekanan atmosferik dan suhu -163°C . Sebelum proses pencairan, gas harus menjalani proses pemurnian terlebih dahulu untuk menghilangkan kandungan senyawa yang tidak diharapkan seperti CO_2 , H_2S , Hg, H_2O dan hidrokarbon berat.

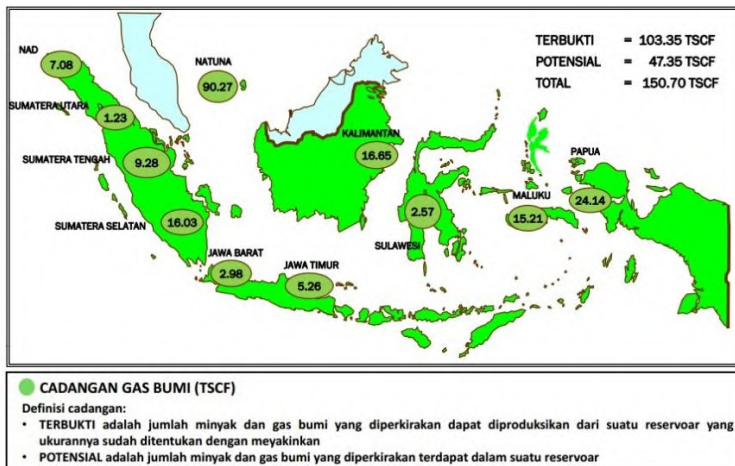
Proses tersebut akan mengurangi volume gas menjadi lebih kecil 600 kali. Penyusutan ini membuat LNG mudah ditransportasikan dan dalam jumlah yang lebih banyak. LNG ditransportasikan melalui kapal-kapal ke terminal-terminal LNG dan disimpan di tangki dengan tekanan atmosferik. Kemudian

LNG dikonversi kembali menjadi gas dan disalurkan melalui sistem transmisi. Proses inilah yang menyebabkan harga LNG menjadi lebih mahal ketimbang produk gas alam lainnya.

Sedangkan CNG merupakan singkatan dari *compressed natural gas* atau biasa disebut dengan gas alam terkompresi adalah bahan bakar alternatif yang bersih. Suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen membentuk CNG. CNG adalah gas bumi yang dimampatkan pada tekanan tinggi sehingga volumenya menjadi sekitar $1/250$ dari volume gas bumi pada keadaan standar. Tujuan pemampatan gas bumi adalah agar dapat diperoleh lebih banyak gas yang dapat ditransportasikan per satuan volume vessel. Tekanan pemampatan CNG bisa mencapai 250 bar pada suhu atmosferik. Komposisi gas bumi yang akan dikirim ke konsumen melalui CNG harus sudah memenuhi spesifikasi gas komersial seperti batasan maksimum kandungan air, CO₂ dan hidrokarbon berat. Selain itu, penyimpanan gas pada tekanan yang sangat tinggi mensyaratkan batasan yang ketat terhadap kandungan air dan hidrokarbon berat untuk mencegah terjadinya kondensasi dan pembentukan hidrat.

Kedua jenis ini memiliki kekurangan dan kelebihan yang berbeda-beda. Dan pemilihan gas alam terkompresi daripada gas alam cair dikarenakan gas alam terkompresi memiliki harga yang lebih murah. Dan kelebihan lainnya yaitu gas alam terkompresi lebih ringan dan tetap aman jika ada kebocoran karena gas alam akan terbuang pada udara bebas.

Di Indonesia, cadangan gas alam masih sangat luas. Menurut data dari Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral per Januari 2012 bahwa total cadangan gas bumi di Indonesia mencapai 150.70 TSCF (*trillion square cubic feet*). Jumlah cadangan tersebut mampu dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.



Sumber : Ditjen MIGAS
 TSCF = Trillion Square Cubic Feet

Status : Jan 2012

Gambar 2.4. Cadangan Gas Bumi di Indonesia
 (Sumber: Ditjen Migas Indonesia. 2014)

Berikut adalah tabel data cadangan gas bumi di Indonesia dari tahun 2004 sampai 2012. Jumlah gas bumi yang terbukti dapat diproduksi pada reservoir - reservoir yang sudah ditentukan tersebut semakin bertambah.

Tabel 2.1. Tabel Cadangan Gas Bumi di Indonesia

Tahun	Terbukti (Milyar Barel)	Potensial (Milyar Barel)	Total (Milyar Barel)
2004	97,81	90,53	188,34
2005	97,26	88,54	185,80
2006	94,00	93,10	187,10
2007	106,00	59,00	165,00
2008	112,50	57,60	170 10
2009	107,34	52,29	159,63
2010	108,40	48,74	157 14

2011	104,71	48,18	152,89
2012	103,35	47,35	150,70

(Sumber: Ditjen Migas Indonesia. 2014)

Produksi gas bumi di Indonesia juga memiliki jumlah rata-rata harian yang stagnan dari tahun 2004 hingga 2012. Hal ini menunjukkan bahwa selain Indonesia memiliki cadangan yang besar, aktifitas produksi gas bumi di Indonesia selalu aktif pada tiap tahunnya memperbesar peluang pada gas alam terkompresi untuk menjadi bahan bakar alternatif, dalam hal ini adalah bahan bakar kendaraan mesin.

Tabel 2.2. Tabel Produksi Gas Bumi di Indonesia

Tahun	Assosiated	Non Assosiated	Total	Rata-rata Harian (MMSCFD)
2004	772.812	2.231.133	3.003.945	8.23
2005	795.224	2.190.117	2.985.341	8.179
2006	708.715	2.245.281	2.953.997	8.093
2007	433.63	2.371.910	2.805.540	7.686
2008	472.897	2.412.431	2.885.328	7.905
2009	467.57	2.593.326	3.060.897	8.386
2010	471.507	2.936.086	3.407.592	9.336
2011	472.552	2.783.827	3.256.379	8.922
2012	405.465	2.769.175	3.174.639	8.698

MMSCFD = Million Standard Cubic Feet per Day

(Sumber: Ditjen Migas Indonesia. 2014)

Gas alam terkompresi memiliki komposisi unsur kimia dengan kandungan terbanyak yaitu metana. Metana (CH_4) yang terkandung dalam gas ini hingga 90% ke atas. Tetapi juga mengandung beberapa komponen lain seperti etana, propane, nitrogen, helium, karbon dioksida, hidrogen sulfida, dan uap air.

Komposisi penyusun gas alam terkompresi dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.

Tabel 2.3. Komponen Penyusun (Vol %) dari CNG

Komponen	Volumetrik (%)
Methane (CH ₄)	94,42
Ethane (C ₂ H ₆)	2,29
Propane (C ₃ H ₈)	0,03
Butane (C ₄ H ₁₀)	0,25
Nitrogen (N ₂)	0,44
Carbon Dioxide (CO ₂)	0,57
Others	2

(Sumber: IJEIT Journal. 2012)

Gas alam terkompresi telah diuji sebagai bahan bakar alternatif pada berbagai macam konfigurasi mesin. Dibanding dengan LNG, CNG adalah bahan bakar alternatif yang paling umum dipilih karena memiliki pencampuran bahan bakar yang pas dan pembakaran yang lebih baik. Sesuai dengan nilai oktan yang tinggi, mesin beroperasi dengan halus dengan rasio kompresi yang tinggi tanpa terjadi *knocking*. CNG dengan kualitas pembakaran yang bersih dapat menurunkan emisi gas buang dan menghemat biaya operasional bahan bakar. CNG memiliki kecepatan apai yang lebih rendah dari bahan bakar minyak. Dan keawetan mesin yang memakai CNG sebagai bahan bakar akan terjaga. Sifat dan karakteristik dari bahan bakar CNG ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 2.4. Karakteristik dari CNG

CNG Properties	Value
Density (kg/m ³)	0,72
Flammability limits (volume % in air)	4,3 - 15

Flammability limits ($\emptyset$)	0,4 - 1,6
Autoignition temperature in air ($^{\circ}\text{C}$)	723
Minimum ignition energy (mJ)	0,28
Flame velocity (ms^{-1})	0,38
Adiabatic flame temperature (K)	2214
Quenching distance (mm)	2,1
Stoichiometric fuel/air mass ratio	0,069
Stoichiometric volume fraction %	9,48
Lower heating value (MJ/Kg)	45,8
Heat of combustion (MJ/kgair)	2,9

(Sumber: IJEIT Journal. 2012)

Nilai oktan yang dimiliki oleh gas alam adalah sekitar 130, yang berarti bahwa mesin dapat beroperasi pada kompresi rasio hingga 16:01 tanpa *knocking* atau ledakan. Beberapa pabrik telah memproduksi mesin dengan sistem bahan bakar gas alam maka konsumen tidak perlu membayar biaya instalasi peralatan konversi dan aksesoris tambahan lainnya. Ada pula yang memproduksi peralatan konversi bahan bakar dengan instalasi yang sederhana. Serta mengkonversi mesin secara manual dengan memasang satu per satu komponen konversi bahan bakar. Beberapa cara tersebut jika diterapkan, mampu mengurangi emisi karbon dioksida sebesar 20 – 25% dibandingkan dengan minyak solar. Hal ini dikarenakan struktur kimia gas alam (terutama metana) yang hanya memiliki satu karbon dibandingkan dengan minyak bensin (C_8H_{18}) atau solar ($\text{C}_{15}\text{H}_{32}$). Komposisi gas alam dapat bervariasi dari waktu ke waktu dan berbeda pada tiap lokasi. Dan pada tekanan dan suhu atmosfer, gas alam berperan sebagai gas dan memiliki kepadatan rendah. Karena kepadatan energi volumetrik (joules/m^3) sangat rendah inilah, gas alam sering disimpan dalam keadaan terkompresi (CNG) pada tekanan tinggi disimpan dalam tabung/silinder bertekanan.

II.3. Sistem Bahan Bakar Ganda (*Dual Fuel*)

Dengan melimpahnya cadangan bahan bakar alternatif dan peraturan pengurangan emisi yang diberlakukan oleh pemerintah, popularitas bahan bakar alternatif meningkat selama lima puluh tahun terakhir. Hal inilah yang mendorong terciptanya berbagai modifikasi mesin bakar dengan tujuan pengurangan biaya konsumsi bahan bakar, menurunkan emisi dan tetap menghasilkan tenaga yang sama seperti mesin berbahan bakar minyak. Salah satu modifikasi yang dilakukan adalah konversi mesin berbahan bakar ganda dengan *pilot ignited*.

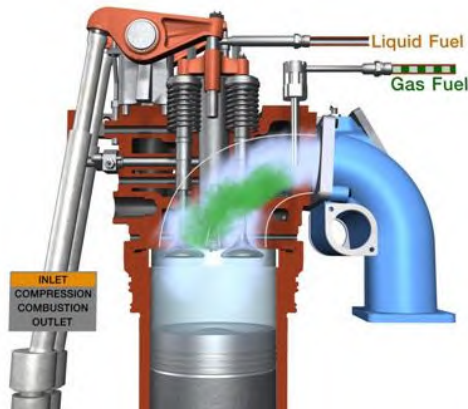
Dengan komposisi bahan bakar gas dengan bahan bakar minyak yaitu 70:30, proses *ignition delay* pada pembakaran bahan bakar dapat berlangsung secara lebih singkat. Hal ini dikarenakan 70% bahan bakar adalah gas alam yang telah tercampur dengan udara bakar bahkan sebelum memasuki ruang bakar. Dan pengkabutan bahan bakar minyak membutuhkan waktu yang lebih singkat karena hanya sebanyak 30% dari jumlah keseluruhan pada sistem bahan bakar ganda. Maka, proses *ignition delay* yang pendek ini akan lebih menguntungkan karena pembakaran dapat cepat tercapai.

Mesin berbahan bakar ganda memanfaatkan *lean-burn* pada proses pembakaran ketika beroperasi pada gas. Di sini, gas bercampur dengan udara selama periode udara masuk. Setelah langkah kompresi, campuran gas / udara dinyalakan oleh *liquid pilot fuel* yang berjumlah sedikit. Setelah tahap kerja, katup buang terbuka dan silinder dikosongkan dari gas buang. Udara masuk saat katup terbuka dan katup gas buang tertutup, dan proses dimulai lagi.

Mesin dual fuel ini juga dilengkapi dengan sistem bahan bakar cadangan. Jika terjadi gangguan pasokan gas, mesin akan menyalurkan dari gas hingga ke pengoperasian bahan bakar minyak (LFO, HFO) pada beban sebarangpun secara otomatis.

Selanjutnya, sistem bahan bakar cadangan yang terpisah memungkinkan untuk beralih dari LFO ke HFO tanpa pengurangan beban. Selama pengoperasian bahan bakar minyak, mesin *dual fuel* menggunakan proses diesel konvensional.

Mesin gas-diesel memanfaatkan proses pembakaran diesel dalam semua fase operasional. Dalam fase gas, gas yang disuntikkan pada tekanan tinggi setelah bahan bakar diuji coba dan dinyalakan oleh api dari injeksi bahan bakar uji coba tersebut. Jumlah bahan bakar yang diuji coba adalah sekitar 5% dari masukan energi bahan bakar pada beban mesin penuh.



Gambar 2.5. Sistem Bahan Bakar Ganda
(Sumber: Wartsila. 2013)

Mesin gas-diesel dapat beralih langsung ke fase operasi bahan bakar cair. Bahan bakar cair dapat didefinisikan sebagai *light fuel oil*, *heavy fuel oil*, atau minyak mentah. Dalam hal ini, proses ini sama dengan proses diesel konvensional.

Dalam fase *sharing mode*, rasio antara cairan dan jumlah bahan bakar gas dapat dikontrol dan bervariasi selama operasi. Jendela operasi bahan bakar untuk *sharing mode* adalah sekitar

30% sampai 100% beban dan rasio bahan bakar cair atau gas dapat bervariasi sesuai dengan fase *sharing mode*.

II.4. Konversi Bahan Bakar Diesel menjadi *Dual Fuel*

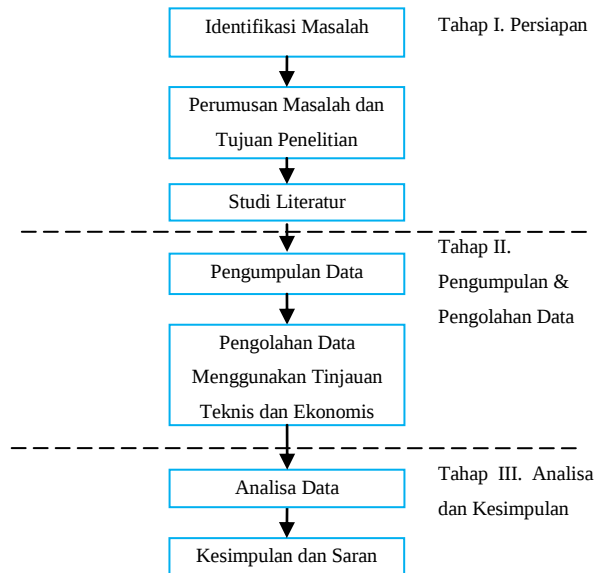
Beberapa mesin diesel dikonversi menggunakan bahan bakar ganda, yaitu menggunakan kombinasi bahan bakar gas dan diesel. Ketika mesin dalam keadaan diam, kendaraan beroperasi 100% dengan diesel. Segera setelah kendaraan mulai berjalan dan menambah kecepatan, semakin banyak bahan bakar gas yang terinjeksi ke dalam mesin, sampai sekitar 70% gas dan 30% diesel. Dalam mesin diesel, bahan bakar dinyalakan melalui panas pembakaran. Bahan bakar diesel bertindak sebagai *pilot* untuk menyalakan bahan bakar gas di dalam mesin.

Untuk melakukan modifikasi dari mesin diesel dengan sistem bahan bakar tunggal menjadi *dual fuel system*, telah banyak tersedia peralatan konversi yang diproduksi di pasaran internasional maupun lokal. Namun, tidak menutup kemungkinan untuk memodifikasi sendiri dengan memasang satu per satu komponen yang dibutuhkan untuk konversi sistem bahan bakar suatu mesin. Komponen-komponen dasar yang biasa dibutuhkan adalah tabung gas, beberapa katup pengatur bahan bakar gas, *pressure regulator*, pengukur tekanan (*pressure gauge*), dan *mixer* (pencampur bahan bakar gas dengan udara yang akan memasuki ruang bakar).

BAB III

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis tinjauan teknis dan ekonomis untuk penerapan *dual fuel system* pada salah satu kapal tunda PT. Pelabuhan Indonesia II. Metode penelitian memberikan kemudahan bagi peneliti dalam menganalisa permasalahan yang akan diselesaikan. Secara skematis, metodologi penelitian ini ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



Metodologi penelitian yang dilakukan peneliti dapat dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan & pengolahan data, serta tahap analisa dan kesimpulan.

III.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap pengumpulan informasi untuk mengidentifikasi, merumuskan, dan menentukan tujuan dari pemecahan masalah. Tahap ini merupakan tahap awal yang penting untuk menentukan pengerjaan tugas akhir penulis.

III.1.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam penelitian ini, maka masalah yang ingin diselesaikan/dianalisis harus diidentifikasi secara jelas. Masalah yang diangkat yaitu tinjauan teknis ekonomis pemakaian dual fuel pada kapal tunda PT. Pelabuhan Indonesia II.

III.1.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Setelah melakukan identifikasi masalah, maka langkah selanjutnya adalah perumusan masalah dan tujuan penelitian. Perumusan masalah merupakan pokok permasalahan yang akan diselesaikan. Tujuan penelitian merupakan mengetahui hal – hal penting yang dibutuhkan secara teknis untuk mengkonversi mesin induk berbahan bakar tunggal menjadi sistem *dual fuel* pada kapal tunda milik PT. Pelabuhan Indonesia II, dan mengetahui nilai ekonomis yang diperoleh PT. Pelabuhan Indonesia II jika salah satu kapal tunda menerapkan sistem *dual fuel*.

III.1.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh teori-teori yang berhubungan dengan penyelesaian masalah. Studi literatur di sini membahas tentang prinsip kerja sistem bahan bakar pada mesin diesel, pemilihan gas alam terkompresi sebagai bahan bakar alternatif pada

sistem *dual fuel*, prinsip kerja sistem bahan bakar ganda (*dual fuel*), dan konversi mesin diesel dengan sistem berbahan bakar tunggal menjadi *dual fuel system*.

III.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap pengumpulan dan pengolahan data ini dilakukan untuk memperoleh bahan penelitian sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

III.2.1 Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh dari studi literatur yang diambil langsung dari PT. Pelabuhan Indonesia II, dan yang lainnya didapat dari buku dan literatur atau *paper* yang didapat dari internet.

III.2.2 Pengolahan Data

Data-data yang sudah terkumpul akan diolah menggunakan metode tinjauan, yaitu tinjauan teknis dan ekonomis.

III.3 Tahap Analisa dan Kesimpulan

Tahap akhir ini terdiri dari tahap analisa dan tahap kesimpulan dan saran.

III.3.1 Analisa Data

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, maka dilakukan analisa yang lebih mendalam.

III.3.2 Kesimpulan dan Saran

Setelah analisa data maka ditarik suatu kesimpulan yang merupakan ringkasan akhir dari hasil yang dapat menjawab permasalahan yang telah ditentukan.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV. 1. Analisa Teknis Dual Fuel System pada Mesin Induk Kapal Tunda PT. Pelabuhan Indonesia II

Saat ini, pemakaian bahan bakar fosil pada mesin induk kapal telah menunjukkan angka pengurangan. Beberapa langkah alternatif mulai ditempuh untuk menghemat konsumsi bahan bakar hingga mengurangi emisi pada lingkungan. Salah satu alternatif ini adalah memodifikasi mesin induk yang merupakan mesin berbahan bakar diesel oil (solar) menjadi mesin berbahan bakar ganda atau lebih dikenal dengan *dual fuel engine*.

Mesin berbahan bakar ganda beroperasi menggunakan gas alam dan solar. Gas alam yang digunakan sebagai bahan bakar terdapat dua jenis, yaitu LNG (*Liquified Natural Gas*) dan CNG (*Compressed Natural Gas*). Dalam hal ini, gas alam yang dipakai adalah CNG atau gas alam terkompresi. Pada proses pembakaran, sebagian besar bahan bakar yang terbakar adalah gas alam terkompresi. Dan bahan bakar solar memiliki fungsi sebagai pilot atau pemantik saat dimulainya proses pembakaran. Penggunaan bahan bakar solar dapat mempertahankan rasio kompresi dan efisiensinya. Sedangkan gas alam di sini berkontribusi untuk meneruskan pembakaran yang terjadi secara terus menerus sehingga menghemat konsumsi bahan bakar minyak dan mengurangi emisi hasil gas buang.

Sebelum dikonversi menjadi *dual fuel engine*, dasar dari mesin tersebut adalah mesin diesel. Maka, saat mesin sudah dikonversi pun, mesin tetap dapat bekerja menggunakan bahan bakar solar saja. Namun, ketika mesin beroperasi pada *dual fuel*

mode, gas alam akan masuk dan bercampur dengan udara dan terhisap ke dalam silinder pada saat langkah *intake*. Sesaat sebelum langkah kompresi berakhir, bahan bakar solar diinjeksikan, seperti pada mesin diesel pada umumnya. Pembakaran yang terjadi akan ikut membakar gas alam. Biasanya rasio gas alam dengan minyak diesel pada sistem *dual fuel* adalah 70:30.

Pada analisis yang saya lakukan, mesin yang akan dikonversi merupakan mesin induk dari salah satu kapal tunda milik PT. Pelabuhan Indonesia II. Konversi ini dilakukan untuk mengenalkan bahan bakar gas alam sebagai bahan bakar dan menilai sisi ekonomis yang akan dicapai ketika kapal tunda tersebut memakai sistem berbahan bakar ganda dalam beberapa rentang waktu yang ditentukan.

IV. 1.1. Data Teknis Kapal Tunda PT. Pelabuhan Indonesia II

Sebelum melakukan konversi pada mesin induk, harus diketahui terlebih dahulu data-data kapal dan mesin induk tersebut. Data Kapal Tug Boat Pelindo II TB. Batavia VI yang akan dikonversi menjadi *Dual Fuel Engine*.

1. Nama kapal : Batavia VI
2. Jenis kapal : Kapal Tunda
3. Tahun Pembuatan : 2013
4. Mesin Induk : Caterpillar C32 ACERT Marine Propulsion

Tabel 4.1. Spesifikasi Mesin Induk TB. Batavia V

Engine (Four Stroke Cycle)	DM9609-00
Number of Cylinders	V-12
Bore	145 mm
Stroke	162 mm
Displacement	32,1 L
Max. Engine Speed	1800 RPM
Power	1000 HP

Setelah diketahui data kapal dan mesin induk, langkah berikutnya adalah mendata *dual fuel converter kit* yang dipasang pada sistem bahan bakar pada mesin induk tersebut.

IV. 1.2. Data Teknis Peralatan *Dual Fuel Converter*

Dalam memodifikasi sistem bahan bakar, akan diperlukan peralatan konversi yang mendukung. Data peralatan yang akan dipasang untuk memodifikasi sistem *diesel fuel* menjadi sistem *dual fuel* pada mesin induk Kapal TB. Batavia VI adalah sebagai berikut:

Nama Alat : ComAp Dual Fuel Converter Kit
 Jenis : High Speed Engine Conversion System
 Tahun Pembuatan : 2013
 Komponen Peralatan :

a. *Air / Gas Mixer*

Air / Gas Mixer merupakan suatu alat pencampur gas bahan bakar dengan udara pembakaran yang disuplai untuk proses pembakaran. *Mixer* ini dipasang pada pipa saluran udara masuk yang menuju ruang bakar, tepat sebelum adanya *turbocharger*.



Gambar 4.1. *Air / Gas Mixer*

(Sumber: Brosur ComAp Converter Kit. 2013)

b. *Gas Throttle Valve with Actuator*

Katup gas yang berfungsi untuk mengontrol suplai aliran gas bahan bakar yang menuju *mixer*. *Gas throttle valve* akan tersambung dengan *ComAp Controller Intelidrive* secara elektronik sehingga suplai bahan bakar gas akan membuat kecepatan dan daya keluaran mesin selalu sesuai dengan kebutuhan. Katup ini dilengkapi dengan aktuator untuk kendali secara manual.



Gambar 4.2. *Gas Throttle Valve with Actuator*

(Sumber: Brosur ComAp Converter Kit. 2013)

c. *ComAp Controller / Governor Intelidrive*

Dengan alat pengontrol yang tersambung dengan *gas throttle valve*, sistem akan memberi perintah yang harus dilakukan oleh katup gas tersebut sesuai dengan kebutuhan pembakaran oleh *ComAp controller*.



Gambar 4.3. *ComAp Controller / Governor Intelidrive*

(Sumber: Brosur ComAp Converter Kit. 2013)

Alat ini juga terhubung dengan tiga komponen lain, yaitu:

- *Boost Air Temperature Sensor* yang terletak pada saluran udara masuk yang menuju ruang bakar. Berfungsi untuk membaca suhu campuran udara dengan bahan bakar gas sebelum memasuki ruang bakar.
- *Exhaust Temperature Sensor* yang berfungsi untuk membaca suhu gas buang sisa pembakaran. Sensor ini terpasang pada saluran buang.
- *ComAp Knocking Detector / Controller DENOX* atau pendeteksi adanya gangguan pada saat pembakaran sehingga *knocking* atau ketukan pada mesin dapat dihindari. Gangguan dapat dideteksi karena *detector* ini menerima data dari alat yang disebut *knocking sensor* yang terpasang pada *cylinder head*.



Gambar 4.4. *ComAp Knocking Detector / Controller DENOX*

Sumber: Brosur ComAp Converter Kit. 2013

- d. *Gas Train (gas manifold, gas governor, double closing valve, gas filter, etc.)*

Adalah beberapa peralatan lainnya yang berfungsi untuk mengatur gas bahan bakar sebelum *Gas Throttle Valve* dibuka.

Komponen lainnya yang dibutuhkan dalam proses konversi adalah tabung penyimpanan bahan bakar gas. Tabung yang berbentuk silinder bertekanan tersebut biasanya terbuat dari bahan *manganese steel* (baja mangan) atau *steel-chromium-molibdenum*. Ukuran dari tabung disesuaikan dengan kebutuhan bahan bakar pada kapal.

Instalasi yang telah dilakukan konverter ini diklaim oleh produsennya bahwa sistem konversi ini hampir keseluruhan memakai sistem otomatis, sehingga jika terjadi gangguan dalam sistem, penyesuaian akan dilakukan oleh konverter ini hingga sistem bahan bakar DF menjadi normal kembali.

IV. 1.3. Teknis Konversi *Diesel Fuel Engine* menjadi *Dual Fuel Engine*

Jenis konversi yang dilakukan adalah *High Speed Engine Conversion System*. Karena mengikuti prosedur dari

produsen konverter ini, mesin yang dipakai pada kapal tunda yaitu Caterpillar C32 memiliki putaran 1800 rpm yang termasuk putaran tinggi. Maka, instalasi yang dilakukan adalah dengan memasang sebuah *central mixer* yang posisi pemasangannya tepat sebelum *turbocharger* untuk selanjutnya menjadi aliran campuran udara dengan gas bahan bakar (CNG). Dan untuk kontrol injeksi bahan bakar gas dilakukan oleh sebuah katup yang terhubung oleh sebuah sistem kontrol elektronik yang telah disediakan oleh produsen peralatan konversi tersebut sehingga kecepatan dan daya keluaran mesin tetap sesuai.

Sistem ini tidak hanya bekerja dengan sistem *dual fuel* saja, namun juga tersedia sistem bahan bakar tunggal yaitu menggunakan *diesel fuel*. Jika kondisi sistem bahan bakar gas terjadi gangguan atau gas habis secara mendadak, katup bahan bakar gas akan langsung tertutup dan pengoperasian yang hanya menggunakan bahan bakar minyak diesel dapat langsung dijalankan dengan parameter yang sama seperti sebelum dilakukan konversi. Maka, pergantian sistem bahan bakar dari ganda menjadi tunggal maupun sebaliknya, dapat berlangsung ketika mesin sedang bekerja, tanpa adanya interupsi beban. Pergantian tersebut berlangsung secara halus, dan jika sistem suplai bahan bakar gas telah normal kembali maka sistem bahan bakar akan beralih menjadi sistem *dual fuel* kembali. Perlu diingat bahwa mesin akan selalu mengalami start dengan sistem bahan bakar tunggal (diesel) pada kondisi awal.

Kemudian, setelah konversi dilakukan, daya keluaran diklaim tidak akan menurun. Dan segala parameter mesin seperti suhu gas buang, suhu mesin ketika bekerja akan tetap dalam batas standar yang sama dengan saat mesin belum dilakukan konversi.

Cara kerja sistem *dual fuel* ini adalah, gas yang disuplai dari tabung silinder bertekanan akan disaring terlebih dahulu oleh *gas filter*. Setelah melalui *closing valve*, *pressure governor* akan memeriksa tekanan bahan bakar gas yang disuplai.

Kemudian, bahan bakar gas akan disalurkan menuju *air/gas mixer* oleh *gas throttle valve*. Selain menyalurkan bahan bakar gas, katup yang dilengkapi dengan *actuator* ini juga berfungsi untuk mengatur jumlah gas yang akan disuplai. Perintah untuk mengatur suplai gas didapat dari *ComAp controller Intelidrive* karena alat ini menerima data dari sensor suhu udara masuk, suhu gas buang, dan detektor pencegah adanya *knocking* (*ComAp Knocking Detector DENOX*).

Dan setelah katup gas dibuka, gas akan menuju *air/gas mixer* untuk dicampur dengan udara yang akan memasuki ruang bakar. Campuran udara dengan gas bahan bakar masuk melalui katup *inlet*. Proses pembakaran dilaksanakan sesaat setelah *diesel oil* diinjeksikan oleh nosel bahan bakar pada akhir proses kompresi. Pada saat inilah volume campuran udara dengan gas semakin meningkat diiringi dengan suhu dan tekanan yang tinggi saat piston mendekati posisi titik mati atas. Bahan bakar minyak yang berfungsi sebagai *pilot-ignited* diinjeksikan dalam jumlah yang sedikit di bawah tekanan tinggi.

IV.2. Analisis Nilai Ekonomis Dual Fuel System Dibandingkan dengan Diesel Fuel Engine pada Mesin Induk Kapal Tunda PT. Pelabuhan Indonesia II

Pemakaian sistem bahan bakar ganda dengan gas alam terkompresi sebagai bahan bakar utama akan menghasilkan karbon yang lebih sedikit dari sistem bahan bakar tunggal. CNG (*compressed natural gas*) mengandung unsur metana lebih dari 90%. Metana (CH_4) memiliki ikatan kimia dengan karbon yang jauh lebih sedikit dari minyak diesel ($\text{C}_{18}\text{H}_{36}$). Sehingga emisi yang dihasilkan menjadi lebih bersih dan hal ini merupakan salah satu keuntungan yang dimiliki oleh sistem berbahan bakar ganda. Karena minimnya jumlah karbon yang dihasilkan, ruang bakar dan *turbocharger* menjadi lebih bersih dari karbon sehingga lebih awet. Ketika komponen-komponen mesin ini memiliki kondisi

baik yang lebih lama, maka frekuensi pembersihan karbon pada mesin menjadi berkurang, bahkan interval pelaksanaan overhaul mesin juga dapat diperpanjang. Maka, mesin dapat bekerja secara efektif dalam waktu yang lebih lama dari mesin berbahan bakar diesel karena komponen masih dalam kondisi yang baik.

Keuntungan lainnya adalah ditinjau dari nilai kalor yang dihasilkan oleh sistem *dual fuel*. Berikut adalah tabel nilai propertis bahan bakar minyak diesel dan CNG.

Tabel 4.2. Nilai Propertis CNG dan MDO

CNG Properties	Value
Density (kg/m^3)	0,72
Flammability limits (volume % in air)	4,3 - 15
Flammability limits	0,4 - 1,6
Autoignition temperature in air ($^{\circ}\text{C}$)	723
Minimum ignition energy (mJ)	0,28
Flame velocity (ms^{-1})	0,38
Adiabatic flame temperature (K)	2214
Quenching distance (mm)	2,1
Stoichiometric fuel/air mass ratio	0,069
Stoichiometric volume fraction %	9,48
Lower heating value (MJ/Kg)	45,8
Heat of combustion ($\text{MJ/kg}_{\text{air}}$)	2,9
Diesel Fuel (MDO) Properties	Value
Density (kg/m^3)	836
Lower heating value (MJ/Kg)	44
Cetane Number	62.2

CNG memiliki nilai LHV 45,8 MJ/kg sedangkan nilai LHV minyak diesel, yang pada kapal ini menggunakan MDO adalah 44 MJ/kg. LHV (*Lower Heating Value*) merupakan nilai

kalor yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan pada proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara. Makin tinggi berat jenis suatu bahan bakar minyak, makin rendah nilai kalornya serta makin tinggi bilangan oktan yang dimiliki bahan bakar tersebut. Nilai kalor diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Dan pada perhitungan kali ini, penulis akan menghitung konsumsi harian MDO sebelum dan setelah dilakukan konversi sehingga menemukan kebutuhan MDO dan CNG per hari.

Tabel 4.3. Lama Operasi dan Konsumsi Bahan Bakar

Nama Kapal	TB. Batavia VI
Durasi Operasi (jam/hari)	12
Konsumsi MDO (kg/hari)	$\pm 3,600$ ($\pm 1,800 \times 2$ mesin)

Dari data yang didapatkan, lama operasi kapal tunda yang ada pada PT. Pelabuhan Indonesia II mencapai rata-rata 12 jam tiap harinya. Sehingga, untuk perkiraan durasi pada pengoperasian kapal tunda TB. Batavia VI adalah 12 jam. Dan konsumsi MDO setiap mesin adalah 1,800 kg per hari. Data konsumsi didapat dari perkalian antara daya servis, SFOC pada mesin induk, dan durasi operasi kapal tunda tersebut. Perhitungan berikutnya bertujuan untuk mengetahui nilai kalor atau LHV dari pembakaran mesin.

Jika diketahui nilai LHV_{MDO} sebesar 44 MJ/Kg, maka kita dapat menghitung nilai LHV_{engine} dengan cara mengalikan dengan konsumsi MDO per harinya. Konsumsi MDO yang dimaksud adalah pada dua buah mesin induk, yaitu 3,600 kg. Sehingga nilai LHV_{engine} yang dihasilkan oleh pembakaran mesin induk pada tiap harinya adalah sebagai berikut:

$$LHV_{engine} = LHV_{MDO} (MJ/Kg) \times \text{Fuel Consumption}(kg/day)$$

$$= 44 \times 3,600$$

$$= 158,400 \text{ MJ/day}$$

Maka, nilai LHV_{engine} yang dihasilkan setiap harinya adalah sebesar 158,400 MJ. Nilai tersebut adalah LHV mesin dengan sistem bahan bakar diesel. Kemudian, dengan rencana konversi mesin induk berbahan bakar tunggal menjadi mesin induk berbahan bakar ganda, diketahui bahwa nilai perbandingan / rasio komposisi bahan bakar pada sistem *dual fuel* antara CNG dengan MDO adalah 70:30, dimana 70% bahan bakar gas tercampur dengan udara yang menuju ruang bakar dan 30% MDO diinjeksikan di akhir langkah kompresi. Bahan bakar yang dibutuhkan dalam per hari dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$LHV_{\text{CNG}} = LHV_{\text{mesin}} (\text{MJ}) \times \text{komposisi bahan bakar}$$

Dari rumus di atas, dapat dihitung nilai LHV CNG yang dibutuhkan untuk 12 jam dalam satu hari operasi dua buah mesin induk kapal tunda. Perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} LHV_{\text{CNG mesin}} &= LHV_{\text{engine}} (\text{MJ}) \times 70\% \\ &= 158,400 \times 70\% \\ &= 110,880 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Nilai LHV untuk CNG yang dibutuhkan pada dua buah mesin induk dengan berdasarkan komposisi bahan bakar CNG sebesar 70% adalah 110,880 MJ. Nilai tersebut yang akan digunakan untuk menghitung massa dari konsumsi CNG tiap harinya. Massa CNG dihitung dengan membagi nilai LHV CNG yang dibutuhkan untuk mesin sebesar 110,880 MJ dengan nilai LHV CNG sebesar 45.8MJ/kg. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Massa CNG} &= LHV_{\text{CNG mesin}} (\text{MJ}) : LHV_{\text{CNG}} (\text{MJ/Kg}) \\ &= 110,880 : 45.8 \end{aligned}$$

$$= 2420.96 \text{ kg}$$

Hasil dari perhitungan diatas adalah 2420.96 kg sehingga nilai tersebut adalah massa CNG yang dibutuhkan untuk pengoperasian kapal tunda sepanjang 12 jam setiap harinya. Karena mayoritas penjualan CNG menggunakan satuan mmBtu (*million British thermal unit*), nilai massa CNG harus dikonversi menjadi satuan MMBTU dengan rumus bahwa 1 mmBtu CNG adalah sekitar 18.395 kg dan konsumsi CNG per hari adalah 2420.96 kg, maka perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{CNG Consump} &= \text{massa CNG} : \frac{18,395 \text{ kg}}{\text{mmBtu}} \\ &= 2420.96 \text{ kg CNG} : 18.395 \frac{\text{kg}}{\text{mmBtu}} \\ &= 131.61 \text{ mmBTU} \end{aligned}$$

Sehingga, konsumsi CNG per hari dalam satuan mmBtu adalah sebesar 131.61 mmBTU. Selanjutnya, untuk menghitung konsumsi MDO per hari, nilai LHV pada pembakaran mesin induk setiap harinya dikalikan dengan komposisi MDO dari rasio bahan bakar pada sistem *dual fuel*. Telah diketahui sebelumnya bahwa nilai LHV MDO yang dibutuhkan pada dua buah mesin dalam 12 jam adalah 158,400 MJ. Nilai tersebut lalu dibagi dengan persentase komposisi bahan bakar MDO yang digunakan untuk 12 jam kerja mesin induk.

$$\begin{aligned} \text{LHV}_{\text{MDO engine}} &= \text{LHV}_{\text{engine}} \times 30\% \\ &= 158,400 \times 30\% \\ &= 47,520 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Nilai kalor yang dihasilkan dari perhitungan tersebut adalah kebutuhan LHV MDO pada 12 jam kerja mesin induk kapal tunda, yakni sebesar 47,520 MJ. Langkah selanjutnya adalah mencari massa konsumsi MDO dalam sehari.

Perhitungannya sama seperti menghitung massa CNG sebelumnya.

$$\begin{aligned}\text{MDO Consump} &= \text{LHV}_{\text{MDO engine}} (\text{MJ}) : \text{LHV}_{\text{MDO}} (\text{MJ/Kg}) \\ &= 47,520 : 44 \\ &= 1,080 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jadi, dari hasil perhitungan di atas adalah konsumsi massa MDO dalam 12 jam kerja kapal tunda, yaitu 1,080 kg. Perkiraan ini yang akan digunakan dalam membandingkan konsumsi bahan bakar mesin diesel konvensional dengan mesin diesel dengan sistem *dual fuel*.

Dari nilai-nilai massa bahan bakar CNG dan MDO dengan rasio sebesar 70 : 30 dapat ditarik sebagai perbandingan konsumsi bahan bakar dengan mesin diesel berbahan bakar tunggal, yaitu MDO dengan mesin yang telah di konversi menjadi sistem *dual fuel*. Perbandingan ini yang dipakai untuk menghitung nilai ekonomis dari konsumsi bahan bakar *dual fuel*. Berikut adalah tabel perbandingan kebutuhan antara *diesel fuel system* dengan *dual fuel system*.

Tabel 4.4. Perbandingan Kebutuhan Bahan Bakar pada Sistem Bahan Bakar Diesel dan Sistem *Dual Fuel*

Sistem Bahan Bakar	Kebutuhan Bahan Bakar per hari
Sistem Bahan Bakar Diesel	3,600 kg MDO
Sistem <i>Dual Fuel</i>	131.61 mmBTU CNG & 1,080 kg MDO

Dari hasil perhitungan sebelumnya telah didapatkan perbandingan konsumsi bahan bakar harian untuk dua buah mesin induk kapal tunda. Pada sistem bahan bakar diesel, dibutuhkan setidaknya $\pm 3,600$ kg MDO per hari untuk operasi 12 jam.

Sedangkan, pada sistem bahan bakar ganda, hanya dibutuhkan CNG sebanyak 131.61 mmBTU dan 1,080 kg MDO.

Di sini dapat disimpulkan bahwa sistem *dual fuel* mengalami pembakaran yang lebih bersih dari sistem bahan bakar tunggal. Penurunan pemakaian bahan bakar MDO sangat signifikan, yaitu dari 3,600 kg menjadi 1,080 kg MDO per hari. Dan 131.61 mmBTU CNG dimana gas CNG sendiri mengandung metana yang komposisinya lebih dari 90% mengandung unsur karbon yang sangat rendah ketimbang bahan bakar MDO. Sehingga emisi gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran mesin diesel *dual fuel* menjadi berkurang secara signifikan.

Kemudian, untuk mengetahui harga dari masing-masing bahan bakar. Berikut adalah daftar harga bahan bakar CNG dan MDO di Indonesia. Januari 2014 harga bahan bakar MDO per liter, yaitu Rp 10,000.- (sumber: Galangan Kapal DPS Surabaya). Sehingga, massa MDO yang memiliki satuan kg harus dikonversi menjadi liter agar dapat dengan mudah dihitung untuk biaya pengeluaran yang dianggarkan oleh PT. Pelabuhan Indonesia II untuk pembelian bahan bakar MDO pada sistem bahan bakar tunggal.

$$\begin{aligned}\text{Volume}_{\text{MDO}} (\text{l/hari}) &= \text{massa}_{\text{MDO}} (\text{kg/hari}) / \text{densitas}_{\text{MDO}} (\text{kg/l}) \\ &= 3,600 / 0.85 \\ &= 4235.29 \approx 4236 \text{ liter/hari}\end{aligned}$$

Dengan pembulatan angka, volume MDO untuk dikonsumsi oleh dua buah mesin induk dalam 12 jam kerja adalah sebesar 4,236 liter/hari. Sehingga, total biaya untuk kebutuhan bahan bakar MDO per hari pada sistem *dual fuel*, dikalikan dengan harga MDO per liter yaitu Rp 10,000.- dan perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Total biaya (Rp)} &= \text{Volume}_{\text{MDO}} \text{ (l/hari)} \times \text{harga MDO} \\
 \text{(Rp/l)} & \\
 &= 4236 \times 10,000 \\
 &= \text{Rp } 42,360,000.- \text{ per hari}
 \end{aligned}$$

Dalam sehari, pihak Pelabuhan Indonesia II harus menganggarkan biaya sebesar Rp 42,360,000.- per hari untuk satu kapal tunda. Dan setelah diketahui biaya tersebut, perhitungan juga harus dilakukan untuk perkiraan biaya konsumsi bahan bakar dengan sistem *dual fuel* yang akan dikonversi pada pengoperasian kapal tunda Batavia VI dalam satu hari.

Perhitungan volume bahan bakar MDO pada mesin diesel yang telah dikonversi dengan rasio bahan bakar 70 : 30 dilakukan sesuai dengan rasio komposisi dari MDO yaitu 30%. Dari nilai massa MDO yang sebelumnya telah diketahui yaitu 1.080 kg per hari dibagi dengan densitas dari MDO yaitu 0.85 kg/l. Sehingga, perhitungan untuk mengetahui kebutuhan volume MDO adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume}_{\text{MDO}} \text{ (l/hari)} &= \text{massa}_{\text{MDO}} \text{ (kg/hari)} / \text{densitas}_{\text{MDO}} \text{ (kg/l)} \\
 &= 1,080 / 0.85 \\
 &= 1270,59 \approx 1271 \text{ liter/hari}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan volume bahan bakar MDO pada sistem *dual fuel* adalah 1271 liter per hari. Maka total biaya untuk kebutuhan bahan bakar MDO per hari pada sistem *dual fuel* dapat dihitung dengan perhitungan yang sama dengan total biaya konsumsi bahan bakar MDO pada mesin diesel berbahan bakar tunggal sebelumnya, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Total biaya MDO (Rp)} &= \text{Volume}_{\text{MDO}} \text{ (l/hari)} \times \text{harga MDO} \\
 \text{(Rp/l)} &
 \end{aligned}$$

$$= 1,271 \times 10,000$$

$$= \text{Rp } 12,710,000.- \text{ per hari}$$

Total biaya yang perlu dikeluarkan oleh pihak Pelabuhan Indonesia II untuk pengoperasian satu buah kapal tunda dengan sistem bahan bakar yang telah terkonversi menjadi sistem *dual fuel*, khususnya untuk bahan bakar MDO hanya sebesar Rp 12,710,000.- per hari.

Perkembangan harga CNG di pasar dunia adalah sekitar 4.0 US\$ per mmBtu (sumber: IMF Commodity Price Forecasts, 2013). Dengan kurs 1 US\$ dalam rupiah sebesar Rp 12,180.- maka 4.0 US\$ dalam rupiah adalah sebesar Rp 48,720.- . Dan perhitungan berikut adalah perkiraan total biaya untuk kebutuhan bahan bakar CNG per hari pada sistem *dual fuel*

$$\text{Total biaya CNG (Rp)} = \text{Kons. CNG (mmBtu)} \times \text{harga CNG (Rp/mmBtu)}$$

$$= 131.61 \times (12,180 \times 4)$$

$$= \text{Rp } 6,412,040.- \text{ per hari}$$

Dan biaya yang dikeluarkan oleh PT. Pelabuhan Indonesia II untuk pemenuhan kebutuhan 131.61 mmBtu adalah sebesar Rp 6,412,040.- per hari. Dari perhitungan bahan bakar untuk sistem *dual fuel* di atas, total biaya untuk bahan bakar MDO adalah Rp 12,710,000.- dan bahan bakar CNG adalah Rp 6,412,040.- tiap harinya. Jadi, total biaya yang dikeluarkan oleh pihak Pelindo II adalah sebesar

$$\text{Total biaya keseluruhan (Rp)} = \text{Total biaya MDO (Rp)} + \text{Total biaya CNG (Rp)}$$

$$= 12,710,000 + 6,412,040$$

= Rp 19,122,040.-

Setelah didapatkan hasil perhitungan dari total biaya keseluruhan untuk konsumsi bahan bakar pada sistem *dual fuel*. Hal selanjutnya adalah membandingkan pengeluaran bahan bakar per hari untuk mesin berbahan bakar tunggal dengan mesin berbahan bakar ganda. Berikut ini adalah tabel Perbandingan total biaya bahan bakar pada sistem bahan bakar diesel dan sistem *dual fuel*.

Tabel 4.5. Perbandingan Total Biaya Bahan Bakar pada Sistem Bahan Bakar Diesel dan Sistem *Dual Fuel*

Sistem Bahan Bakar	Total Biaya Bahan Bakar / hari
Sistem Bahan Bakar Diesel	Rp 42,360,000.-
Sistem <i>Dual Fuel</i>	Rp 19,122,040.-

Dari tabel di atas, dapat diamati bahwa jumlah pengeluaran untuk bahan bakar per hari jauh lebih hemat menggunakan sistem *dual fuel*. Penghematan yang dicapai sekitar 55% dari pengeluaran normalnya.

Lalu hal lain yang perlu dihitung adalah biaya instalasi awal sistem *dual fuel* pada mesin induk kapal tunda Batavia VI. Pada instalasi awal, peralatan converter “ComAp Dual Fuel Converter Kit” mematok harga sekitar Rp 600,000,000.- untuk tiap mesin dengan jenis *high speed* yang memiliki putaran 1200 hingga 1800 rpm. Mesin induk TB. Batavia VI milik PT. Pelabuhan Indonesia II ini memiliki putaran 1800 rpm sehingga mesin induk kapal ini termasuk dalam mesin jenis *high speed*.

Dan kebutuhan lainnya yaitu pembelian tabung gas CNG dan biaya lainnya jika ada, dengan perkiraan harga sekitar Rp 35,000,000.-. Maka total investasi awal adalah Rp 635,000,000.-.

tiap mesin induk atau sebesar Rp 1,270,000,000.- untuk dua mesin induk pada kapal tunda tersebut.

Untuk perbandingan biaya dalam satu tahun pertama, jika dibandingkan dalam satu tahun atau 365 hari, total biaya yang harus dikeluarkan oleh PT. Pelabuhan Indonesia II untuk biaya bahan bakar dan instalasi converter pada sistem *dual fuel* sebelum dan sesudah konversi dilakukan adalah sebagai berikut.

Sistem Bahan Bakar Diesel = Total biaya MDO (Rp) x 365
(hari)

$$= 42,360,000 \times 365$$

$$= \text{Rp } 15,461,400,000.-$$

Sistem *Dual Fuel* = [Total biaya MDO dan CNG
(Rp) x 365 (hari)] + biaya
instalasi awal (Rp)

$$= (19,122,040 \times 365) + 1,270,000,000$$

$$= \text{Rp } 8,249,544,600.-$$

Sehingga perbandingan dari biaya pengeluaran antara sistem bahan bakar dalam satu tahun adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6 Perbandingan Total Biaya antara Sistem Bahan Bakar Diesel dengan Sistem *Dual Fuel* dalam satu tahun pertama

Sistem Bahan Bakar	Total Biaya Bahan Bakar
Sistem Bahan Bakar Diesel	Rp 15,461,400,000.-
Sistem <i>Dual Fuel</i>	Rp 8,249,544,600.-

Perbedaan yang signifikan dapat dilihat sehingga sistem *dual fuel* tetap lebih menguntungkan dari sistem bahan bakar diesel konvensional. Biaya yang dapat dihemat dalam satu tahun pertama sebesar Rp 7.211.855.400.- atau hampir 50% dari pengeluaran normalnya dalam satu tahun. Dan di tahun berikutnya, pemangkasan biaya untuk bahan bakar dapat lebih besar.

SPECIFICATIONS

V-12, 4-Stroke-Cycle-Diesel

Emissions IMO/EPA Tier 2 Compliant;
EU Stage 3A Inland Waterway;
Accepted as equivalent CCNR Stage II;
DnV clean design compliant

Displacement 32.1 L (1958.8 in³)

Rated Engine Speed 1600-2300

Bore 145 mm (5.7 in.)

Stroke 162 mm (6.4 in.)

Aspiration Twin Turbocharged-Aftercooled

Governor Electronic

Cooling System . . . Heat Exchanger or Keel Cooled

Weight, Net Dry (approx.) 3220 kg (7100 lb)

Refill Capacity

Cooling System (engine only) . . . 80 L (21.1 gal)

Lube Oil System (refill) 138 L (36.5 gal)

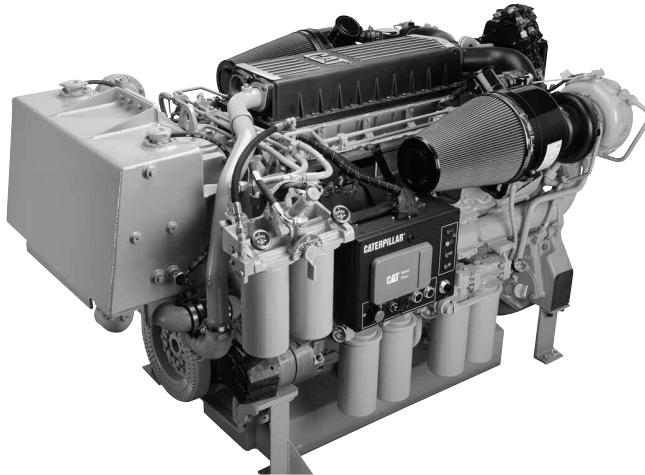
Oil Change Interval 500 hr

Caterpillar Diesel Engine Oil 10W30 or 15W40

Rotation (from flywheel end) Counterclockwise

Flywheel and flywheel housing SAE No. 0

Flywheel Teeth 136



C32 ACERT™ Keel Cooled

Images shown may not reflect actual engines

A-Ratings

(available Keel Cooled or Heat Exchanger Cooled):

492 bkW (660 bhp) @ 1800 rpm (WOSR)

560 bkW (750 bhp) @ 1800 rpm (WOSR)

634 bkW (850 bhp) @ 1800 rpm (WOSR)

709 bkW (950 bhp) @ 1600 rpm

746 bkW (1000 bhp) @ 1800 rpm (WOSR)

B-Ratings

(available Keel Cooled or Heat Exchanger Cooled):

970 bkW (1300 bhp) @ 2100 rpm

C-Ratings

(available Keel Cooled or Heat Exchanger Cooled):

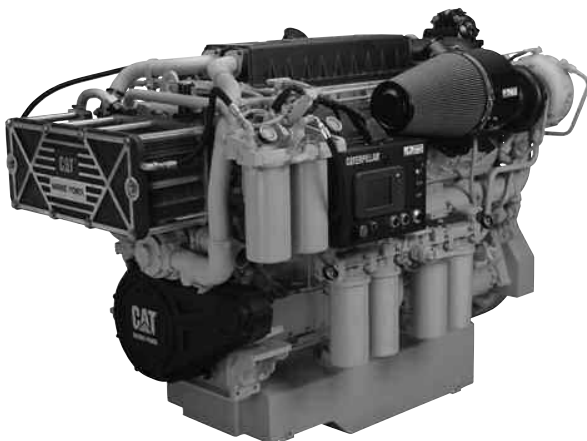
970 bkW (1300 bhp) @ 1800 rpm

1082 bkW (1450 bhp) @ 2300 rpm (WOSR)

D-Rating

(available Heat Exchanger Cooled only):

1194 bkW (1600 bhp) @ 2300 rpm (WOSR)



C32 ACERT™ Heat Exchanger Cooled

STANDARD ENGINE EQUIPMENT

Air Inlet System

Corrosion resistant sea water/separate circuit aftercooler, air cleaner/fumes disposal system (closed)

Control System

Electronic governor, Mechanically actuated Electronically controlled Unit Injection (MEUI) fuel system, A4 Electronic Control Unit (ECU), programmable low idle, momentary start/stop logic: ECU controlled prelube, cranking and cooldown

Cooling System

Gear-driven centrifugal auxiliary sea water pump, gear-driven centrifugal jacket water pump, titanium plate heat exchanger with coolant recovery system or keel cooler with expansion tank, engine oil cooler

Exhaust System

Watercooled exhaust manifold and turbocharger, round flanged outlet

Fuel System

Fuel priming pump, fuel transfer pump, fuel filter – RH or LH service

Instrumentation

Marine Power Display of: engine speed and hours; engine oil pressure and temperature; engine jacket water temperature; fuel pressure, consumption, and temperature; transmission pressure and temperature; 24-pin connector; on/off keyswitch; backup ECU ready and active light; overspeed shutdown and remote stop notification lights

Lube System

Crankcase breather, oil filter – RH or LH service, oil level gauge – RH or LH service, oil filler, deep center sump oil pan

Mounting System

Adjustable front support

General

Vibration damper, lifting eyes, RH or LH service options, literature, side access block, single groove U-bolt crankshaft pulley

ISO Certification

Factory-designed systems built at Caterpillar ISO9001:2000 certified facilities

OPTIONAL EQUIPMENT

Emissions Certification

IMO certifications for GL and CCS

Emissions Certification

EU Inland Waterway certification (replaces CCNR)

Engine Certification

CCS has given type approval for the C32 ACERT engine. Marine Classification Society type approval from ABS, DNV, GL, KR, LR, BV in process at time of print.

Charging System

Battery charger 10 amp.

Cooling System

Jacket water flange kit, RH or LH service

Exhaust System

8" elbows, flexible fitting

Fuel System

Fuel cooler, water separator, and duplex fuel filters

Instrumentation

OEM wiring harness, engine-to-engine harness, gauges and instrument panels, marine analog power display, pilot house instrument panel

Lube System

Duplex oil filters, RH or LH service, prelube solenoid

Power Take-Offs

Hydraulic pump drives (RH or LH rear) (SAE A or B)

Starting System

Air starting motors (ECU-controlled), battery sets (24 volt dry), starting aid (120 volt and 240 volt block heaters)

Packing

Engine protective cover, storage preservation, export packing

General

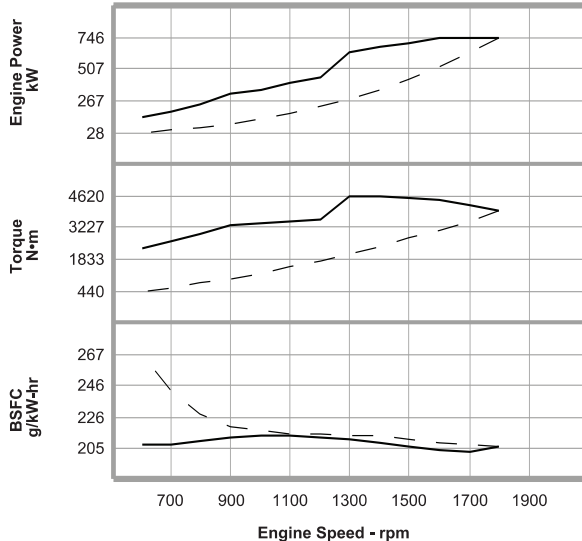
Adapter kit, filter cover kit, tool set, literature, EEC certification, damper guards

C32 DITA ACERT Performance Data

746 kW (1000 hp) @ 1800 rpm

A Rating — DM9609-00

EPA Tier 2 and IMO Certified

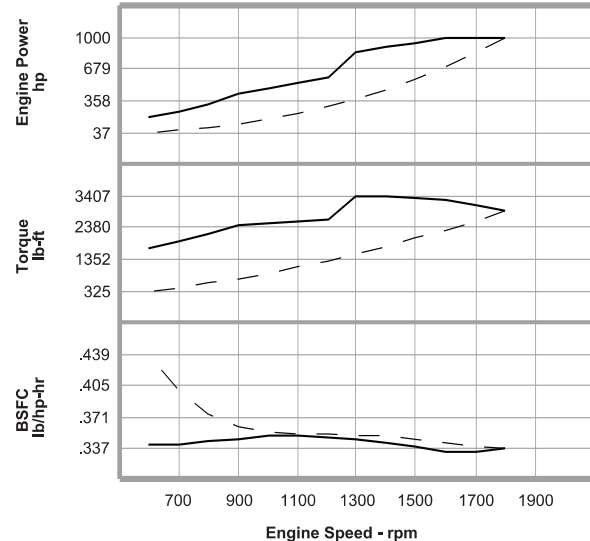


Metric Maximum Power Prop Demand **746 kW**

Performance Data

	Engine Speed rpm	Engine Power kW	Engine Torque N·m	BSFC g/kW-hr	Fuel Rate L/hr
Maximum Power Data	1800	746.0	3958	204.9	182.2
	1700	746.0	4190	202.3	179.9
	1600	746.0	4452	202.7	180.2
	1500	707.0	4501	205.3	173.0
	1400	671.0	4577	208.1	166.4
	1200	450.0	3581	211.4	113.4
	1100	400.0	3472	212.5	101.3
	1000	355.0	3390	212.4	89.9
	900	315.0	3342	210.8	79.1
Prop Demand Data	700	190.0	2592	207.1	46.9
	600	145.0	2308	206.5	35.7
	1800	746.0	3958	204.9	182.2
	1700	628.4	3530	206.1	154.4
	1600	523.9	3127	207.9	129.9
	1500	431.7	2748	210.2	108.2
	1400	351.0	2394	212.3	88.8
	1200	221.0	1759	213.3	56.2
	1100	170.3	1478	213.8	43.4

Cubic prop demand curve with 3.0 exponent for displacement hulls only.



English Maximum Power Prop Demand **1000 hp**

Performance Data

	Engine Speed rpm	Engine Power hp	Engine Torque lb·ft	BSFC lb/hp-hr	Fuel Rate gph
Maximum Power Data	1800	1000.4	2919	.337	48.1
	1700	1000.4	3090	.333	47.5
	1600	1000.4	3283	.333	47.6
	1500	948.1	3320	.338	45.7
	1400	899.8	3376	.342	44.0
	1200	603.5	2641	.348	30.0
	1100	536.4	2561	.349	26.8
	1000	476.1	2500	.349	23.7
	900	422.4	2465	.347	20.9
Prop Demand Data	700	254.8	1912	.340	12.4
	600	194.4	1702	.339	9.4
	1800	1000.4	2919	.337	48.1
	1700	842.7	2603	.339	40.8
	1600	702.6	2306	.342	34.3
	1500	578.9	2027	.346	28.6
	1400	470.7	1766	.349	23.5
	1200	296.4	1297	.351	14.8
	1100	228.4	1090	.351	11.5

Power produced at the flywheel will be within standard tolerances up to 50°C (122°F) combustion air temperature measured at the air cleaner inlet, and fuel temperature up to 52°C (125°F) measured at the fuel filter base. Power rated in accordance with NMMA procedure as crankshaft power. Reduce crankshaft power by 3% for propeller shaft power.

BI-FUEL (DUAL FUEL) CONVERSION OF DIESEL & HFO GENERATING SETS



What is and why bi-fuel (dual fuel) conversion?

ECONOMIZE ON THE COST of your power generation by converting your diesel generating sets to BI-FUEL OPERATION

ComAp's simple bi-fuel conversion modifies your original diesel engine so that it uses natural gas as the main fuel – substantially reducing operating costs.

It works by introducing gas to the engine via various technologies and then electronically controlling flow dependent on engine speed and output.

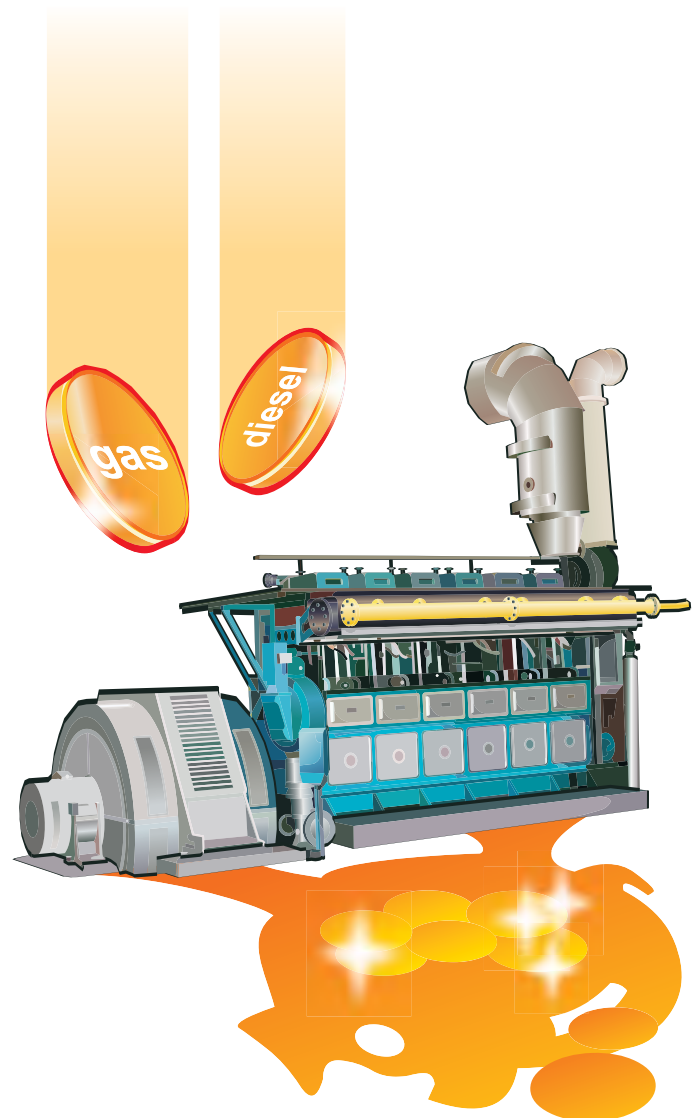
Bi-fuel conversion requires virtually no engine modification and brings double benefits in every application:

- ▶ Affordable diesel engines combined with inexpensive natural gas
- ▶ Economic solution for slow-speed, middle-speed and high-speed engines
- ▶ Flexible use of fuel
- ▶ Guaranteed power output
- ▶ Efficient and safe operation with lower emissions
- ▶ Longer engine life and reduced maintenance costs makes it the perfect investment

Conversion of Diesel Engines to Bi-fuel (two fuels at the same time Diesel/HFO and GAS).

Solutions available for:

- ▶ **high speed engines**
central gas/air mixer (fumigation)
- ▶ **slow and middle speed engines**
individual gas-valve technology



**Bi-Fuel?
Make BIG savings on
your fuel costs!**

COMMON FEATURES

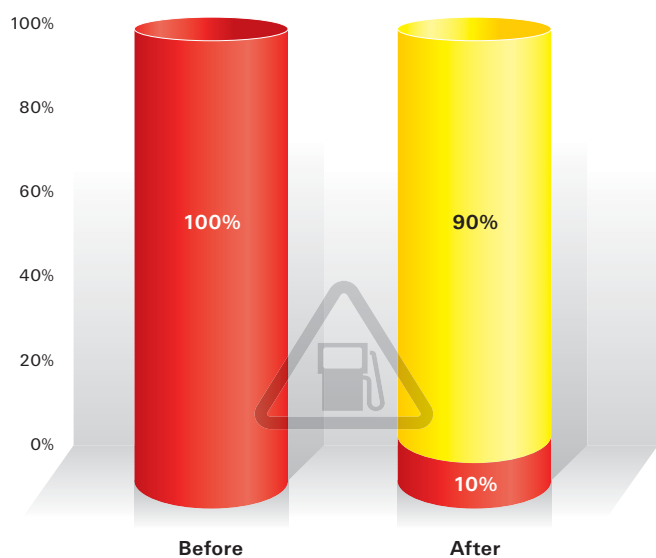
- ▶ Substantial savings on operation costs
- ▶ Practically no engine modification required
- ▶ Non-derated output power
- ▶ Possibility of original diesel operation at any time
- ▶ Safe and secure operation
- ▶ Lower emissions
- ▶ Longer engine life span
- ▶ Prolonged service and maintenance intervals

EXAMPLE OF HIGH SPEED ARRANGEMENTS, Caterpillar 3512

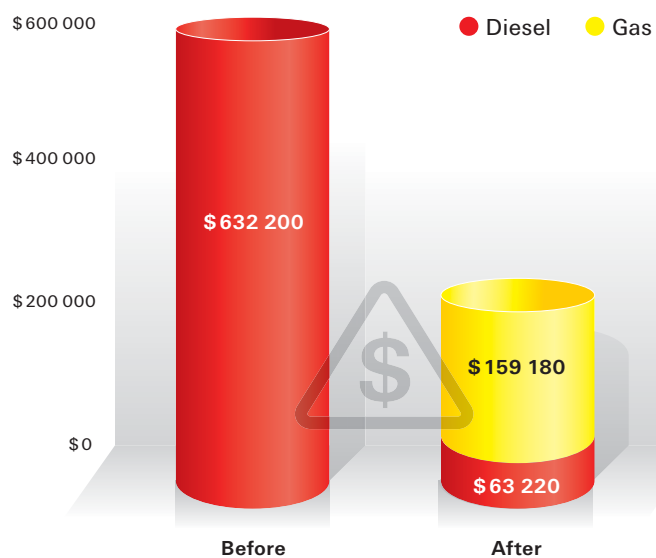


CASE STUDY | Conversion of gen-set: ŠKODA (ČKD) 1450 kVA; 375 RPM

- ▶ Substitute up to 90 % of your diesel consumption with gas
- ▶ Reduce your operational costs substantially



Fuel consumption at nominal output



Fuel costs per year

Frequently Asked Questions?

What does bi-fuel (dual fuel) operation actually mean?

Bi-fuel (dual fuel) operation means the engine uses two fuels (gas and diesel oil) at the same time. Natural gas is intended as the main fuel and diesel oil is used for the ignition of the gas/air mixture inside the cylinder (a portion of diesel oil is injected at the end of the compression stroke, thereby maintaining the original diesel operation principle).



What methods/technologies are employed in the bi-fuel (dual fuel) conversion provided by ComAp?

ComAp provides two conversion technologies – one for slow/middle-speed engines (up to 1000 rpm) and the second for high-speed engines (1200 to 1800 rpm). Therefore the choice of the appropriate ComAp solution is determined by the engine speed and consequent suction/exhaust valve overlap (i.e. opening of suction and exhaust valves at the same time).

Slow/middle-speed engines normally feature a large valve overlap when the pure air is flushing (cleaning) and cooling the cylinder. After bi-fuel conversion, it is necessary to continue cylinder flushing/cooling by pure air, i.e. gas flow into the cylinder during the valve overlap must be interrupted to avoid the presence of gas in the hot exhaust manifold (this would cause a potentially dangerous situation and result in substantial fuel losses). Therefore, typically for slow and middle-speed engines, each cylinder is equipped with the patented electromagnetic gas valve with variable gas injection timing controlled by a ComAp electronic control system INCON.

In contrast, high-speed engines have only a small valve overlap, so it is possible to install just a central mixer(s) before the turbocharger(s) for the continuous flow of the gas/air mixture. Gas injection is controlled by a throttle operated by the ComAp electronic control system IntelliDrive BF according to the required engine output and speed.

Is it necessary to stop the engine in case of required transition between bi-fuel and pure diesel operation modes?

No, transitions between the two modes (from bi-fuel to diesel and vice versa) can be achieved while the engine is running (i.e. without interruption of the load supply) and is a very smooth process. Note the engine will always start on diesel and the operation mode is switched to bi-fuel upon a predefined output level. In case of gas shortage, the transition is immediate and seamless at the actual engine load, gas valves are shut off automatically and the engine continues on pure diesel operation. Once the gas supply has returned the engine is switched back to bi-fuel operation.

Is it possible to operate a converted gen-set on diesel oil only?

Yes, the standard operation mode of the converted engine is certainly bi-fuel. However, operation on diesel fuel only (e.g. in case of gas emergency) remains possible at any time and the converted engine operates using diesel fuel with the same parameters as those before conversion was undertaken.

What is a de-rating factor (output reduction) for a converted gen-set?

After the conversion, the engine nominal output is not de-rated and all engine parameters (e.g. exhaust temperature, engine temperature etc.) and behavior (e.g. response to a load steps) remains within the limits stated by the engine manufacturer for the original diesel engine (provided these parameters were within limits before the conversion). The de-rating factor according to the ambient conditions remains the same.



How does the conversion affect maintenance costs?

Maintenance costs after conversion will not be increased at all. Substantial parts of the engine remain unchanged, new mechanical parts are of heavy-duty design (e.g. service interval for the electromagnetic gas valves is 6000 running hours), and electronic control systems are fully automatic. Moreover, the gas operation means less carbonization of combustion chambers and turbocharger, so that the interval for de-carbonisation and overhauling of the engine is prolonged.

What warranty does ComAp provide for the conversion?

Standard warranty is 12 months from the date of start-up, 4000 running hours, whichever expires earlier. The Warranty covers equipment related to the conversion.

What types of gas can be used for bi-fuel engine operation?

Generally, the most suitable are the Methane-based gases with none or very low contains of Propane such as typically found in Natural Gas. For consulting possible usage of other gas types, please ask ComAp with respective gas specification enclosed.

Can LPG be used for bi-fuel engine operation?

In case of LPG, the bi-fuel conversion is also generally possible, but the situation is different. The LPG has acceptable calorific values regularly, also composition is OK considering there are no aggressive elements (sulfur, hydrogen etc.). The LPG is more explosive than natural gas and therefore it has tendency for so called "knocking", i.e. the LPG starts to autofire when the gas volume, combustion temperature and combustion pressure are higher, i.e. at higher engine loads. Thus, we expect substantial power output reduction after the engine conversion just to avoid knocking. As an example: We have generally calculated that if the LPG consists of 50 % Propane and 50 % Butane, at LPG/diesel ratio 65/35 % the engine power output has to be derated down to 60 % of the nominal output. Of course, exact calculation would have to be done for the specific engine type.

Can CNG or LNG be used for bi-fuel engine operation?

Since CNG and LNG are just highly compressed or liquefied versions of Natural Gas, after sufficient pressure reduction it can be used for bi-fuel engine operation.

Can Biogas be used for bi-fuel engine operation?

Concerning biogas, the bi-fuel conversion of the engine is generally possible. We need to know biogas composition and calorific value to evaluate if the particular biogas type is really suitable. Calorific value may be an issue as biogas is derived from different sources and there is low calorific value in many cases. You can imagine we have to inject sufficient volume of gas into the cylinder to substitute diesel oil (or, better to say, substitute energy delivered by diesel oil). If the calorific value (energy) of the biogas is very low, we would need to inject a larger volume of biogas into the cylinder, which could be technically impossible. Please ask ComAp with respective gas analysis enclosed.



High Speed Engine Conversion System

HOW IT WORKS

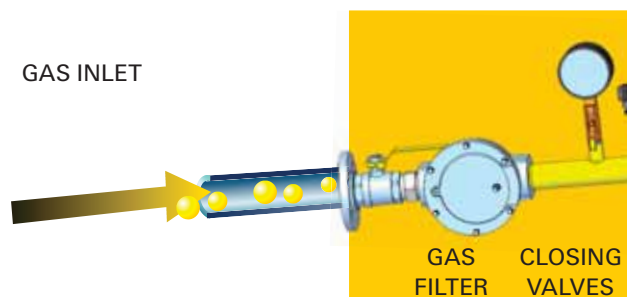
Gas is mixed with air by a common mixer installed before the turbocharger(s). Gas flow is controlled by a throttle valve, which is electronically operated by the ComAp control system IntelliDrive BF according to the required engine output and speed.

In order to avoid knocking of the engine, ComAp knocking detector/controller DENOX is installed, thus enabling engine operation at the most efficient gas/diesel ratio.

System for conversion of industrial diesel engines to bi-fuel operation by substitution of typically 50–80% natural gas for diesel.

- ▶ Suitable for all High Speed Engines, 1200–1800 RPM
- ▶ No reduction of engine power or efficiency
- ▶ Smooth transition between diesel and bi-fuel operations at any time
- ▶ Gas and air are blended behind air filter before turbocharger by central mixer
- ▶ State of the art electronics maximizes the amount of injected gas while keeping all engine parameters within limits specified by the engine manufacturer
- ▶ No modifications of internal engine components are required

BASIC SCHEME OF THE CONVERTED ENGINE



MAIN FEATURES

- ▶ Completely automatic system
- ▶ Cheaper electricity production
- ▶ Non-derated output power
- ▶ The same response to load steps
- ▶ The amount of gas is maximized as much as possible under varying conditions at any time
- ▶ High stability and increased protection of the engine
- ▶ Lower emissions
- ▶ Possibility of pure diesel operation maintained
- ▶ Prolonged service intervals
- ▶ Turn-key solution
- ▶ Easy operation

TYPICAL CONVERTIBLE ENGINES

- ▶ High-speed (1200 – 1800 rpm)

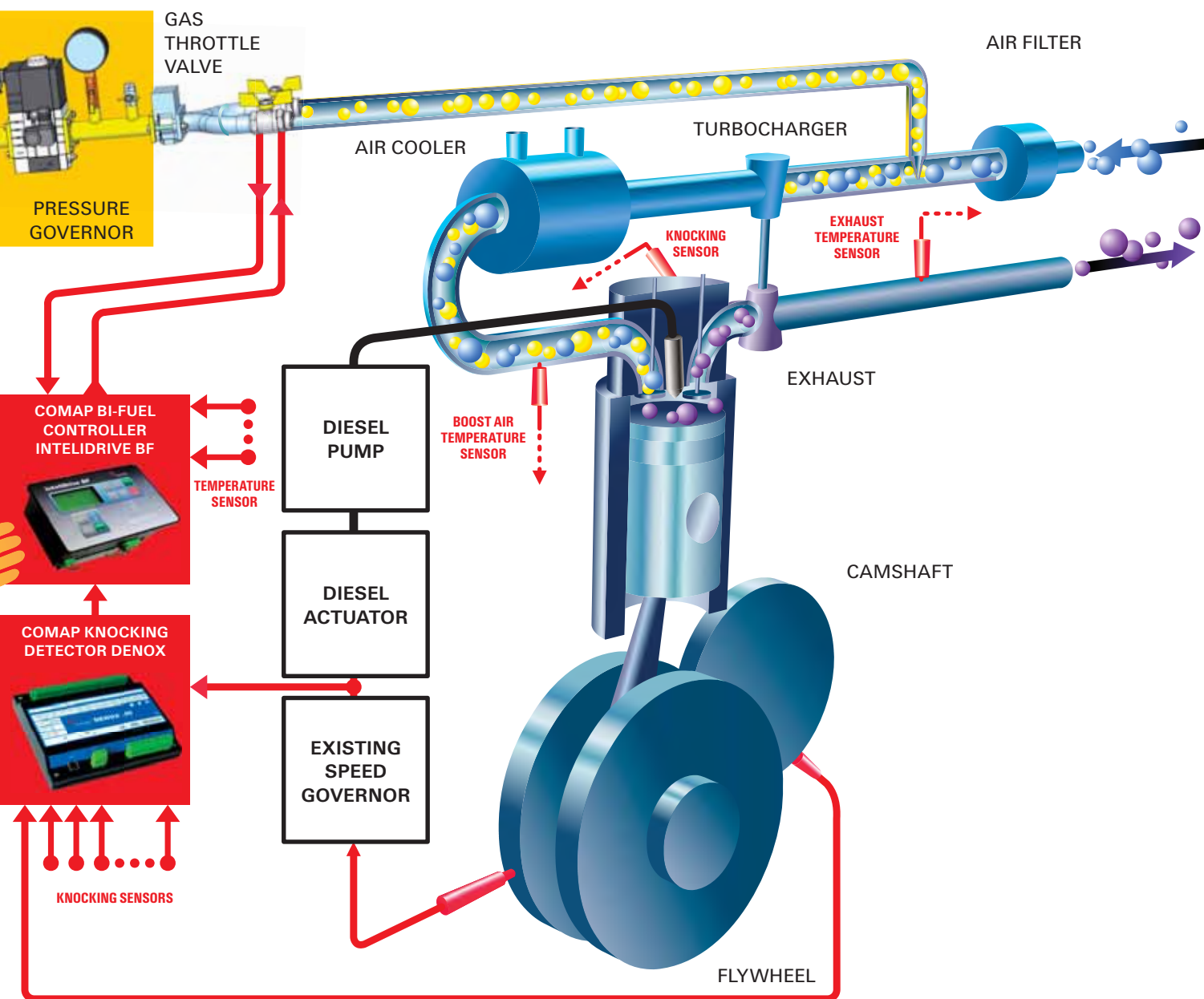
ELEMENTS OF THE SYSTEM

- ▶ Air / gas mixer(s)
- ▶ Gas throttle valve with actuator
- ▶ ComAp bi-fuel controller/governor IntelliDrive BF
- ▶ ComAp knocking detector/controller DENOX
- ▶ Sensors (acoustic, pressure, temperature, etc.)
- ▶ Gas train (gas manifold, gas governor, double closing valve, filter, ball valve etc.)



PRODUCT REPORT | Nigeria, Veepee Industries

In 2004 Company Veepee Industries ordered their first Bi-fuel conversion of an initial 4 generating sets powered by Caterpillar engines - 3412 S/TA, and 3508, with varying outputs of 800kVA to 1000kVA, so impressed with the substantial savings resulting from the achieved gas diesel ratio of 65 % gas / 35 % diesel using the ComAp High Speed Bi-fuel solution the company then ordered an additional 7 engines to be converted to ComAp bi-fuel operation. These engines have continued to operate most reliably over the years. As the company has expanded, the 100 % support of ComAp Bi-fuel solutions by Veepee has been ongoing.



Bi-fuel controller Intelidrive BF



Gas Throttle Valve



Knocking detector DENOX



Gas/ Air Blender

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ariffah Fitriana dilahirkan pada tanggal 5 April 1992 di Wonogiri, Jawa Tengah yang merupakan anak pertama dari pasangan Satim SH., MM dan Sumiyati SE., MM. Pendidikan formal penulis ditempuh di SDN Wonorejo 274 Surabaya, SMP Negeri 12 Surabaya, SMA Negeri 5 Surabaya yang kemudian lulus pada tahun 2010 dan melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Fakultas Teknologi Kelautan dengan mengambil Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Pada akhir masa pendidikannya, penulis memilih Marine Power Plant sebagai bidang tugas akhir dengan bimbingan DR. I Made Ariana, ST, MT dan Ir. Indrajaya Gerianto, M.S. Penulis dapat dihubungi melalui email dengan alamat *ariffahf@gmail.com*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari Tinjauan Teknis Ekonomis Pemakaian Dual Fuel Pada Tug Boat PT. Pelabuhan Indonesia II yang dilakukan dengan menganalisa hal-hal teknis pada instalasi peralatan konversi sistem *dual fuel* dan membandingkan sisi ekonomis yang dihasilkan pada sistem tersebut, kesimpulan yang dapat diambil antara lain, yaitu:

1. Sistem *dual fuel* adalah sistem bahan bakar ganda yang memanfaatkan pembakaran bersih dari bahan bakar gas (CNG) di mana CNG atau *compressed natural gas* ini mengandung karbon yang lebih sedikit dari bahan bakar minyak. CNG juga merupakan produk gas alam yang lebih sederhana dan ekonomis ketimbang LNG (*liquefied natural gas*).
2. Sistem *dual fuel* memiliki rasio bahan bakar gas dengan minyak sebesar 70:30. Fungsi bahan bakar minyak merupakan sebagai *pilot-ignited fuel* atau pemantik pembakaran. Dan bahan bakar gas yang tercampur dengan udara dan memasuki ruang bakar dapat mempersingkat proses *ignition delay* karena reaksi fisik yang terjadi pada bahan bakar menjadi lebih pendek sehingga pembakaran dapat cepat tercapai.
3. Kebutuhan bahan bakar pada mesin induk kapal tunda yang menggunakan sistem *dual fuel* memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Karena meskipun biaya instalasi awal sistem *dual fuel* yang cukup mahal, namun total biaya yang dikeluarkan dalam sehari (12 jam operasi) untuk konsumsi bahan bakar sistem *dual fuel* adalah sebesar Rp 19,122,040.- dibandingkan dengan total biaya sebesar Rp 42,360,000.- pada sistem bahan

4. bakar tunggal. Sehingga kurang dari satu tahun, biaya investasi awal dapat cepat kembali.

V.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang di tarik dari hasil analisis data, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Sistem dual fuel sangat baik jika digunakan dalam sistem bahan bakar kapal tunda pada PT. Pelindo II maupun kapal-kapal lain karena selain efisien, ekonomis juga mengurangi emisi gas buang, dan bahkan dapat mengurangi frekuensi perawatan mesin sampai overhaul karena proses pembakaran yang lebih bersih dan komponen mesin lebih awet.
2. Harga-harga yang tercantum sewaktu-waktu dapat berubah sehingga disarankan untuk mengikuti perkembangan harga bahan bakar CNG maupun MDO.
3. Tinjauan lainnya dapat didalami setelah konversi sistem *dual fuel* telah dilakukan pada mesin induk kapal tunda Pelindo II.