

**KAJIAN EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA DUAL
FUEL ENGINE HASIL MODIFIKASI DARI DIESEL
ENGINE**



**ARIF WAHYU HIDAYAT
4210 100 029**

Pembimbing 1:

Semin, S.T, M.T, Ph.D

Pembimbing 2:

Ir. Aguk Zuhdi M.F, M.Eng. Ph.D.

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014**

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DUAL FUEL
ENGINE PERFORMANCE OF MODIFIED DIESEL
ENGINE**



ARIF WAHYU HIDAYAT

4210 100 029

1st Supervisor

Semin, S.T, M.T, Ph.D

2nd Supervisor

Ir. Aguk Zuhdi M.F, M.Eng. Ph.D.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2014

KAJIAN EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA DUAL FUEL DIESEL ENGINE HASIL MODIFIKASI DARI DIESEL ENGINE

NamaMahasiswa : Arif Wahyu Hidayat
NRP : 4210 100 029
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
DosenPembimbing : Semin, S.T, M.T, Ph.D
Ir. Agung Zuhdi M.F, M.Eng. Ph.D

Untuk mengetahui unjuk kerja motor diesel dual-fuel (solar-CNG) perlu dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar originalnya. Unjuk kerja telah dipelajari secara eksperimental menggunakan motor diesel Yanmar TF-85 H direct injection 1 silinder. Eksperimen divariasikan terhadap beban dan rpm. Dimana variasi bahan bakar adalah 100% solar, 10% CNG dan 20% CNG. Hasil dari ekeperimen menunjukkan daya dan torsi menggunakan 20% CNG masing-masing menurun 0,92% dan 0,70%. Sementara cunsumsi bahan bakar menurun 0,97% berarti lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar originalnya.

Kata Kunci: Dual fuel diesel engine, Motor Bakar, Performansi motor diesel,



(halaman ini sengaja dikosongkan)

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DUAL FUEL ENGINE PERFORMANCE OF MODIFIED DIESEL ENGINE

Name : Arif Wahyu Hidayat
NRP : 4210 100 029
Department : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Advisor : Semin, S.T, M.T, Ph.D
Ir. Aguk Zuhdi M.F, M.Eng. Ph.D

To determine the performance of dual-fuel diesel engine (diesel fuel-CNG) it is necessary to compare with using the original fuel. The performance has been studied experimentally using a Yanmar diesel engine TF-85 H direct injection 1 cylinder. The experiment has been varied in load and rpm. Where the fuels are 100% diesel fuel, 10% CNG and 20% CNG. As the results the power and torque of using 20% CNG fuel declined 0.92% and 0.70 % respectively. While fuel consumption decreased 0.97% more efficient comparing with using original fuel.

Keywords: Dual fuel diesel engines, Motor Fuels, Performance diesel engines,



(halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA DUAL FUEL DIESEL ENGINE HASIL MODIFIKASI DARI DIESEL ENGINE

SKRIPSI

Digunakan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Power Plant

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ARIF WAHYU HIDAYAT

NRP. 4210 100 029

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

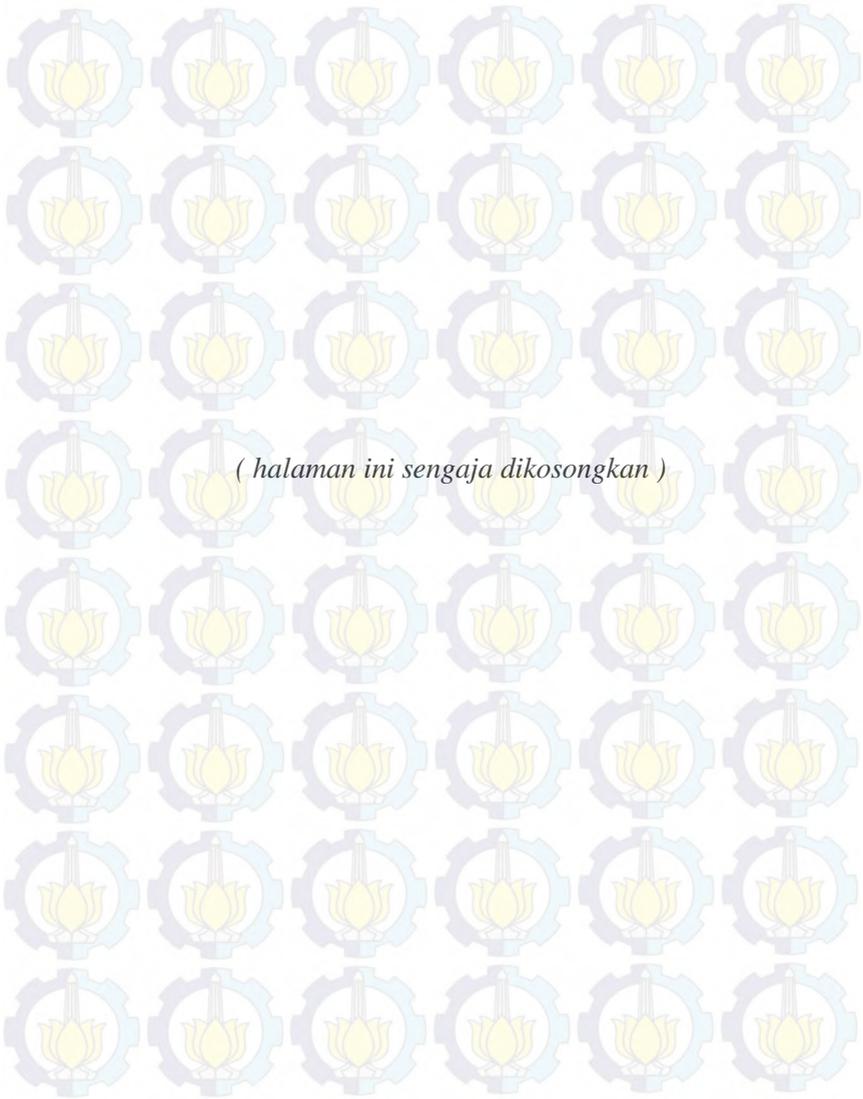
1. Semin, S.T, M.T, Ph.D.....

NIP. 1971 0110 1997 02 1001

2. Ir. Aguk Zuhdi M.F, M.Eng, Ph.D.....

NIP. 1956 0519 1986 10 1001

SURABAYA, JULI 2014



(halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA DUAL FUEL DIESEL ENGINE HASIL MODIFIKASI DARI DIESEL ENGINE

SKRIPSI

Digunakan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Power Plant

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ARIF WAHYU HIDAYAT

NRP. 4210 100 029

Disetujui Oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :

1. Dr. Ir .A. A. Masroeri, M.Eng.....

NIP. 1958 0807 1984 03 1001

SURABAYA, JULI2014



(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Dual Fuel Engine Hasil Modifikasi Dari Diesel Engine”. Skripsi ini merupakan syarat kelulusan sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyelesaian Skripsi ini, banyak dukungan yang diperoleh dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bpk. Arifin, Ibu Rukhatin, Mas Fahrizal Arifin, & Mbak Een yang telah memberi dukungan berupa semangat, moral, materi, dan hal lainnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
2. Esa Kurniawati yang telah memberikan dukungan semangat & motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini tepat waktu.
3. Bapak Ir. Aguk Zuhdi M.Fathallah, M.Eng. Ph.D selaku Dosen Wali penulis selama berkuliah di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
4. Bapak Dr. Ir.A.A. Masroeri, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
5. Bapak DR. I Made Ariana, ST, MT selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan selaku dosen yang telah memberikan judul Skripsi.
6. Bapak Semin, ST.MT. Ph.D & Bapak Ir. Aguk Zuhdi M.Fathallah, M.Eng. Ph.D selaku dosen pembimbing penulis yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya Skripsi.
7. Bapak& Ibu dosen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu bermanfaat.

8. Teman- teman di Laboratorium Marine Power Plant yang telah memberikan bantuan ilmu, tenaga, & semangat dalam penyelesaian Skripsi.

9. Teman-teman angkatan Pinisi'10 yang telah memberikan dukungan dan motivasi.

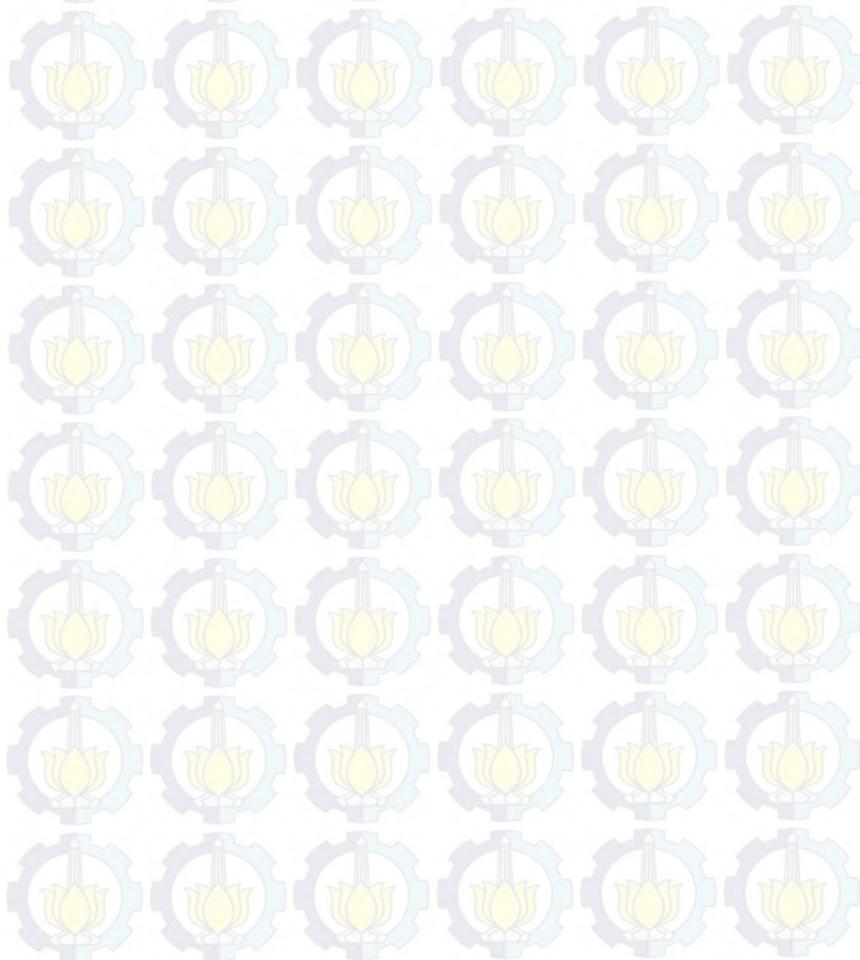
Semoga Skripsi ini dapat berguna dan dapat memberi ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juli 2014

DAFTAR ISI

<i>Halaman Judul</i>	<i>i</i>
<i>Lembar Pengesahan</i>	<i>iii</i>
<i>Abstrak</i>	<i>vii</i>
<i>Kata Pengantar</i>	<i>xii</i>
<i>Daftar Isi</i>	<i>xiv</i>
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan Penelitian.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	3
I.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1. Umum.....	5
II.2. Bio-Solar.....	5
II.3. CNG.....	7
BAB III METODOLOGI	16
III.1. Persiapan.....	18
III.2. Pengujian Pertama.....	19
III.3. Pengambilan Data.....	21
III.4. Eksperimen Modifikasi.....	21
III.5. Pengujian Kedua.....	22
III.6. Pengambilan Data.....	22
III.7. Analisa Data.....	23
III.8. Kesimpulan.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
IV.1. Hasil Unjuk Kerja Diesel Engine.....	24
IV.2. Pengaruh CNG Pada Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel.....	39

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
V.1. Kesimpulan.....	45
V.2. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel.2.1.	Karakteristik Solar.....	6
Tabel.2.2.	Komposisi Gas Penyusun Natural Gas	11
Tabel.2.3.	Perbedaan karakteristik CNG dan <i>diesel fuel</i>	12
Tabel.3.1.	Tabel Spesifikasi Motor diesel.....	18
Tabel.3.2.	Tabel Pengaman Kabel.....	21
Tabel.4.1.	Tabel Jumlah Banyaknya Solar/ Injeksi.....	47
Tabel.4.2.	Tabel Jumlah Banyaknya CNG/ Injeksi.....	49
Tabel.4.3.	Tabel Jumlah Banyaknya Bio-Solar & CNG/ Injeksi.....	52



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR & GRAFIK

Gambar.3.1.Flowchart pengerjaan skripsi.....	18
Grafik.4.1. Perbandingan Daya pada full load.....	25
Grafik.4.2. Perbandingan Torsi pada full load.....	26
Grafik.4.3. Perbandingan SFC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar.....	28
Grafik.4.4. Perbandingan SFC dengan Daya yang dihasilkan dari BB Bio-Solar & penambahan 10% CNG.....	29
Grafik.4.5. Perbandingan SFC dengan Daya yang dihasilkan dari BB Bio-Solar & penambahan 20% CNG.....	30
Grafik.4.6. Perbandingan SFC pada full load.....	31
Grafik.4.7. Perbandingan SEC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar.....	33
Grafik.4.8. Perbandingan SEC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar & 10% CNG.....	35
Grafik.4.9. Perbandingan SEC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar & 20% CNG.....	36
Grafik.4.10.Perbandingan SEC pada full load.....	37
Grafik.4.11.Perbandingan Jumlah Bahan Bakar Bio-Solar Pada 1500 RPM.....	42
Grafik.4.12Perbandingan Jumlah Bahan Bakar Bio-Solar Pada 1800 RPM.....	42
Grafik.4.13Perbandingan Jumlah Bahan Bakar Bio-Solar Pada 2200 RPM.....	43



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Motor diesel merupakan salah satu jenis dari motor bakar dalam. Proses pada motor diesel, bahan bakar dikabutkan dalam ruang bakar yang bertekanan dan temperatur tinggi. Dan sampai saat ini motor diesel lebih dominan digunakan di dunia perkapalan dan industri karena mempunyai daya yang tinggi.

Solar merupakan jenis bahan bakar cair yang digunakan dalam proses pembakaran pada motor diesel. Salah satu sifat yang harus dimiliki solar adalah *Cetane Number* dari bahan bakar tersebut. Angka setana adalah angka yang menunjukkan berapa besar tekanan maksimum yang bisa diberikan di dalam mesin sebelum solar terbakar habis bersama dengan oksigen pada flash point. Motor dengan perbandingan kompresi yang lebih tinggi memerlukan angka setane yang lebih tinggi untuk mengurangi terjadinya *knocking*.

Bahan bakar CNG digunakan sebagai campuran dari bahan bakar minyak (solar). Compressed Natural Gas saat ini mulai dikembangkan pemerintah sebagai bahan bakar motor, selain masih banyak tersedia bahan bakar gas juga dinilai efektif untuk pembakaran. Tetapi memerlukan titik api untuk penyalaan.

Penggunaan CNG sebagai alternatif campuran untuk bahan bakar minyak (Solar) dikarenakan semakin menipisnya persediaan. Dan bisa digunakan untuk penambahan nilai efisiensi pada hasil pembakaran dan sisa pembakarannya lebih bersih. Karena hal tersebut dilakukan studi dengan pembahasan kajian perbandingan

unjuk kerja penggunaan CNG dengan bahan bakar minyak pada motor bakar motor diesel.

I.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dipecahkan dalam studi ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan unjuk kerja motor diesel bahan bakar minyak (biosolar) dengan dual fuel motor diesel bahan bakar minyak (biosolar) dan CNG ?
2. Bagaimana pengaruh CNG terhadap konsumsi bahan bakar minyak (biosolar) pada motor diesel ?

I.3 Tujuan

Tujuan dari studi ini untuk memecahkan masalah diatas adalah :

1. Untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja motor diesel bahan bakar minyak (biosolar) dengan bahan bakar minyak (biosolar) dan CNG.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar CNG terhadap konsumsi bahan bakar solar pada motor diesel.

I.4 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dibahas dalam penelitian ini maka diberikan batasan masalah berikut :

1. Motor diesel yang digunakan pada eksperimental adalah motor diesel Yanmar TF-85 H 1 silinder pada laboratorium Mesin Kapal Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

2. Tidak membahas secara detail terjadinya knocking dan emisi gas buang hasil pembakaran.
3. Eksperimen dibatasi pada variasi beban kerja dan rpm yang telah ditentukan.

I.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan referensi dalam pengembangan penelitian pada motor bakar dalam, yang lebih khusus mengenai perbandingan unjuk kerja pada motor diesel bahan bakar minyak (solar) dengan motor diesel bahan bakar minyak (solar) dan CNG.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Banyak penelitian dengan pembahasan pengujian performa diesel engine dengan motor diesel berbahan bakar ganda. Salah satunya adalah penelitian *Uji Karakteristik Parameter ECU (Electronic Control Unit) Pada Mesin Dual Fuel Untuk Meningkatkan Kinerja Mesin* oleh Priyanto (2012).

Dengan dimodifikasinya diesel engine yang semula berbahan bakar solar saja kemudian menjadi berbahan bakar solar dan gas, maka akan mengubah performa engine tersebut. Pada penelitian ini akan diketahui apakah performa diesel engine tersebut akan semakin tinggi atau mengurangi performa awal diesel engine.

Diesel bahan bakar ganda atau Diesel Dual Fuel (DDF) adalah mesin standart diesel yang ditambahkan bahan bakar lain pada masukan udaranya dan penyalaan bahan bakar dilakukan oleh semprotan solar yang disebut *pilot fuel*. (Rachmanto, 2008).

2.2 Bio-Solar

Bahan bakar solar adalah bahan bakar minyak hasil sulingan dari minyak bumi mentah, bahan bakar ini berwarna kuning coklat yang jernih (Pertamina, 2005). Penggunaan solar pada umumnya adalah ununtuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm), yang

juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur- dapur kecil yang lebih utama yakni pembakaran bersih. Minyak solar ini biasa disebut juga Gaas Oil, Automotive Diesel Oil, High Speed Diesel (Pertamina, 2005).

Biosolar adalah campuran dari 95% dan 5% FAME (fatty acid methylester). Sedangkan FAME sendiri adalah minyak nabati, lemak hewan, atau minyak goreng bekas yang melalui proses transesterifikasi yang sebenarnya bias mereaksikan minyak- minyak itu dengan methanol dan katalisator NaOH atau KOH. Secara umum, Biosolar lebih ramah lingkungan, pembakarannya bersih, biodegradable, mudah dikemas dan disimpan, dan juga merupakan bahan bakar yang dapat diperbarui. (Putra, 2011)

Bahan bakar solar mempunyai sifat- sifat utama, yaitu :

- a. Tidak mempunyai warna atau hanya sedikit kekuningan dan berbau
- b. Encer dan tidak mudah menguap pada suhu normal
- c. Mempunyai titik nyala (40°C sampai 100°C)
- d. Terbakar secara spontan pada suhu 350°C
- e. Mempunyai berat jenis sekitar 0,82-0,86f
- f. Mampu menimbulkan panas yang besar (10.500 kcal/kg)
- g. Mempunyai kandungan sulfur yang lebih besar dari pada bensin.

Tabel 2.1.Karakteristik Solar (Petrodiesel)

Fisika Kimia	Solar (Petrodiesel)
Kelembaban (%)	0,3
Engine Power	Energi yang dihasilkan 130.000 BTU
Viskositas	4,6 cts
Densitas	0,8750 g/mL
Bilangan Setana	53
Engine Torque	Sama
Modifikasi Engine	-
Konsumsi Bahan Bakar	Sama
Lubrikasi Ermisi	Lebih Rendah CO tinggi, total hidrokarbon, sulfur dioksida, dan Nitroksida
Penanganan Lingkungan	Flamable lebih tinggi Toxistasitas lebih tinggi 10 kali
Keberadaan	<i>Non-renewable</i>

Sumber : CRE-ITB, 2001

2.3 CNG (Compressed Natural Gas)

Gas alam terkompresi (Compressed natural gas, CNG) adalah alternatif bahan bakar selain bensin atau solar. Di Indonesia, kita mengenal CNG sebagai bahan bakar gas (BBG). Bahan bakar ini dianggap lebih 'bersih' bila dibandingkan dengan

dua bahan bakar minyak karena emisi gas buangnya yang ramah lingkungan. (Clayton B. Cornell 2008)

CNG dibuat dengan melakukan kompresi metana (CH_4) yang diekstrak dari gas alam. CNG disimpan dan didistribusikan dalam bejana tekan, biasanya berbentuk silinder. CNG dapat digunakan untuk mesin Otto (berbahan bakar bensin) dan motor diesel (berbahan bakar solar). Pengisian CNG dapat dilakukan dari sistem bertekanan rendah maupun bertekanan tinggi. Perbedaannya terletak dari biaya pembangunan stasiun vs lamanya pengisian bahan bakar. Idealnya, tekanan pada jaringan pipa gas adalah 11 bar, dan agar pengisian CNG bisa berlangsung dengan cepat, diperlukan tekanan sebesar 200 bar, atau 197 atm, 197 kali tekanan udara biasa. Dengan tekanan sebesar 200 bar, pengisian CNG setara 130 liter premium dapat dilakukan dalam waktu 3-4 menit. (Gas-alam.com)

Compressed Natural Gas (CNG) merupakan salah satu jenis gas alam ditinjau dari moda transportasinya. CNG merupakan gas alam yang dimampatkan dengan tekanan yang sangat besar (100 s/d 275 bar). Tekanan yang sangat besar menyebabkan sistem penyimpanan CNG membutuhkan tempat khusus untuk menahan tekanan tersebut. CNG disimpan dalam bejana tekan (*pressure vessel*). (Tomi, 2009)

Kendaraan gas alam (NGV) adalah kendaraan bahan bakar alternatif yang menggunakan gas terkompresi alam (CNG) atau gas alam cair (LNG) sebagai alternatif bersih untuk bahan bakar fosil lainnya. Kendaraan gas alam tidak harus kendaraan

yang menggunakan propana (LPG), yang merupakan bahan bakar dengan komposisi yang berbeda secara fundamental. Di seluruh dunia, ada 14,8 juta kendaraan gas alam pada tahun 2011, yang dipimpin oleh Iran dengan 2,86 juta, Pakistan (2,85 juta), Argentina (2,07 juta), Brasil (1,70 juta), dan India (1,10 juta). (NGV Journal, 2012).

Natural gas dikompresi pada tangki bertekanan tinggi, yaitu 18-20 MPa dan lebih dikenal dengan sebutan *Compressed Natural Gas (CNG)*. Komposisi utama dari hidrokarbon penyusun *compressed natural gas (CNG)* adalah metana (CH_4). Sedangkan hidrokarbon lain yang terkandung dalam CNG adalah etana (C_2H_6), propana (C_3H_8), dan butana (C_4H_{10}). Berdasarkan data dari *Alternatif Fuel Data Centre* 2004 didapatkan bahwa terdapat beberapa gas penyusun CNG yaitu karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), Nitrogen (N_2), Helium (He), dan uap air. Kandungan yang terdapat dalam CNG adalah berasal dari bangkai hewan dan tumbuhan yang terpendam bertahun-tahun dan telah terurai. CNG berada pada lapisan dalam bumi dan berada di atas permukaan minyak bumi dikarenakan massa jenis dari CNG yang lebih ringan dari minyak bumi maupun air.

CNG harus disimpan dalam silinder tekanan tinggi (3000psi untuk 3600psi tekanan operasi), dan LNG harus disimpan dalam silinder cryogenic (-260F ke -200F). Silinder ini memakan lebih banyak tempat dari pada bensin atau tanki motor diesel yang menyimpan lebih banyak bahan bakar dan menggunakan ruang pada kendaraan. Tangki CNG

biasanya terletak di bagasi kendaraan atau pickup, mengurangi ruang yang tersedia untuk kargo lainnya. Masalah ini dapat diatasi dengan menginstal tangki bawah badan kendaraan, atau di atap (khusus untuk bus), meninggalkan area kargo gratis. Seperti bahan bakar alternatif lainnya, hambatan lain untuk digunakan secara luas dari NGVs adalah distribusi gas bumi di stasiun pengisian bahan bakar serta rendahnya jumlah CNG dan LNG stasiun. (Ryan; Turton, 2007).

Pada umumnya komposisi maksimum dan minimum dari *natural gas* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dalam persentase.

Tabel 2.2. Komposisi Gas Penyusun Natural Gas

Compound	Typical	Maximum	Minimum
Methane	87,3 %	92,8 %	79,0 %
Ethane	7,1 %	10,3 %	3,8 %
Propane	1,8 %	3,3 %	0,4 %
Butane	0,7 %	1,2 %	0,1 %
Nitrogen	2,2 %	8,7 %	0,5 %
Carbon Dioxide	0,9 %	2,5 %	0,2 %

Priyanto, 2012

Sangat penting mengetahui komposisi dari gas alam yang akan digunakan dalam percobaan dan



analisa, hal ini dikarenakan perbedaan komposisi penyusun akan berbeda juga pada hasil proses pembakaran dalam motor diesel. Hal ini merupakan masalah bagi *engineer* dalam mendesain sistem bahan bakar untuk *CNG-diesel engine*. Selain itu, variasi dalam komposisi *natural gas* akan menimbulkan kesulitan dalam peningkatan unjuk kerja dan minimalisasi emisi gas buang dari mesin. Semenjak ditemukan bahwa kandungan metana dalam *natural gas* adalah yang terbesar dibanding gas yang lain semisal propane maupun etana, maka karakteristik dari *natural gas* adalah identik dengan metana. Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, menyimpulkan bahwa *Compressed Natural Gas (CNG)* dalam penggunaannya sebagai bahan bakar pada mesin, menghasilkan tingkat emisi yang rendah, diantaranya adalah nitrogen oksid(NO_x), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2). *CNG* merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan merupakan salah satu faktor penyebab utama banyak negara yang mengembangkan *CNG* sebagai bahan bakar untuk konsumsi kendaraan transportasi (*Gwilliam, 2000*).

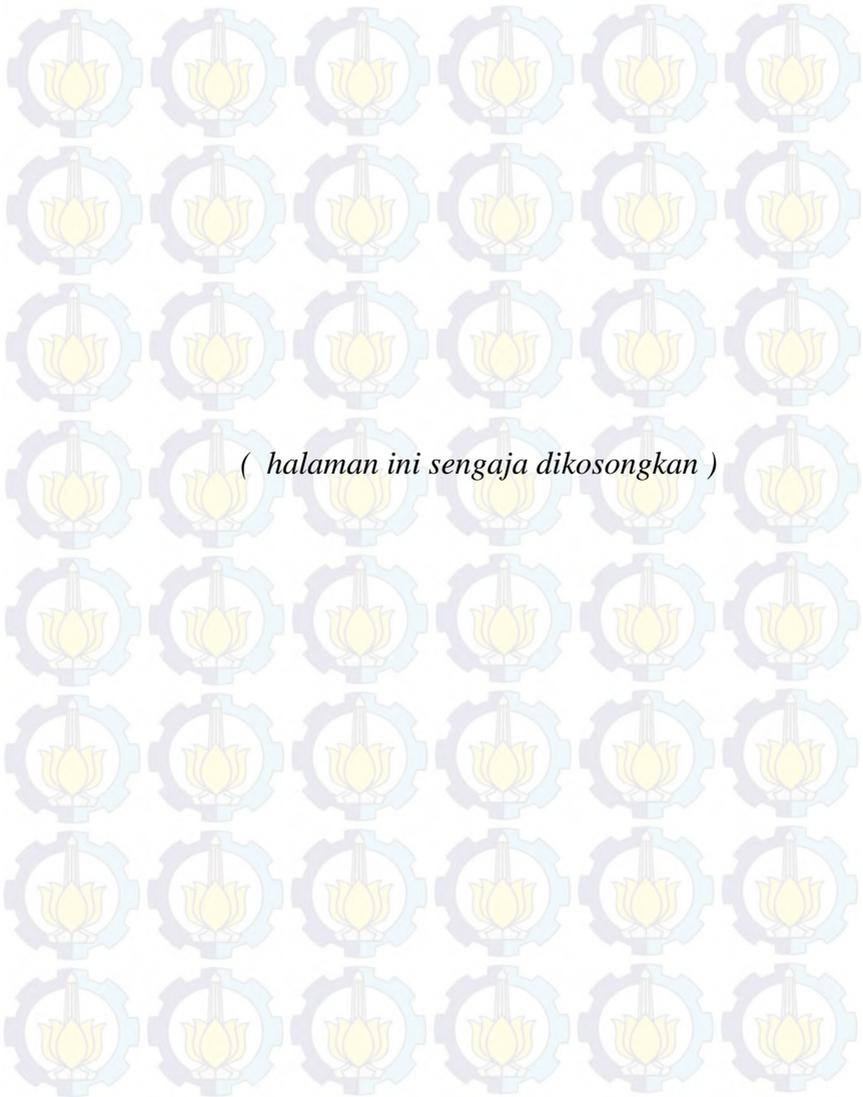
Salah satu karakteristik dari gas alam adalah non-korosif. Karakteristik ini baik untuk mencegah terjadinya oksidasi pada tangki penyimpanan dan menyebabkan pengurangan kontaminasi terhadap gas tersebut. Gas alam memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan bakar konvensional diesel. Perbedaan karakteristik tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Perbedaan karakteristik CNG dan *diesel fuel*

Property	Compressed Natural Gas (CNG)	Conventional Diesel
Chemical Formula	CH ₄	C ₃ to C ₂₅
Molecular Weight	16,04	≈200
Composition by Weight, %		
Carbon	75	84-87
Hydrogen	25	13-16
Specific Gravity	0,424	0,81-0,89
Density, kg/m ³	128	802-886
Boiling Temperature, °C	-31,7	188-343
Freezing Point, °C	-182	-40-34,4
Flash Point, °C	-184	73
Autoignition Temperature, °C	540	316
Flammability Limits, % volume		
Lower	5,3	1
Higher	15	6
Specific Heat, J/kg K	-	1800

Selain itu, keunggulan yang lain dari penggunaan CNG sebagai bahan bakar adalah dalam segi ekonomis. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara harga dari CNG dan solar yaitu RM0.565 (AUD \$0.195) per liter dan RM0.881 (AUD \$0.304)(*Petronas Dagangan Berhad, 2005*).

Hal ini mengindikasikan dapat menghemat pengeluaran untuk konsumsi bahan bakar. Berdasarkan data dari NGV.org (2001) menunjukkan harga yang relatif stabil dari bahan bakar CNG. Sifatnya yang lebih ringan dari udara sehingga jika kebocoran, gas akan segera terlepas ke udara sehingga tidak terjadi konsentrasi gas yang dapat menimbulkan nyala api. Keunggulan dari CNG yang lain adalah Cadangan *natural gas* dunia yang melimpah, mencapai 6.112 triliun *cu ft* dan cadangan di Indonesia mencapai 98 triliun *cu ft*. (*Greatest Natural Gas Reserves by Country, 2006*).

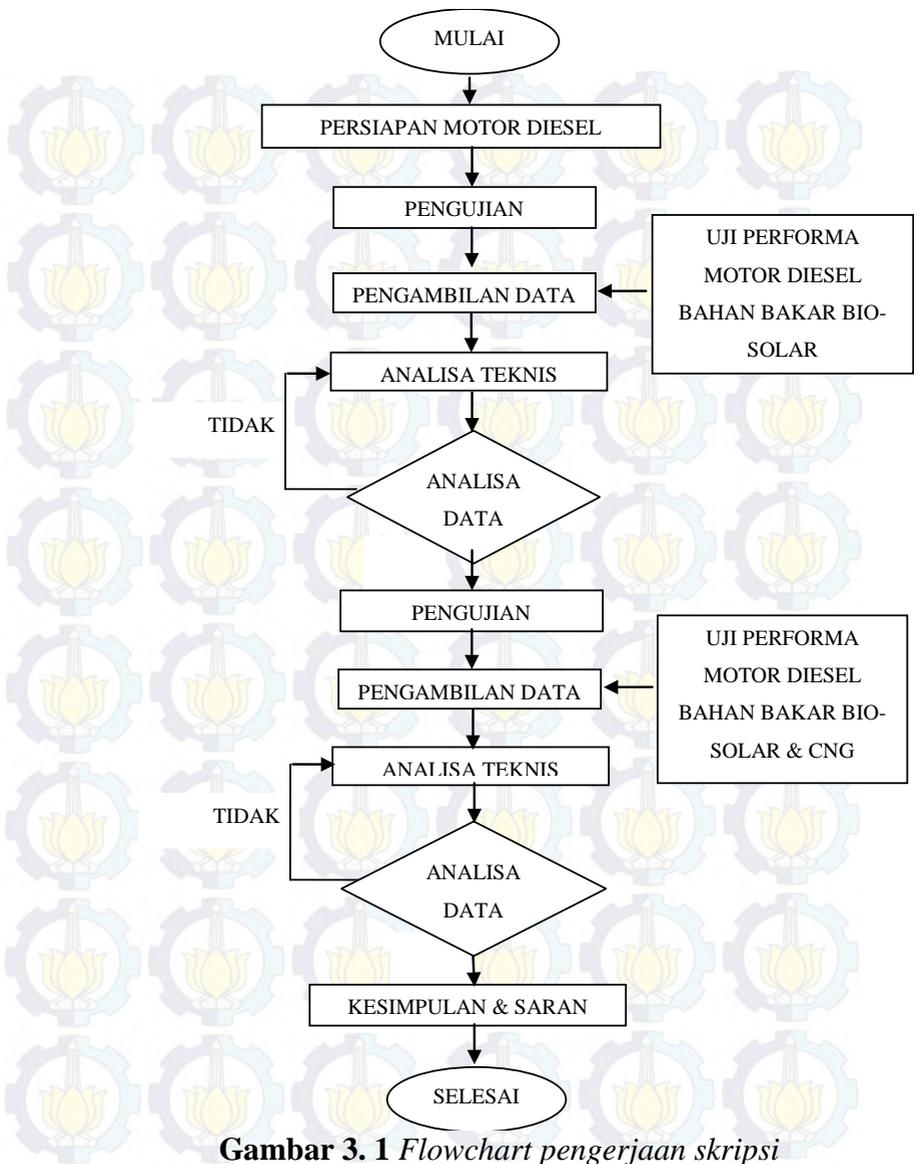


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan mengoperasikan motor diesel untuk mengetahui performa motor diesel dengan menggunakan dua perbandingan antara bahan bakar yang berbeda yaitu motor diesel dengan bahan bakar bio-solar dengan diesel dengan bahan bakar solar dan CNG. Detail pengerjaan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan
2. Pengujian unjuk kerja motor diesel berbahan bakar bio-solar
3. Pengambilan data
Uji performa pada motor diesel berbahan bakar bio-solar
4. Eksperimen modifikasi Dual Fuel Diesel Engine
5. Pengujian unjuk kerja motor diesel berbahan bakar bio-solar dan CNG
6. Pengambilan data
Uji performa pada motor diesel berbahan bakar bio-solar dan CNG
7. Analisa data
8. Kesimpulan, saran dan rekomendasi

Detail langkah pengerjaan bisa dilihat di gambar 3.1 tentang *flowchart* pengerjaan skripsi.



Gambar 3. 1 Flowchart pengerjaan skripsi

3.1 Persiapan

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan bahan dan data untuk menunjang jalannya penelitian. Melakukan pengecekan pada motor diesel mengenai kondisi mesin, basic performa mesin, full load dari motor diesel sebelum dilakukan percobaan. Data mesin yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1. Spesifikasi Motor diesel

Merk	:	Yanmar
Model	:	TF-85 Hooper
Tipe	:	<i>In line, single cylinder, 4 stroke, air cooled, direct injection</i>
Bore x Stroke (mm)	:	75 x 75
Piston Displacement (L)	:	0,331
Output / Crankshaft Speed (HP/rpm)	:	8,5/2200
Compressed Ratio	:	23 :1

Dalam pengujian performa atau unjuk kerja motor diesel harus dilakukan *engine setup* terlebih dahulu untuk mengetahui letak beban penuh pada setiap putaran yang divariasikan. Dalam pengujian *engine setup* ini digunakan bahan bakar biosolar. Pada pengujian *engine setup* ini digunakan variasi putaran dari 1500, 1800, dan 2200 rpm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui estimasi daya maksimum dan torsi maksimum pada putaran tertentu, dengan variasi beban 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 watt. Adanya

perbedaan putaran pada engine dan alternator jadi digunakan puly sebagai penyeimbang putaran yang dihasilkan. Dengan variasi pembebanan maka dapat diketahui daya dan putaran yang dihasilkan.

Pembebanan Unjuk Kerja Diesel Engine

Untuk pembebanan pada unjuk kerja diesel engine ini menggunakan pembebanan dengan lampu sehingga didapat daya yang dihasilkan diesel engine. Pertama untuk pemilihan alternator yang disesuaikan dengan putaran diesel engine, yang dimaksudkan adalah saat diesel engine mencapai putaran maksimalnya maka alternatorpun mencapai putaran maksimal sehingga data yang diambil telah sinkron. Untuk penelitian ini alternator yang didapat di pasaran tidak sesuai dengan putaran pada diesel engine, sehingga diperlukan perhitungan untuk menentukan diameter puly sebagai bahan untuk menyingkronkan putaran diesel engine dengan putaran alternator. Berikut perhitungannya :

Perhitungan Puly

$$\begin{aligned} \text{perbandingan } \emptyset \text{ puly} &= \text{rpm engine} / \text{rpm alternator} \\ &= 2200 / 1500 \\ &= 1,4666667 \end{aligned}$$

Pemilihan Puly

$$\begin{aligned} \emptyset_{\text{alternator}} &= \emptyset \text{ puly engine} / \text{perbandingan } \emptyset \text{ puly} \\ &= 11 / 1,467 \\ &= 7,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dengan begitu puly yang digunakan adalah dengan diameter 7,5 cm. Untuk pembebanannya menggunakan lampu dengan daya total 5 kW, oleh karena itu dibutuhkan instalasi kabel yang sesuai dengan beban lampu tersebut,

untuk pemilihan kabel pengaman dapat dilihat dari tabel berikut :

Tabel 3.2 Tabel pengaman kabel

Penampang kabel (mm ²)	KHA (Ampere)	Pengaman (Ampere)
1	11	2,4,6
1,5	14	10
2,5	20	15
4	25	20
6	31	25
10	43	35
16	75	60
25	100	80

Dari data diatas maka dipilih kabel dengan penampang 2,5 mm², sehingga keamanan untuk sistem kelistrikan dapat terjamin.

3.2 Pengujian Unjuk Kerja Motor Diesel Berbahan Bakar Solar

Pada tahap ini dilakukan pengujian unjuk kerja motor diesel dengan bahan bakar solar dan dikerjakan di laboratorium mesin kapal dan getaran ITS, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil uji performa dan dapat digunakan sebagai pembandingan.

3.3 Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data berupa performa dari motor diesel berbahan bakar solar. Data yang didapatkan dengan menggunakan variasi pembebanan yang berbeda pada motor diesel. Data yang

dihasilkan akan disampaikan dalam bentuk grafik dan tabel.

- **Uji Performa Motor Diesel**

Pelaksanaan percobaan pada tahap ini dengan memakai solar pertamina. Pada pengambilan data akan diambil daya yang dihasilkan *engine*, SFOC (*specific fuel oil consumption*) untuk percobaan dengan *variable speed* dan *constant speed*.

3.4 Eksperimen Modifikasi Dual Fuel Diesel Engine

Pada tahap ini akan dilakukan pemasangan alat yang digunakan untuk pencampuran dual fuel diesel engine dan juga otomasinya. Pada proses modifikasi sistem dari CNG akan dimasukkan pada intake manifold pada motor diesel dengan pengaturan debit yang sudah diperhitungkan. Sedangkan bahan bakar solar juga telah diatur sehingga bahan bakar yang diinjeksikan lebih sedikit dibanding dengan motor diesel sebelum dilakukan modifikasi.

3.5 Pengujian Unjuk Kerja Motor Diesel Berbahan Bakar Solar dan CNG

Pada tahap ini dilakukan pengujian unjuk kerja motor diesel dengan bahan bakar solar dan CNG, dikerjakan di laboratorium mesin kapal dan getaran ITS, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil uji performa dari modifikasi dual fuel diesel engine.

3.6 Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data berupa perbandingan performa dari dua motor diesel yang

berbeda yakni motor diesel dengan bahan bakar solar dan motor diesel dengan bahan bakar ganda, solar dan CNG. Data yang didapatkan berupa perbandingan dengan menggunakan variasi pembebanan yang berbeda pada motor diesel. Data yang dihasilkan akan disampaikan dalam bentuk grafik dan tabel.

- **Uji Performa Motor Diesel**

Pelaksanaan percobaan pada tahap ini dengan memakai motor diesel berbahan bakar ganda antara solar dan CNG, untuk pengujian uji performa dual fuel diesel engine ini massa antara CNG dan solar akan divariasikan sehingga mendapatkan nilai yang paling optimum dengan harga SFOC yang rendah. Pada pengambilan data akan diambil pengaruh pemakaian kedua bahan bakar diatas terhadap daya yang dihasilkan engine, SFOC (*specific fuel oil consumption*) untuk percobaan dengan *variable speed* dan *constant speed*.

3.7 Analisa Data

Pada bagian ini dilakukan analisa dengan berbekal data-data yang telah diperoleh dari hasil uji performa untuk menjawab pertanyaan yang mendasari penelitian ini, yaitu Bagaimana perbandingan unjuk kerja motor diesel bahan bakar minyak (solar) dengan dual fuel motor diesel bahan bakar minyak (solar) dan CNG ?

3.8 Kesimpulan

Di tahap ini telah dapat dilakukan penarikan kesimpulan dan jawaban dari permasalahan yang mendasari penelitian ini.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menyajikan hasil dan pembahasan pada pengujian unjuk kerja diesel engine. Bahan bakar yang digunakan adalah biosolar, CNG10% dan CNG 20%. Adapun pokok bahasan dalam bab ini adalah unjuk kerja termasuk didalamnya daya, torsi, SFC (Specific Fuel Consumption) dan SEC (Specific Energy Consumption). Selain itu juga mempelajari pengaruh penambahan CNG terhadap kebutuhan bahan bakar biosolar.

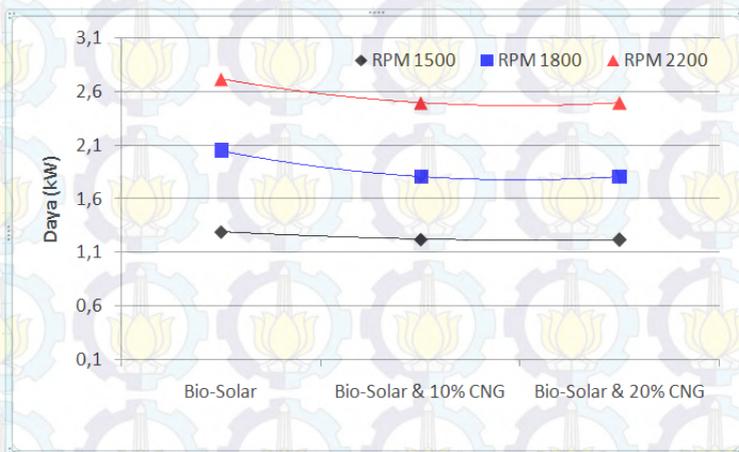
4.1 Unjuk Kerja Diesel Engine

Pengujian unjuk kerja pada motor diesel ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari motor diesel dengan melihat daya, torsi, SFC (*specific fuel consumption*), dan SEC (*Specific Energy Consumption*) melalui eksperimen. Bahan bakar biosolar digunakan sebagai acuan untuk perbandingan dalam mengukur unjuk kerja diesel engine. Grafik 4.1 adalah perbandingan daya pada putaran mesin 1500, 1800, dan 2200 rpm. Perbandingan tersebut menggunakan bahan bakar 100% biosolar, biosolar & 10% CNG, dan biosolar & 20% CNG. Daya tersebut dijadikan pada satu grafik dimana grafik tersebut membandingkan daya pada beban maksimal.

Dari perbandingan daya pada grafik 4.1 dapat diketahui bahwa, dengan bahan bakar CNG 10% & 20% mengakibatkan penurunan daya. Jika dibandingkan, pada putaran 2200 RPM bahan bakar biosolar dengan 10% CNG menurun 0,92%. Sedangkan pada 20% CNG menurun 0,92%. Pada RPM 1800 daya yang dihasilkan menurun 0,88%, dan 0,88% saat bahan bakar 20% CNG. Pada saat

putaran 1500 daya tetap turun saat 10% CNG dengan presentase 0,95% dan 0,94% pada saat 20% CNG.

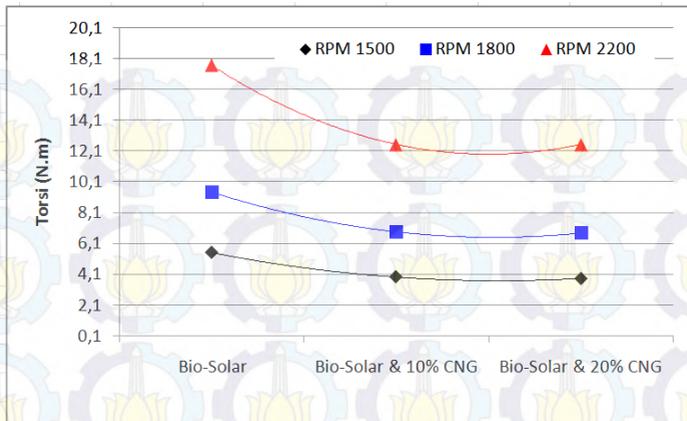
Hal ini dikarenakan dengan ditambahkannya CNG, maka bahan bakar solar akan berkurang yang mengakibatkan heating value yang dihasilkan juga menurun.



Grafik 4.1 Perbandingan Daya pada beban maksimal

Pengujian untuk mengetahui torsi yang dihasilkan dengan perbandingan tiga bahan bakar yang berbeda ini dilakukan dengan full load. Pada grafik tersebut kecenderungan bahan bakar biosolar dengan penambahan CNG menghasilkan torsi yang lebih kecil dibandingkan dengan biosolar pada setiap menaikkan beban dengan variasi putaran.

Pada grafik 4.2 dapat ditentukan bahwa torsi mengalami penurunan seiring penambahan CNG, dengan bahan bakar CNG 10% & 20% mengakibatkan penurunan torsi.



Grafik 4.2 Perbandingan Torsi pada full load

Jika dibandingkan, pada putaran 2200 RPM bahan bakar biosolar dengan 10% CNG menurun 0,71%. Sedangkan pada 20% CNG menurun 0,70%. Pada RPM 1800 torsi yang dihasilkan menurun 0,73%, dan 0,72% saat bahan bakar 20% CNG. Pada saat putaran 1500 daya tetap turun saat 10% CNG dengan presentase 0,709% dan 0,708% pada saat 20% CNG.

Hal ini sama halnya pada daya yang dihasilkan, dimana mengalami penurunan. Penyebab penurunan tersebut karena perbedaan kalor jenis bahan bakar yang menurun, sehingga daya dan torsi mengalami penurunan jika ditambahkan CNG.

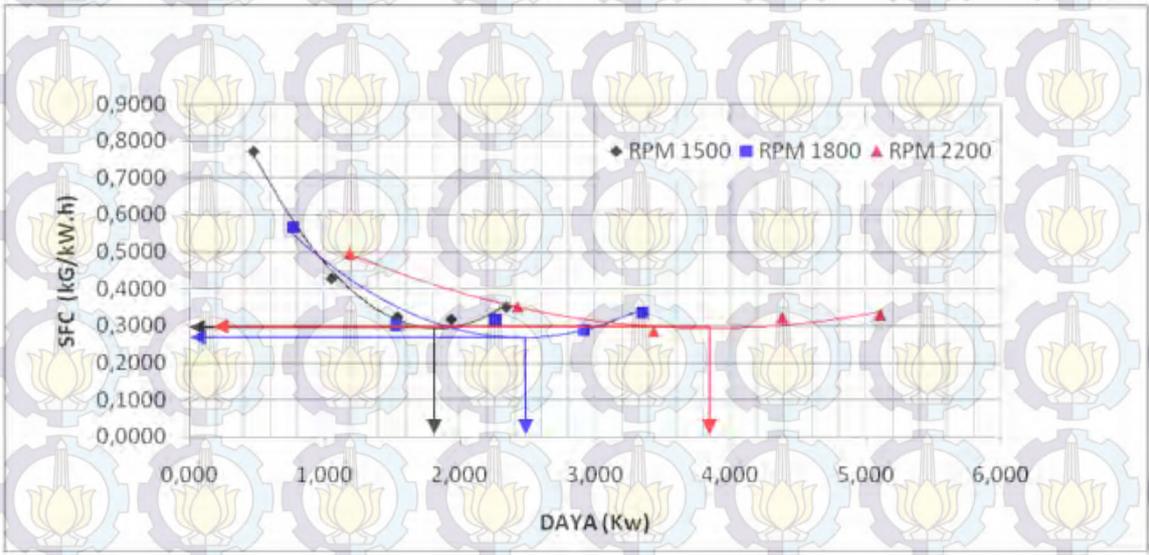
Berikut pada Grafik 4.3 adalah SFC fungsi daya pada putaran mesin 1500, 1800 dan 2200 rpm dengan menggunakan bahan bakar 100% biosolar. Dengan melihat grafik 4.3 maka dapat ditentukan full load pada masing-masing putaran. Disamping itu dapat diketahui juga kebutuhan bahan bakar spesifik yang paling hemat. Full load atau beban penuh dapat ditetapkan dengan jalan

melihat trendline grafik yaitu pada saat specific fuel consumption paling ekonomis. Pada grafik 4.3 masing-masing putaran yaitu 1500, 1800 dan 2200 rpm berturut-turut ditunjukkan dengan anak panah kebawah yaitu 1,800, 2,440 dan 3,820 kW.

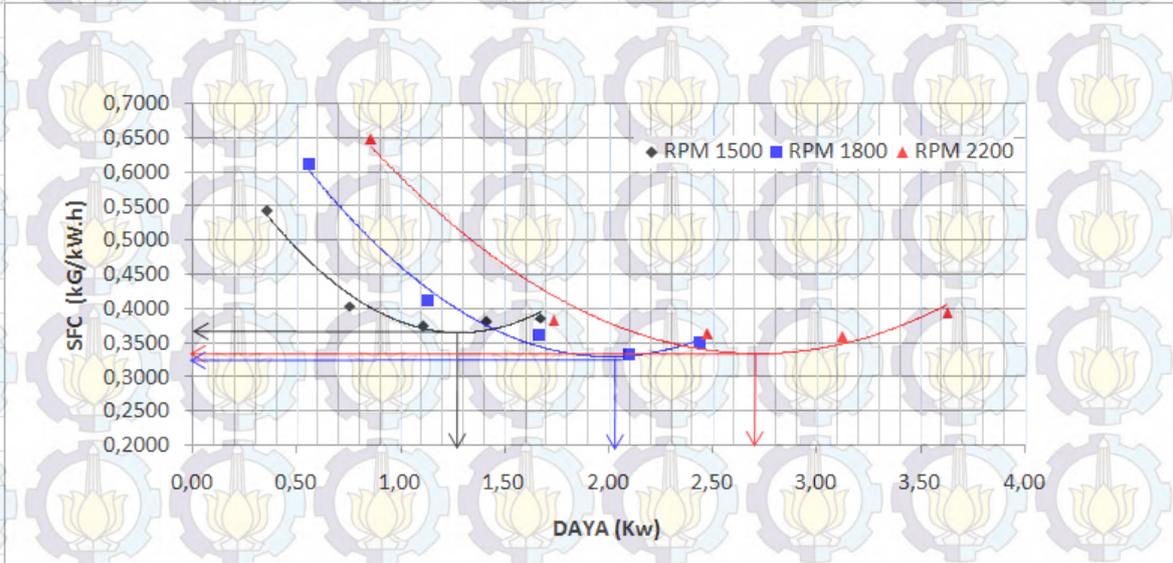
Dengan cara yang sama seperti pada penentuan full load, maka SFC dapat dibaca kearah samping seperti yang ditunjukkan dengan anak panah (lihat grafik 4.3). Hasil bacaan yang diperoleh adalah pada putaran 1500 didapat 0,30 kg/kW.h, sedangkan pada putaran 1800 didapat 0,28 kg/kW.h, dan pada putaran 2200 didapat 0,3 kg/kW.h.

Grafik 4.4 adalah hasil eksperimen dengan variasi putaran yang sama yakni 1500, 1800, dan 2200 rpm. Adapun bahan bakar yang digunakan adalah komposisi dari bio-solar pertamina dengan CNG (*compressed natural gas*) dimana telah diatur debit yang dikeluarkan adalah 10% dari jumlah bahan bakar solar. Dengan cara yang sama seperti pada grafik 4.3 maka dapat ditetapkan besarnya full load adalah 1,280 kW pada putaran 1500 rpm. Pada putaran 1800 rpm diperoleh daya sebesar 2,02 kW sedangkan pada putaran 2200 rpm diperoleh daya sebesar 2,700 kW.

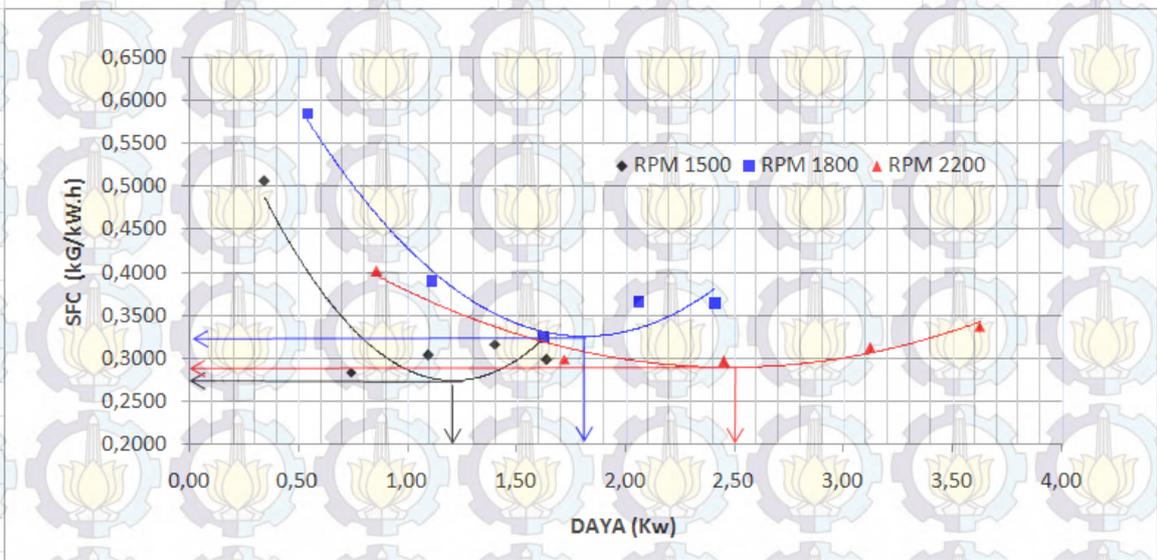
Sedangkan SFC yang dihasilkan pada bahan bakar CNG 10% adalah 0,370 kg/kW.h pada putaran 1500 rpm, 0,325 kg/kW.h. pada putaran 1800 rpm dan 0,335 kg/kW.h. pada putaran 2200 rpm. SFC disini dimaksudkan adalah kebutuhan biosolar dan CNG, sehingga jika dibandingkan dengan 100% solar nampak lebih banyak.



Grafik 4.3 Perbandingan SFC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar



Grifik 4.4 Perbandingan SFC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar & penambahan 10% CNG

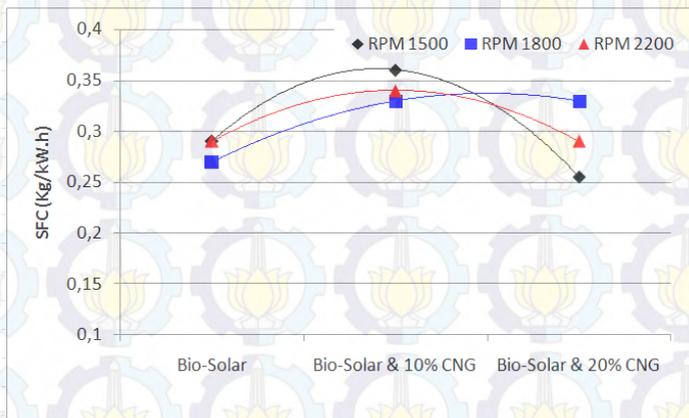


Grifik 4.5 Perbandingan SFC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar & penambahan 20% CNG

Grafik 4.5 adalah hasil eksperimen dengan variasi putaran 1500, 1800, dan 2200 RPM. Bahan bakar yang digunakan adalah komposisi bio-solar pertamina dan ditambahkan CNG (*compressed natural gas*) yang telah diatur debit yang dikeluarkan adalah 20% dari jumlah bahan bakar solar. Pada 20% CNG daya yang dihasilkan pada full load adalah 1,200 kW pada putaran 1500 rpm, 1,800 kW pada putaran 1800 rpm dan 2,500 kW pada putaran 2200 rpm.

Sedangkan SFC untuk mencapai daya full load dari pembacaan grafik 4.5 adalah pada putaran 1500 didapat 0,280 kg/kW.h, sedangkan pada putaran 1800 didapat 0,325 kg/kW.h dan pada putaran 2200 didapat 0,29 kg/kW.h. Penurunan kebutuhan biosolar pada CNG 20% tidak terlalu banyak apabila dibandingkan dengan CNG 10%.

Berikut perbandingan SFC dalam satu grafik yang membandingkan beban maksimal pada tiap eksperimen, berikut grafiknya.



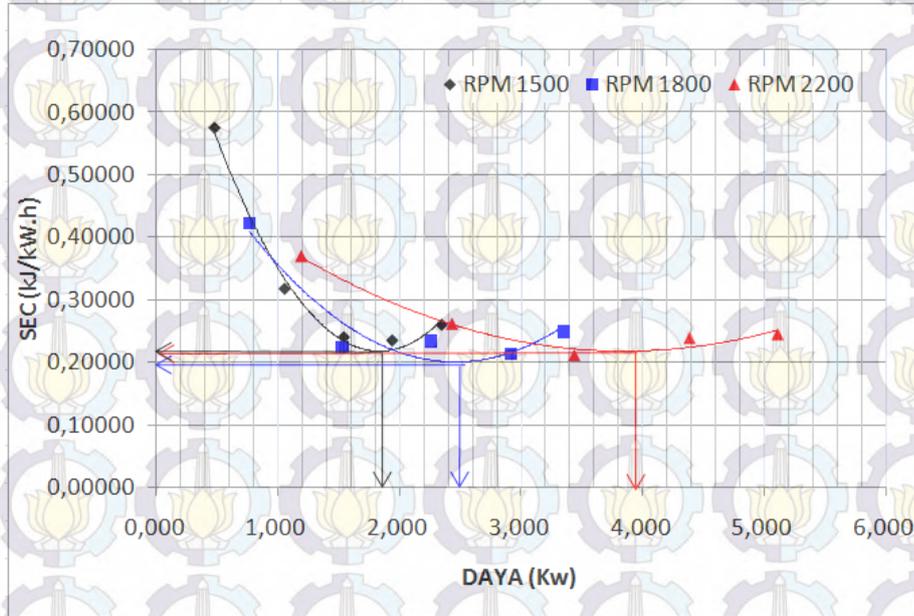
Grafik 4.6 Perbandingan SFC pada beban maksimal

Grafik 4.6 adalah perbandingan dari SFC pada putaran 1500, 1800, dan 2200 RPM. Jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar solar, pada RPM 1500 dengan 10% CNG naik 1,24% dan turun 0,87% pada 20% CNG. Dengan 10% CNG pada RPM 2200 naik 1,17% dibandingkan dengan SFC bahan bakar biosolar, dan turun 0,97% dengan 20% CNG. Dengan CNG 10% pada RPM 1800 SFC naik 1,22% dan naik 1,20% dengan 20% CNG.

Terjadinya perbedaan konsumsi bahan bakar bisa disebabkan pengaruh viskositas antara biosolar dan CNG, selain itu perbedaan nilai kalor.

Berikutnya dengan cara yang sama untuk menentukan beban maksimal pada SEC, dilakukan pada putaran mesin 1500, 1800, dan 2200 rpm. Pada grafik 4.7 merupakan SEC dengan bahan bakar 100% biosolar, kemudian dengan mengacu pada garis panah maka dapat ditentukan full load pada masing-masing putaran. Disamping itu dapat diketahui juga energi spesifik yang dikonsumsi. Full load atau beban penuh dapat ditetapkan dengan jalan melihat trendline grafik yaitu pada saat specific energy consumption paling rendah. Pada grafik 4.7 masing-masing putaran yaitu 1500, 1800 dan 2200 rpm berturut-turut ditunjukkan dengan anak panah kebawah yaitu 1,840, 2,500 dan 3,950 kW.

Dengan cara yang sama seperti pada penentuan full load, maka SEC dapat dibaca kearah samping seperti yang ditunjukkan dengan anak panah (lihat grafik 4.7). Hasil bacaan yang diperoleh adalah pada putaran 1500 didapat 0,220 kJ/kW.h, sedangkan pada putaran 1800 didapat 0,195 kJ/kW.h, dan pada putaran 2200 didapat 0,215 kJ/kW.h.



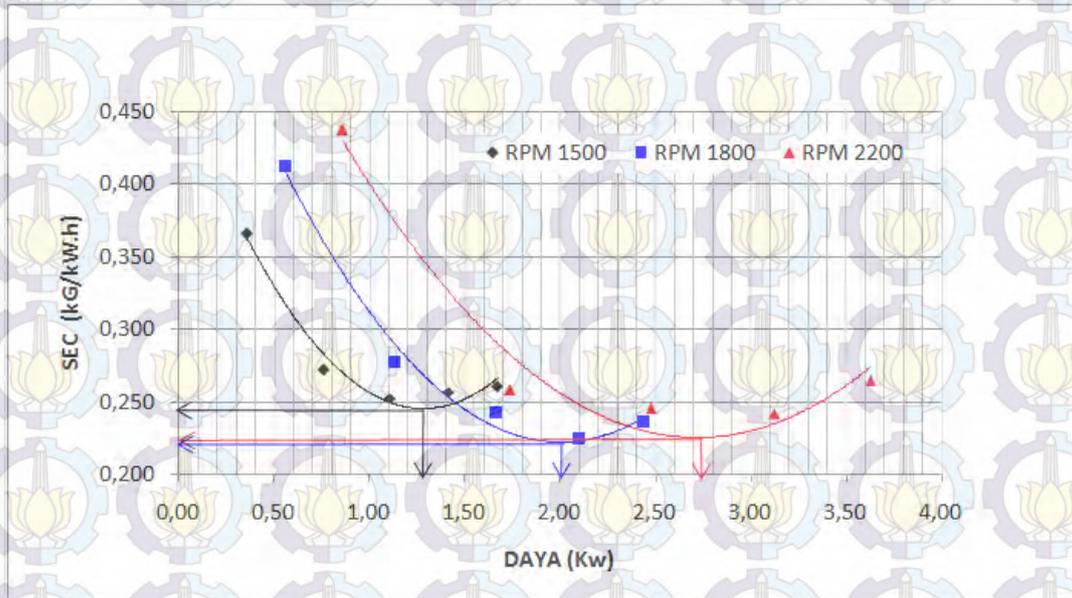
Grafik 4.7 Perbandingan SEC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar

Grafik 4.8 adalah hasil eksperimen dengan variasi putaran yang sama yakni 1500, 1800, dan 2200 rpm. Adapun bahan bakar yang digunakan adalah komposisi dari bio-solar pertamina dengan CNG (*compressed natural gas*) dimana telah diatur debit yang dikeluarkan adalah 10% dari jumlah bahan bakar solar. Dengan cara yang sama seperti pada grafik 4.7 maka dapat ditetapkan besarnya full load adalah 1,290 kW pada putaran 1500 rpm. Pada putaran 1800 rpm diperoleh daya sebesar 2,000 kW sedangkan pada putaran 2200 rpm diperoleh daya sebesar 2,750 kW.

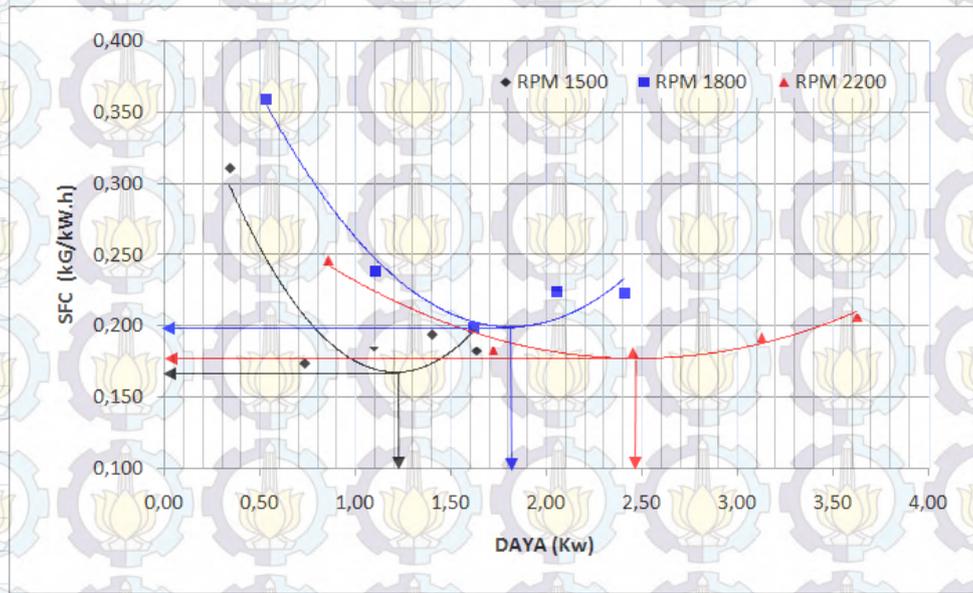
Sedangkan SEC yang dihasilkan pada bahan bakar CNG 10% adalah 0,245 kJ/kW.h pada putaran 1500 rpm, 0,227 kJ/kW.h. pada putaran 1800 rpm dan 0,230 kJ/kW.h. pada putaran 2200 rpm. SEC disini dimaksudkan adalah kebutuhan energi yang dibutuhkan motor diesel.

Grafik 4.9 adalah hasil eksperimen dengan variasi putaran 1500, 1800, dan 2200 RPM. Bahan bakar yang digunakan adalah komposisi bio-solar dan ditambahkan CNG (*compressed natural gas*) yang telah diatur debit yang dikeluarkan adalah 20% dari jumlah bahan bakar solar. Pada komposisi 20% CNG daya yang dihasilkan pada full load adalah 1,220 kW pada putaran 1500 rpm, 1,820 kW pada putaran 1800 rpm dan 2,480 kW pada putaran 2200 rpm.

Sedangkan SEC untuk mencapai daya full load dari pembacaan grafik 4.9 adalah pada putaran 1500 didapat 0,165 kJ/kW.h, sedangkan pada putaran 1800 didapat 0,195 kJ/kW.h dan pada putaran 2200 didapat 0,175 kJ/kW.h.

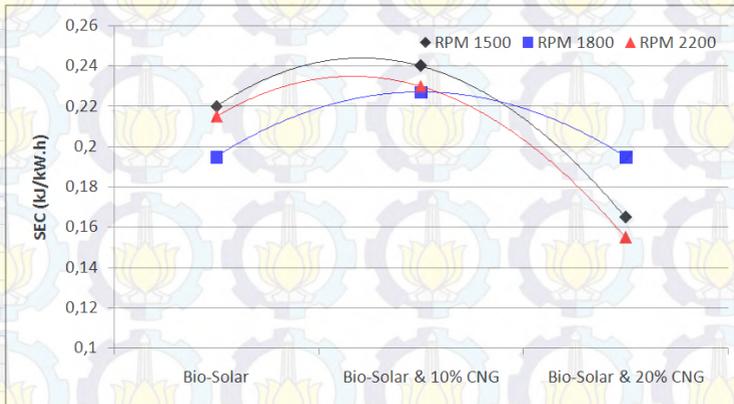


Grafik 4.8 Perbandingan SEC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar & 10% CNG



Grafik 4.9 Perbandingan SEC dengan Daya yang dihasilkan dari Bahan Bakar Bio-Solar & 20% CNG

Setelah itu dibandingkan pada satu grafik dimana grafik tersebut membandingkan daya pada beban maksimal, berikut grafiknya.



Grafik 4.10 Perbandingan SEC pada full load

Dari grafik 4.10 diketahui perbandingan dari SEC pada putaran 1500, 1800, dan 2200 RPM. Dengan 10% CNG naik 1,09% pada RPM 1500, dan turun 0,75% dengan 20% CNG. Dengan 10% CNG pada RPM 2200 naik 1,07% dibandingkan dengan SEC bahan bakar biosolar, dan turun 0,72% dengan 20% CNG. Dengan CNG 10% pada RPM 1800 SEC naik 1,16%, dan kembali sama seperti SEC saat menggunakan bahan bakar biosolar dengan 20% CNG.

Terdapat heating value dimana komposisi bahan bakar sangat mempengaruhi, dibuktikan pada grafik 4.10. Dimana saat menggunakan bahan bakar solar memiliki nilai kalor lebih tinggi dari pada CNG. Pada saat 10% CNG SEC meningkat lebih tinggi,

dikarenakan SEC dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar, sesuai dengan grafik 4.6 yang membahas tentang SFC.

4.2 Pengaruh CNG Pada Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel

Dengan menggunakan CNG (*Compressed Natural Gas*) untuk penambahan bahan bakar konvensional yakni bio-solar, analisa yang didapatkan peneliti ada pada tabel 4.1. Data pada tabel tersebut menjelaskan banyaknya jumlah bahan bakar per injeksi. Pada tabel dapat diambil data pada RPM 1500 dengan beban 0 kW, dengan bahan bakar konvensional jumlah perinjeksi 0,0055 ml, sedangkan pada saat 10% CNG jumlah biosolar perinjeksi 0,0029 ml, 0,0027 ml. Data selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.1 sesuai dengan cara diatas.

Dengan banyak ditambahkan CNG, maka jumlah bahan bakar biosolar yang diinjeksikan semakin sedikit. Untuk pengurangan bahan bakar dapat menggunakan packing untuk governor, sehingga dapat mengurangi debit solar.

Untuk pengaturan bahan bakar CNG yang masuk ke motor diesel, dapat diatur dengan flow meter. Tetapi ada batasan dimana CNG yang masuk hanya bisa 20% dari bahan bakar biosolar, dikarenakan terjadi knocking. Adapun jika terjadi penambahan beban maka yang bertambah adalah jumlah bahan bakar biosolar.

Tabel. 4.1. Tabel Jumlah Banyaknya bio-Solar/ Injeksi

RPM	BEBAN (kW)	Bio-Solar (ml)	Biosolar & 10% CNG (ml)	Biosola r & 20% CNG (ml)
1500	0	0,0055	0,0029	0,0027
	1	0,0097	0,0045	0,0041
	2	0,0119	0,0071	0,0049
	3	0,0131	0,0097	0,0078
	4	0,0162	0,0126	0,0104
	5	0,0216	0,0151	0,0114
1800	0	0,0062	0,0034	0,0037
	1	0,0096	0,0066	0,0061
	2	0,0102	0,0091	0,0084
	3	0,0157	0,0117	0,0103
	4	0,0185	0,0136	0,0147
	5	0,0247	0,0167	0,0171
2200	0	0,0124	0,0056	0,0028
	1	0,0106	0,0089	0,0055
	2	0,0154	0,0106	0,0082
	3	0,0176	0,0144	0,0116
	4	0,0254	0,0179	0,0156
	5	0,0303	0,0227	0,0195

Sehingga CNG dapat masuk sesuai dengan ukuran dan tekanan yang telah disesuaikan, pengaturan hanya dilakukan untuk pertama kali sesaat sebelum running.

Pada tabel 4.2 dapat diketahui jumlah banyaknya CNG per injeksi yang masuk ke dalam ruang bakar.

Tabel. 4.2. Tabel Jumlah Banyaknya CNG/ Injeksi

RPM	BEBAN (kW)	10% CNG (ml)	20% CNG (ml)
1500	0	0,000285714	0,000532446
	1	0,000453258	0,000816327
	2	0,000714286	0,000981595
	3	0,000969697	0,001553398
	4	0,001259843	0,002077922
	5	0,001509434	0,002285714
1800	0	0,000339271	0,000749064
	1	0,00066335	0,001223242
	2	0,000907029	0,001677149
	3	0,001169591	0,002051282
	4	0,001360544	0,002930403
	5	0,001666667	0,003418803
2200	0	0,000559441	0,000559441
	1	0,000886918	0,001096391
	2	0,001059135	0,001640465
	3	0,001435407	0,002321083
	4	0,001788376	0,003116883
	5	0,002272727	0,003896104

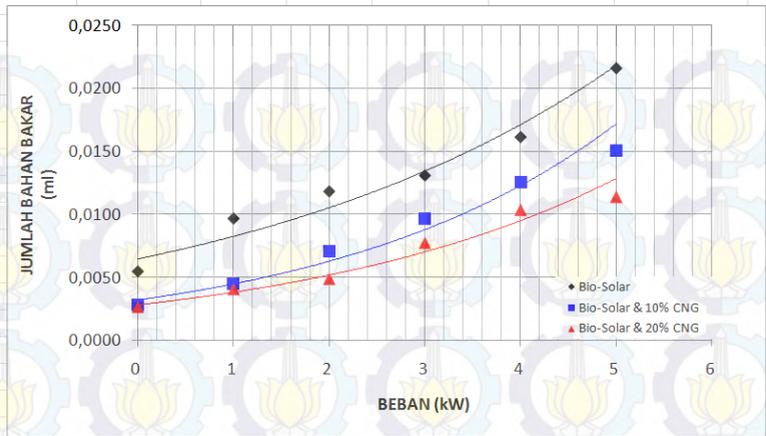
Mengacu pada tabel 4.2 pada rpm 1500 dengan jumlah 10% CNG , pada beban 0 kW jumlah bahan bakar sekali injeksi yang masuk ke ruang bakar adalah 0,000286 ml. Sedangkan dengan jumlah 20% CNG

jumlah bahan bakar yang diinjeksikan adalah 0,000532 ml. Untuk seterusnya dapat dilihat pada tabel 4.2.

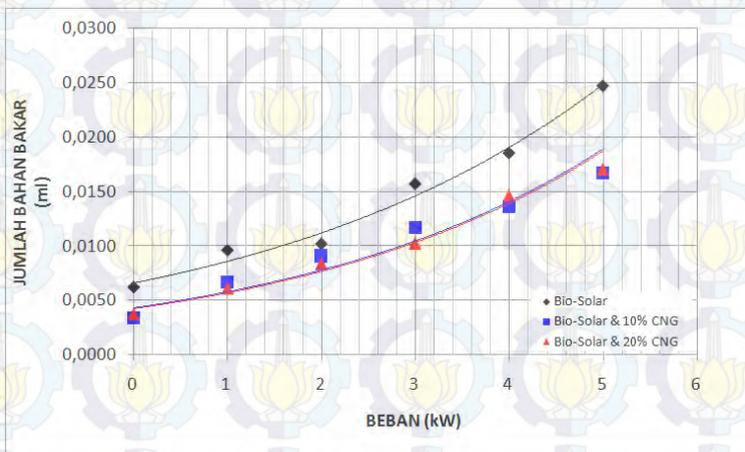
Jumlah CNG yang masuk kedalam ruang bakar maksimal hanya 20% dari jumlah bahan bakar, karena jika lebih dari itu akan terjadi knocking. Sedangkan jika load yang diberikan terus meningkat, maka bahan bakar yang dikonsumsi semakin banyak adalah biosolar. Pengaturan masuknya CNG diatur pada awal eksperimen dengan variabel yang ditentukan.

Pada grafik 4.11, 4.12, dan 4.13 merupakan grafik perbandingan bahan bakar biosolar pada RPM 1500, 1800, dan 2200, grafik tersebut memperlihatkan berkurangnya jumlah bahan bakar saat ditambahkan bahan bakar CNG, semakin banyak CNG yang dimasukkan maka semakin sedikit jumlah bio-solar yang dikonsumsi.

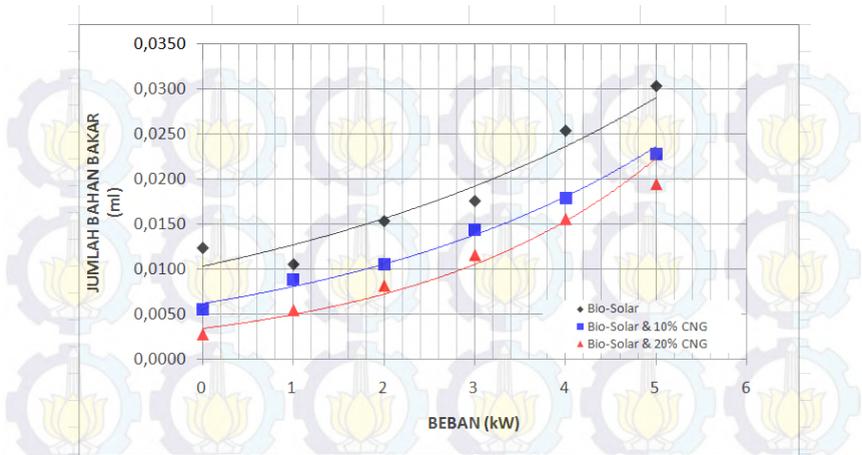
Pada kondisi *dual-fuel* dengan gas hidrogen 80% dari total bahan bakar, maka HC, CO, dan CO₂ menurun dan tanpa asap, akan tetapi efisiensi panas menurun sedikit dibandingkan dengan pada pengoperasian standar (100% solar), Pada satu keadaan yang istimewa, yaitu pada kondisi periode injeksi solar dipercepat signifikan baik asap maupun NO_x hampir tidak didapati, dan HC rendah. Siagian, A. Silaban, M. Banten 2011.



Grafik 4.11. Perbandingan Jumlah Bahan Bakar Bio-Solar Pada 1500 RPM



Grafik 4.12. Perbandingan Jumlah Bahan Bakar Bio-Solar Pada 1800 RPM



Grafik 4.13. Perbandingan Jumlah Bahan Bakar Bio-Solar Pada 2200 RPM

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diambil kesimpulan dari hasil penelitian uji eksperimental unjuk kerja dual fuel diesel engine yakni dengan bahan bakar bio-solar dan CNG yang merupakan hasil dari modifikasi diesel engine berbahan bakar solar, kesimpulan yang didapat sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

1. -Daya dan torsi yang dihasilkan saat kondisi full load menurun, dengan bahan bakar CNG 20% penurunannya secara berurutan adalah sebesar sebesar 8% dan 1.9%.
 - SFC yang dihasilkan dengan 10% CNG dan 20% CNG mengalami penurunan itu membuktikan bahwa bahan bakar yang dikonsumsi semakin rendah, penurunan rata-rata sebesar 14,7%.
2. Penghematan bahan bakar biosolar dengan 10% CNG yakni rata- rata 31,4% dibanding dengan penggunaan biosolar 100%, dan penghematan bahan bakar biosolar rata- rata 41,7% dengan 20% CNG.

5.2 Saran

1. Pada penelitian kali ini tidak dibahas mengenai performa gas buang, suhu masuk pendingin dan Nox, lebih baik diperhitungkan untuk menganalisa lebih lanjut terhadap performa motor diesel dual fuel.

DAFTAR PUSTAKA

Priyanto, H. 2012. "Uji Karakteristik Parameter ECU (Electronic Control Unit) Pada Mesin *Dual Fuel* Untuk Meningkatkan Kinerja Mesin". Fakultas Teknik UI. Depok

Putra, E, N. 2011. "Uji Eksperimental Bahan Bakar Campuran Biosolar Dengan Zat Aditif Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Putaran Konstan". Fakultas Teknologi Industri ITS. Surabaya

Rachmanto, T. 2008. "Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFCE) Dan Efisiensi Thermal Mesin diesel Idi Bahan Bakar Ganda Multisilinder Solar-LPG Dengan Variasi Beban Rendah Bertingkat". Fakultas Teknik Universitas Mataram. Mataram

Siagian, A. Silaban, M. 2011. "Performa dan Karakteristik Emisi Gas Buang Mesin Diesel Berbahan Bakar Ganda". Balai Besar Teknologi Energi BPPT. Banten

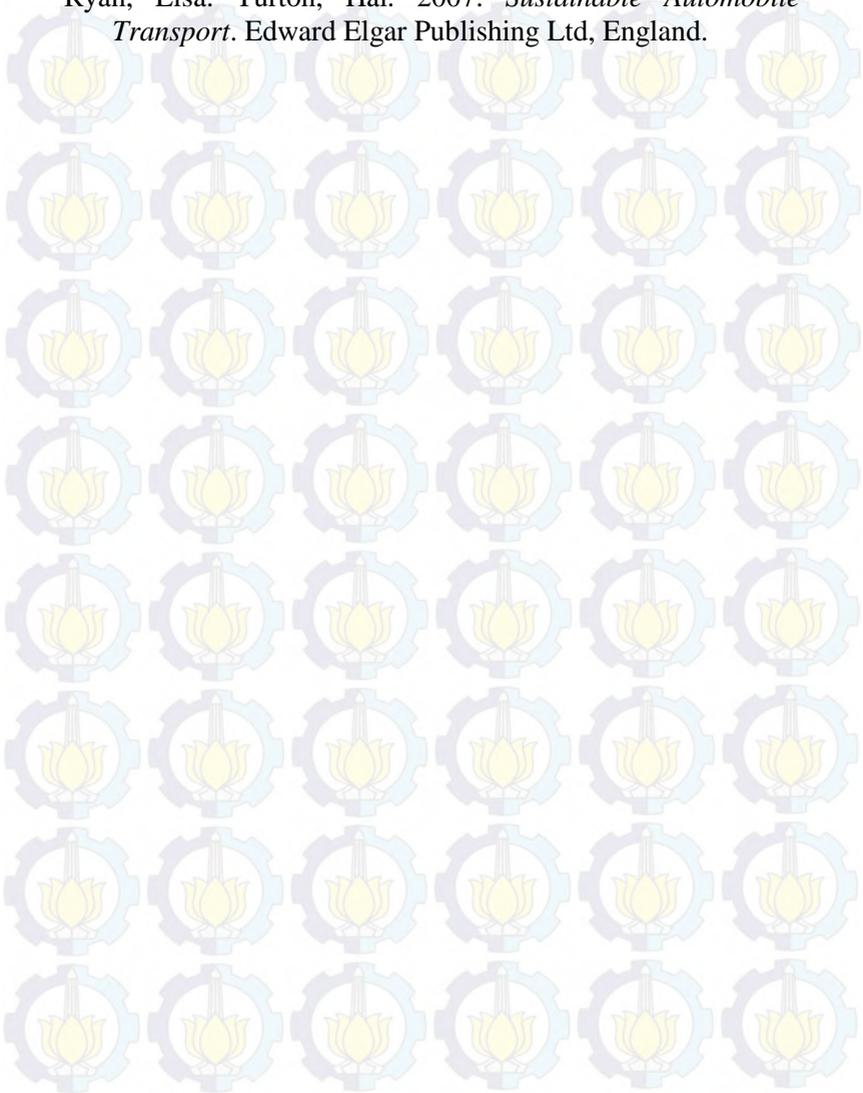
Wakhid, M, A. 2013. "Analisis Perbandingan Performa dan Emisi NOx Motor Diesel Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (Waste Cooking Oil) dengan Bio solar". Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Surabaya

Clayton B. Cornell. 2008. "Natural Gas Cars: CNG Fuel Almost Free in Some Parts of the Country".

Santoso, Tomi. (2009). "Desain Tabung Dan Tinjauan Kekuatannya Pada Kapal Pengangkut *Compressed Natural Gas* (CNG)". Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Surabaya

NGV Journal. 2012. "Worldwide NGV Statistics".

Ryan, Lisa. Turton, Hal. 2007. *Sustainable Automobile Transport*. Edward Elgar Publishing Ltd, England.



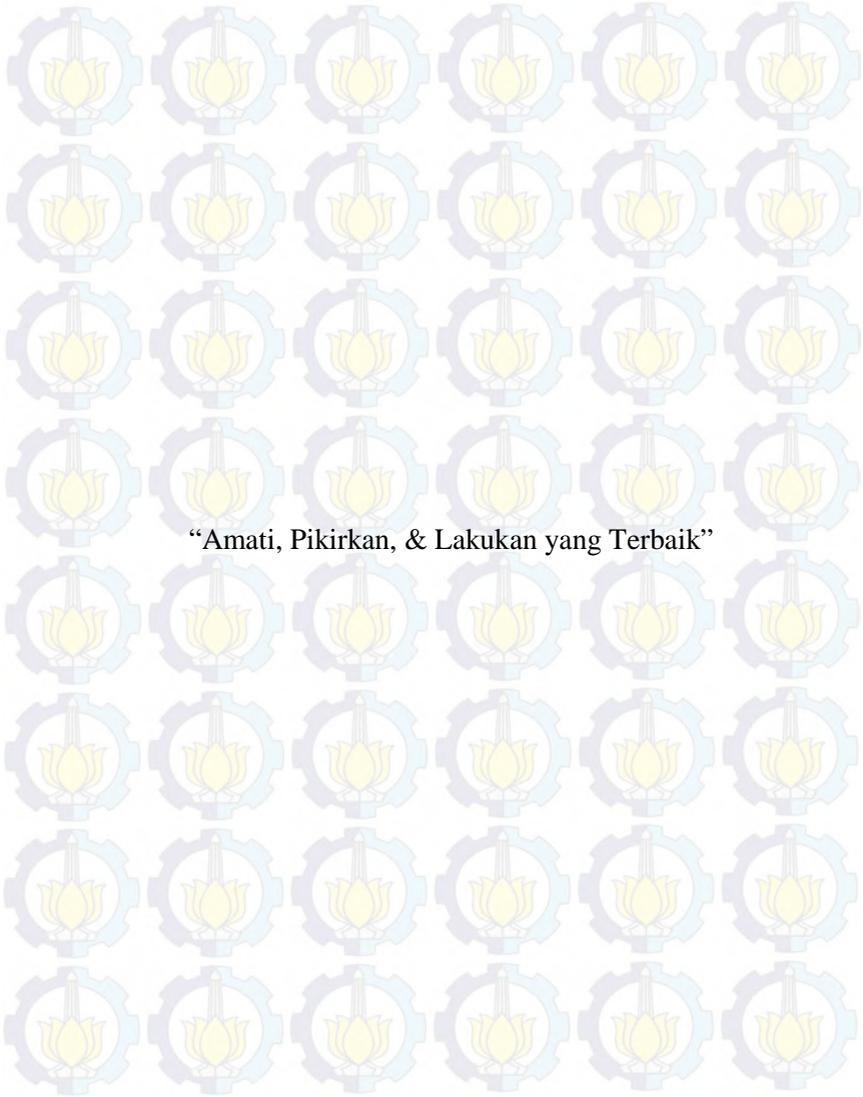
Biografi Penulis



Penulis dilahirkan di Jombang pada tanggal 13 Juli 1992 dan sekarang bertempat tinggal di Lamongan. Penulis adalah anak kedua dari dua bersaudara, terlahir dengan nama Arif Wahyu Hidayat yang biasa dipanggil Arif atau lebih akrab dipanggil Dayat. Selama ini penulis telah menjalani pendidikan formal di SDN Weru 1, SMPN 1 Sidayu, dan SMAN 1 Sidayu. Pada tahun 2010 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sistem

Perkapalan FTK-ITS dengan NRP 4210100029 melalui jalur PMDK Reguler. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini penulis mengambil bidang studi Marine Power Plant. Selama menjalani pendidikan sebagai mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi seperti DPA JTSP, MARINE ICON dan ICEVL. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan merupakan tempat yang sangat istimewa bagi penulis, karena di tempat inilah penulis belajar berbagai ilmu baik *hard skill* maupun *soft skill* sebagai bekal untuk mempersiapkan masa depan yang lebih baik lagi. Mengenai kejelasan informasi tugas akhir ini bisa menghubungi alamat email yang telah dicantumkan.

Arif Wahyu Hidayat
Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan-FTK ITS
Arif.hidayat.me10@gmail.com



“Amati, Pikirkan, & Lakukan yang Terbaik”

LAMPIRAN A

Tabel hasil uji eksperimental unjuk kerja diesel engine dengan bahan bakar 100% biosolar.

No	Putaran Engine	Beban	Alternator		Load Factor	Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu
			Tegangan	Arus			
	(RPM)		(Volt)	(Ampere)			(s)
1	1500	0	-	-	0,85	20	291
2		1	135	3	0,85		165
3		2	140	6,4	0,85		135
4		3	138	9,5	0,85		122
5		4	131	12,6	0,85		99
6		5	128	15,6	0,85		74
7	1800	0	180	-	0,85	20	215
8		1	182	3,6	0,85		139
9		2	176	7,4	0,85		131
10		3	175	11	0,85		85
11		4	170	14,6	0,85		72
12		5	160	17,8	0,85		54
13	2200	0	244	-	0,85	20	88
14		1	240	4,2	0,85		103
15		2	240	8,6	0,85		71
16		3	230	12,7	0,85		62
17		4	222	16,8	0,85		43
18		5	212	20,5	0,85		36

Lampiran A lanjutan

mBB	FCR	Nilai Kalor mBB	Ne	SFC	SEC	Torsi	Effisiensi Thermis
(Kg)	(Kg/h)	kJ/Kg	(kW)	Kg/kW.h	kJ/kW.h	(N.m)	η_{th} (%)
0,017	0,208	0,745	-	-	-	-	-
0,017	0,368	0,745	0,476	0,7715	0,57459	1,122	4,66
0,017	0,449	0,745	1,054	0,4262	0,31744	2,482	18,64
0,017	0,497	0,745	1,542	0,3223	0,24007	3,632	36,07
0,017	0,613	0,745	1,942	0,3155	0,23498	4,573	46,40
0,017	0,820	0,745	2,349	0,3489	0,25986	5,532	50,76
0,017	0,282	0,745	-	-	-	-	-
0,017	0,436	0,745	0,771	0,5661	0,42161	2,178	10,26
0,017	0,463	0,745	1,532	0,3022	0,22505	4,330	38,23
0,017	0,714	0,745	2,265	0,3151	0,23467	6,400	54,18
0,017	0,842	0,745	2,920	0,2885	0,21486	8,252	76,30
0,017	1,123	0,745	3,351	0,3352	0,24967	9,469	75,35
0,017	0,689	0,745	-	-	-	-	-
0,017	0,589	0,745	1,186	0,4966	0,36983	4,096	18,00
0,017	0,854	0,745	2,428	0,3518	0,26202	8,387	52,03
0,017	0,978	0,745	3,436	0,2847	0,21202	11,870	91,00
0,017	1,411	0,745	4,388	0,3215	0,23942	15,155	102,89
0,017	1,685	0,745	5,113	0,3295	0,24542	17,660	116,97

LAMPIRAN B

Tabel hasil uji eksperimental unjuk kerja dual fuel engine dengan bahan bakar biosolar dan 10% CNG.

No	Putaran	Beban	Alternator		Load Factor	Jumlah Bahan Bakar (ml)
	Engine		Tegangan	Arus		
	(RPM)		(Volt)	(Ampere)		
1	1500	0	-	-	0,85	20
2		1	140	3	0,85	
3		2	139	6,4	0,85	
4		3	137	9,5	0,85	
5		4	132	12,6	0,85	
6		5	126	15,6	0,85	
7	1800	0	182	-	0,85	20
8		1	182	3,6	0,85	
9		2	180	7,4	0,85	
10		3	178	11	0,85	
11		4	170	14,5	0,85	
12		5	162	17,7	0,85	
13	2200	0	243	-	0,85	20
14		1	240	4,2	0,85	
15		2	237	8,6	0,85	
16		3	229	12,7	0,85	
17		4	220	16,7	0,85	
18		5	209	20,4	0,85	

Lampiran B lanjutan

Waktu	Banyak Injeksi	Solar per Injeksi	massa solar	FCR solar	CNG per Injeksi	Massa CNG
(s)		(ml)	(kg)	(kg/h)	(ml)	(kg)
560	7000,0	0,0029	0,017	0,107	0,00029	0,002
353	4412,5	0,0045	0,017	0,170	0,00045	0,002
224	2800,0	0,0071	0,017	0,268	0,00071	0,002
165	2062,5	0,0097	0,017	0,363	0,00097	0,002
127	1587,5	0,0126	0,017	0,472	0,00126	0,002
106	1325,0	0,0151	0,017	0,566	0,00151	0,002
393	5895,0	0,0034	0,017	0,153	0,00034	0,002
201	3015,0	0,0066	0,017	0,298	0,00066	0,002
147	2205,0	0,0091	0,017	0,408	0,00091	0,002
114	1710,0	0,0117	0,017	0,526	0,00117	0,002
98	1470,0	0,0136	0,017	0,612	0,00136	0,002
80	1200,0	0,0167	0,017	0,750	0,00167	0,002
195	3575,0	0,0056	0,017	0,308	0,00056	0,002
123	2255,0	0,0089	0,017	0,488	0,00089	0,002
103	1888,3	0,0106	0,017	0,582	0,00106	0,002
76	1393,3	0,0144	0,017	0,789	0,00144	0,002
61	1118,3	0,0179	0,017	0,983	0,00179	0,002
48	880,0	0,0227	0,017	1,250	0,00227	0,002

Lampiran B lanjutan

FCR CNG	Nilai Kalor Massa Biosolar & CNG	Ne	SFC	SEC	Torsi	Eff. Thermis
(kg/h)	(kJ/kg)	(kW)	(kg/kWh)	(kJ/kW.h)	(N.m)	η_{th} (%)
0,015	0,854	-	-	-	-	-
0,024	0,854	0,36	0,5428	0,463	0,841	4,325
0,038	0,854	0,76	0,4038	0,345	1,781	12,313
0,051	0,854	1,11	0,3747	0,320	2,605	19,413
0,066	0,854	1,41	0,3810	0,325	3,329	24,402
0,079	0,854	1,67	0,3862	0,330	3,935	28,446
0,021	0,854	-	-	-	-	-
0,042	0,854	0,56	0,6110	0,522	1,574	5,993
0,057	0,854	1,13	0,4110	0,351	3,200	18,116
0,074	0,854	1,66	0,3605	0,308	4,703	30,357
0,086	0,854	2,10	0,3331	0,284	5,921	41,361
0,105	0,854	2,44	0,3508	0,300	6,888	45,687
0,043	0,854	-	-	-	-	-
0,068	0,854	0,86	0,6490	0,554	2,959	8,681
0,082	0,854	1,73	0,3833	0,327	5,984	29,721
0,111	0,854	2,47	0,3641	0,311	8,538	44,650
0,138	0,854	3,12	0,3591	0,307	10,786	57,192
0,176	0,854	3,62	0,3932	0,336	12,518	60,607

LAMPIRAN C

Tabel hasil uji eksperimental unjuk kerja dual fuel engine dengan bahan bakar biosolar dan 20% CNG.

No	Putaran	Beban	Alternator		Load Factor	Jumlah Bahan Bakar (ml)
	Engine		Tegangan	Arus		
	(RPM)		(Volt)	(Ampere)		
1	1500	0	135	-	0,85	20
2		1	135	3	0,85	
3		2	138	6,3	0,85	
4		3	137	9,4	0,85	
5		4	132	12,5	0,85	
6		5	125	15,4	0,85	
7	1800	0	180	-	0,85	20
8		1	180	3,5	0,85	
9		2	178	7,3	0,85	
10		3	175	10,9	0,85	
11		4	169	14,3	0,85	
12		5	161	17,6	0,85	
13	2200	0	242	-	0,85	20
14		1	240	4,2	0,85	
15		2	235	8,6	0,85	
16		3	229	12,6	0,85	
17		4	220	16,7	0,85	
18		5	210	20,3	0,85	

Lampiran C lanjutan

Waktu	Banyak Injeksi	Solar per Injeksi	massa solar	FCR solar	CNG per Injeksi	Massa CNG
(s)		(ml)	(kg)	(kg/h)	ml	(kg)
601	7512,5	0,0027	0,017	0,100	0,00053	0,002
392	4900,0	0,0041	0,017	0,153	0,00082	0,002
326	4075,0	0,0049	0,017	0,184	0,00098	0,002
206	2575,0	0,0078	0,017	0,291	0,00155	0,002
154	1925,0	0,0104	0,017	0,389	0,00208	0,002
140	1750,0	0,0114	0,017	0,428	0,00229	0,002
356	5340,0	0,0037	0,017	0,168	0,00075	0,002
218	3270,0	0,0061	0,017	0,275	0,00122	0,002
159	2385,0	0,0084	0,017	0,377	0,00168	0,002
130	1950,0	0,0103	0,017	0,461	0,00205	0,002
91	1365,0	0,0147	0,017	0,659	0,00293	0,002
78	1170,0	0,0171	0,017	0,769	0,00342	0,002
390	7150,0	0,0028	0,017	0,154	0,00056	0,002
199	3648,3	0,0055	0,017	0,301	0,00110	0,002
133	2438,3	0,0082	0,017	0,451	0,00164	0,002
94	1723,3	0,0116	0,017	0,638	0,00232	0,002
70	1283,3	0,0156	0,017	0,857	0,00312	0,002
56	1026,7	0,0195	0,017	1,071	0,00390	0,002

Lampiran C lanjutan

FCR CNG	Nilai Kalor Massa Biosolar & CNG	Ne	SFC	SEC	Torsi	Effisiensi Thermis
(kg/h)	(kJ/kg)	(kW)	(kg/kWh)	(kJ/kW.h)	(N.m)	η_{th} (%)
0,014	0,854	-	-	-	-	-
0,021	0,854	0,34	0,5069	0,433	0,811	4,466
0,026	0,854	0,74	0,2839	0,242	1,740	17,115
0,041	0,854	1,09	0,3033	0,259	2,578	23,730
0,055	0,854	1,40	0,3167	0,270	3,303	29,122
0,060	0,854	1,64	0,2986	0,255	3,853	36,035
0,024	0,854	-	-	-	-	-
0,039	0,854	0,54	0,5859	0,500	1,513	6,010
0,053	0,854	1,10	0,3895	0,333	3,121	18,647
0,065	0,854	1,62	0,3245	0,277	4,582	32,855
0,093	0,854	2,05	0,3659	0,312	5,805	36,916
0,108	0,854	2,41	0,3641	0,311	6,807	43,501
0,022	0,854	-	-	-	-	-
0,042	0,854	0,86	0,4012	0,343	2,959	14,044
0,063	0,854	1,72	0,2994	0,256	5,933	37,732
0,090	0,854	2,45	0,2967	0,253	8,471	54,359
0,120	0,854	3,12	0,3129	0,267	10,786	65,631
0,150	0,854	3,62	0,3371	0,288	12,516	70,689