



SKRIPSI – ME184834

**Kajian Eksperimental Performa, Combustion, *Methane Slip*
pada Modifikasi Diesel *Engine* Menjadi *Dual Fuel Engine***

**Febrian Rohiim
0421154000014**

**Dosen Pembimbing:
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Adhi Iswanto ST.,M.T.**

HALAMAN JUDUL

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



BACHELOR THESIS - ME184834

**Experimental Study of Engine Performance, Combustion,
Methane Slip on Modified Diesel Engines to Dual Fuel
Engines**

**Febrian Rohim
NRP 0421154000014**

**Dosen Pembimbing
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Adhi Iswanto ST.,M.T**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**Kajian Eksperimental Performa, Combustion, Methane Slip pada
Modifikasi Diesel Engine Menjadi Dual Fuel Engine**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

Febrian Rohim

NRP. 04211540000014

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi:

**Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
NIP. 197106101995121001**



**Adhi Iswantoro ST.,M.T.
NIP.1991201711050**



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**Kajian Eksperimental Performa, Combustion, Methane Slip pada
Modifikasi Diesel Engine Menjadi Dual Fuel Engine**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

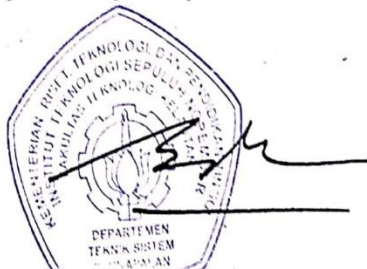
Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*
Program Studi S-I Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Febrian Rohiim

NRP. 0421154000014

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT

NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Kajian Eksperimental Performa, Combustion, *Methane Slip* pada Modifikasi Diesel Engine Menjadi *Dual Fuel Engine*

Nama Mahasiswa : Febrian Rohiim
NRP : 0421154000014
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Adhi Iswantoro ST.,M.T.

ABSTRAK

Berbagai penelitian telah banyak dilakukan tentang pengoptimalisasian pada motor diesel salah satunya adalah modifikasi diesel fuel menjadi *Dual Fuel* berbahan bakar diesel-gas. Modifikasi yang banyak digunakan adalah mesin berbahan bakar solar-natural gas yang biasa disebut mesin diesel DDF (*Dual Fuel*). Berdasarkan hasil pengujian natural gas yang di compressed atau CNG berhasil mengganti peran solar sebesar 75%. Semakin meningkatnya teknologi untuk mengganti peran bahan bakar minyak bumi dengan menggunakan *Dual Fuel* muncul sebuah masalah yaitu emisi *Methane Slip* yang merupakan gas metana yang tidak terbakar dalam proses pembakaran. Penelitian ini membahas berapa banyak nilai *Methane Slip* dengan variasi durasi waktu injeksi dengan mengkaji performa pembakaran atau combustion dan performa mesin. Hasil dari penelitian ini akan menanalisa dari segi performa pembakaran dan performa mesin untuk dilihat pengaruh nilai kadar *Methane Slip*-nya. Setelah dilakukan penelitian hasil dari *Methane Slip* berpengaruh pada performa mesin yaitu daya,torsi,*Efisiensi Thermal* dan SFC. Hasil setelah pengujian methane slip mengalami peningkatan ketika penambahan durasi injeksi disebabkan oleh laju massa yang meningkat yang menyebabkan massa CNG menjadi lebih besar. Rata rata peningkatan 8 ms ke 9 ms memiliki peningkatan 0,733 %

Kata kunci :

Dual Fuel, Methane, Gas Alam, Methaen Slip, Performa Mesin , Performa Pembakaran

“Halaman ini sengaja dikosongkan

Experimental Study of *Engine Performance, Combustion, Methane Slip* on Modified Diesel *Engines* to *Dual Fuel Engines*

Name : Febrian Rohiim
Registered Number : 04211540000014
Department : Marine *Engineering*
Academic Supervisor 1 : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Academic Supervisor 2 : Adhi Iswanto ST.,M.T.

ABSTRACT

Researched on optimizing fuel for diesel *engine* has been done and one of them is the combination of the fuel system between oil and gas. Modifications that are widely used are diesel-natural gas-powered *engines* commonly called DDF (*Dual Fuel*) diesel *engines*. Based on the results of natural gas testing compressed or CNG successfully changing the role of diesel fuel by 75%. The increasing technology to replace the role of petroleum fuels by using *Dual Fuel*, there is a problem, namely the emission of *Methane Slip* which is methane gas that does not burn in the combustion process. This study discusses how much the value of *Methane Slip* with variations in the duration of injection by assessing combustion or combustion performance and *engine* performance. The results of this study will analyze in terms of combustion performance and *engine* performance to see the effect of the value of the *Methane Slip* level. After doing the research the results of *Methane Slip* affect the *engine* performance, namely power, torque, eff. Thermal and SFC. The results after the methane slip test have increased when the addition of injection duration is caused by the increased mass rate which causes the CNG mass to become larger. The average increase of 8 ms to 9 ms has an increase of 0.733%

***Keywords* :**

Combustion ,*Dual Fuel* , *Methane Slip*, Natural Gas , Performance

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah S.W.T. karena berkat limpahan rahmat, hidayah dan anugerah-Nya sehingga tugas akhir dengan judul **“Kajian Eksperimental Performa, Combustion, Methane Slip pada Modifikasi Diesel Engine Menjadi Dual Fuel Engine”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tidak lepas dari doa dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, Ir.Iftachullah dan Susi Susilwati yang selalu memberikan doa, masukan serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis.
2. Bapak Dr.I Made Ariana.,S.T.,M.T. serta Bapak Adhi Iswanto.,S.T.,M.T. yang selalu mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Dr. Dhimas Widhi Handani,S.T.,M.Sc. selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan dukungan untuk penulis.
5. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium *Marine Power Plant* yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
6. Ibu Betty, Afiffudin , dan Habib selaku Tim *Methane Slip* yang selalu bekerja sama untuk menyelesaikan tugas akhir ini
7. Mas Frengki, Mas Ical , Mas yudha , Mas Dimas selaku Tim Mas Frengki yang mau berkolaborasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini
8. Teman-teman serta Mas dan Mbak *“Marine Power Plant Laboratory”* yang selalu membantu dan menjadi tempat bertukar pikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teman-teman seangkatan *“Salvage 15”*, yang selalu mendukung dan mengingatkan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar.
10. Tim *“kontrakan gebang”*, Ardi ,Ari gendut, Faisal, Apip, Zeka, Suyid, Atfal, Anas, Habib Cilik yang selalu menghibur penulis ketika *low motivation*
11. Tim Kontrakan Mulyos yang telah mengingatkan dan menghibur penulis sehingga bisa terselesaikannya tugas akhir ini
12. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, amin.

Surabaya, Juli 2019
Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	xvi
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Bahan Bakar Natural Gas	3
2.2 Diesel <i>Engine</i>	6
2.3 Dual Fuel Diesel Engine	8
2.4 Performa Pembakaran	13
2.4.1 Ignition Delay.....	13
2.5 Performa Mesin	14
2.5.1 Daya	14
2.5.2 Torsi	14
2.5.3 Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP)	15
2.5.4 Pemakaian Bahan Bakar Spesific (SFC)	15
2.5.5 Efisiensi Thermal	16
2.5.6 Laju Massa Bahan Bakar.....	16
2.6 Methane Slip	17

BAB III METEDOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Persiapan dan Pengerjaan Modifikasi Diesel <i>Engine</i> menjadi <i>Dual Fuel Engine</i>	20
3.2 Pra Eksperimen	28
3.3 Metode Pengujian	29
3.4 Eksperimen Pengambilan Data	31
3.5 Analisa dan Pembahasan.....	31
3.6 Kesimpulan dan Saran	31
BABV IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Analisa Performa Pembakaran.....	33
4.1.1 Pengaruh Durasi Injeksi CNG terhadap Tekanan Silinder	33
4.1.2 Pengaruh Durasi Injeksi CNG terhadap Heat Release	35
4.2 Analisa Performa Mesin.....	37
4.2.1 Analisa Daya Efektif (Ne).....	37
4.2.2 Analisa Laju Massa CNG	39
4.2.3 Analisa Torsi	40
4.2.4 Analisa Tekanan Rata Rata (BMEP)	42
4.2.5 Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)	43
4.2.6 Analisa Efisiensi Thermal.....	47
4.3 Analisa <i>Methane Slip</i>	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	57
BIODATA PENULIS	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin Diesel.....	6
Gambar 2. 2 Diagram lokasi waktu penginjeksian pada setiap periode pembakaran pada mesin penyalaan kompresi	7
Gambar 2. 3 Tahapan Langkah pada mesin diesel <i>4-stroke</i> (wikipedia)	8
Gambar 2. 4 Skema diagram mesin <i>Dual Fuel</i> (Wei, 2016).....	11
Gambar 2. 5Prinsip Kerja Motor Diesel <i>Dual Fuel</i>	12
Gambar 2. 6 Ignition Delay Period	13
Gambar 2. 7Analisa <i>Methane Slip</i> berdasarkan variasi beban (Stenersen & Thonstad, 2014).....	17
Gambar 3. 1 Flowchart Metodologi Penelitian	19
Gambar 3. 2 ECU	21
Gambar 3. 3Pulser	21
Gambar 3. 4 Pressure Reducer	22
Gambar 3. 5 Kabel	22
Gambar 3. 6Injektor Gas	23
Gambar 3. 7 Tabung CNG	23
Gambar 3. 8Beban Heater	24
Gambar 3. 9 PLC	24
Gambar 3. 10 Flow Rate Gas Meter.....	25
Gambar 3. 11Gelas Ukur.....	25
Gambar 3. 12 Stopwatch	26
Gambar 3. 13Amperemeter	26
Gambar 3. 14 Thermometer Digital.....	27
Gambar 3. 15 Tachometer Digital.....	27
Gambar 3. 16 Set up <i>Engine</i>	28
Gambar 3. 17 Interface Vemstun	30
Gambar 4. 1 Grafik Tekanan Silinder dengan Variasi Waktu Durasi Injeksi pada beban heater 1	33
Gambar 4. 2 Grafik Tekanan Silinder dengan Variasi Waktu Durasi Injeksi pada beban heater 4.....	34
Gambar 4. 3 Grafik Heat Release dengan variasi durasi injeksi pada beban heater 1	35

Gambar 4. 4 Grafik Heat Release Rate dengan variasi durasi injeksi pada beban heater 4.....	36
Gambar 4. 5 Grafik daya fungsi beban heater variasi waktu injeksi CNG	37
Gambar 4. 6 Grafik Laju Massa fungsi Daya Efektif dengan variasi durasi injeksi.....	39
Gambar 4. 7 Grafik torsi fungsi beban variasi waktu injeksi CNG	40
Gambar 4. 8 Grafik BMEP fungsi beban dengan variasi waktu injeksi	42
Gambar 4. 9 Grafik SFC fungsi Daya dengan variasi durasi injeksi	43
Gambar 4. 10 Grafik SFOC fungsi Daya Efektif.....	44
Gambar 4. 11 Grafik SEC fungsi Daya dengan variasi durasi injeksi.....	45
Gambar 4. 12 Grafik SEOC fungsi Daya Efektif	46
Gambar 4. 13 Grafik <i>Efisiensi Thermal</i> fungsi beban dengan variasi waktu injeksi.....	47
Gambar 4. 14 Grafik <i>Methane Slip</i> fungsi beban heater dengan variasi durasi injeksi.....	49
Gambar 4. 15 Grafik <i>Methane Slip</i> fungsi beban heater dengan variasi durasi injeksi dan single fuel	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kandungan Gas Alam.....	5
Tabel 2. 2 Properti physicochemical bahan bakar gas alam dan diesel (Sahoo, 2009).....	10
Tabel 3. 1 Parameter Pengujian.....	28
Tabel 4. 1 Tabel Daya Efektif Fungsi Durasi Injeksi Pada Beban Heater	38
Tabel 4. 2 Tabel Perbandingan Daya Efektif dan Laju Massa Fungsi.....	39
Tabel 4. 3 Tabel Perbandingan Torsi fungsi Durasi Injeksi CNG	41
Tabel 4. 4 Perbandingan BMEP fungsi Durasi Injeksi CNG	42
Tabel 4. 5 SFC fungsi Daya Efektif	44
Tabel 4. 6 SEC fungsi Daya Efektif	46
Tabel 4. 7 Efisiensi Thermal fungsi Daya Efektif	48
Tabel 4. 8 Laju Massa Fungsi <i>Methane Slip</i> dengan variasi Durasi injeksi.....	50
Tabel 4. 9 Efisiensi Thermal fungsi <i>Methane Slip</i> dengan variasi Durasi Injeksi .	50
Tabel 4. 10 Daya Efektif fungsi <i>Methane Slip</i> Variasi Durasi Injeksi.....	51
Tabel 4. 11 SEC fungsi <i>Methane Slip</i> Variasi Durasi Injeksi	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi yang dihasilkan oleh mesin diesel menyebabkan dampak terhadap lingkungan yang berakibat penurunan kualitas udara maupun efek rumah kaca , akibat dari itu peraturan polusi lebih diperketat dan penurunan bahan bakar minyak yang berasal dari alam semakin berkurang membuat Natural Gas (NG) dijadikan sebagai bahan bakar alternatif di mesin diesel yang dikenal dengan *Dual Fuel Engine* atau mesin berbahan bakar ganda. *Dual Fuel Engine* merupakan sebuah mesin modifikasi dengan menambahkan bahan bakar seperti *Natural Gas* ke dalam ruang bahan bakar pada saat udara masuk melalui *intake manifold* atau langkah hisap. Modifikasi ini dapat menyelesaikan permasalahan bahan bakar minyak yang semakin menipis dikarenakan semakin meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar minyak karena konsumsi bahan bakar minyak akan berkurang dengan ditambahkan *Natural Gas*.

Penggunaan *Dual Fuel Engine* lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan dengan mesin tunggal (Arif & Sudarmanta, 2015) .Penerapan ini merupakan sesuatu yang dapat menguntungkan dimana Indonesia masih menyimpan banyak *Natural Gas* dan masih belum dimanfaatkan secara maksimal. Jenis gas alam Compressed Natural Gas (CNG) yaitu gas alam terkompresi yang mengandung lebih dari 90% metana. Bila ditinjau dari segi harga, CNG jauh lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar gas lain karena tidak melalui proses pencairan dan proses lainnya (Clarke & DeBruyn, 2012) . Dengan potensi yang ada diharapkan mampu menekan pengeluaran biaya untuk pengeluaran konsumsi bahan bakar minyak.

Terdapat masalah di *Dual Fuel Engine* yaitu performa yang menurun dibandingkan dengan mesin tunggal dan terdapat *Methane Slip*. Maka dari itu untuk mengetahui performa perlu dibandingkan dengan mesin asli atau mesin tunggal .Dampak dari *Methane Slip* bisa membuat efek rumah kaca 28 kali lebih besar dibandingkan dengan emisi CO₂ ini merupakan dampak yang buruk bagi lingkungan dimana konsumsi bahan bakar minyak menurun tetapi emisi meningkat .Untuk *Unburn Methane* atau *Methane Slip* merupakan methana yang tidak terbakar pada saat tahap pembakaran di ruang bakar sehingga terbuang bersama gas buang. *Methane Slip* terjadi lebih banyak di mesin kecepatan yang tinggi atau *high speed diesel engine* dikarenakan injeksi *Natural Gas* dilakukan melalui *air intake*. Pengaturan komposisi bahan bakar minyak atau solar dengan *Natural Gas* penting

untuk diketahui pada *Dual Fuel engine* Maka dari itu penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui komposisi yang baik antara solar dan *Natural Gas* sehingga performa dan *Slip Methane* yang dihasilkan oleh mesin dapat ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian yaitu:

1. Bagaimana pengaruh modifikasi diesel *engine* menjadi *Dual Fuel engine* untuk memaksimalkan pengaturan jumlah bahan bakar antara natural gas dan diesel oil ?
2. Bagaimana pengaruh modifikasi diesel *engine* menjadi *Dual Fuel engine* terhadap performa, *combustion*, dan *Methane Slip*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan mesin modifikasi *Dual Fuel Diesel Yanmar TF 85 MH Direct Engine Single Cylinder*
2. Penelitian ini berfokus pada analisa performa, *combustion*, dan *Methane Slip* yang terjadi
3. *Dual Fuel Engine* yang digunakan berbahan bakar Diesel – Natural Gas
4. Modifikasi *engine* berfokus pada pengaturan jumlah bahan bakar antara *Diesel oil* dan *Natural Gas* dengan memodifikasi bagian penginjeksian bahan bakar *Diesel oil* dan *Natural Gas*

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh modifikasi diesel *engine* menjadi *Dual Fuel engine* terhadap pengaturan jumlah bahan bakar antara natural gas dan diesel oil
2. Menganalisa pengaruh modifikasi diesel *engine* menjadi *Dual Fuel engine* terhadap performa, *combustion*, dan *Methane Slip* mesin diesel kecepatan tinggi bersilinder tunggal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh pada penelitian ini adalah hasil analisa terhadap pengaruh komposisi bahan bakar *Natural Gas* yang harus diinjeksikan agar mesin tidak mengalami *Methane Slip* berlebih sehingga emisi gas buang yang dihasilkan dapat ditekan sekecil mungkin

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar Natural Gas

Bahan bakar alternatif adalah bahan bakar yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti dari bahan bakar utama seperti bahan bakar yang berasal dari minyak bumi (BBM) yang dimana bahan bakar tersebut merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui. Karena karakteristik tersebut bahan bakar minyak yang selama ini dijadikan bahan bakar utama ketersediaan semakin lama semakin menipis. Pengembangan sumber-sumber alternatif dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM), telah menjadi agenda penting pemerintah yang dituangkan pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006, tentang Kebijakan Energi Nasional. Kebijakan tersebut diterjemahkan dalam bentuk upaya pemberdayaan sumber-sumber energi yang ada. Penggunaan bahan bakar gas (BBG) sebagai sumber energi merupakan salah satu upaya yang banyak dilakukan untuk menggantikan bahan bakar minyak. Bahan bakar gas adalah semua jenis bahan bakar yang berbentuk gas, seperti gas alam dan gas dari minyak bumi. (Mulyatno, 2013)

Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar yang berwujud gas yaitu *Natural Gas*. Unsur kimia yang terkandung dalam *Natural Gas* adalah berupa CH₄ atau metana dan propane, butane, pentane, *carbon monoxida*. *Natural Gas* memiliki karakteristik yang dimana fasenya dalam temperatur ruangan sehingga membutuhkan tempat khusus dalam penyimpanan, yaitu di *compressed* atau dirubah menjadi *liquid* sehingga ada yang bernama CNG (*Compressed Natural Gas*) dan LNG (*Liquid Natural Gas*). Bahan bakar ini lebih bersih bila dibandingkan dengan bahan bakar minyak karena emisi gas buangnya yang ramah lingkungan. Gas CNG dibuat dengan melakukan kompresi methane (CH₄) yang diekstrak dari gas alam. Gas CNG merupakan gas alam yang mengalami kompresi agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan. (Exoryanto & Sudarmanta, 2017)

Bahan bakar alternatif yang banyak diaplikasikan dalam modifikasi *Dual Fuel Diesel Engine* adalah bahan bakar gas, dimana gas (CNG) tersebut dicampurkan dengan udara segar di intake manifold (atau diinjeksikan ke dalam silinder melalui intake manifold) dan dinyalakan oleh sejumlah kecil bahan bakar diesel ketika piston mendekati akhir langkah kompresi (TMA kompresi). Partikel-partikel bahan bakar halus bercampur dengan udara untuk membentuk campuran yang mudah

terbakar yang kemudian menyatu karena suhu tinggi. Ledakan yang menghasilkan pembakaran dari kompresi tersebut kemudian ikut membakar gas secara langsung karena sudah bercampur dengan udara dan solar. (Ehsan, 2009)

Saat ini pemanasan global di bumi dan pencemaran udara atmosfer yang disebabkan oleh mesin pembakaran telah menjadi masalah sosial. Lebih jauh lagi, ketergantungan pada bahan bakar fosil diperkirakan akan berkurang, dan karena itu lebih mahal, karena semakin berkurangnya ketersediaan. Mesin diesel dioperasikan dengan menyuntikkan sedikit diesel sebagai pemicu api saja, Fuel Gas (CNG) sebagai bahan bakar pokok bersama aliran udara melalui mixer di intake port ke mesin pembakaran silinder. Uji performa mesin menggunakan masing-masing dua jenis bahan bakar gas, yaitu propana (C_3H_8) dan hidrogen (H_2), dengan persentase yang bervariasi. Sebagai perbandingan, pengoperasian mesin dengan bahan bakar standar (diesel 100%, single-fuel) juga dilakukan. Uji kinerja ini meliputi analisis tekanan pada silinder, karakteristik emisi gas buang, dan efisiensi termal. Tingkat pelepasan panas (laju pelepasan panas) dihitung dari turunan hasil pengukuran tekanan pada silinder. Akibatnya, telah diketahui bahwa; emisi gas buang pada kondisi operasi dengan kedua bahan bakar gas (propana dan hidrogen), yang masing-masing menghasilkan asap (asap atau jelaga atau partikel beraspal, PM), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2) dan nitrogen oksida (NO_x), yang menurun secara signifikan, namun efisiensi termal menurun. (Siagian, 2011)

Gas alam merupakan gas dengan komposisi utama adalah metana (CH_4). Selain itu, terkandung pula propana, butana, iso-butana dan gas lainnya dalam jumlah kecil. Biasanya kandungan gas metana lebih dari 90-98% pada gas alam, bergantung pada lokasi sumber dan proses pengolahan gas alam. Komposisi dan komponen dari sumber-sumber gas alam tergantung pada kondisi geologi dan proses produksi. Ini berarti bahwa jika sumur produksi gas alam yang berbeda, maka komposisi gas alam yang dihasilkan juga berbeda. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kandungan gas alam.

Tabel 2. 1Komposisi Kandungan Gas Alam

<i>Component</i>	<i>Typical Analysis (vol%)</i>	<i>Range (vol%)</i>
<i>Methane</i>	94.9	87-96
<i>Ethane</i>	2.5	1.8-5.1
<i>Propane</i>	0.2	0.1-1.5
<i>Isobutane</i>	0.03	0.01-0.3
<i>n-Butane</i>	0.03	0.01-0.3
<i>Isopentane</i>	0.01	Trace to 0.14
<i>n-Pentane</i>	0.01	Trace to 0.14
<i>Hexane</i>	0.01	Trace to 0.06
<i>Nitrogen</i>	1.6	1.3-5.6
<i>Carbondioxide</i>	0.7	0.1-1.0
<i>Oxygen</i>	0.02	0.01-0.1
<i>Hydrogen</i>	Trace	Trace to 0.02

(Wei, 2016)

2.2 Diesel Engine

Motor diesel termasuk jenis kelompok motor bakar dalam (*internal combustion engines*), dimana proses pembakarannya didalam silinder. Motor diesel menggunakan bahan bakar cair yang dimasukkan ke dalam ruang pembakaran silinder motor dengan cara diinjeksikan menggunakan pompa injeksi. Bahan bakar masuk ke dalam silinder atau ruang pembakaran dalam bentuk yang lebih halus dengan menggunakan pengabut (*nozzle*) dan masukkan kedalam silinder pada langkah pemasukkan adalah udara murni. Pada langkah kompresi, udara murni ini dimampatkan hingga menghasilkan panas yang cukup untuk menyalakan bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang pembakaran motor. Motor diesel sering disebut juga motor penyalan kompresi (*compression ignition engines*).



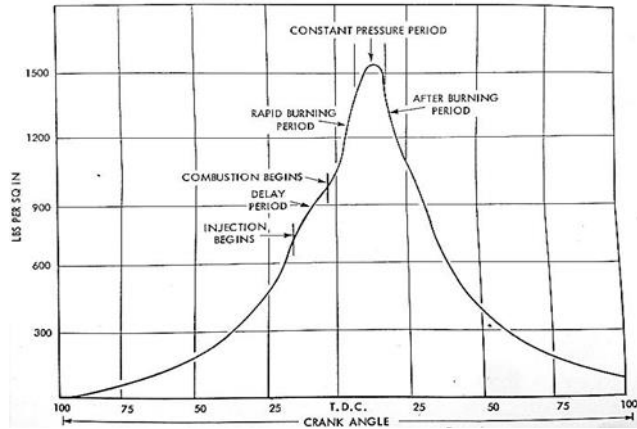
Gambar 2. 1 Mesin Diesel
(Rozaqi, 2012)

Pada sistem bahan bakar mesin diesel, feed pump menyedot 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. (Fitriana, 2013)

Cara pembakaran dan pengatomisasian (*atomizing*) bahan bakar pada motor diesel tidak sama dengan motor bensin. Pada motor bensin campuran bahan bakar dan udara melalui karburator dimasukkan ke dalam silinder dan dibakar oleh nyala listrik dari busi. Pada motor diesel yang diisap oleh torak dan masuk ke dalam ruang bakar hanya udara, yang selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder yang cukup tinggi maka partikel-partikel bahan bakar akan menyala dengan sendirinya sehingga membentuk proses pembakaran. Agar bahan bakar solar dapat terbakar sendiri, maka diperlukan rasio kompresi 15-22 dan suhu udara kompresi kira-kira 600°C. Meskipun untuk motor diesel tidak diperlukan sistem pengapian seperti halnya pada motor bensin, namun dalam motor diesel

diperlukan sistem injeksi bahan bakar yang berupa pompa injeksi (injection pump) dan pengabut (injector) serta perlengkapan bantu lain. Bahan bakar yang disemprotkan harus mempunyai sifat dapat terbakar sendiri (self ignition).

Pembakaran bahan bakar mesin diesel dapat dibagi menjadi empat tahap yang dapat diidentifikasi, yaitu pada tekanan waktu diagram pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Diagram lokasi waktu penginjeksian pada setiap periode pembakaran pada mesin penyalan kompresi

Tahap 1 disebut periode waktu penundaan penyalaan. Selama periode ini, pembakaran tidak cukup untuk meningkatkan suhu maupun tekanan, karena tergantung pada faktor: (1) kualitas penyalaan bahan bakar, (2) jumlah udara dalam ruang bakar, suhu dan tekanan, (3) kecepatan dan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, (4) jumlah atomisasi dan (5) jumlah aliran turbulensi. Semakin tinggi suhu dan tekanan dalam ruang pembakaran, semakin halus atomisasi dari partikel bahan bakar dan semakin tinggi turbulensi, periode waktu penundaan menjadi lebih pendek.

Tahap 2 disebut jangka waktu penundaan yang cepat. Selama periode ini bahan bakar telah diinjeksikan, tekanan dan temperatur akan meningkat dengan cepat. Tingkat pembakaran tergantung pada bahan bakar yang dicampur dengan udara (air fuel ratio)

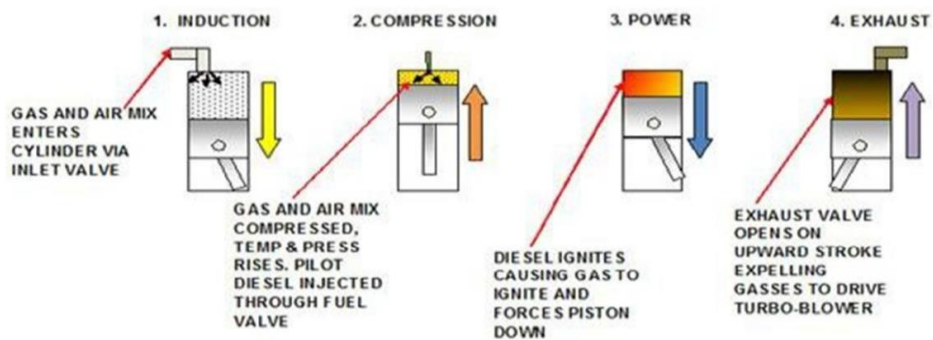
Tahap 3 adalah periode kenaikan tekanan konstan. Injeksi berakhir sebelum akhir periode ini. Secara teoritis, tingkat injeksi dan pembakaran harus mencukupi sehingga tekanan tetap dan konstan selama tahap ini.

Tahap 4 disebut periode setelah pembakaran. Selama tahap ini piston bergerak ke bawah. Berat molekul bahan bakar akan menguap pada proses akhir, yang bercampur dengan oksigen dan terbakar. Proses pembakaran harus selesai sebelum katup buang dibuka atau hal itu akan menyebabkan asap (emisi) pada gas buang semakin tinggi.

2.3 Dual Fuel Diesel Engine

Teknologi mesin konvensional yang semakin modern dengan tujuan untuk mencapai efisiensi yang paling tinggi sehingga muncul berbagai jenis *engine*. Efisiensi tertinggi yang masih belum bisa tercapai menyebabkan perlunya terus berinovasi untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang masih mungkin untuk kondisi yang lebih baik. Salah satu bentuk inovasi yang telah dibuat adalah jenis dual-fuel *engine*. Dual-fuel *engine* merupakan salah satu penelitian yang dianggap dapat menutupi beberapa kekurangan dari jenis mesin konvensional yang lain. Penelitian terhadap dual-fuel *engine* ini telah banyak dilakukan. Dual-fuel *engine* dapat meningkatkan efisiensi mesin dan juga menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan mesin konvensional lainnya. (Fatallah M.Z, 2013)

Konversi mesin diesel menjadi mesin diesel berbahan bakar ganda dengan menggunakan solar – CNG dan beroperasi dengan cara yang sama seperti mesin diesel asli, hasil campuran gas / diesel mencapai suhu operasi mesin yang optimal.



Gambar 2. 3 Tahapan Langkah pada mesin diesel *4-stroke* (wikipedia)

1. Langkah Hisap

Saat piston turun ke silinder, udara diinjeksikan melalui inlet udara manifold dan terhisap ke dalam silinder sebagai campuran gas / udara bersamaan dengan injeksi CNG.

2. Langkah Kompresi

Piston terus turun sampai mencapai TMB (Titik Mati Bawah) kemudian naik kembali menuju silinder, menekan udara / gas dan menaikkan suhunya. Sebelum pada posisi TMA (Titik Mati Atas), sejumlah bahan bakar solar disuntikkan ke dalam ruang bakar.

3. Langkah Tenaga

Sejumlah bahan bakar solar terbakar menjadi ratusan kecil percikan api karena kompresi pembakaran. Hal ini padah memicu pembakaran gas alam yang menggerakkan piston kembali turun silinder.

4. Langkah Buang

Piston kembali ke posisi TMB dan saat naik silinder, katup buang membuka dan mengeluarkan gas buang melalui knalpot gas.

Sistem bahan bakar ganda ini lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan sistem bahan bakar tunggal (solar). *Dual Fuel System* ini juga dinilai jauh lebih ekonomis. *Dual Fuel system* atau sistem berbahan bakar ganda memiliki hasil pembakaran yang jauh lebih bersih (Ehsan, 2009) Kombinasi bahan bakar yang dipakai dalam sistem ini adalah solar dan gas alam. Potensi pemanfaatan gas alam sebagai pengganti bahan bakar minyak seperti solar, sangat besar jika diterapkan di Indonesia. Hal ini terkait dengan sumber gas di Indonesia masih relatif banyak dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Jenis gas alam yang dipakai adalah Compressed Natural Gas (CNG) dimana gas alam terkompresi ini mengandung lebih dari 90% metana. Dari segi harga, CNG jauh lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar gas lain karena tidak melalui proses pencairan dan lainnya (Clarke, 2012). Oleh karena itu, penerapan sistem berbahan bakar ganda diharapkan mampu menghemat pengeluaran konsumsi bahan bakar serta mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin dengan sistem berbahan bakar tunggal. (Wijaya, 2014)

Penelitian dan perkembangan mesin diesel *Dual Fuel* semakin meningkat setiap tahunnya, tidak hanya digunakan untuk proses eksperimen namun juga telah dikembangkan dalam bidang industri dan transportasi (JFE Engineering, 2014). Aplikasi mesin *Dual Fuel* sangat menjanjikan dalam sudut pandang lingkungan dan ekonomi namun masih terkendala secara teknis pada penurunan performa berupa daya, torsi, tekanan silinder dan efisiensi termal serta menghasilkan knocking (Zoltowski, 2015)

Salah satu penyebab terjadinya penurunan performa pada mesin *Dual Fuel* adalah nilai panas (heat value) dari campuran gas dan udara lebih rendah dibandingkan campuran diesel dan udara. Selain itu, campuran bahan bakar gas dan udara pada mesin *Dual Fuel* bersifat lean (miskin konsentrasi bahan bakar). Hal ini menyebabkan bahan bakar diesel yang berperan sebagai pematik sulit untuk membakar campuran gas dan udara yang masuk ke ruang bakar dan berpengaruh terhadap laju pembakaran yang lambat serta kecepatan perambatan api yang lambat ketika proses pembakaran terjadi. Akibatnya, panas yang terbuang pada saat proses pembakaran menjadi naik, dan menyebabkan efisiensi termal mesin menurun

Beberapa penelitian mengenai konversi mesin diesel berbahan bakar minyak solar menjadi mesin berbahan bakar ganda (solar dan gas) telah dilakukan, baik dalam simulasi komputasional maupun dalam eksperimental. Hasil konversi tersebut memberikan pengaruh terhadap proses pembakaran dan performa mesin. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik bahan bakar yang digunakan. Tabel 2.2 memperlihatkan perbedaan properti antara bahan bakar gas dan diesel. Perbedaan

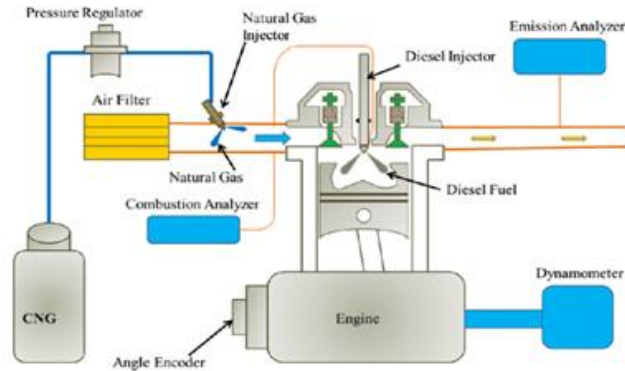
properti bahan bakar ini lah yang menyebabkan penambahan gas alam pada ruang bakar akan berpengaruh terhadap perubahan performa dan proses pembakaran pada mesin *Dual Fuel*.

Tabel 2. 2 Properti physicochemical bahan bakar gas alam dan diesel (Sahoo, 2009)

<i>Fuel Properties</i>	<i>Natural Gas</i>	<i>Diesel</i>
<i>Low heating value (MJ/kg)</i>	48.6	42.5
<i>Heating value of stoichiometric mixture (MJ/kg)</i>	2.67	2.79
<i>Cetane number</i>	-	52.1
<i>Octane number</i>	130	-
<i>Auto-ignition temperature (°c)</i>	650	180-220
<i>Stoichiometric air/fuel ratio</i>	17.2	14.3
<i>Carbon content (%)</i>	75	87

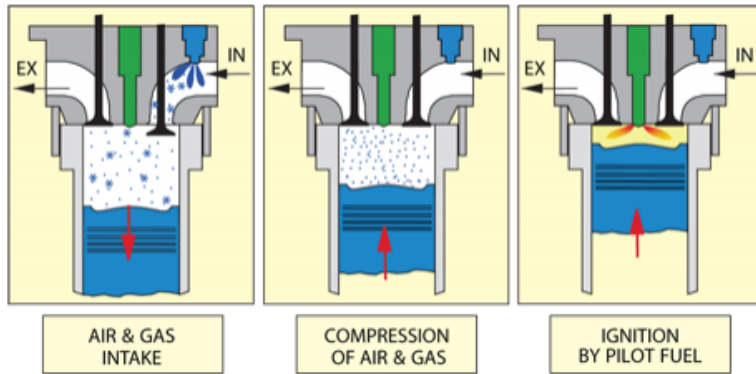
Pada mesin diesel *Dual Fuel*, gas dan udara mengalami pencampuran ketika masuk ke dalam ruang bakar. Selanjutnya gas dan udara yang telah homogen kemudian mengalami proses kompresi. Diakhir proses kompresi, ketika gas dan udara telah berada pada tekanan dan temperatur tertentu, bahan bakar diesel di injeksikan ke ruang bakar sehingga terjadi proses pembakaran. Ini merupakan prinsip kerja mesin diesel pada umumnya.

Kelebihan dari mesin *Dual Fuel* adalah jika terjadi kegagalan pada bahan bakar gas, mesin tetap dapat bekerja dengan menukar mode operasional *Dual Fuel* menjadi mode operasional mesin diesel konvensional yang hanya mengandalkan bahan bakar diesel. Sedangkan kekurangannya adalah mesin sangat bergantung dengan ketersediaan bahan bakar diesel agar sistem kerja mesin *Dual Fuel* tetap berlangsung (Sahoo, 2009). Skema diagram mesin *Dual Fuel* ditampilkan dalam Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Skema diagram mesin *Dual Fuel* (Wei, 2016)

Bahan bakar gas ini dicampur dengan udara dalam silinder mesin baik melalui pencampuran langsung di intake manifold dengan udara atau melalui suntikan langsung ke dalam silinder. Sebuah mesin *Dual Fuel* pada dasarnya adalah mesin diesel yang dimodifikasi di mana bahan bakar gas, disebut bahan bakar utama, yang dicampur bersama dengan udara dengan menggunakan mixing yang berbentuk venturi yang akan masuk melalui intake manifold. Bahan bakar ini adalah sumber utama energi input ke mesin. Bahan bakar gas utama dikompresi dengan udara, bahan bakar gas memiliki temperatur terbakar sendiri lebih tinggi dibandingkan minyak solar. Sedangkan bahan bakar diesel, biasanya disebut pilot fuel, di injeksi seperti pada mesin diesel biasa di dekat akhir kompresi primer campuran bahan bakar udara. Bahan bakar pilot diesel merupakan yang melakukan pengapian pertama dan bertindak sebagai sumber pengapian untuk pembakaran dari campuran bahan bakar udara gas. Bahan bakar pilot diesel, yang diinjeksi ke ruang bakar hanya menyumbang sebagian kecil dari tenaga mesin yang dihasilkan. Kelebihan dari mesin *Dual Fuel* ini adalah jika terjadi kegagalan pada bahan bakar gas, mesin tetap dapat bekerja dengan menukar mode operasional *Dual Fuel* menjadi mode operasional mesin diesel konvensional yang hanya mengandalkan bahan bakar diesel. Sedangkan kekurangannya adalah mesin sangat bergantung dengan ketersediaan bahan bakar diesel agar sistem kerja mesin *Dual Fuel* tetap berlangsung. Pada motor diesel empat langkah berbahan bakar *Dual Fuel*, mempunyai prinsip kerja hampir sama dengan *engine* pada umumnya, namun yang membedakan adalah pada langkah hisap dicampurkan bahan bakar CNG (Compressed Natural Gas). Gas yang akan diinjeksikan ke dalam intake manifold akan di atur oleh PLC untuk waktu penginjeksiannya, sedangkan untuk debit gas yang akan masuk sudah di atur terlebih dahulu dengan flow control. Waktu untuk memasukkan gas bisa di hitung sesuai dengan durasi bukaan katup isap pada mesin dan bisa menjadi data masukan dalam pembuatan program PLC (Wartono, 2018)



Gambar 2. 5Prinsip Kerja Motor Diesel *Dual Fuel*

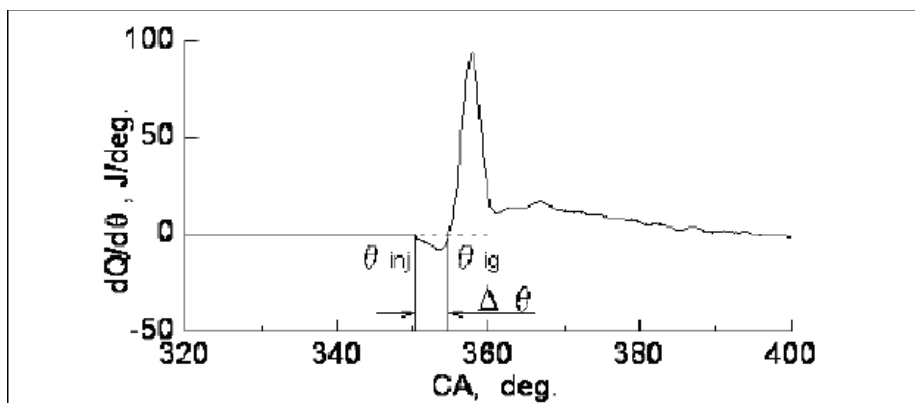
Sumber: wikipedia

2.4 Performa Pembakaran

Performa pembakaran terdiri dari atas tekanan silinder dan heat release rate. Laju pelepasan panas merupakan suatu prestasi kerja mesin dalam hal performa pembakaran (Heywood, 1988) yang menjelaskan bahwa laju pelepasan panas dapat diperoleh dan dianalisis oleh dari hasil penurunan tekanan silinder dari pengukuran langsung selama proses pembakaran di dalam silinder dari pengukuran langsung selama proses pembakaran di dalam silinder dengan menggunakan model *one-region* dari hukum I Termodinamika.

2.4.1 Ignition Delay

Pada mesin diesel terdapat tenggang waktu antara sejak dimulainya injeksi solar. Kemudian meningkatnya tekanan dan temperatur hingga kondisi tertentu disebabkan gerakan menekan dari piston sehingga campuran udara dan bahan bakar solar di dalam ruang bakar mengalami titik api mula mula yang membakar campuran bahan bakar (Heywood, 1988). Tenggang waktu dari periode injeksi solar sampai terjadinya titik api mula-mula disebut *ignition delay* yang merupakan parameter yang memengaruhi dari awal hingga akhir proses pembakaran. Dari proses pembakaran dapat memengaruhi performa dan emisi yang dihasilkan dari suatu mesin waktu dari mulai periode awal injeksi solar (*start of injection*), sampai tahap pembakaran (*Start of combustion*). Seperti terlihat pada gambar dibawah



Gambar 2. 6 Ignition Delay Period

Untuk mengukur *ignition delay* dapat menggunakan analisa laju pelepasan panas (*heat release rate*). Ada berbagai cara mendefinisikan *ignition delay*. Ignition delay atau tenggang waktu disini adalah waktu dari mulai periode injeksi solar, hingga lintasan grafik laju pelepasan panas yang menanjak tajam

2.5 Performa Mesin

2.5.1 Daya

Daya adalah ukuran suatu *engine* untuk menghasilkan kerja yang berguna persatuan waktu yang dinyatakan dalam horse power (hp). Untuk mengukur daya pada sebuah *engine-generator set*, dimana pengukuran melibatkan pengukuran tegangan listrik (V) dan arus listrik (I) yang keluar dari generator yang digerakan oleh putaran poros *engine* yang dinyatakan dalam watt. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan beban pada generator sehingga poros secara otomatis akan mendapat pembebanan juga.

Besarnya daya poros dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Ne = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\eta_{mg} \times \eta_t}$$

Dimana :

- P : daya (kW)
- V : tegangan listrik (Volt)
- I : arus listrik (Ampere)
- Cos ϕ : 0.9
- η_{mg} : efisiensi generator (0.85)
- η_t : efisiensi slip (hitung)

2.5.2 Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan *engine* untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil perkalian gaya tangensial dengan lengannya sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau ft.lb (British). Dalam prakteknya, torsi dari *engine* berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terposok.

$$T = \frac{Ne \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

- T : torsi (Nm)
- Ne : daya (kW)
- Rpm : putaran motor diesel (rpm)

Dari persamaan tersebut, torsi sebanding dengan daya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan putaran *engine*. Semakin besar daya yang diberikan *engine*, maka torsi yang dihasilkan akan mempunyai kecenderungan untuk

semakin besar. Semakin besar putaran *engine*, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

2.5.3 Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP)

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan ini berubah ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut dikatakan sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

- BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m²)
- P : daya (kW)
- Z : konstanta 2 untuk 4-stroke
- V : volume langkah (m³)
- I : jumlah silinder

2.5.4 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai *engine* untuk menghasilkan daya efektif satu HP selama satu jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar (kg) dalam satuan detik (s) dan daya yang dihasilkan sebesar kW maka pemakaian bahan bakar per jam adalah:

$$SFOC = \frac{FCR}{Ne}$$

Dimana :

- SFOC: konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)
- FCR: laju aliran bahan bakar (gr/h)
- Ne: daya (kW)

2.5.5 Efisiensi Thermal

Efisiensi Thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan:

Efisiensi Thermal = Daya Efektif yang dihasilkan/(Energi panas bahan bakar/satuan waktu yang diberi

Untuk *Efisiensi Thermal* motor diesel yang menggunakan bahan bakar kombinasi gas CNG-minyak solar, persamaannya adalah:

$$\text{Efisiensi Thermal} = \frac{Ne}{\text{Laju Massa Dual solar} \cdot Q_{ms} + \text{Laju Massa CNG} \cdot Q_{CNG}}$$

Dimana Q adalah nilai kalor bawah (*low heat value*, LHV) atau panas pembakaran bahan bakar [kkal/Kg bahan bakar]

2.5.6 Laju Massa Bahan Bakar

Untuk mengetahui laju aliran massa bahan bakar CNG di dalam pipa menggunakan alat ukur flow meter yang memiliki output debit (l/m) yang dikonversikan menjadi (m³/s). Setelah itu cari luas penampang pada pipa gas CNG yang berupa luas lingkaran yang dimana $A = \pi r^2$ kemudian didapatkan kecepatan aliran gas rumus dengan persamaan berikut :

$$V = Q \times A$$

Gas CNG dari tabung memiliki tekanan sebesar 250 bar yang diturunkan menggunakan pressure reducer pada tekanan $P = 3 \text{ bar} = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, temperature (T) $120 \text{ oF} = 322 \text{ K}$, Konstanta gas CNG (R) = K = 518,3 Nm/kg K. Sehingga berlaku hukum compressible flow dengan persamaan berikut :

$$p = P / R \cdot T$$

Selanjutnya untuk mencari kecepatan rata rata aliran gas diperlukan perhitungan reynold number untuk mengetahui aliran laminar atau turbulen. dengan:

$$Re_{vmax} = (p_{CNG} \times V_{max} \times D) / (\mu_{CNG})$$

Faktor koreksi berdasarkan bilangan turbulen diatas untuk $Re_{vmax} < 2 \times 10^4$ bilangan laminar maka akan digunakan persamaan:

$$V_{mak} = 2 \times V_{max}$$

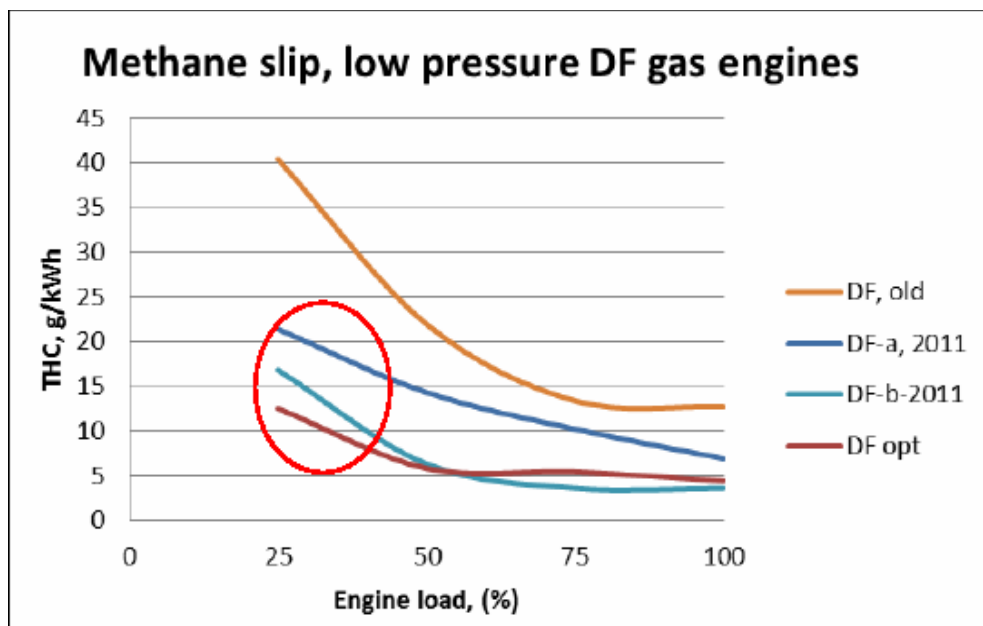
Maka Mass Flow Rate CNG yang masuk ke ruang bakar pada pengujian Dual Fuell

$$m_{CNG} = p_{CNG} \cdot A \cdot V_{CNG}$$

2.6 Methane Slip

Methane Slip adalah gas metana tidak ikut terbakar dikarenakan pada saat terjadi proses pembakaran mengalami *low temperatur* sehingga gas metana terjebak di bagian ruang bakar. Gas metana biasanya terjebak diantara gasket area antara cylinder head dan cylinder liner, piston bagian atas, cylinder liner dan piston ring. Pada saat langkah kompresi udara yang sudah dicampur oleh *Natural gas*. Masuk ke dalam celah celah dan tidak ikut terbakar pada saat proses combustion. Molekul Gas metan sangat stabil dan membutuhkan suhu yang tinggi untuk terbakar sekitar 600 derajat celsius tergantung ratio udara. Kemudian pada saat langkah buang, gas metana yang berada di celah celah keluar bersama gas buang melalui exhaust valve.

Pembakaran yang tidak sempurna pada saat bagian ruang bakar masih dingin juga merupakan akibat dari *Methane Slip*. Kondisi ini bisa diatur dalam penambahan campuran bahan bakar pilot tetapi keadaan ini bisa meningkatkan kadar NOx sehingga perlu ada pengontrolan antara NOx dan *Methane Slip*. (Stenersen & Thonstad, 2014)

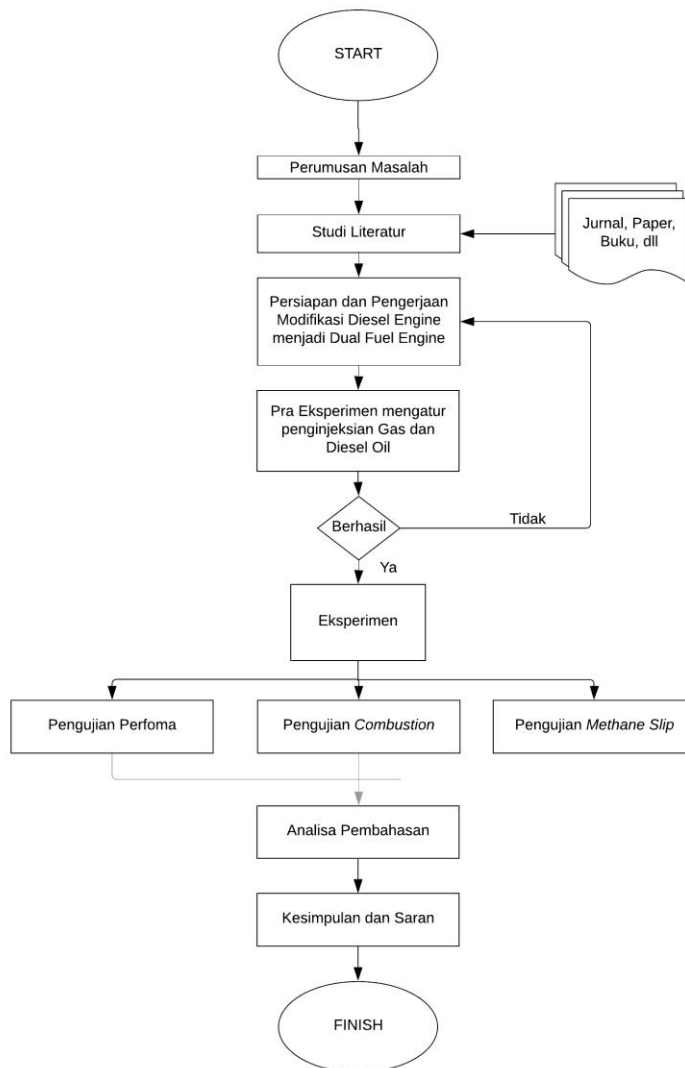


Gambar 2. 7Analisa *Methane Slip* berdasarkan variasi beban (Stenersen & Thonstad, 2014)

Pada gambar 2.7 merupakan grafik diambil dari penelitian mesin diesel *dual duel* berbahan bakar natural gas dan solar bisa disimpulkan pada beban rendah akan menghasilkan *Methane Slip* lebih besar dibandingkan dengan beban tinggi. Maka dari itu perlu dilakukan variasi beban untuk melakukan penelitian *Methane Slip*. Emisi *Methane Slip* pada mesin yang memiliki beban tinggi diperkirakan sebesar 7 g per Kg LNG , kemudian pada mesin beban rendah diperkirakan 23 – 36 g. Peningkatan bisa terjadi dikarenakan pembakaran pada temperatur rendah yang dimana mengakibatkan gas methana tidak terbakar. Emisi ini memiliki dampak yang besar terhadap pemanasan Global yang dimana 28 kali lebih besar dari emisi CO₂. (Anderson, 2015)

BAB III METEDOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian memiliki metode yang terstruktur, agar dalam proses pengerjaan lebih terarah dan lebih mudah. Dalam metodologi penelitian ini, penulis menggunakan metode eksperimen. Secara khusus penelitian ini terfokus pada analisa performa dan *Methane Slip* pada mesin dengan variasi campuran solar-NG. Dibawah ini merupakan Flow chart yang berisi kegiatan dalm melaksanakan penelitian ini.



Gambar 3. 1 Flowchart Metodologi Penelitian

3.1 Persiapan dan Pengerjaan Modifikasi Diesel *Engine* menjadi *Dual Fuel Engine*

Pada tahap ini dilakukan persiapan seluruh perlengkapan sebelum dilaksanakannya eksperimen analisis performa, *combution* dan *Methane Slip* dari kombinasi campuran Diesel oil-Natural Gas. Mesin yang digunakan sebagai subyek penelitian adalah mesin Yanmar TF 85 MH pada laboratorium MPP (Marine Power Plant). Berikut data mesin yang digunakan dalam penelitian ini:

<i>Engine</i> (four stroke cycle)	: Yanmar TF 85 MH
Number of cylinders	: 1
Combustion system	: Direct Injection
Bore	: 85 mm
Stroke	: 87 mm
Displacement	: 493 cc
Compression Ratio	: 18
Max. <i>Engine</i> speed at full load	: 2200 RPM
Continous Power Output	: 7.5 kW
Specific Fuel Consumption	: 229.31 gr/kWh

Peralatan elektronik yang dipakai terdiri dari beberapa komponen utama dan komponen pendukung. Dalam rancang bangun sistem otomasi terdiri dari beberapa komponen utama seperti:

1. ECU (Electronic Control Unit)

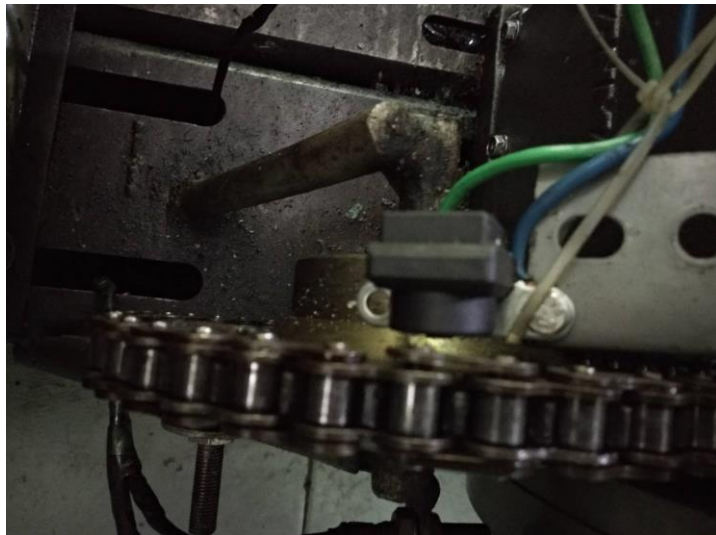
Alat control elektronik yang berfungsi untuk mengendalikan serangkaian actuator pada mesin pembakaran dalam, seperti: ignition dan injection. Secara singkat, ECU merupakan otak dari suatu kendaraan yang telah di-computerize. Selain sebagai fungsi control, ECU juga berfungsi sebagai alat protection system pada suatu kendaraan. Jika terdapat sesuatu yang hal yang aneh, maka sensor akan mengirimkan sinyal kepada ECU untuk mematikan seluruh sistem yang ada pada kendaraan tersebut.



Gambar 3. 2 ECU

2. Pulser

Alat ini berfungsi sebagai input ke dalam ECU yang diletakan di flywheel untuk membaca kapan katup akan terbuka



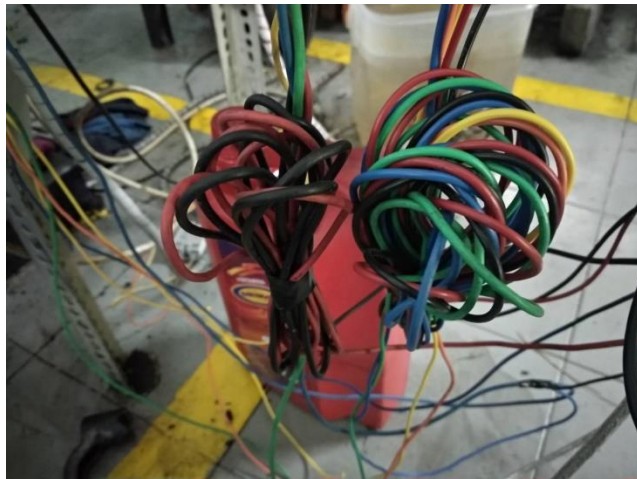
Gambar 3. 3Pulser

3. COM
COM berfungsi sebagai alat media komunikasi ECU untuk mengatur kebutuhan yang mau dilakukan oleh user menggunakan software Vemstun
4. Pressure Reducer
Fungsinya adalah untuk mengurangi tekanan agar sesuai kebutuhan ke dalam ruang bakar



Gambar 3. 4 Pressure Reducer

5. Kabel
Untuk menyambungkan sensor pulser ke dalam ECU



Gambar 3. 5 Kabel

6. Injektor Gas
Untuk menghantarkan gas ke dalam ruang bakar



Gambar 3. 6Injektor Gas

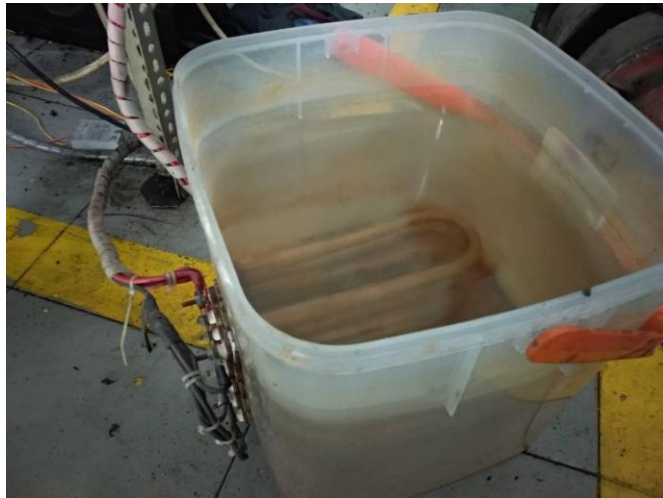
7. Tabung CNG
Tabung CNG berfungsi untuk menyimpan Compressed Natural Gas dalam tekanan 220 bar



Gambar 3. 7 Tabung CNG

8. **Beban Heater**

Beban Heater terdiri dari 5 buah heater yang memiliki beban masing 1000 watt yang dirancang dalam sebuah bejana berisi air



Gambar 3. 8Beban Heater

9. **PLC**

Berfungsi sebagai pengatur beban dan emergency stop ketika keadaan darurat



Gambar 3. 9 PLC

Dalam pengujian Pra Eksperimen maupun Eksperimen membutuhkan alat ukur untuk menunjang pengujian, berikut alat ukur yang dibutuhkan dalam pengujian :

1. Flow Rate Gas Meter

Mengukur jumlah flow rate gas CNG yang keluar pada outlet pressure reducer (l/m)



Gambar 3. 10 Flow Rate Gas Meter

2. Gelas Ukur

Mengukur jumlah bahan bakar minyak yang dikonsumsi oleh diesel engine dalam ukuran volume (ml)



Gambar 3. 11Gelas Ukur

3. Stopwatch

Mengukur waktu bahan bakar minyak yang dikonsumsi oleh diesel engine dalam ukuran waktu (s)



Gambar 3. 12 Stopwatch

4. Amperemeter dan Voltmeter

Mengukur arus listrik (I) dan tegangan (V) yang terjadi akibat pemberian beban pada generator listrik



Gambar 3. 13 Amperemeter

5. Thermometer Digital

Alat untuk mengukur suhu atau temperatur untuk kebutuhan suhu pada mesin (c)



Gambar 3. 14 Thermometer Digital

6. Tachometer Digital

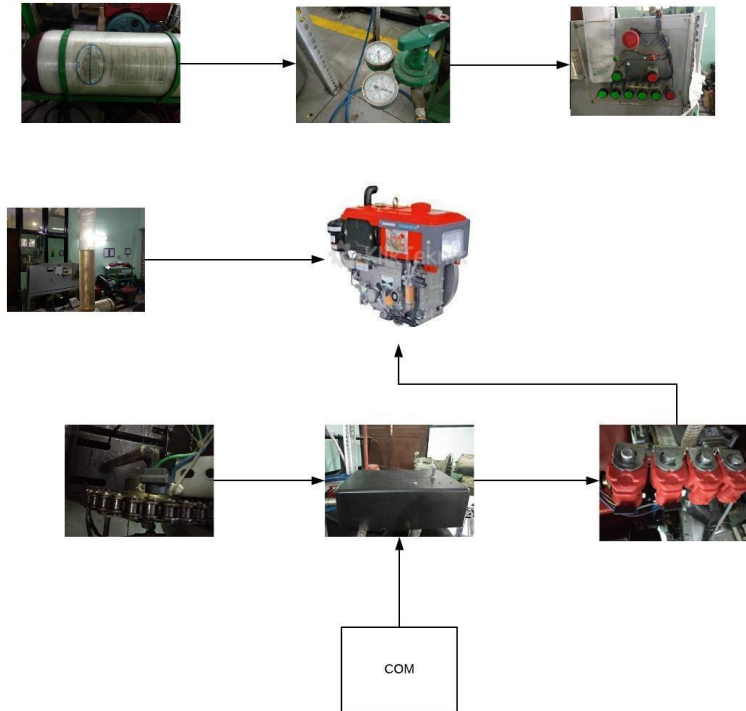
Alat untuk pengukuran putaran pada mesin maupun generator (RPM)



Gambar 3. 15 Tachometer Digital

3.2 Pra Eksperimen

Pra eksperimen pada kali ini membahas tentang set-up engine maupun setting ECU pada program Vemstun dan beberapa batasan yang akan diuji :



Gambar 3. 16 Set up *Engine*

Gambar 3.16 merupakan set-up engine modifikasi diesel engine menjadi dual fuel engine. Adapun modifikasi yang ditambahkan adalah injector gas CNG, ECU, kemudian sensor sensor yang akan dihubungkan dengan ECU.

Tabel 3. 1 Parameter Pengujian

Parameter	
Engine Speed	2000 RPM
Load	(1000,2000,3000,4000) watt
Duration of Injection	(8,9,10,11,12) ms / (96,108,120,132,144)° CA
Start of Injection	260 BTDC

Tabel 3.1 merupakan parameter parameter yang didapat setelah melakukan pengujian pra eksperimen sehingga mendapatkan batasan seperti dalam tabel tersebut.

3.3 Metode Pengujian

1. Pengujian *Single Fuel* dengan bahan bakar minyak Solar

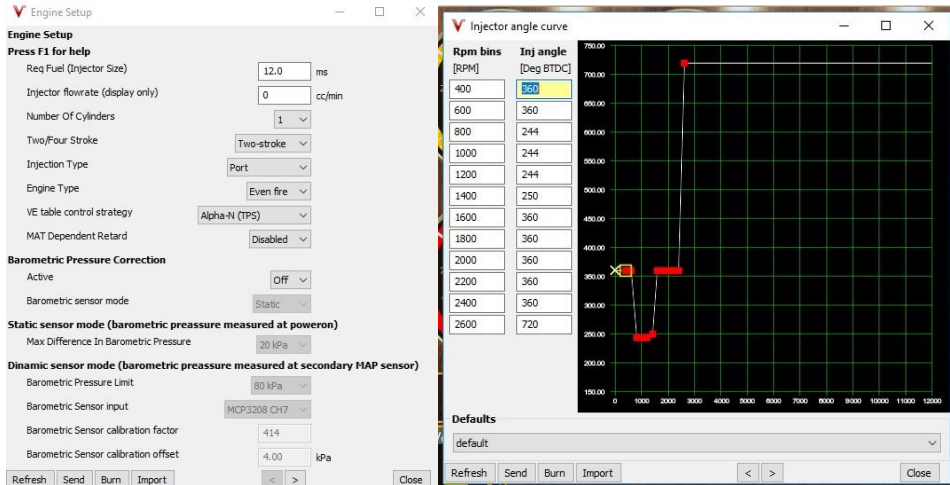
Pengujian dilakukan dengan putaran mesin tetap dengan variasi beban listrik. Tahapannya sebagai berikut :

- a. Menghidupkan mesin diesel kemudian melakukan pemanasan kurang lebih 20 menit
- b. Pengecekan mesin tanpa beban pada putaran 2000 RPM
- c. Memberikan pembebanan 1000 – 4000 watt dengan putaran konstan yaitu 2000 RPM. Melakukan pencatatan data data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban yaitu: waktu konsumsi minyak solar setiap 10 ml, putaran Generator, tegangan , dan arus listrik.
- d. Setelah pengambilan data selesai dilakukan maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol, kemudian matikan mesin

2. Pengujian *Dual Fuel* dengan variasi CNG

Untuk melakukan pengujian dengan bahan bakar CNG ada beberapa hal yang harus diatur terutama di pengaturan di ECU sebagai pengontrol katup gas, tahapannya adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pengecekan pada bahan bakar CNG dan bahan bakar Solar
- b. Melakukan setting injection timing dan durasi bukaan katup gas CNG pada ECU dengan variasi durasi waktu injeksi 8,9,10,11,12 ms dan injection timing pada 250 btdc



Gambar 3. 17 Interface Vemstun

- c. Menghidupkan mesin diesel kemudian melakukan pemanasan kurang lebih 20 menit
- d. Melakukan pembebanan pada 1000-4000 watt dengan putaran konstan 2000 RPM kemudian membuka katup tabung gas dengan tekanan tertentu dan membuka flow meter gas. Setelah bahan bakar CNG masuk ke dalam intake valve maka akan terjadi kenaikan RPM. Setelah itu RPM diturunkan kembali menjadi 2000 RPM. Melakukan pencatatan data data yang dibutuhkan : waktu konsumsi minyak solar setiap 10 ml, putaran Generator, tegangan, arus listrik, dan flow rate gas
- e. Pada setiap kenaikan beban katup gas dimatikan terlebih dahulu kemudian putaran dijadikan menjadi 2000 RPM lalu sama tahapan sama seperti sebelumnya.
- f. Setelah pengambilan data selesai dilakukan maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol, kemudian matikan mesin

3.4 Eksperimen Pengambilan Data

Tahap ini merupakan tahap pengujian dalam bentuk eksperimen untuk pengambilan data. Pada eksperimen ini menggunakan mesin Yanmar TF85-MH yang berada di Laboratorium Marine Power Plant FTK ITS serta mesin analisis proses pembakaran yaitu Vibrasindo TMR-Card Board. Variable hasil yang akan diperoleh berupa Ignition Delay, Maximum Pressure, Heat release, dan Knock Detection. Untuk pengujian *Methane Slip* menggunakan Methane Analyzer dengan variable yang digunakan seperti diatas untuk mengetahui kandungan CH₄.

Ada beberapa parameter untuk dilakukan perhitungan agar mendapatkan hasil pengujian yang telah dilakukan.

3.5 Analisa dan Pembahasan

Setelah melakukan eksperimen pengambilan data, maka akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap performa, combustion dan *Methane Slip*. Dalam tahap ini kita menganalisa bagaimana hasil dari eksperimen yang sudah dilakukan

3.6 Kesimpulan dan Saran

Setelah membuat analisa dan pembahasan dari analisis tersebut, selanjutnya adalah membuat kesimpulan analisa data dan eksperimen. Dari hasil kesimpulan diharapkan dapat menjawab permasalahan dari tugas akhir ini. Kemudian pembuatan saran berdasarkan hasil penelitian untuk menjadi pertimbangan penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

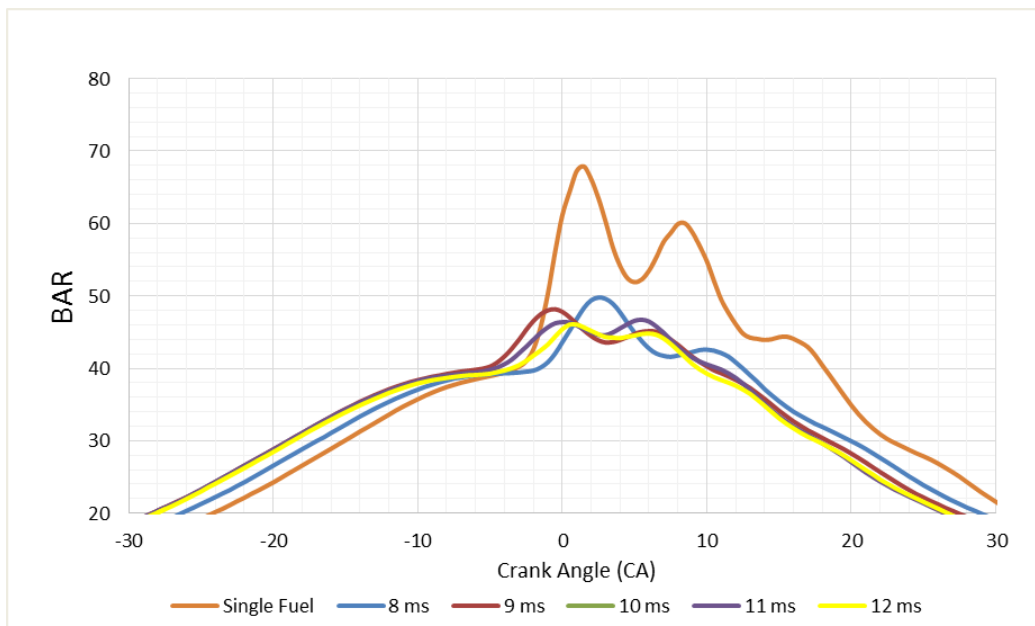
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian yang telah dilaksanakan sesuai tata cara pra eksperimen maupun eksperimen. Pengamatan yang dilakukan adalah pengamatan pada performa pembakaran, performa mesin, dan *Methane Slip*. Performa pembakaran yang meliputi tekanan silinder, heat release rate dan ignition delay kemudian performa mesin berupa daya, torsi, SFC, BMEP, dan *Efisiensi Thermal*.

4.1 Analisa Performa Pembakaran

Performa pembakaran yang dianalisa adalah tekanan silinder dan *heat release* yang dihasilkan dengan melakukan pengukuran menggunakan *combustion analyzer*.

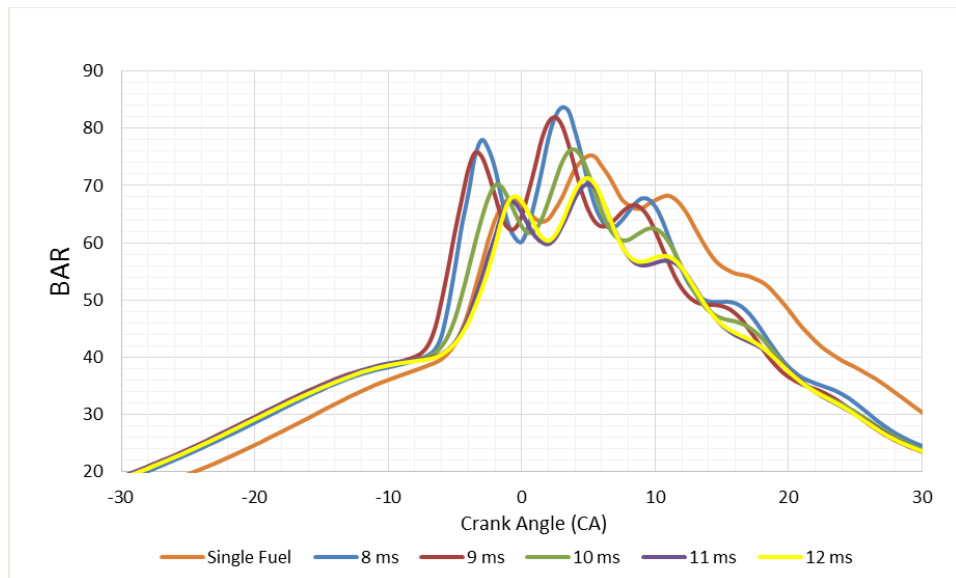
4.1.1 Pengaruh Durasi Injeksi CNG terhadap Tekanan Silinder



Gambar 4. 1 Grafik Tekanan Silinder dengan Variasi Waktu Durasi Injeksi pada beban heater 1

Gambar 4.1 menjelaskan grafik tekanan silinder dengan fungsi *crank angle* terhadap variasi durasi waktu injeksi CNG dengan variasi 8,9,10,11,12 ms pada beban heater 1 dengan putaran konstan sebesar 2000 RPM.

Membandingkan antar variasi durasi injeksi yang semakin meningkat perubahan tekanan menjadi lebih kecil disebabkan efek pemanasan dari bahan bakar diesel dan gas alam juga berkurang yang mempengaruhi pengaruh pembetulan campuran udara-bahan bakar yang kurang baik sehingga proses pembakaran pada saat mode dual fuel menjadi tidak sempurna.

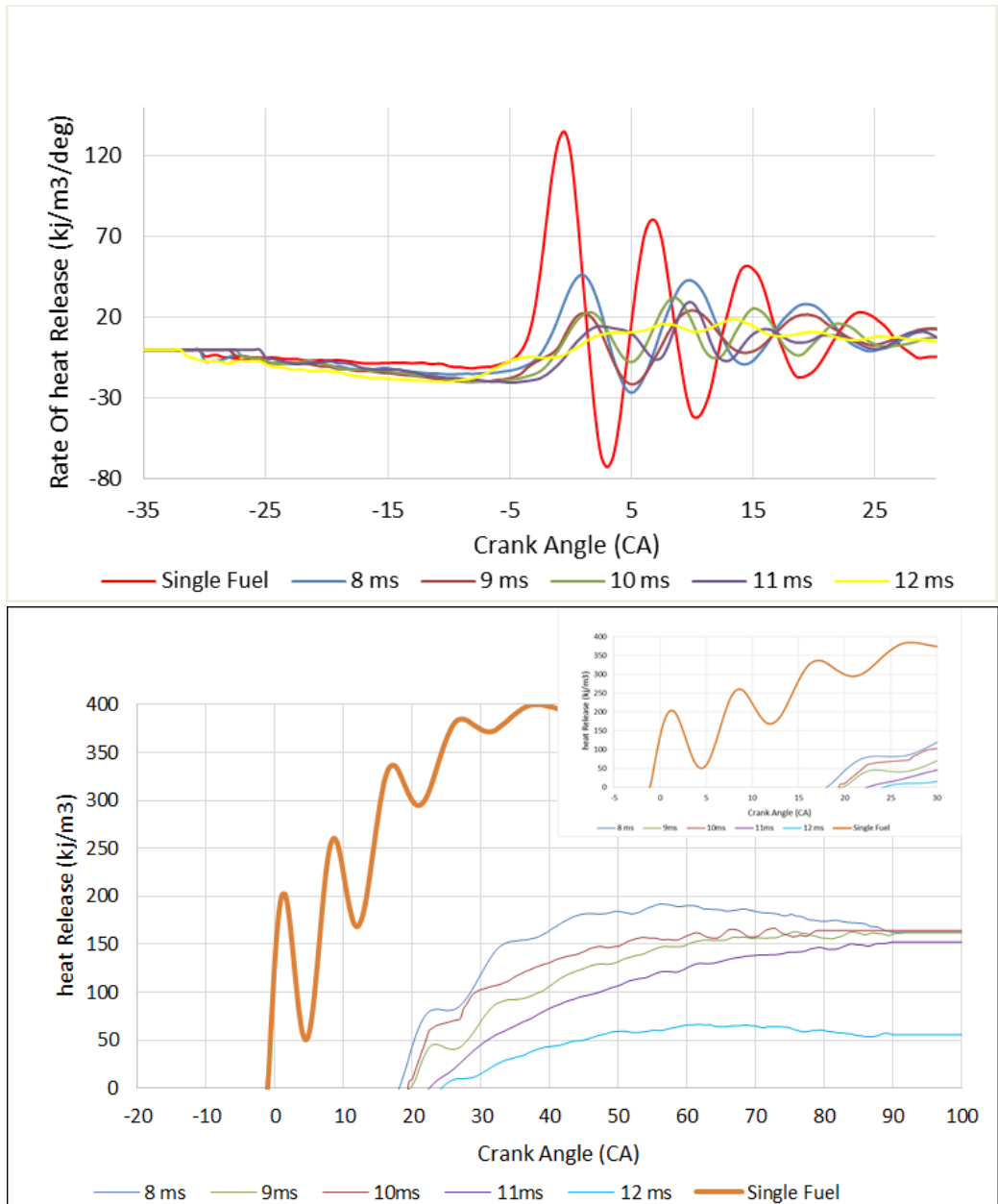


Gambar 4. 2 Grafik Tekanan Silinder dengan Variasi Waktu Durasi Injeksi pada beban heater 4

Gambar 4.2 menjelaskan grafik tekanan silinder dengan fungsi crank angle terhadap variasi durasi waktu injeksi CNG dengan variasi 8,9,10,11,12 ms pada beban 1000 watt interval seribu dengan putaran konstan sebesar 2000 RPM.

Membandingkan antar variasi durasi injeksi yang semakin meningkat perubahan tekanan menjadi lebih kecil disebabkan efek pemanasan dari bahan bakar diesel dan gas alam juga berkurang yang mempengaruhi pengaruh pembetulan campuran udara-bahan bakar yang kurang baik sehingga proses pembakaran pada saat mode dual fuel menjadi tidak sempurna.

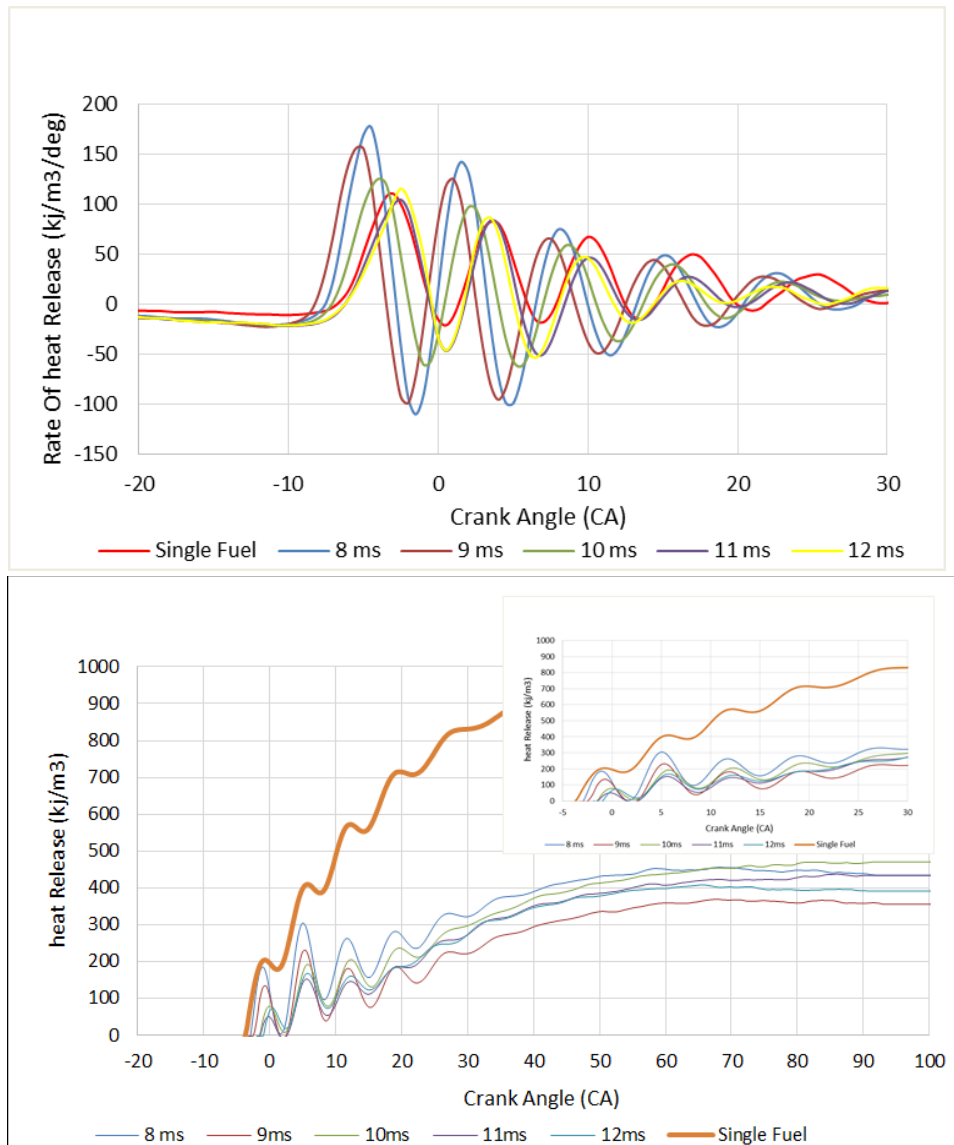
4.1.2 Pengaruh Durasi Injeksi CNG terhadap Heat Release



Gambar 4. 3 Grafik Heat Release dengan variasi durasi injeksi pada beban heater 1

Gambar 4.3 menggambarkan grafik laju pelepasan panas atau heat release fungsi crank angle terhadap variasi durasi injeksi CNG dengan variasi 8,9,10,11,12 ms dan single fuel pada beban heater satu dengan putaran konstan sebesar 2000 RPM.

Membandingkan variasi durasi injeksi (8,9,10,11,12) ms terjadi penundaan proses pembakaran dibandingkan dengan single fuel yaitu sebesar $17,5^\circ$ CA, $18,5^\circ$ CA, 22° CA, $23,5^\circ$ CA, $23,5^\circ$ CA yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Pada peningkatan durasi injeksi CNG, jumlah injeksi diesel dan konsentrasi oksigen dalam ruang bakar berkurang secara bersamaan yang memperpanjang waktu ignition delay sehingga bahan bakar dalam ruang bakar atau silinder akan banyak yang mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna.



Gambar 4. 4 Grafik Heat Release Rate dengan variasi durasi injeksi pada beban heater 4

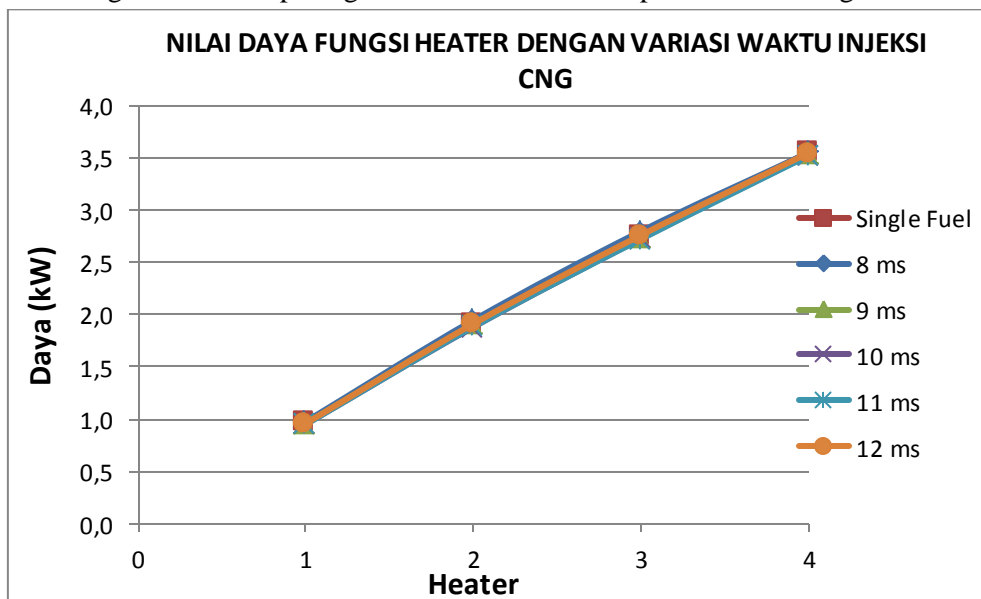
Gambar 4.4 menggambarkan grafik laju pelepasan panas atau heat release fungsi crank angle terhadap variasi durasi injeksi CNG dengan variasi 8,9,10,11,12 ms pada beban heater satu dengan putaran konstan sebesar 2000 RPM.

Membandingkan variasi durasi injeksi (8,9,10,11,12) ms terjadi penundaan proses pembakaran dibandingkan dengan single fuel yaitu sebesar 1° CA, $1,5^\circ$ CA, 2° CA, $2,5^\circ$ CA, 3° CA yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Pada peningkatan durasi injeksi CNG jumlah injeksi diesel dan konsentrasi oksigen dalam ruang bakar berkurang secara bersamaan yang memperpanjang waktu ignition delay sehingga bahan bakar dalam ruang bakar atau silinder akan banyak yang mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna.

4.2 Analisa Performa Mesin

4.2.1 Analisa Daya Efektif (N_e)

Daya efektif merupakan hasil atau keluaran dari kemampuan mesin dalam satuan kerja setiap satuan waktu. Pada penelitian ini, daya efektif digunakan untuk membangkitkan listrik pada generator dan disalurkan pada heater sebagai beban.



Gambar 4. 5 Grafik daya fungsi beban heater variasi waktu injeksi CNG

Gambar 4.5 bisa dilihat bahwa daya efektif yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya beban heater satu sampai empat yang diberikan yaitu 1000 4000 watt dengan interval seribu. Hal ini dikarenakan untuk mengatasi beban yang semakin besar dan dibuat putaran konstan sebesar 2000 RPM, maka bahan bakar yang diinjeksikan semakin banyak sehingga pembakaran yang terjadi lebih besar yang mengakibatkan naiknya daya efektif.

Tabel 4. 1 Tabel Daya Efektif Fungsi Durasi Injeksi Pada Beban Heater

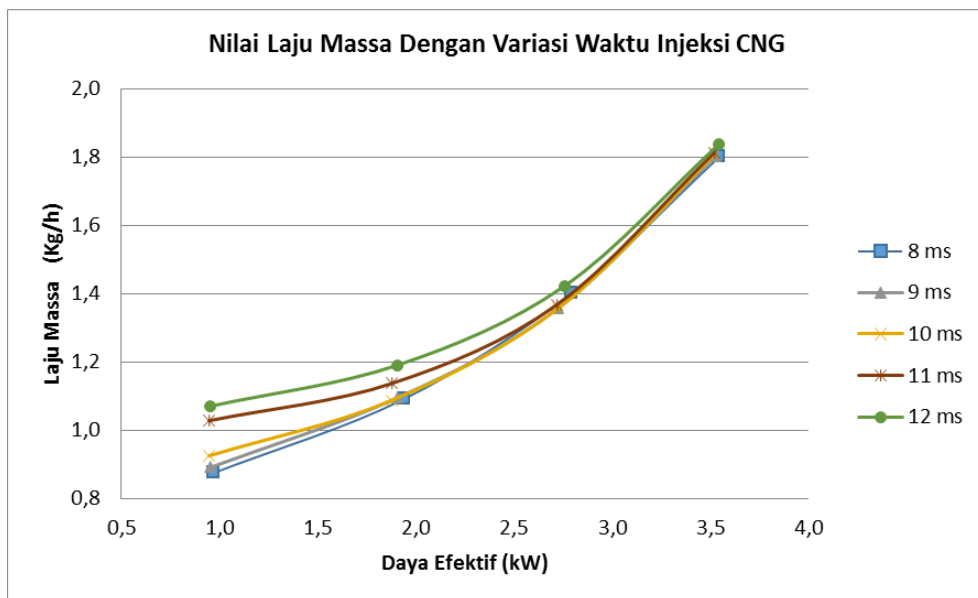
Heater	Daya Efektif (kW)					
	Single Fuel	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	0,963	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956
2	1,915	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910
3	2,759	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758
4	3,550	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545

Tabel 4.1 menjelaskan perbedaan signifikan antara variasi durasi injeksi bahan bakar CNG, terlihat pada variasi durasi injeksi yang meingkat dari 8 ms sampai 11 ms terjadi penurunan daya efektif . Hal yang membuat perbedaan yang tidak signifikan antara *Single Fuel* dan *Dual Fuel* variasi durasi injeksi disebabkan pada saat menjalankan *Dual Fuel*, putaran mesin dijaga tetap atau konstan sebesar 2000 RPM untuk mendapatkan tegangan listrik yang stabil dengan mengatur jumlah bahan bakar *Dex* dengan mekanisme *governor*. Laju alir massa bahan bakar gas yang masuk dijaga konstan sesuai dengan tekanan yang diatur melalui tekanan keluar pada alat pressure regulator sebesar 3 bar.

Hal yang membuat penurunan daya efektif yang terjadi di variasi durasi injeksi yang semakin meningkat disebabkan oleh semakin lamanya durasi injeksi menyebabkan kurangnya proses pencampuran antara udara dan gas yang menyebabkan proses pembakaran yang kurang baik sehingga terjadi penurunan daya efektif

4.2.2 Analisa Laju Massa CNG

Laju massa merupakan perbandingan antara massa dengan waktu yang menunjukkan seberapa banyaknya nilai massa dalam waktu. Laju massa ini dipengaruhi oleh seberapa lama waktu konsumsi bahan bakar dalam banyaknya volume yang ditentukan dan dikonversikan menjadi massa.



Gambar 4. 6 Grafik Laju Massa fungsi Daya Efektif dengan variasi durasi injeksi

Gambar 4.6 merupakan grafik laju massa fungsi daya efektif yang dihasilkan, terjadi peningkatan daya efektif setiap peningkatan laju massa bahan bakar yang diinjeksikan. Hal ini dikarenakan setiap daya efektif meningkat yang dikarenakan oleh meingkatnya beban *heater* yang diberikan semakin meningkat, maka dibutuhkan penginjeksian bahan bakar yang lebih banyak sehingga laju massa pun meningkat antara *Single Fuel* maupun variasi durasi injeksi CNG.

Tabel 4. 2 Tabel Perbandingan Daya Efektif dan Laju Massa Fungsi

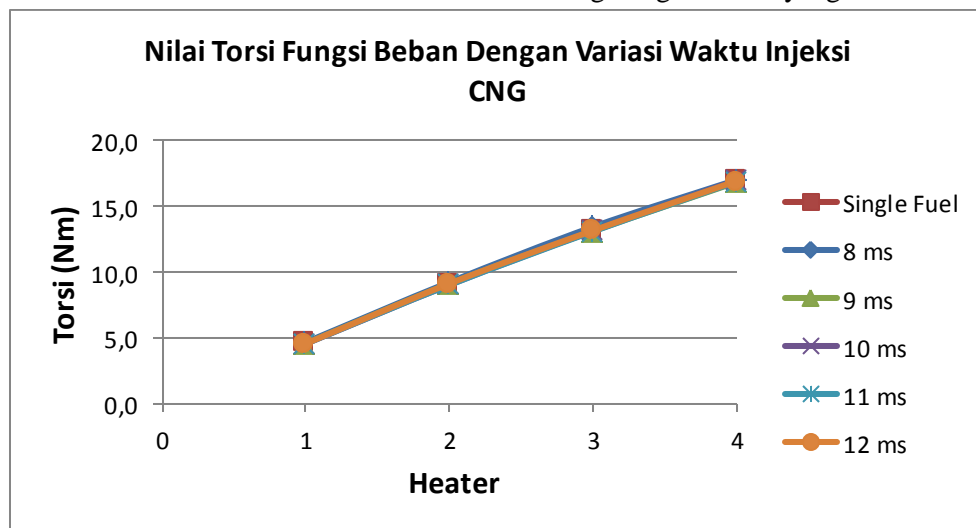
Heater	Daya Efektif (kW)						Laju Massa (Kg/h)										
	Single Fuel	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms	Single Fuel	Dual Fuel									
								Dex	8 ms	Dex	9 ms	Dex	10 ms	Dex	11 ms	Dex	12 ms
1	0,963	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956	1,098	0,444	0,431	0,352	0,539	0,278	0,647	0,273	0,755	0,208	0,863
2	1,915	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910	1,632	0,661	0,431	0,555	0,539	0,441	0,647	0,383	0,755	0,328	0,863
3	2,759	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758	2,124	0,971	0,431	0,819	0,539	0,709	0,647	0,613	0,755	0,560	0,863
4	3,550	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545	2,774	1,370	0,431	1,265	0,539	1,162	0,647	1,058	0,755	0,975	0,863

Tabel 4.2 menjelaskan antara daya efektif dengan laju massa terjadi peningkatan laju massa di setiap beban heater satu sampai empat yang diberikan yang semakin meningkat 1000 – 4000 watt yang terjadi pada *Single Fuel* maupun *Dual Fuel*, ini disebabkan karena berasal dari daya efektif yang dihasilkan dari pemberian beban yang semakin meningkat dengan putaran 2000 RPM konstan, sehingga penginjeksian bahan bakar juga harus lebih banyak. Laju massa pada pengoperasian *Dual Fuel* terjadi peningkatan pada bahan bakar *Dex*, ini dikarenakan yang diatur penginjeksian bahan bakar nya adalah pada bahan bakar *Dex* dengan mekanisme *governor*. Laju alir massa bahan bakar gas yang masuk dijaga konstan sesuai dengan tekanan yang diatur melalui tekanan keluar pada alat pressure regulator sebesar 3 bar.

Tabel 4.2 bisa dilihat terjadi penurunan laju massa bahan bakar dex antara variasi durasi CNG pada pengoperasian *Dual Fuel*, hal ini disebabkan karena adanya penambahan bahan bakar CNG sehingga bahan bakar *Dex* berkurang seiring naiknya variasi durasi injeksi CNG. Meningkatnya laju massa variasi durasi injeksi CNG antara 8,9,10,11,12 ms disebabkan karena perbedaan debit disetiap variasi durasi injeksi CNG, semakin besar durasi maka semakin besar juga debit CNG karena durasi yang semakin lama untuk membuka katup *inlet* CNG. Hal ini bersinanggungan dengan semakin besarnya debit CNG maka laju massa bahan bakar CNG juga akan meningkat

4.2.3 Analisa Torsi

Torsi merupakan kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja yang berupa satuan Nm. Torsi memiliki karakteristik sebanding dengan beban yang diberikan.



Gambar 4. 7 Grafik torsi fungsi beban variasi waktu injeksi CNG

Gambar 4.7 menjelaskan bahwa nilai torsi meningkat seiring dengan beban heater yang diberikan naik dengan 1000 – 4000 watt interval seribu. Hal ini disebabkan karena dengan pembebanan ditingkatkan maka terjadi penambahan bahan bakar untuk mengatasi beban dan menjaga putaran *engine* sebesar 2000 RPM sehingga terjadi pembakaran yang lebih besar. Energi kalor berasal dari hasil pembakaran bahan bakar meningkat akibat pembakaran yang lebih besar dikonversikan atau diubah menjadi energi mekanik juga menjadi besar yaitu gaya dorong pada piston. Maka dari itu gaya dorong piston yang meningkat maka torsi juga akan besar.

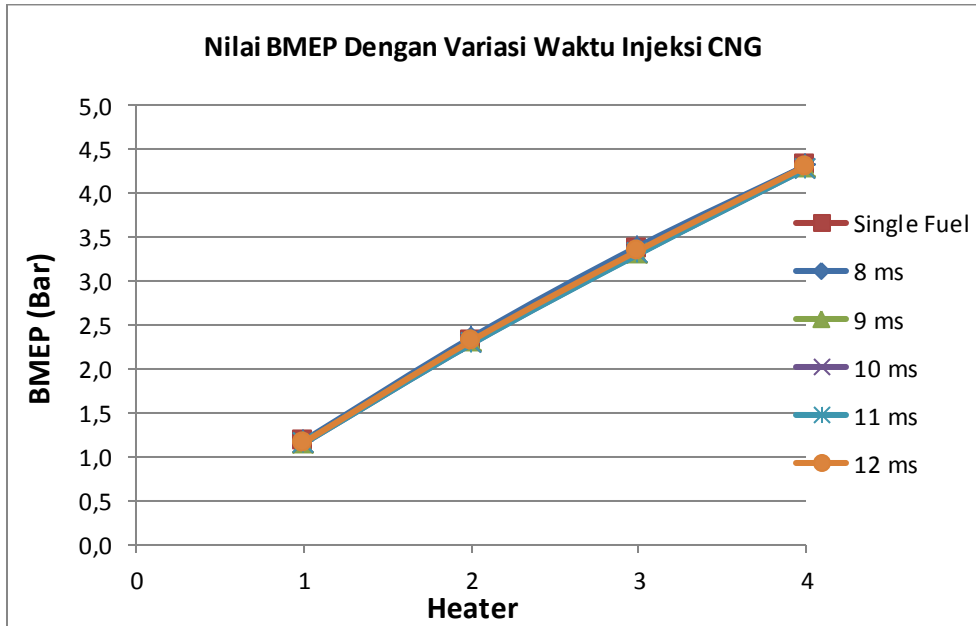
Tabel 4. 3 Tabel Perbandingan Torsi fungsi Durasi Injeksi CNG

Heater	Torsi (Nm)					
	<i>Single Fuel</i>	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	4,597	4,650	4,557	4,530	4,527	4,567
2	9,136	9,256	9,093	8,973	8,967	9,111
3	13,175	13,343	13,027	13,009	12,992	13,157
4	16,949	16,949	16,847	16,824	16,812	16,926

Hal yang membuat penurunan torsi yang terjadi di variasi durasi injeksi yang semakin meningkat disebabkan oleh semakin lamanya durasi injeksi menyebabkan kurangnya proses pencampuran antara udara dan gas yang menyebabkan proses pembakaran yang kurang baik sehingga terjadi penurunan daya efektif yang dimana akan terjadi penurunan juga pada torsi.

4.2.4 Analisa Tekanan Rata Rata (BMEP)

Tekanan efektif rata-rata merupakan tekanan tetap teoritis yang bekerja sepanjang langkah volume piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya daya efektif.



Gambar 4. 8 Grafik BMEP fungsi beban dengan variasi waktu injeksi

. Gambar 4.8 menjelaskan nilai BMEP meningkat seiring dengan meningkatnya beban heater yang diberikan, hal ini dikarenakan jumlah pasokan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar yang semakin meningkat, sehingga pembakaran yang terjadi semakin besar yang merupakan kompensasi untuk menjaga putaran *engine* sebesar 2000 RPM secara konstan. Secara umum grafik BMEP akan meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan.

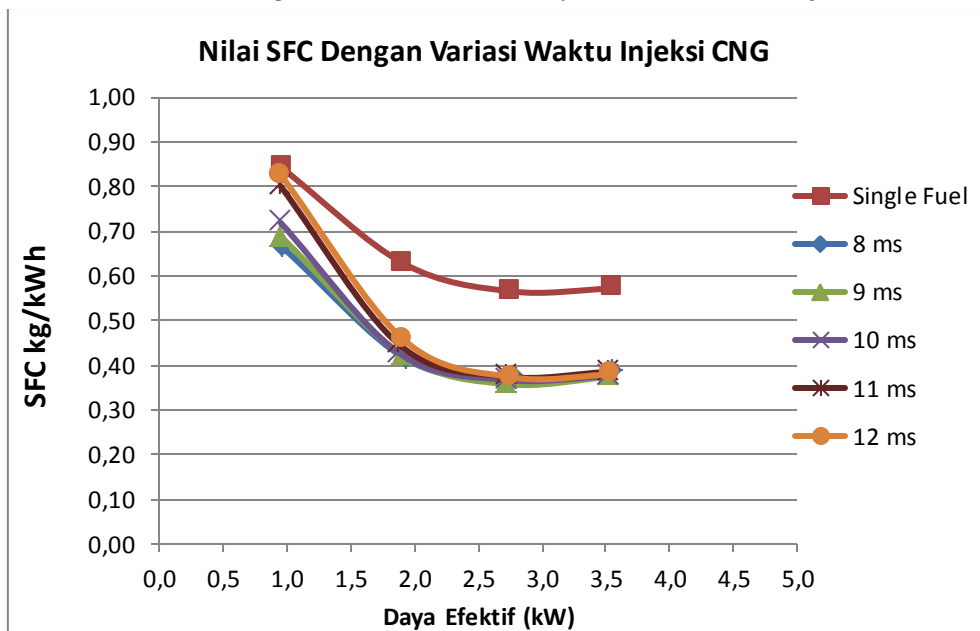
Tabel 4. 4 Perbandingan BMEP fungsi Durasi Injeksi CNG

Heater	BMEP (Bar)					
	<i>Single Fuel</i>	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	1,170	1,184	1,160	1,153	1,152	1,162
2	2,326	2,356	2,314	2,284	2,283	2,319
3	3,354	3,396	3,316	3,311	3,307	3,349
4	4,314	4,314	4,288	4,282	4,279	4,308

Hal yang membuat penurunan BMEP yang terjadi di variasi durasi injeksi yang semakin meningkat disebabkan oleh semakin lamanya durasi injeksi menyebabkan kurangnya proses pencampuran antara udara dan gas yang menyebabkan proses pembakaran yang kurang baik sehingga terjadi penurunan daya efektif yang dimana akan terjadi penurunan juga pada BMEP.

4.2.5 Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

SFC atau konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya dalam waktu satu jam.



Gambar 4. 9 Grafik SFC fungsi Daya dengan variasi durasi injeksi

Nilai SFC dipengaruhi oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar dalam ruang bakar, semakin sempurna maka daya yang dihasilkan akan besar juga. SFC bisa disebut juga keefektifan mesin dalam mengonsumsi bahan bakar.

Gambar 4.9 menjelaskan bahwa semakin ditambahnya beban heater maka nilai SFC akan semakin turun sampai beban 3000 watt cenderung akan naik pada beban 4000 watt pada saat *Single Fuel* diakibatkan campuran solar kaya akibat minyak solar yang tidak terbakar sempurna sehingga konversi daya menjadi kecil.

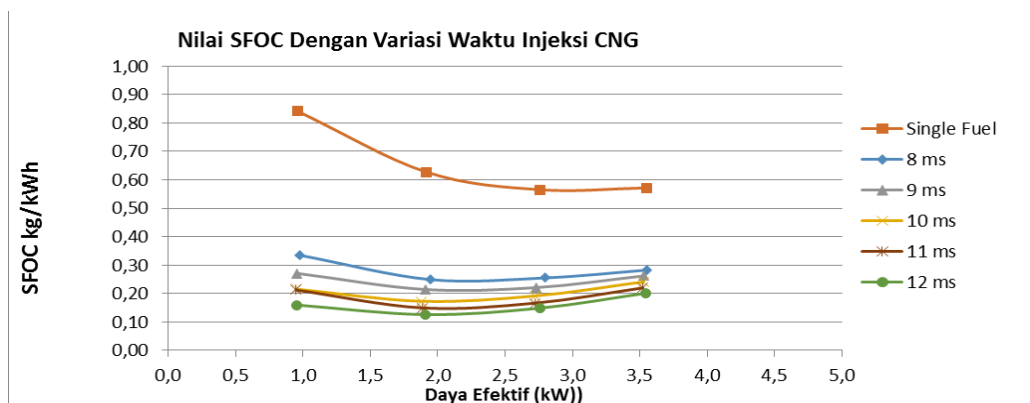
Pada *Dual Fuel* variasi durasi waktu injeksi terjadi penurunan SFC dibandingkan dengan *Single Fuel* ini diakibatkan karena nilai kalor atau LHV yang dimiliki solar dan CNG berbeda yang dimana solar dex memiliki nilai kalor sebesar 43250 kJ/Kg sedangkan CNG memiliki LHV sebesar 48000 KJ/Kg. Untuk putaran yang konstan pada saat 2000 RPM maka laju energi yang diperlukan dari

minyak solar semakin sedikit. Pada beban heater yang diberikan dari 1 sampai 3 terjadi penurunan nilai SFC(Pilot+Gas) bahan bakar disebabkan daya output yang semakin meningkat sampai beban 4 cenderung meningkat kembali yang berarti over load pada beban heater ke 4. Ketika variasi durasi injeksi CNG terjadi peningkatan SFC diakibatkan total laju massa pilot dan gas yang tidak sama meningkat pada saat peningkatan durasi injeksi dibesarkan dengan nilai rata rata daya output yang sama.

Tabel 4. 5 SFC fungsi Daya Efektif

Heater	Daya Efektif (kW)						SFC (Kg/kWh)					
	Single Fuel	Dual Fuel					Single Fuel	Dual Fuel				
		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	0,963	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956	0,840	0,662	0,687	0,719	0,801	0,824
2	1,915	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910	0,627	0,412	0,423	0,427	0,446	0,458
3	2,759	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758	0,565	0,369	0,358	0,367	0,375	0,374
4	3,550	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545	0,572	0,385	0,374	0,376	0,386	0,380

Tabel 4.5 menjelaskan meningkatnya SFC dengan variasi durasi injeksi CNG pada pengoperasian *Dual Fuel* dengan diiringi menurunnya daya yang dihasilkan pada variasi durasi injeksi CNG. Hal ini disebabkan karena nilai SFC dipengaruhi oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar dalam ruang bakar, semakin sempurna maka daya yang dihasilkan akan besar juga yang dipengaruhi banyaknya bahan bakar CNG dengan variasi durasi injeksi yang lebih lama. Variasi durasi injeksi yang lebih lama maka akan memperbesar laju massa lalu mengakibatkan banyaknya massa CNG yang masuk ke ruang bakar sehingga pencampuran udara dan bahan bakar yang tidak sempurna.

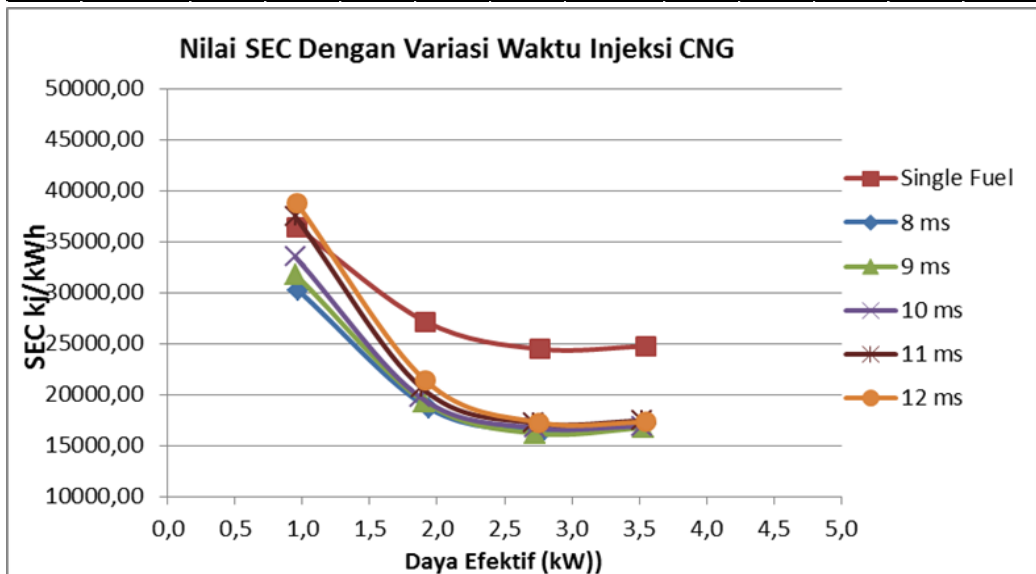


Gambar 4. 10 Grafik SFOC fungsi Daya Efektif

SFC atau konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satuan daya dalam satuan waktu. Nilai SFC dipengaruhi oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar dalam ruang bakar, semakin sempurna maka daya yang dihasilkan akan besar juga. SFOC(Pilot) merupakan konsumsi bahan bakar pilot fuel atau solar pada single maupun dual fuel. Gambar 4.10 menjelaskan perbandingan single dan dual fuel terjadi penurunan SFOC dikarenakan adanya bahan bakar gas yang masuk kedalam ruang bakar. Dapat dilihat pada tabel 4.6 setiap kenaikan variasi durasi injeksi SFOC mengalami penurunan dikarenakan laju massa bahan bakar gas CNG meningkat.

Tabel 4. 6 Tabel SFOC fungsi Daya Efektif

Heater	Daya Efektif (kW)						SFOC (Kg/kWh)					
	Single Fuel	Dual Fuel					Single Fuel	Dual Fuel				
		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	0,963	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956	0,840	0,335	0,271	0,216	0,213	0,160
2	1,915	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910	0,627	0,250	0,215	0,173	0,150	0,126
3	2,759	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758	0,565	0,255	0,221	0,192	0,167	0,149
4	3,550	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545	0,572	0,283	0,262	0,241	0,220	0,202



Gambar 4. 11 Grafik SEC fungsi Daya dengan variasi durasi injeksi

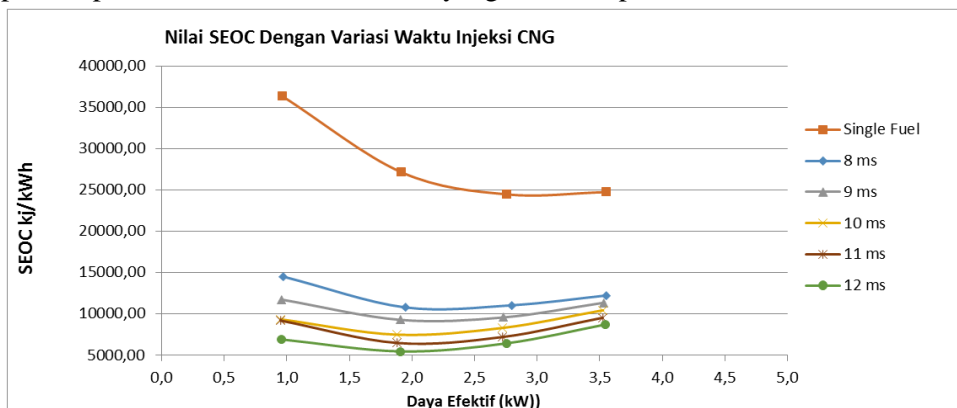
Pada *Dual Fuel* variasi durasi waktu injeksi terjadi penurunan SEC dibandingkan dengan *Single Fuel*, ini diakibatkan karena metode pengujian pada saat mode dual fuel gas alam atau CNG dibuat konstan disetiap beban yang diberikan sehingga laju energi konsumsi yang meningkat adalah laju massa diesel.

Dapat dilihat pada gambar 4.11 variasi durasi injeksi CNG 11 ms dan 12 ms memiliki nilai SEC lebih besar dibandingkan dengan single fuel dikarenakan nilai laju massa pilot dan gas memiliki selisih yang semakin besar diakibatkan variasi durasi injeksi yang semakin meningkat maka laju massa pilot menurun yang dimana nilai LHV dari solar dan gas memiliki perbedaan, Solar sebesar 43000 kj/kg dan Gas 48000 kj/kg sehingga pada saat dikonversikan menjadi energi nilai SEC yang besar dimiliki oleh variasi durasi injeksi yang paling besar.

Tabel 4. 7 SEC fungsi Daya Efektif

Heater	Daya Efektif (kW)						SEC (KJ/kWh)					
	Single Fuel	Dual Fuel					Single Fuel	Dual Fuel				
		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	0,963	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956	36349,704	30159,058	31.687,296	33.466,965	37.435,407	38.772,153
2	1,915	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910	27135,854	18608,487	19.280,833	19.688,109	20.680,551	21.397,627
3	2,759	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758	24453,398	16497,653	16.564,602	16.725,005	17.049,550	17.484,466
4	3,550	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545	24731,298	16497,132	16.712,496	16.892,946	17.073,201	17.276,350

Tabel 4.7 menjelaskan meningkatnya SEC dengan variasi durasi injeksi CNG pada pengoperasian *Dual Fuel* dengan diiringi menurunnya daya yang dihasilkan pada variasi durasi injeksi CNG. Hal ini disebabkan karena nilai SEC dipengaruhi oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar dalam ruang bakar, semakin sempurna maka daya yang dihasilkan akan besar juga yang dipengaruhi banyaknya bahan bakar CNG dengan variasi durasi injeksi yang lebih lama. Variasi durasi injeksi yang lebih lama maka akan memperbesar laju massa lalu mengakibatkan banyaknya massa CNG yang masuk ke ruang bakar sehingga pencampuran udara dan bahan bakar yang tidak sempurna



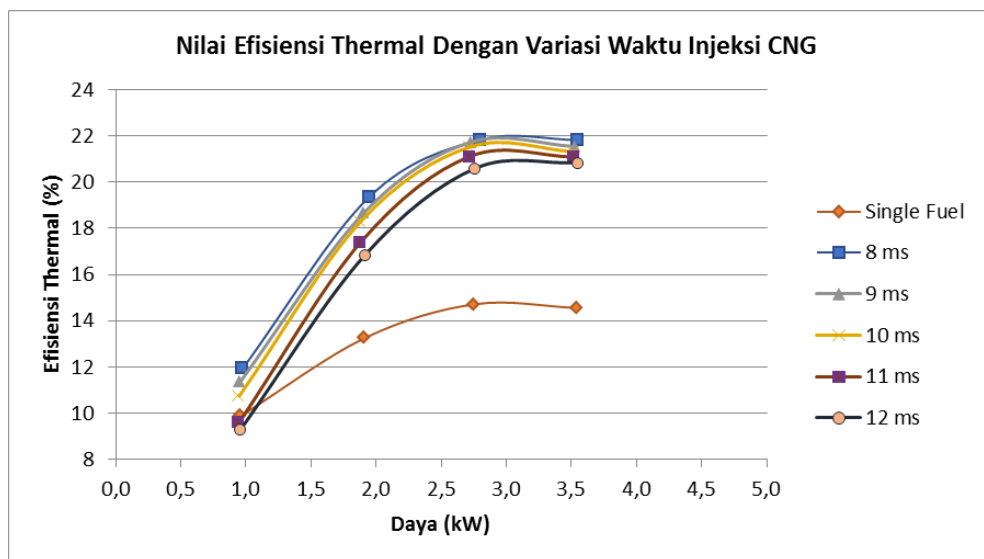
Gambar 4. 12 Grafik SEOC fungsi Daya Efektif

SEC atau nilai energi konsumsi merupakan jumlah konversi energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satuan daya dalam satuan waktu. SEOC(Pilot) merupakan konsumsi energi bahan bakar pilot fuel atau solar pada single maupun dual fuel. Gambar 4.12 menjelaskan perbandingan single dan dual fuel terjadi penurunan SEOC dikarenakan adanya bahan bakar gas yang masuk ke dalam ruang bakar. Dapat dilihat pada tabel 4.8 setiap kenaikan variasi durasi injeksi SEOC mengalami penurunan dikarenakan laju massa bahan bakar gas CNG meningkat.

Tabel 4. 8 Tabel SEOC

Heater	Daya Efektif (kW)						SEOC (KJ/kWh)					
	Single Fuel	Dual Fuel					Single Fuel	Dual Fuel				
		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	0,963	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956	36349,704	14505,029	11.736,287	9.347,011	9.200,988	6.916,673
2	1,915	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910	27135,854	10792,014	9.281,182	7.488,375	6.485,059	5.463,203
3	2,759	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758	24453,398	11048,392	9.571,082	8.310,006	7.205,446	6.450,123
4	3,550	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545	24731,298	12224,782	11.345,062	10.440,866	9.527,965	8.716,851

4.2.6 Analisa Efisiensi Thermal



Gambar 4. 13 Grafik Efisiensi Thermal fungsi beban dengan variasi waktu injeksi

Gambar 4.13 merupakan grafik Efisiensi Thermal bisa dilihat bahwa terdapat hubungan antara SEC dengan Efisiensi Thermal dimana nilai Efisiensi Thermal berbanding terbalik dengan nilai SEC. Pada saat nilai SEC turun maka dari itu nilai Efisiensi Thermal akan naik yang berarti bahwa dengan naiknya Efisiensi Thermal maka semakin banyak bahan bakar yang dapat dikonversikan selama proses pembakaran menjadi daya yang dikeluarkan melalui poros mesin. Saat nilai SFC

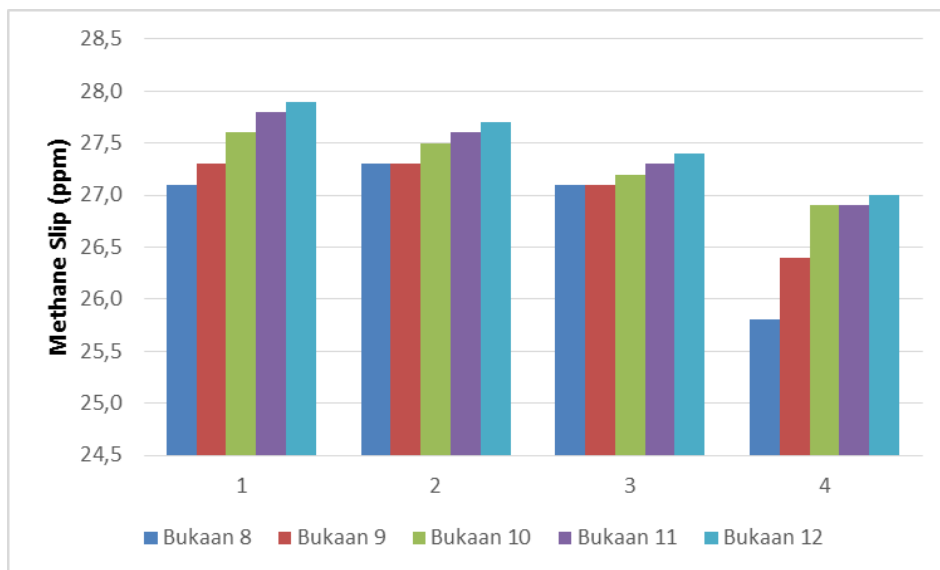
naik kembali maka nilai *Efisiensi Thermal* turun yang mengartikan semakin banyak bahan bakar yang terbuang bersama gas sisa pembakaran karena tidak dapat dikonversikan menjadi daya mesin pada saat proses pembakaran berlangsung di ruang bakar.

Tabel 4. 9 *Efisiensi Thermal* fungsi Daya Efektif

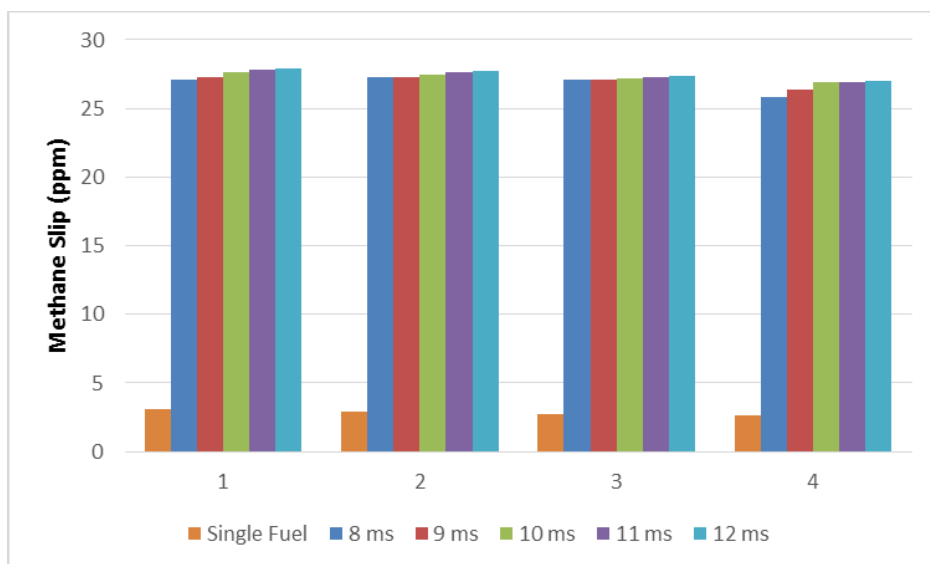
Heater	Daya Efektif (kW)						Eff. Thermal (%)					
	Single Fuel	Dual Fuel					Single Fuel	Dual Fuel				
		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms		8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	0,963	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956	9,904	11,937	11,361	10,757	9,617	9,285
2	1,915	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910	13,267	19,346	18,671	18,285	17,408	16,824
3	2,759	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758	14,722	21,821	21,733	21,525	21,115	20,590
4	3,550	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545	14,556	21,822	21,541	21,311	21,086	20,838

Tabel 4.9 menjelaskan menurunnya *Efisiensi Thermal* dengan variasi durasi injeksi CNG pada pengoperasian *Dual Fuel* dengan diiringi menurunnya daya yang dihasilkan pada variasi durasi injeksi CNG. Hal ini disebabkan karena nilai *Efisiensi Thermal* dipengaruhi oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar dalam ruang bakar, semakin sempurna maka daya yang dihasilkan akan besar juga yang dipengaruhi banyaknya bahan bakar CNG dengan variasi durasi injeksi yang lebih lama. Variasi durasi injeksi yang lebih lama maka akan memperbesar laju massa lalu mengakibatkan banyaknya massa CNG yang masuk ke ruang bakar sehingga pencampuran udara dan bahan bakar yang tidak sempurna.

4.3 Analisa *Methane Slip*



Gambar 4. 14 Grafik *Methane Slip* fungsi beban heater dengan variasi durasi injeksi



Gambar 4. 15 Grafik *Methane Slip* fungsi beban heater dengan variasi durasi injeksi dan single fuel

Methane Slip merupakan sebuah emisi yang mengandung CH₄ yang dimana gas tersebut diinjeksikan tetapi tidak terbakar dan keluar melalui exhaust gas atau saluran gas buang.

Gambar 4.14 menjelaskan nilai kadar tertinggi terjadi pada beban heater satu yang di semua variasi durasi injeksi ini bisa dihubungkan dengan performa pembakaran heat release rate dan tekanan silinder pada beban heater satu memiliki nilai yang paling kecil dibandingkan dengan variasi beban heater yang lainnya.

Tabel 4. 10 Laju Massa Fungsi *Methane Slip* dengan variasi Durasi injeksi

Heater	Methane Slip (ppm)					Laju Massa (Kg/h)									
	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms	Dual Fuel									
						Dex	8 ms	Dex	9 ms	Dex	10 ms	Dex	11 ms	Dex	12 ms
1	27,100	27,300	27,600	27,800	27,900	0,444	0,431	0,352	0,539	0,278	0,647	0,273	0,755	0,208	0,863
2	27,300	27,300	27,500	27,600	27,700	0,661	0,431	0,555	0,539	0,441	0,647	0,383	0,755	0,328	0,863
3	27,100	27,100	27,200	27,300	27,400	0,971	0,431	0,786	0,539	0,709	0,647	0,626	0,755	0,540	0,863
4	25,800	26,400	26,900	26,900	27,000	1,436	0,431	1,265	0,539	1,162	0,647	1,097	0,755	0,975	0,863

Tabel 4.10 menjelaskan setiap naiknya variasi durasi injeksi CNG maka laju massa CNG juga meningkat, hal ini berbanding lurus dengan kadar *Methane Slip* yang juga meningkat. Pada durasi injeksi 8 ms ke 9 ms memiliki peningkatan 20% laju massa yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 % Ini disebabkan banyaknya massa yang masuk ke ruang bakar berdasarkan variasi durasi injeksi CNG yang semakin lama sehingga pencampuran antara udara dengan CNG tidak tercampur sempurna sehingga pembakaran tidak sempurna maka dari itu nilai *Methane Slip* meningkat.

Tabel 4. 11 Efisiensi *Thermal* fungsi *Methane Slip* dengan variasi Durasi Injeksi

Heater	Methane Slip (ppm)					Eff. Thermal (%)				
	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	27,100	27,300	27,600	27,800	27,900	8,787	8,366	7,932	7,103	6,830
2	27,300	27,300	27,500	27,600	27,700	14,199	13,750	13,497	12,832	12,364
3	27,100	27,100	27,200	27,300	27,400	16,055	16,407	15,888	15,470	15,336
4	25,800	26,400	26,900	26,900	27,000	15,424	15,760	15,605	15,148	15,266

Tabel 4.9 menjelaskan setiap naiknya variasi durasi injeksi CNG maka Efisiensi *Thermal* juga menurun, hal ini berbanding terbalik dengan kadar *Methane Slip* yang meningkat. Pada durasi injeksi 8 ms ke 9 ms memiliki penurunan 4,823% Efisiensi *Thermal* yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 %. Ini disebabkan banyaknya massa yang masuk ke ruang bakar berdasarkan variasi durasi injeksi CNG yang semakin lama sehingga pencampuran antara udara

dengan CNG tidak tercampur sempurna sehingga pembakaran tidak sempurna maka dari itu nilai *Methane Slip* besar.

Tabel 4. 12 Daya Efektif fungsi *Methane Slip* Variasi Durasi Injeksi

Heater	Methane Slip (ppm)					Daya Efektif (kW)				
	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	27,100	27,300	27,600	27,800	27,900	0,974	0,955	0,950	0,948	0,956
2	27,300	27,300	27,500	27,600	27,700	1,944	1,906	1,879	1,882	1,910
3	27,100	27,100	27,200	27,300	27,400	2,796	2,728	2,725	2,721	2,758
4	25,800	26,400	26,900	26,900	27,000	3,548	3,528	3,525	3,521	3,545

Tabel 4.12 menjelaskan setiap kenaikan variasi durasi injeksi CNG mengalami peningkatan kadar *Methane Slip* bisa dihubungkan dengan nilai daya efektif yaitu semakin menurunnya nilai daya efektif. Pada durasi injeksi 8 ms ke 9 ms memiliki penurunan 1,887% daya efektif yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 %. Ini disebabkan banyaknya massa yang masuk ke ruang bakar berdasarkan variasi durasi injeksi CNG yang semakin lama sehingga pencampuran antara udara dengan CNG tidak tercampur sempurna sehingga

Heater	Methane Slip (ppm)					SEC (kj/kWh)				
	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms	8 ms	9 ms	10 ms	11 ms	12 ms
1	27,100	27,300	27,600	27,800	27,900	30159,058	31687,296	33466,965	37435,407	38772,153
2	27,300	27,300	27,500	27,600	27,700	18608,487	19280,833	19688,109	20680,551	21397,627
3	27,100	27,100	27,200	27,300	27,400	16497,653	16564,602	16725,005	17049,550	17484,466
4	25,800	26,400	26,900	26,900	27,000	16497,132	16712,496	16892,946	17073,201	17276,350

pembakaran tidak sempurna maka dari itu nilai *Methane Slip* meningkat.

Tabel 4. 13 SEC fungsi *Methane Slip* Variasi Durasi Injeksi

Tabel 4.11 menjelaskan setiap kenaikan variasi durasi injeksi CNG mengalami peningkatan kadar *Methane Slip* bisa dihubungkan dengan nilai SEC yaitu semakin meningkatnya SEC. Pada durasi injeksi 8 ms ke 9 ms memiliki peningkatan 4,823 % SEC yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 %. Jumlah energi yang meningkat disebabkan banyaknya massa yang masuk ke ruang bakar berdasarkan variasi durasi injeksi CNG yang semakin lama sehingga pencampuran antara udara dengan CNG tidak tercampur sempurna sehingga pembakaran tidak sempurna maka dari itu nilai *Methane Slip* meningkat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan dari yang sudah di analisa sebagai berikut :

- a. Modifikasi diesel *engine* terhadap pengaturan jumlah bahan bakar antara bahan bakar solar dan gas menggunakan tambahan alat pengatur yang bernama ECU. Alat ini bisa mengatur Starting of injection (SOI) dan Duration of injection. Setelah melakukan percobaan durasi injeksi yang akan diuji adalah 8,9,10,11,12 ms.

- b. Nilai kadar tertinggi terjadi pada beban heater satu yang di semua variasi durasi injeksi ini bisa dihubungkan dengan performa pembakaran heat release rate dan tekanan silinder pada beban heater satu memiliki nilai yang paling kecil dibandingkan dengan variasi beban heater yang lainnya. Pada durasi injeksi 8 ms ke 9 ms memiliki peningkatan 20% laju massa yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 % penurunan 4,823% *Efisiensi Thermal* yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 %, penurunan 1,887% daya efektif yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 %. Dan peningkatan 4,823 % SEC yang mengakibatkan peningkatan kadar *Methane Slip* sebesar 0,733 %.

5.2 Saran

Untuk lebih baiknya tugas akhir ini maka penulis dapat menyarankan agar :

- a. Perlu adanya alat ukur debit gas yang lebih akurat supaya hasil dari penelitian lebih akurat
- b. Perlu adanya variasi tekanan CNG agar bisa lebih mengetahui *metane slip* yang lebih banyak
- c. Perlu adanya penggantian metode dengan menggantikan pengaturan solar yang konstan dan pengaturan CNG yang bisa diatur.

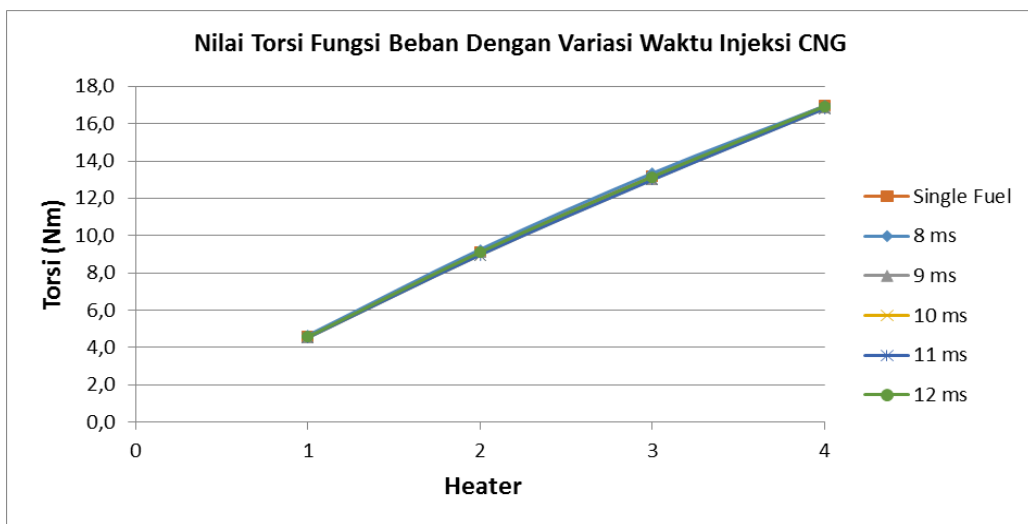
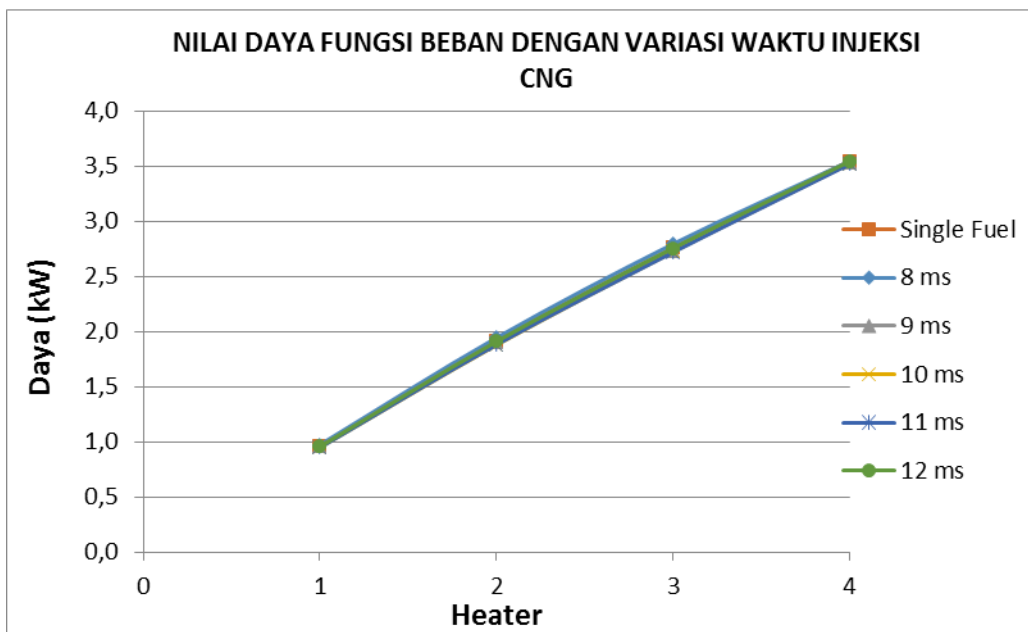
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

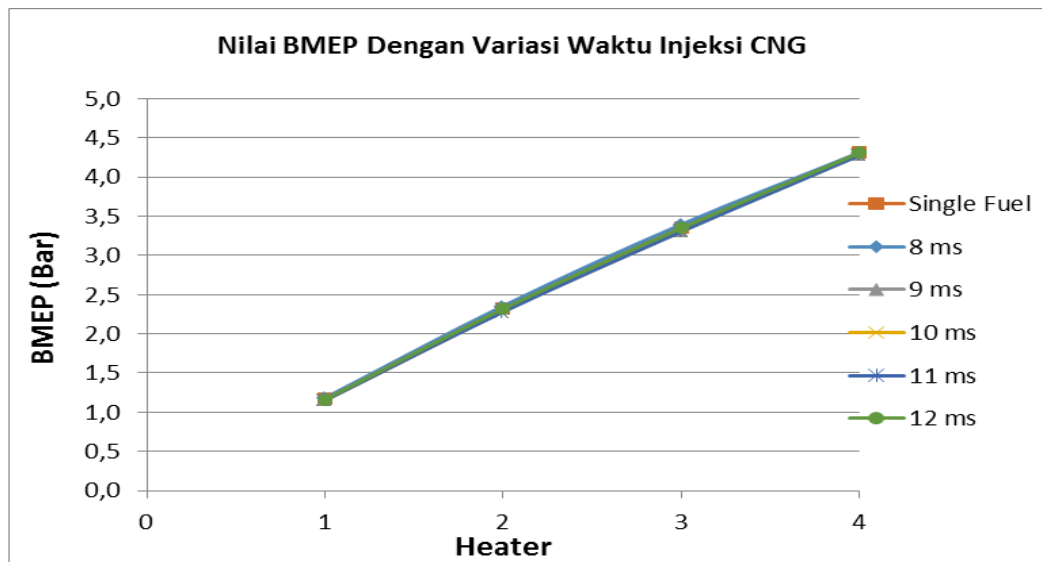
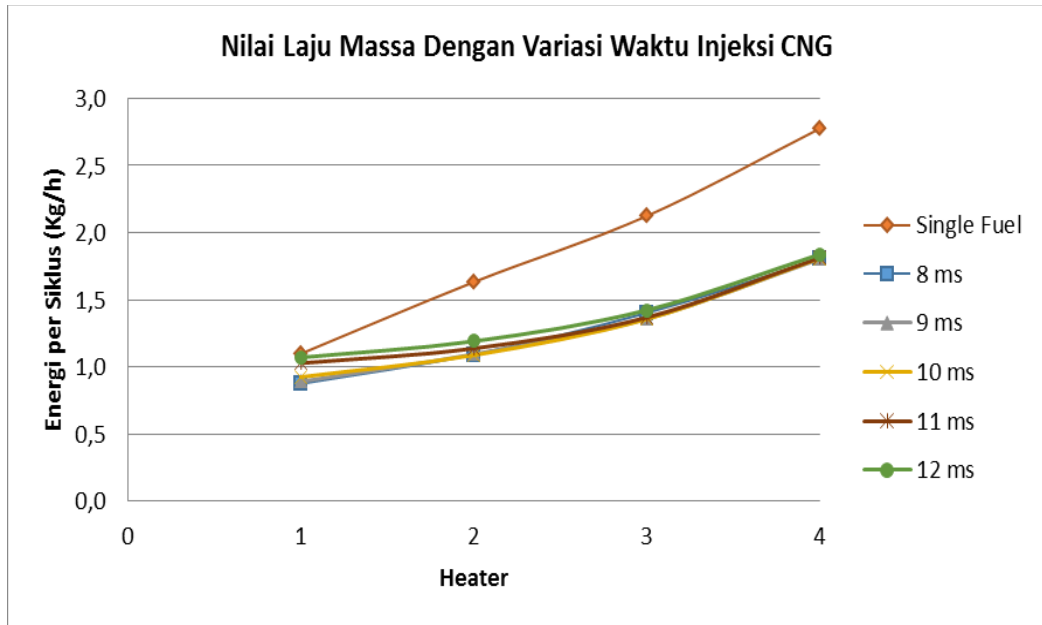
DAFTAR PUSTAKA

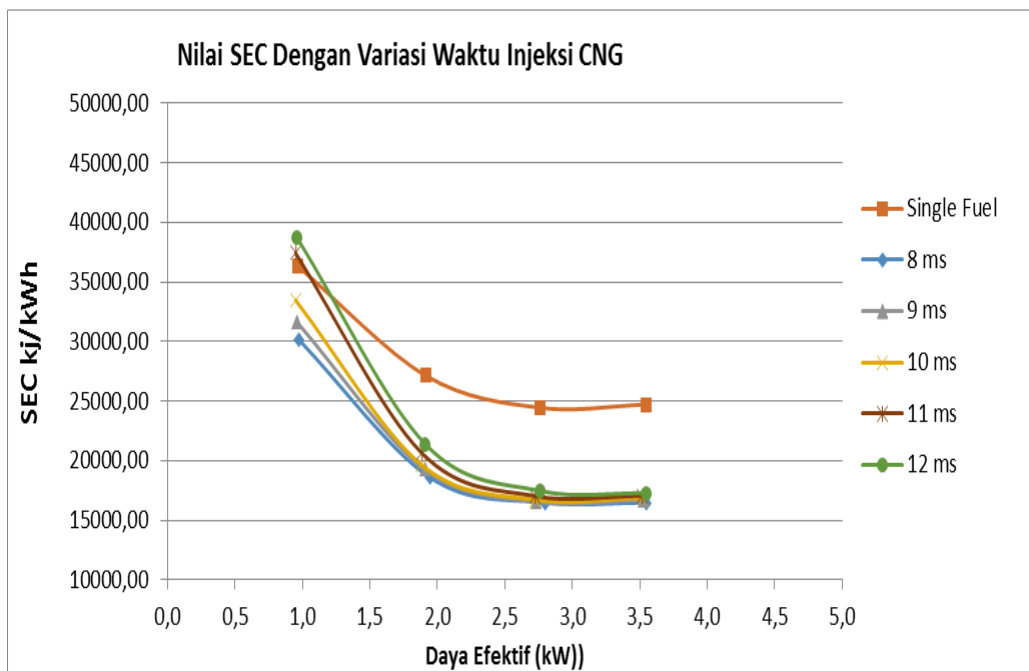
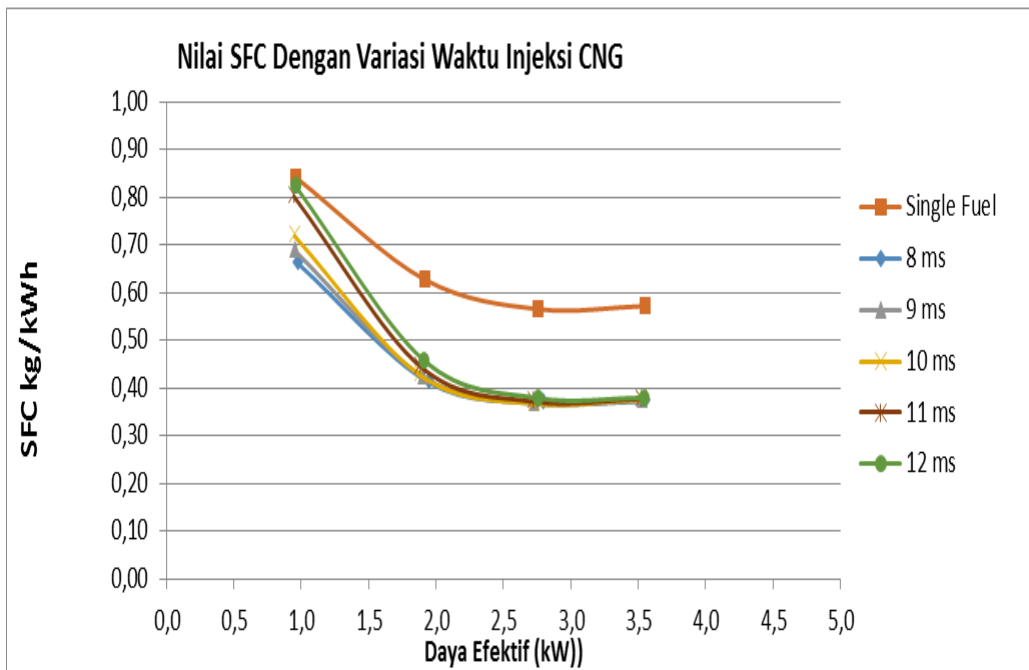
- Anderson, M. (2015). Methane Emissions from LNG-Powered Ships Higher than Current Marine Fuel Oils.
- Wartono, B. (2018). Analisa Kebisingan Pada Modifikasi Motor Diesel Berbahan Bakar Gas.
- Arif, A., & Sudarmanta, B. (2015). Karakterisasi Performa Mesin *Dual Fuel* Solar-CNG Tipe Lpig dengan Pengaturan Start of Injection dan Durasi Injeksi.
- Clarke, S., & DeBruyn, J. (2012). Vehicle Conversion to Natural Gas or Biogas.
- Ehsan, M. (2009). Ehsan, Md. (2009), *Dual Fuel* Performance of a Small Diesel *Engine* for Applications with Less Frequent Load Variations. *Internasional Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS* Vol 09 No 10, Bangladesh .
- Exoryanto, D. Y., & Sudarmanta, B. (2017). Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Sistem *Dual Fuel* Solar-Gas CNG dengan Variasi Tekanan Injeksi Gas dan Derajat Waktu Injeksi.
- Fatallah M.Z, A. (2013). . Studi kelayakan konversi diesel *engine* berbahan bakar minyak menjadi *Dual Fuel* diesel *engine* pada kapal container 368 teus.
- Fitriana, I. (2013). Optimalisasi Pemanfaatan Biodiesel untuk Sektor Transportasi.
- Heywood, J. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*.
- Mulyatno, I. P. (2013). Kajian Teknis dan Ekonomis Penggunaan *Dual Fuel* System (LPG-SOLAR) pada Mesin Diesel Kapal Nelayan Tradisional.
- Rozaqi, F. (2012). Perbaikan dan Modifikasi Mesin Diesel Satu Silinder untuk *Engine* Test.
- Sahoo, B. (2009). Effect of *engine* parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel *engines*--A critical review.
- Siagian, S. (2011). Performa Dan Karakteristik Emisi Gas Buang Mesin Diesel Berbahan Bakar Ganda. BPPT. Banten.
- Stenersen, D., & Thonstad, O. (2014). GHG and NO_x emissions from gas fuelled *engines* .
- Wei, L. (2016). . A Review on Natural Gas / Diesel *Dual Fuel* Combustion, Emissions and Performance. *Fuel Processing*. Volume 142.
- Wijaya, P. (2014). Rancang Bangun Sis-tem Penginjeksian Gas pada Modi-fikasi *Dual Fuel* Diesel *Engine*. .
- Zoltowski. (2015). Investigation of combustion process in *Dual Fuel* diesel *engine*. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. Volume 21, no 2, pp. 303-309.

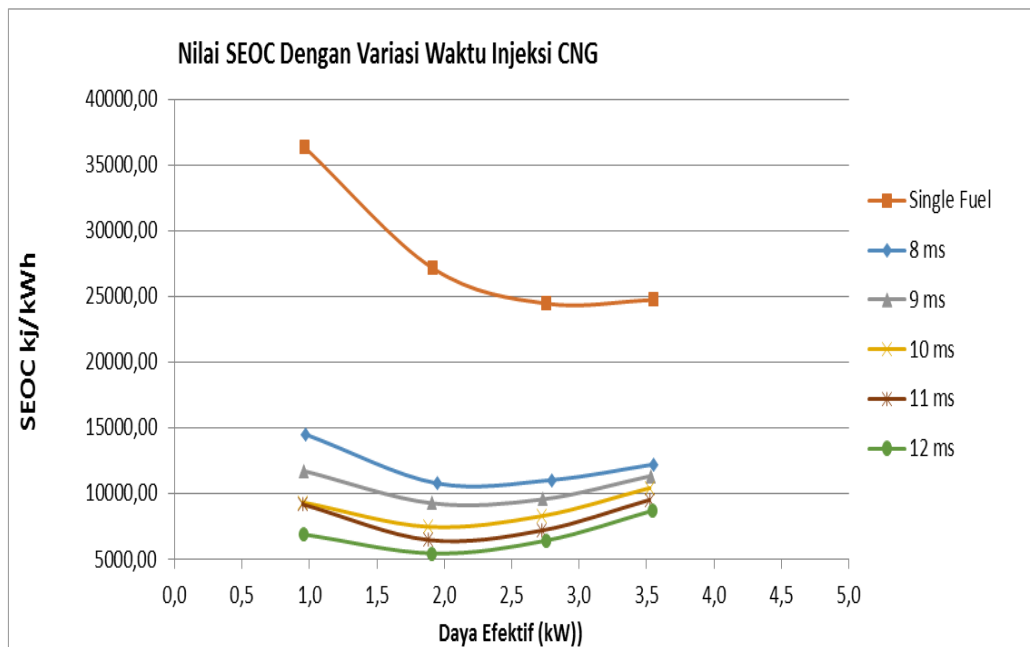
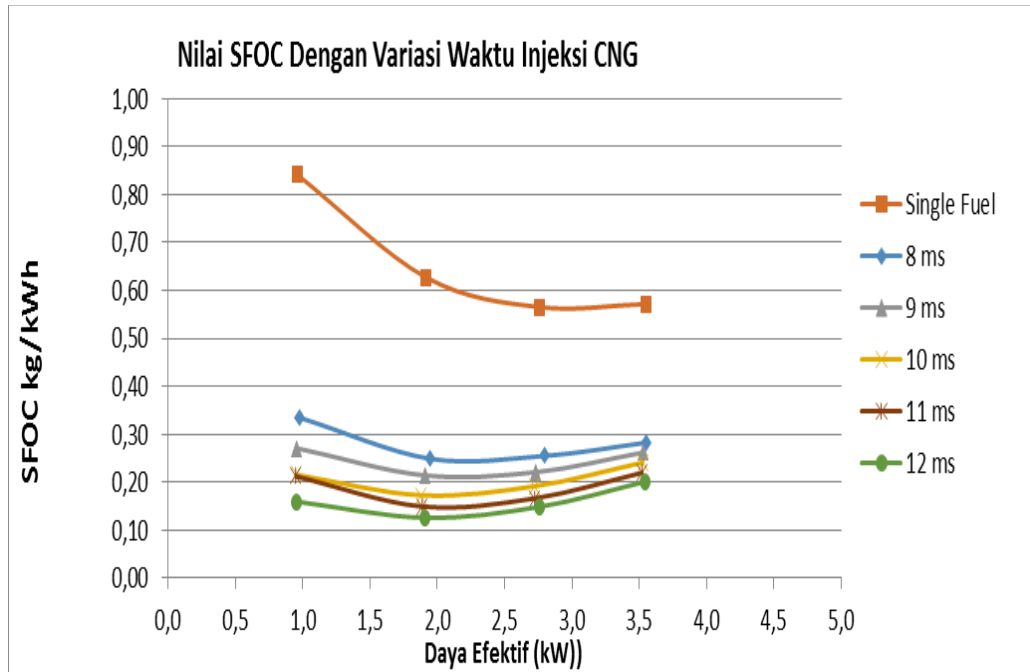
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

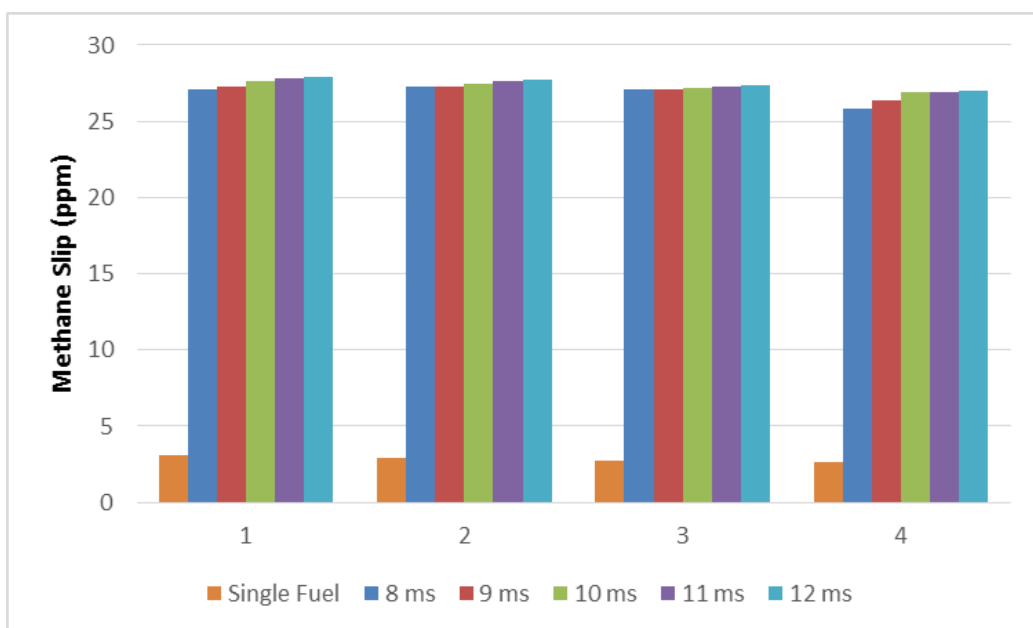
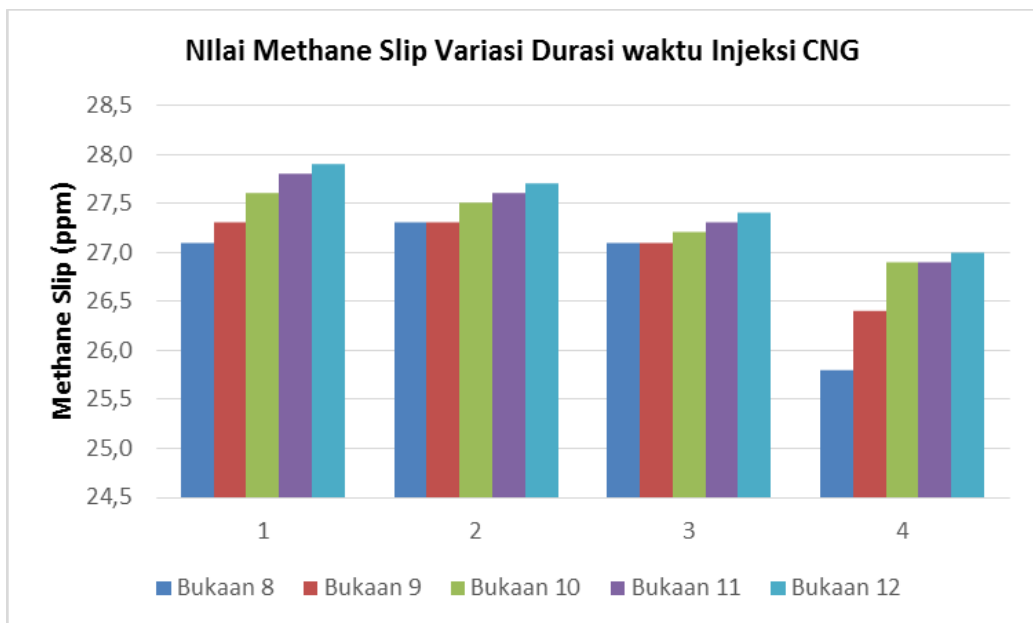
LAMPIRAN

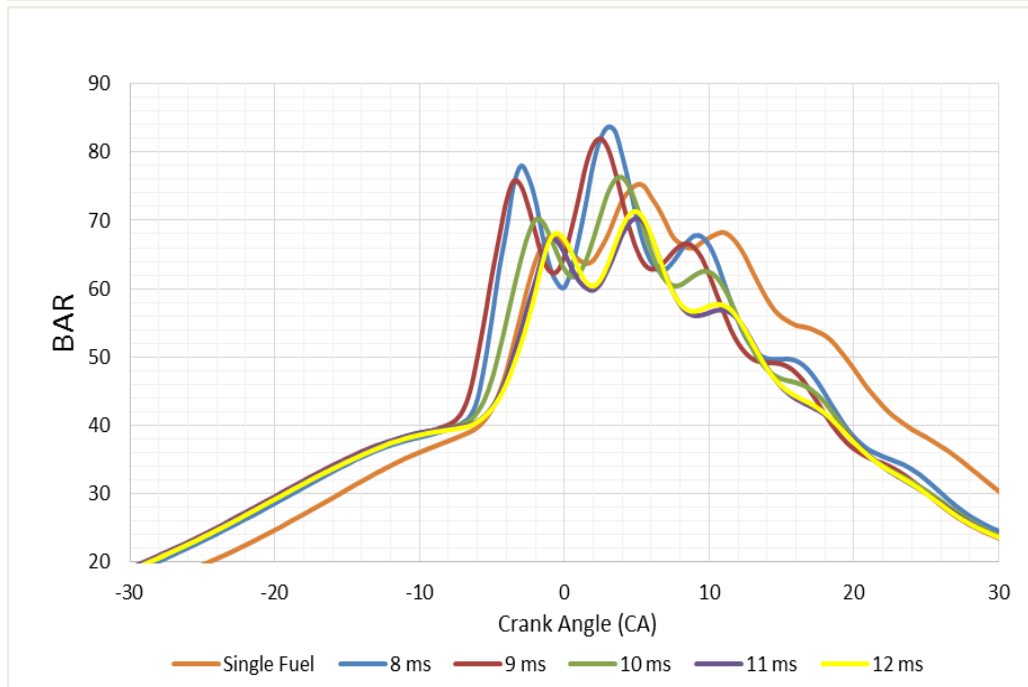
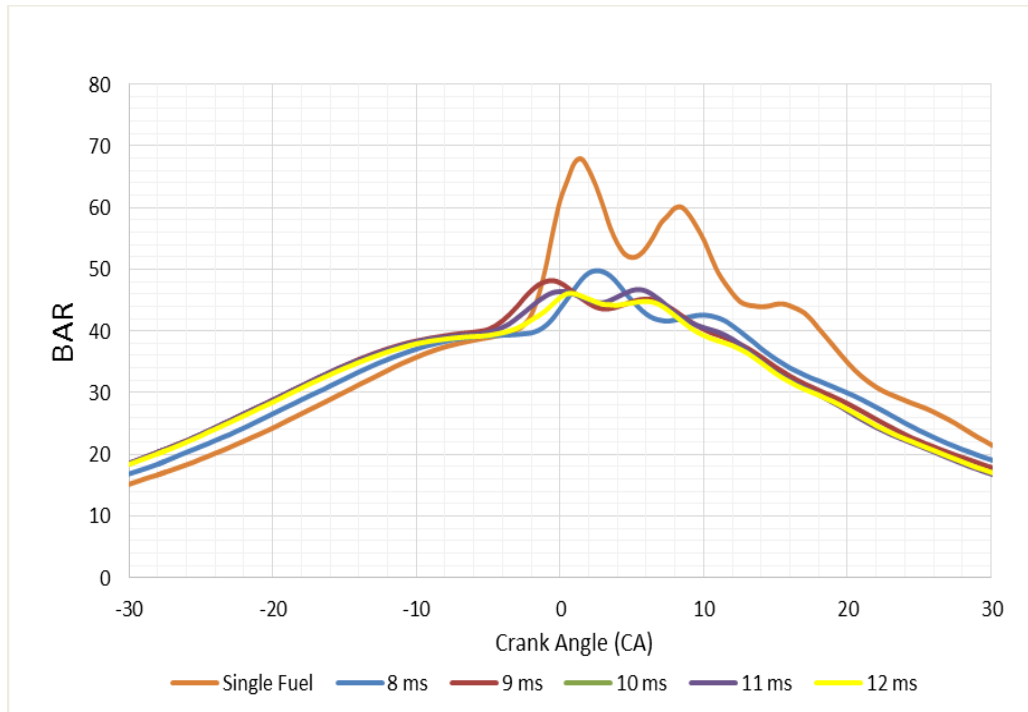


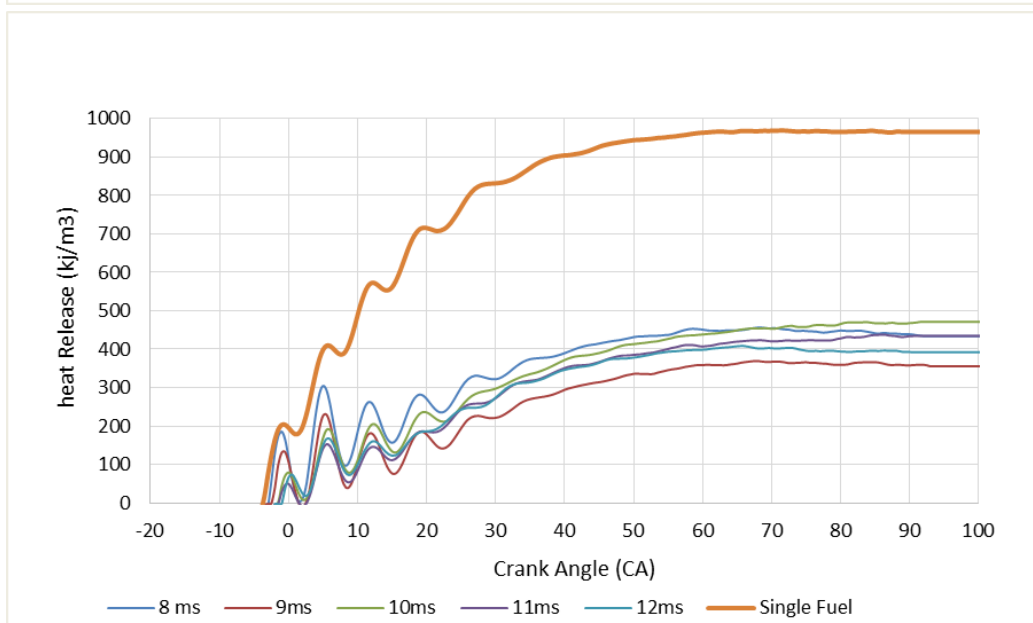
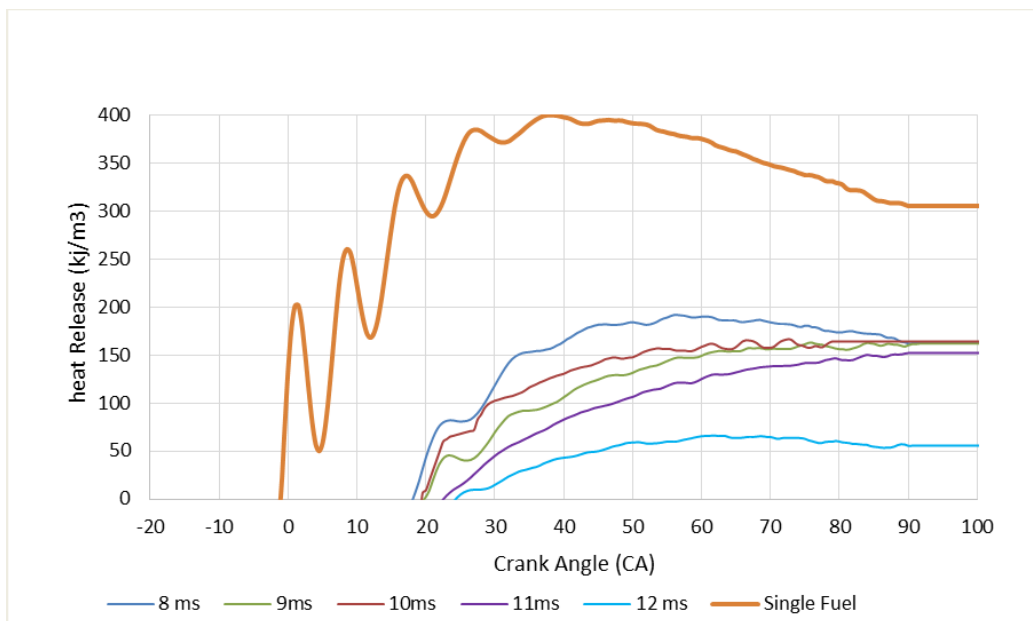


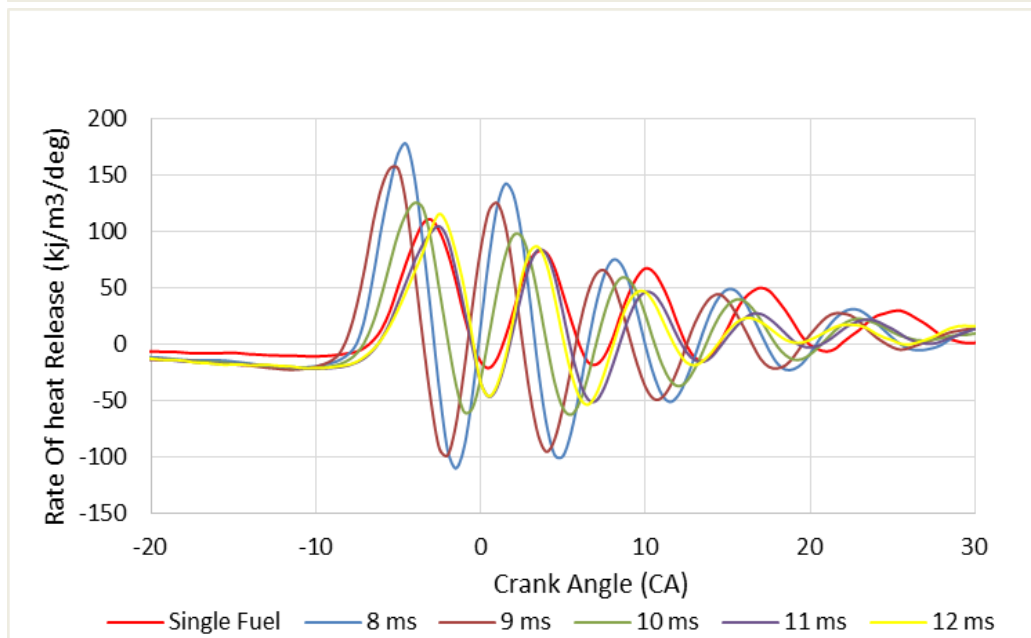
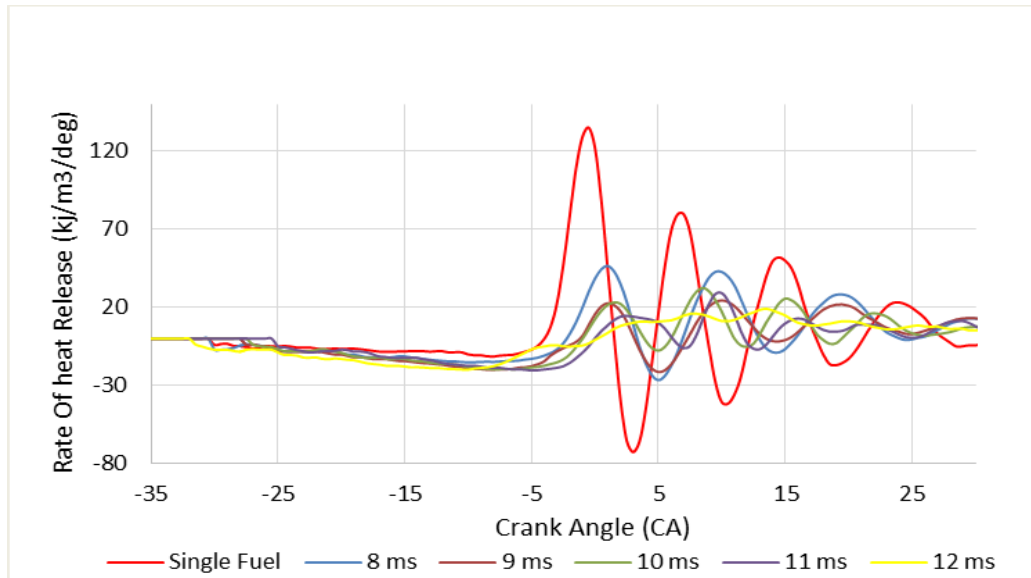












g. Di Jalur FEL : tekam 3 bar, SO1 (250 BTDC) 2000 RPM, Variasi Beban (1000-4000) watt, 10 ms waktu injeksi

Flow temp intake @ (l/m)	Putaran Engine		Beban (watt)	Torsi Beban (Nm)	Putaran General (Rpm)	Alternator		Watt	Volume Bahan Bakar (ml)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas Dex (kg/ml)	Efisiensi Slip	Daya General (Kw)	Torsi General (Nm)	Daya mesin (kw)	Torsi mesin (Nm)	Dapa mesin (kw)	BMP (bar)	Waktu injeksi (s)	Florate Gas (kg/s)	Florate Gas (ml/min)	Volume Gas (ml)	Densitas (kg/ml)	LHV (kJ/kg)		SFC DF (kg/kWh)	SFC DF (kg/kWh)	Efisiensi Thermal (%)	
	(rpm) kontrol	(rpm) aktual				(rpm) Amps (A)	(rpm) n (Volt)																		DEX	CNG				
55.6	3	2000	2003	1000	6486214	1477	211	4.2	8862	0.00001	1789	107.36	0.0298	830	0.9881	0.9486	4.5266	61.227	1.2878	1.15	107.36	0.00197576	0.01028579	0.0345	1.80	43.250	-8.000	3346.97	0.72	10.76
59.4	3	2000	2001	200	12397249	1477	209	8.4	17556	0.00001	1130	67.38	0.0188	830	0.9881	1.8794	8.9794	21.569	2.5461	2.28	67.38	0.00197576	0.01218088	0.0138	1.80	43.250	-8.000	1988.11	0.65	18.29
60.4	3	2000	2001	300	19483864	1477	202	12.6	25452	0.00001	0702	41.13	0.0117	830	0.9881	2.7246	13.022	17.6246	3.6913	3.31	42.13	0.00197576	0.01078579	0.0053	1.80	43.250	-8.000	1675.01	0.37	21.52
61.1	3	2000	2002	400	26088952	1466	198	16.5	3267	0.00001	0429	25.71	0.0071	830	0.9812	3.5253	16.8239	22.9781	4.9142	4.28	25.71	0.00197576	0.01062354	0.0020	1.80	43.250	-8.000	1882.85	0.38	21.31

g. Di Jalur FEL : tekam 3 bar, SO1 (250 BTDC) 2000 RPM, Variasi Beban (1000-4000) watt, 11 ms waktu injeksi

Flow temp intake @ (l/m)	Putaran Engine		Beban (watt)	Torsi Beban (Nm)	Putaran General (Rpm)	Alternator		Watt	Volume Bahan Bakar (ml)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas Dex (kg/ml)	Efisiensi Slip	Daya General (Kw)	Torsi General (Nm)	Daya mesin (kw)	Torsi mesin (Nm)	Dapa mesin (kw)	BMP (bar)	Waktu injeksi (s)	Florate Gas (kg/s)	Florate Gas (ml/min)	Volume Gas (ml)	Densitas (kg/ml)	LHV (kJ/kg)		SFC DF (kg/kWh)	SFC DF (kg/kWh)	Efisiensi Thermal (%)	
	(rpm) kontrol	(rpm) aktual				(rpm) Amps (A)	(rpm) n (Volt)																		DEX	CNG				
60.1	3.5	2000	2001	1000	64623554	1478	211	4.2	8862	0.00001	1824	104.43	0.0284	830	0.9888	0.9480	4.5266	61.283	1.2835	1.15	104.43	0.00209716	0.01282943	0.0419	1.80	43.250	-8.000	3745.41	0.80	9.62
58.1	3.5	2000	2005	200	123294711	1478	209	8.4	17556	0.00001	1301	70.16	0.0217	830	0.9878	1.8818	8.9673	21.667	2.528	2.28	70.16	0.00209716	0.01671941	0.0213	1.80	43.250	-8.000	2060.55	0.45	17.41
64.4	3.5	2000	2001	300	19379946	1479	202	12.6	25452	0.00001	0812	48.72	0.0155	830	0.9944	2.7209	12.9916	17.5769	3.813	3.31	48.72	0.00209716	0.01282943	0.0083	1.80	43.250	-8.000	1769.85	0.37	21.11
55.7	3.5	2000	2001	400	261008252	1467	198	16.5	3267	0.00001	0471	28.24	0.0078	830	0.9824	3.5212	16.8134	22.9222	4.9129	4.28	28.24	0.00209716	0.01282943	0.0028	1.80	43.250	-8.000	1703.30	0.38	20.09

g. Di Jalur FEL : tekam 3 bar, SO1 (250 BTDC) 2000 RPM, Variasi Beban (1000-4000) watt, 12 ms waktu injeksi

Flow temp intake @ (l/m)	Putaran Engine		Beban (watt)	Torsi Beban (Nm)	Putaran General (Rpm)	Alternator		Watt	Volume Bahan Bakar (ml)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas Dex (kg/ml)	Efisiensi Slip	Daya General (Kw)	Torsi General (Nm)	Daya mesin (kw)	Torsi mesin (Nm)	Dapa mesin (kw)	BMP (bar)	Waktu injeksi (s)	Florate Gas (kg/s)	Florate Gas (ml/min)	Volume Gas (ml)	Densitas (kg/ml)	LHV (kJ/kg)		SFC DF (kg/kWh)	SFC DF (kg/kWh)	Efisiensi Thermal (%)	
	(rpm) kontrol	(rpm) aktual				(rpm) Amps (A)	(rpm) n (Volt)																		DEX	CNG				
55.1	4	2000	2000	1000	64808437	1472	212	4.2	8914	0.00001	2393	143.71	0.059	830	0.9857	0.9584	4.5867	62.076	1.2001	1.16	143.71	0.00239675	0.01483916	0.0447	1.80	43.250	-8.000	3877.15	0.82	9.3
57.4	4	2000	2003	200	12481087	1472	209	8.5	17665	0.00001	1517	91.01	0.0253	830	0.9848	1.9101	11.3977	2.5991	2.32	91.01	0.00239675	0.01483916	0.021833	1.80	43.250	-8.000	2192.63	0.66	16.82	
61.3	4	2000	2003	300	19477531	1472	202	12.7	25854	0.00001	0890	53.38	0.0148	830	0.9848	2.7383	13.1570	17.9082	3.754	3.35	53.38	0.00239675	0.01483916	0.0114	1.80	43.250	-8.000	1784.47	0.38	20.59
56.9	4	2000	2000	400	26088952	1466	198	16.6	3268	0.00001	0511	31.64	0.0085	830	0.9817	3.5449	16.8238	23.1077	4.8386	4.31	31.64	0.00239675	0.01483916	0.0038	1.80	43.250	-8.000	1720.35	0.38	20.84

Bukaan	Power	Emisi
8	1000	27,1
	2000	27,3
	3000	27,1
	4000	25,8
9	1000	27,3
	2000	27,3
	3000	27,1
	4000	26,4
10	1000	27,6
	2000	27,5
	3000	27,2
	4000	26,9
11	1000	27,8
	2000	27,6
	3000	27,3
	4000	26,9
12	1000	27,9
	2000	27,7
	3000	27,4
	4000	27,0
Single Fuel	1000	3,1
	2000	2,9
	3000	2,7
	4000	2,6

Engine (four stroke cycle)	TF85 MH
Number of Cylinders	1
Combustion System	Direct Injection
Bore	85 mm
Stroke	87 mm
Displacement	493 cc
Compression Ratio	18
Max.Engine Speed at Full Load	2200 RPM
Continous Power Output	7.5 kW
SFC	171 gr/HP.h
Volume per Injection	0.07mL

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Febrian Rohiim, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Anak kedua dari Ayah Iftachullah dan Ibu Susi Susilawati. Lahir pada tanggal 15 Pebruari 1998, di Tangerang,Banten. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan dasar di SDIP Al-Istiqamah Kec. Cibodas, Tangerang. Pendidikan menengah pertama di SMPN 19 Tangerang. Pendidikan menengah atas di SMAN 8 Tangerang. Kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Studi Sarjana Reguler dengan bidang *Marine Power Plant* (MPP). Penulis memiliki pengalaman melaksanakan Kerja Praktik di 2 perusahaan, yaitu PT Jasana Marina Indah,Semarang dan PT Antakesuma Inti Raharja,Surabaya. Selain aktivitas akademik, penulis juga aktif di bidang non-akademik. Aktif bergabung dalam organisasi kemahasiswaan yaitu aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan. Selain itu juga aktif dalam berbagai pelatihan dan kepanitiaan yang diadakan di Institut. Penulis dapat dihubungi melalui febrianrohiim@gmail.com