PROPOSAL TUGAS AKHIR - TM4835

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN MASS FLOW UDARA TERHADAP PERFORMA MESIN DIESEL DIAMOND DI 800 BERBAHAN BAKAR *WATER IN DIESEL EMULSION* MENGGUNAKAN *ELECTRIC SUPERCHARGER*

DAVIT PRIAMBODO
02111645000020

Dosen Pembimbing:
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PROPOSAL TUGAS AKHIR – TM4835

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN MASS FLOW UDARA TERHADAP PERFORMA MESIN DIESEL DIAMOND DI 800 BERBAHAN BAKAR *WATER IN DIESEL EMULSION* MENGGUNAKAN *ELECTRIC SUPERCHARGER*

DAVIT PRIAMBODO
02111645000020

Dosen Pembimbing:
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

FINAL PROJECT – TM4835

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF ADDING AIR MASS FLOW TO THE PERFORMANCE OF THE DI800 DIAMOND ENGINE FUELED BY WATER IN DIESEL EMULSION USING AN ELECTRIC SUPERCHARGER

DAVIT PRIAMBODO
02111645000020

SUPERVISOR
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of industrial technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN *MASS FLOW* UDARA TERHADAP PERFORMA MESIN DIESEL DIAMOND TIPE DI 800 BERBAHAN BAKAR *WATER IN DIESEL EMULSION* MENGGUNAKAN *ELECTRIC SUPERCHARGER*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DAVIT PRIAMBODO
NRP. 02111645000020

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Bambang Sudarmanta, S.T. M.T. .....(Pembimbing)
   NIP. 197301161997021001
2. Is Bunyamin Suryo, ST, MSc. .....(Penguji I)
   NIP. 198208192012121003
3. Bambang Arip D, S.T., M.Eng., Ph.D. .....(Penguji II)
   NIP. 197804012002121001
4. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh W, M.E. .....(Penguji III)
   NIP. 195312191981031001

SURABAYA
Januari 2019

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH *MASS FLOW RATE* UDARA TERHADAP PERFORMA MESIN DIESEL DIAMOND TIPE DI 800 BERBAHAN BAKAR *WATER IN DIESEL EMULSITION* MENGGUNAKAN *ELECTRIC SUPERCHARGER*

Nama Mahasiswa	: Davit Priambodo
NRP	: 02111645000020
Jurusan	: Teknik Mesin FTI-ITS
Pembimbing	: Dr. Bambang Sudarmanta**,** ST., MT.

ABSTRAK

Emulsi adalah suatu sistem yang tidak stabil secara termodinamika dengan kandungan paling sedikit dua fase cair yang tidak dapat bercampur, satu diantaranya didispersikan sebagai globula (butir – butir kecil) dalam fase cair lain seperti air dan minyak. Pada proses pembakaran bahan bakar emulsi terdapat beberapa fenomena yaitu waktu penginjeksian bahan bakar dimajukan dari standar 13^{o} BTDC menjadi 17^{o} BTDC sehingga proses pembakaran menjadi lebih panjang. Pada saat bahan bakar emulsi diinjeksikan, kandungan air pada emulsi akan menyerap panas dari udara kompresi pada ruang bakar dan mengakibatkan proses evaporasi sehingga mengakibatkan micro explosion yang memecah butiran bahan bakar diesel menjadi lebih kecil sebelum bahan bakar diesel terbakar. Dalam penelitian ini ingin mengetahui pengaruh air fuel ratio dengan menggunakan electric supercharger pada mesin diesel berbahan bakar emulsi terhadap performance yang secara spesifik ditunjukkan daya, konsumsi bahan bakar, torque dan emisi yang dihasilkan.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pada mesin diesel diamond tipe Di 800 single fuel menggunakan bahan bakar water in diesel emultion dan juga Pertamina Dex sebagai pembanding. Metode yang dilakukan adalah penambahan mass flow rate udara ke dalam ruang bakar melalui intake manifold

dengan mengatur voltase pada electric supercharger sebesar 8V, 10V, dan 12V. Pengukuran proses pembakaran menggunakan voltage meter dan amphare meter untuk mendapatkan nilai voltase dan tegangan selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung beban, daya, dan torsi. Pengukuran emisi menggunakan gas analyzer untuk mendapatkan nilai emisi CO, HC, dan NOx.

Hasil Penggunaan Emulsi dapat menurunkan pemakaian bahan bakar fosil sebanyak 35% dengan adanya penambahan air kedalam bahan bakar diesel sebanyaka 35% by volume. Dengan penggunaan ***bahan bakar emulsi E30*** *pada mesin diesel Diamond DI 800 didapatkan penambahan mass flow rate udara paling optimal 0,00812 kg/s pada arus 10 volt, dimana terjadi perbaikan unjuk kerja dan emisi gas buang dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar Pertamina Dex murni tanpa penambahan mass flow rate udara. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya thermal efficiency sebesar 12,6%. Namun untuk nilai SFC menurun hingga 24,5% dari bahan bakar Pertamina Dex murni pada kondisi standar. Sedangkan untuk emisi yang dihasilkan untuk smoke opacity, HC, dan CO sebesar 9%, 21,35%, dan 27%.*

Penggunaan bahan ***bakar emulsi E35*** *pada mesin diesel Diamond DI 800 didapatkan Afr paling optimal pada arus 10 Volt atau pada variasi mass flow udara sebesar 0,00812 kg/s, dimana terjadi perbaikan unjuk kerja dan emisi gas buang dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar Pertamina Dex murni pada kondisi tanpa penambahan mass flow rate udara. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya thermal efficiency sebesar 16,35%. Namun untuk nilai SFC menurun hingga 26,44% dari bahan bakar Pertamina Dex murni pada kondisi standar. Sedangkan untuk emisi yang dihasilkan untuk smoke opacity, HC, dan CO sebesar 16,98%, 21,05%, dan 40%. Pola penyemprotan pada penginjeksian 200 kg/cm^2 dengan menggunakan* ***bahan bakar emulsi E30****, didapatkan hasil yang lebih panjang dibandingkan dengan* ***bahan bakar E35****, dimana panjang semprotannya (L) mencapai 55 cm dengan sudut semprotan*

sebesar (Ø) 20º. Sehingga proses atomisasi antara bahan bakar dengan udara menjadi lebih baik.

Kata kunci**: **Electric Supercharger, diesel diamond DI 800, proses pembakaran, pembentukan emisi, Span, tween, emulsi, mass flow udara.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF ADDING AIR MASS FLOW TO THE PERFORMANCE OF THE DI800 DIAMOND ENGINE FUELED BY WATER IN DIESEL EMULSION USING AN ELECTRIC SUPERCHARGER

Name of student ***: Davit Priambodo***
NRP ***: 02111645000020***
Departement ***: Mechanical Engineering***
Supervisor ***: Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT***

ABSTRACT

Emulsion is a thermodynamically unstable system containing at least two liquid phases which cannot be mixed, one of which is dispersed as a globule (small grains) in another liquid phase such as water and oil. In the emulsion fuel combustion process there are several phenomena, namely the fuel injection time is advanced from the standard 13o BTDC to 17o BTDC so that the combustion process becomes longer. When the emulsion fuel is injected, the water content in the emulsion will absorb heat from the compressed air in the combustion chamber and result in the evaporation process resulting in a micro explosion that breaks down the diesel fuel granules smaller before the diesel fuel burns. In this study, we wanted to find out the effect of the air fuel ratio by using an electric supercharger on a diesel engine with emulsion fuel on performance which specifically indicated the power, fuel consumption, torque and emissions produced.

This research was carried out experimentally on single fuel diamond type Di 800 diesel engines using Emultion water in

diesel fuel and also Pertamina Dex as a comparison. The method used is the addition of air mass flow rate into the combustion chamber through the intake manifold by adjusting the voltage on the electric supercharger by 8V, 10V, and 12V. The measurement of the combustion process uses voltage meters and amphare meters to obtain the voltage and voltage values and can then be used to calculate the load, power, and torque. Emission measurements use a gas analyzer to get CO, HC, and NOx emissions values.

The results of using Emulsion can reduce the use of fossil fuels by 35% by adding 35% of the water to diesel fuel by volume. With the use of E30 emulsion fuel in Diamond DI 800 diesel engine, the most optimum mass flow rate of air is 0.00812 kg / s at 10 volts, where performance improvements and exhaust emissions occur compared to the use of pure Pertamina Dex fuel without additions air mass flow rate. This is indicated by the increase in thermal efficiency by 12.6%. However, the SFC value decreased to 24.5% from pure Pertamina Dex fuel under standard conditions. Whereas for emissions produced to smoke opacity, HC, and CO by 9%, 21.35%, and 27%.

The use of E35 emulsion fuel in the Diamond DI 800 diesel engine is the most optimal for the 10 Volt current or in the variation of air mass flow of 0.00812 kg / s, where performance improvements and exhaust emissions are compared to the use of pure Pertamina Dex fuel in conditions without the addition of air mass flow rates. This is indicated by the increase in thermal efficiency of 16.35%. However, for SFC values decreased to 26.44% from pure Pertamina Dex fuel under standard conditions. Whereas the emissions produced to smoke opacity, HC, and CO are 16.98%, 21.05%, and 40%. Spraying pattern on injection of 200 kg / cm2 using E30 emulsion fuel, obtained a longer result compared to E35 fuel, where the spray length (L) reached 55 cm

with a spray angle of (Ø) 20o. So that the atomization process between fuel and air gets better.

Key Word : Electric supercharger, DI800 diamond diesel, burning process, emission product,span, tween, emulsion, air mass flow

KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji dan syukur kepada Allah SWT atas berkat dan hikmat yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul "**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN *MASS FLOW* UDARA TERHADAP PERFORMA *ENGINE* DIOAMOND DI800 BERBAHAN BAKAR *WATER IN DIESEL EMULSION***",

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak sekali doa, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Atas berbagai bantuan dan dukungan tersebut, pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua, yang tak henti - hentinya memberikan semangat dan kasih sayang yang luar biasa kepada penulis.
2. Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang tidak kenal lelah memberikan ilmu, waktu, berbagi nasihat dan mengembalikan semangat serta arah penulis ketika penulis terjatuh dan kehilangan arah selama penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak Bambang Arip Dwiyantoro, ST, M.Eng, PhD. selaku Koordinator Jurusan S1 Teknik Mesin, FTI ITS yang banyak memberikan saran, masukan dan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit, DEA Selaku dosen wali penulis yang telah banyak membantu mengarahkan penulis, memberikan saran, masukan dan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME bapak Bambang Arip Dwiyantoro, ST, M.Eng, PhD. dan Bapak Is Bunyamin Suryo, ST, MSc. selaku dosen penguji Tugas Akhir.

6. Semua Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin, FTI ITS yang telah sabar dalam memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis selama penulis berkuliah.
7. Amanda Salman Alfariz sebagai rekan serta patner pengambilan tugas akhir ini
8. Saudara-saudara dan warga ruang pasca sarjana Teknik Mesin ITS. Terimakasih atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini, semoga sukses untuk kita semua.
9. Semua rekan – rekan dan pihak lain yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan di sini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberkati dan membalas semua kebaikan yang telah dilakukan. Penulis menyadari masih banyak yang dapat dikembangkan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, Januari 2019
Penulis

(Davit Piambodo)
02111645000020

DAFTAR ISI

Halaman
DAFTAR ISI.....xi
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii

BAB 1 PENDAHULUAN..... 1
1.1 Latar Belakang..... 1
1.2 Perumusan Masalah..... 4
1.3 Tujuan Penelitian..... 4
1.4 Batasan Masalah..... 5
1.5 Manfaat Penelitian..... 5
1.6 Sistematika Penulisan 5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....7
2.1 Emulsi 7
2.1.1 Tipe Emulsi 8
2.1.2 Tujuan Emulsi 8
2.1.3 Zat Pengemulsi 8
2.1.4 Emulsifier atau Surfaktan 9
2.2 Bahan Bakar 11
2.3 Mesin Diesel 13
2.3.1 Pembakaran Mesin Diesel 13
2.3.2 Tahapan Pembakaran Mesin Diesel 14
2.4 Unjuk Kerja Motor Diesel 16
2.4.1 Daya 16
2.4.2 Torsi 17
2.4.3 Tekanan Effektif Rata - rata (*BMEP)* 18
2.4.4 *Spesific Fuel Consution (SFC)* 18
2.4.5 Effisiensi *Thermal* 19
2.5 Super Charger.....19
2.6 Rasio Udara Bahan Bakar Mesin Diesel.....19

2.6.1 Pembakaran *Stoikiometri* 20
2.6.2 Pembakaran *Non Stoikiometri* 21
2.7 Polusi Udara 22
2.7.1 Hidro Carbon Tidak Terbakar (HC) 25
2.7.2 Carbon Monoksida (CO) 25
2.7.3 Nox 25
2.8 Penelitian Sebelumnya
2.8.1 P. Baskar, A. Senthilkumar 26
2.8.2 Youcai Liang dkk 26
2.8.3 Kannan,K., Udayakumar, M. (2009) 27
2.8.4 Biplab K. Debnath, dkk (2013) 29
2.8.5 Benny Cahyono, dkk (2017) 30

BAB 3 METODE PENELITIAN 33
3.1 Alat Uji 33
3.2 Prosedur Penelitian 35
3.2.1 Prosedur Pembuatan Emulsi 35
3.2.2 Prosedur Pengujian Stabilitas dan Aktivitas Emulsi 36
3.2.3 Prosedur Pengujian Properties Bahan Bakar Emulsi 36
3.2.4 Tahap Pengujian 40
3.2.5 Proses Pengujian 40
3.2.6 Akhir Pengujian 42
3.3 Skema Rancangan Penelitian 42
3.4 Rancangan Eksperimen 43
3.5 Pengambilan Data 44
3.6 Metode Analisa Data 44
3.7 Diagram Alir Penelitian 45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 47
4.1 Uji Stabilitas 47
4.1.1 Homogenitas (Emulsi Stability) 47
4.1.2 Emulsi Activity 50
4.2 Uji Properties 50
4.3 Uji Penetrasi 51
4.4 Perhitungan Unjuk Kerja 52
4.4.1 Perhitungan Daya 56

4.4.2 Perhitungan Torsi.....57
4.4.3 Perhitungan Tekanan Efektif Rata- rata (BMEP) 58
4.4.4 Perhitungan Specific FuelConsumtion.....59
4.4.5 Perhitungan Rasio Udara Bahan Bakar (AFR).....60
4.4.6 Perhitungan Efisiensi Thermal.....60
4.5 Perhitungan Energi Input Per Siklus.....61
4.6 Analisa Grafik 61
4.6.1 Daya 62
4.6.2 Torsi 64
4.6.3 Tekanan Efektif Rata- rata 66
4.6.4 Spesifik Fuel Consumption.....69
4.6.5 Analisa Rasio Udara bahan bakar 72
4.6.6 Analisa Efektif Thermal.....75
4.6.7 Analisa Smoke.....77
4.6.8 Analisa HC 79
4.6.9 Analisa CO 80
4.7 Analisa Grafik *Performance*.....82
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 87
5.1 Kesimpulan 87
5.2 Saran 88

DAFTAR PUSTAKA .....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 konsep W/O - O/W emulsi..... 8
Gambar 2.2 Derajat Pengapian motor diesel 14
Gambar 2.3 Tahap Pembakaran pada motor diesel..... 15
Gambar 2.4 (a) Mekanisme Terbentuknya Polutan. (b) Emisi Gas Buang Terhadap *Air Fuel Ratio* (Kawano, 2011) 24
Gambar 2.5 Hasil Penelitian Kannan, K..... 26
Gambar 2.6 Hasil Penelitian Youcai Liang 27
Gambar 2.7 Hasil Penelitian Kannan K..... 28
Gambar 2.8 Hasil Penelitian Biplab K 29
Gambar 2.9 Hasil Penelitian Benny Cahyono 30
Gambar 3.1 Skema Rancangan Penelitian..... 42
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian..... 45
Gambar 4.1 Stabilitas emulsi..... 48
Gambar 4.2 Stabilitas per volum 49
Gambar 4.3 a)Penetrasi pada pertamina Dex..... 51
Gambar 4.3 b) Penetrasi pada emulsi W/D35..... 51
Gambar 4.3 c) Penetrasi pada emulsi W/D 30 52
Gambar 4.5 Daya pada bahan bakar emulsi 30..... 62
Gambar 4.6 Daya pada bahan bakar emulsi 35..... 63
Gambar 4.8 torsi dengan bahan bakar emulsi 30..... 65
Gambar 4.9 Torsi dengan bahan bakar emulsi 35..... 65
Gambar 4.11 BMEP dengan bahan bakar emulsi 30 67

Gambar 4.12 BMEP dengan bahan bakar emulsi 35 68
Gambar 4.14 Sfc dengan bahan bakar emulsi 30..... 70
Gambar 4.15 Sfc dengan bahan bakar emulsi 35..... 71
Gambar 4.16 Afr dengan bahan bakar emulsi 30..... 73
Gambar 4.17 Afr dengan bahan bakar emulsi 35..... 74
Gambar 4.18 ηThermal pada bahan bakar emulsi 30..... 75
Gambar 4.19 ηThermal dengan bahan bakar emulsi 35..... 76
Gambar 4.20 % Smoke vs Beban Emulsi 30 77
Gambar 4.21 % Smoke vs Beban emulsi 35..... 78
Gambar 4.22. Emisi HC vs Beban Emulsi 30..... 79
Gambar 4.23 Emisi HC vs Beban Emulsi 35..... 79
Gambar 4.24 Emisi CO vs Beban Emulsi 30..... 81
Gambar 4.25. Emisi CO vs Beban Emulsi 35..... 81
Gambar 4.26 power, sfc, effisiensi emulsi 30..... 82
Gambar 4.27 smoke, HC, CO emulsi 30 82
Gambar 4.28 power, sfc, efisiensi emulsi 35 84
Gambar 4.29 smoke, HC, CO emulsi 35 85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Fisik Ester Sorbitan (Norn, 2015) 10
Tabel 2.2 Karakteristik Emulsifier *Tween* (Norn, 2015)..... 11
Tabel 2.3 Nilai Properties Pertamina Dex 12
Tabel 2.4 Komparasi Properties Bahan bakar Diesel dengan Emulsi Air 13
Tabel 3.1 Parameter Penelitian 43
Tabel 4.1 Pengamatan Emulsi Stability (ES)..... 47
Tabel 4.2 Pengamatan Volume Emulsi 49
Tabel 4.3 Nilai Properties Emulsi..... 50
Tabel 4.3 Hasil Pengambilan Data Percobaan 53

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin diesel merupakan kelas mesin yang dominan dalam transportasi massal, industri, konversi energi, dan sektor pertanian. Terlepas dari kelebihan tersebut, mesin diesel adalah salah satu kontributor pencemaran utama bagi lingkungan. Emisi dari mesin diesel dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan seperti hujan asam, memperburuk sistem pernafasan manusia, efek rumah kaca dan merusak lapisan ozon.

Disisi lain Energi merupakan unsur yang penting bagi kehiduan manusia, tanpa adanya energi kehidupan akan terganggu dan tidak dapat menghasilkan sesuatu.pemanfaatan energi sangat luas sekali, mulai dari kebutuhan sehari - hari hingga transportasi. Energi tidak dapat diciptakan, tetapi energi dapat diubah menjadi engergi lain yang lebih praktis dan mudah digunakan. Terdapat banyak sumber energi yang ada di bumi seperti minyak bumi, batu bara, gas alam, energi matahari, energi angin , energi air dan sebagainya.

Untuk itu dibutuhkan beberapa energi alternatif sebagai pengganti dan juga untuk menjaga tersedianya energi yang dibutuhkan oleh masyarakat, salah satunya adalah emulsi. Emulsi adalah air yang terlarut didalam minyak dengan bantuan zat pengikat (surfaktan), seperti minyak fosil dengan minyak nabati, minyak fosil dengan air, sehingga penggunaan bahan bakar minyak bumi dapat berkurang. Beberapa peneliti telah menunjukkan bahwa pengunaan air ke dalam bahan bakar diesel yang diemulsikan dapat secara signifikan menurunkan tingkat polusi partikel dan NOx [1, 2]. Menurut Lin dan Wang, selama proses pembakaran emulsi teratomisasi menjadi butiran halus melalui nosel. Karena titik didih air lebih rendah dari pada bahan bakar minyak, maka air akan mengalami penguapan sehingga lapisan minyak yang membungkus air akan terpecah dan menjadi butiran yang lebih kecil. fenomena ini disebut juga micro explosion. [3].

Pada tahapan ini proses microexplosion dan pufing, microexplosion droplet pecah menjadi butiran kecil dengan cepat. Sementara pufing meningkatkan butiran dalam pengkabutan [4, 5]. Menurut Morozumi dan Saito microexplosion dipengaruhi oleh volalitas bahan bakar dasar, jenis emulsi dan kandungan air, peningkatan kandungan emulsifier meningkatkan suhu microexplosion [6]. Menurut Fun dkk mekanisme microexplosion dan ketergantungan pada berbagai parameter akan mempengaruhi microexplosion [7].

Penelitian yang dilakukan Abu Zaid yang berkaitan dengan torsi, daya, *brake specific fuel consumption* dan *brake termal effisiensi*, dengan memvariasikan persentase volume air dari 0 hingga 20% dalam W/D dengan interval 5% [8]. Alahmer dkk meneliti kinerja mesin dengan memvariasikan presentase volume air 0 hingga 30% air dalam emulsi diesel (W/D) dengan interval 5% [9].

Penguapan air karena penyerapan panas di sekitarnya akan menurunkan suhu di ruang bakar sehingga menurunkan NOx [10, 11]. Penambahan kadar air sedikit pada bahan bakar emulsi NO dan NOx meningkat, sedangkan untuk penambahan kadar air yang banyak NO dan NOx menurun [12]. Pada penelitian Ghojel dkk penurunan emisi HC 60-90% pada W/D 13% air berdasarkan volume [13]. Penelitian yang dilakukan Samec dkk penurunan emisi Hidrokarbon 52% dan 33%, sedangkan untuk soot emission berkurang 68% dan 75% dibandingkan dengan bahan bakar diesel murni pada kandungan water in diesel masing-masing 10% dan 15% [14, 15].

Standar emisi kendaraan (standar Euro) adalah contoh standar emisi yang dibangun khusus untuk kendaraan dan dikategorikan berdasarkan pembentukan nitrogen oksida (NOx), hidrokarbon (HC), materi partikel (PM) dan karbon monoksida (CO) dalam emisi (Ithnin dkk., 2015). Oleh karena itu, ada kebutuhan mendesak untuk menciptakan teknologi tepat guna yang dapat diterapkan pada mesin saat ini. (Yahaya Khan dkk., 2014) menjelaskan bahwa salah satu kemungkinan adalah

mengembangkan solusi berbasis bahan bakar yang tidak bergantung pada perangkat keras baru untuk mengontrol proses pembakaran dan karenanya emisi. Bahan bakar alternatif termasuk etanol, bio-gas, CNG, bio-diesel. (Ashok and Saravanan, 2007) menjelaskan bahwa rasio bahan bakar emulsi ethanol dalam disel (50:50) dapat meningkatkan brake thermal efficiency dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik serta mengurangi particulate matter yang ada pada mesin diesel. Peningkatan rasio tambahan CNG pada bahan bakar diesel menghasilkan emisi oksida nitrat yang lebih rendah dibandingkan untuk masing-masing yang diamati di bawah operasi diesel normal. (Papagiannakis dkk., 2010). Penambahan air ke dalam ruang bakar juga dianggap sebagai metode pengendalian emisi yang efektif untuk mesin diesel.

Air dapat dimasukkan ke dalam ruang pembakaran dengan empat cara, yaitu, injeksi air pada *intake manifold*, injeksi air langsung dengan terpisah nosel, injeksi diesel-air-diesel bertingkat dan penggunaan diesel teremulsi air. (Sadhik Basha and Anand, 2011) Bahan bakar emulsi air-dalam-diesel (W / D) adalah bahan bakar alternatif yang menjanjikan yang dapat mengurangi emisi gas buang berbahaya, terutama emisi NOx dan PM, sekaligus meningkatkan efisiensi pembakaran. Pada penelitian (Armas dkk., 2005) menemukan bahwa dengan menggunakan bahan bakar (W/D) memiliki potensi untuk sedikit meningkatkan brake efisiensi dan secara signifikan mengurangi pembentukan NO thermal, jelaga, hidrokarbon dan PM dalam mesin Diesel. Bahan bakar emulsi adalah bahan bakar alteratif untuk mesin CI yang dapat digunakan dengan pengaturan mesin yang ada tanpa penambahan mesin tambahan (Yahaya Khan dkk., 2014).

Berdasarkan penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa performa mesin diesel dengan bahan bakar W/D terjadi penurunan efisiensi termal dan campuran bahan bakar kaya dengan penurunan AFR dibandingkan dengan bahan bakar diesel murni. Seperti apa yang dinyatakan oleh (Fahd dkk., 2013) bawah bahan bakar W/D akan membuat emisi CO meningkat pada kondisi beban rendah dan

beban parsial. Sehingga diperlukan treatment untuk mengatasi hal tersebut dengan cara memvariasikan *equivalence ratio* dengan penambahan *supercharger* untuk menambah *mass flow rate udara* dapat mempercepat durasi pembakaran, dan meningkatkan tekanan silinder. Sehingga pada penelitian ini ingin diketahui pengaruh penambahan *mass flow rate* udara masuk pada ruang bakar dengan menggunakan *electric supercharger* pada mesin diesel diamond tipe DI 800 yang dioperasikan terhadap proses pembakaran yang secara spesifik ditunjukkan oleh *Spesific fuel consumtion*, Daya, dan torsi yang dihasilkan tekanan silinder, dan emisi yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pengunaan emulsi terhadap performa *engine* dimulai dari pembuatan emulsi, uji stabilitas, uji properties, serta uji semprotan ?
2. Bagaimana pembentukan emisi yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar emulsi ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *mass flow rate* udara kedalam ruang bakar terhadap performa *engine* dengan memvariasikan arus listrik sebesar 8 Volt, 10 Volt, dan 12 Volt pada *electric supercharger* menggunakan *voltage regulator ?*

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan emulsi terhadap performa *engine* dimulai dari pembuatan emulsi, uji stabilitas, uji properties, serta uji semprotan.
2. Untuk mengetahui emisi yang dihasilkan saat menggunakan bahan bakar emulsi
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *mass flow rate* udara kedalam rang bakar terhadap performa *engine*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan tidak terlalu melebar dari tujuan yang ingin di capai, maka perlu ditentukan batas permasalahannya, sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin diesel merk diamond DI800
2. Temperatur udara lingkungan dianggap ideal
3. Bahan bakar yang digunakan adalah solar yang di emulsikan dengan air dan pertamina dex sebagai pembanding
4. Penambahan *mass flow rate* udara menggunakan *electric supercharger* dengan voltage 8v, 10v, dan 12v
5. Tidak mebahas reaksi kimia yang terjadi
6. Bahan bakar emulsi yang digunakan untuk uji performa engine emulsi yang paling stabil.
7. Pengujian pada *engine* dilakukan di Lab Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Jurusan Teknik Mesin ITS
8. Pembutan emulsi dengan kadar air sebanyak 30 % sampai 50% dengan interval 5%

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi khususnya pada pengguna mesin diesel menggenai pengaruh penggunakan bahan bakar emulsi terhadap performa engine serta kadar polusi yang dihasilkan dari engine tersebut setelah menggunakan ban bakar emulsi

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang dipakai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. **Bab I. Pendahuluan**
   Pada bab ini berisi latar belakang dibuatnya tugas akhir, rumusan masalah, tujuan penulisan tugas akhir, batasan masalah dan sistematika penulisan.
2. **Bab II. Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisi mengenai teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir ini secara umum khususnya yang berhubungan dengan komponen utama dan komponen penunjang emulsi *water in diesel*, penjelasan tentang bahan bakar,serta perhitungan performa engine.

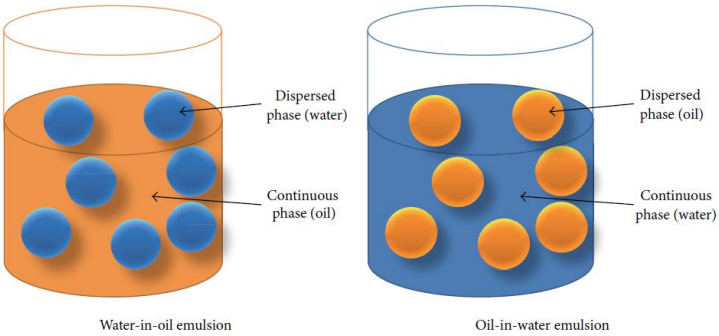
3. **Bab III. Metodologi**
   Pada bab ini membahas tentang metode pengambilan data, perhitungan, perencanaan data hingga pengaplikasian pada *engine* dan langkah analisis data mulai dari persiapan hingga kesimpulan.
4. **Bab IV. Perhitungan dan Simulasi**
   Pada bab ini menguraikan hasil perhitungan dari daya, torsi, effisiensi dari mesin diesel terebut.
5. **Bab V. Penutup**
   Pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari keseluruhan proses penyusunan tugas akhir dan hasil dari perhitungan untuk mengetahui performance yang dihasilkan, yang dimaksud dengan perhitungan torsi, daya, Nox dll.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Emulsi

Emulsi merupakan suatu sistem yang tidak stabil secara termodinamika dengan kandungan paling sedikit dua fase cair yang tidak dapat bercampur, satu diantaranya didispersikan sebagai globula (butir – butir kecil) dalam fase cair lain seperti air dan minyak. Ketidak stabilan kedua fase ini dapat dikendalikan menggunakan suatu zat pengemulsi/emulsifier atau emulgator. Terdapat beberapa jenis emulsi, mulai dari yang sederhana hingga kompleks (Pawlik *et al.*, 2013). Sistem emulsi minyak dalam air (M/A) atau *oil in water* (O/W) adalah sistem emulsi dengan minyak sebagai fase terdispersi dan air sebagai fase pendispersi. Dalam sistem despersi cairan yang terdispersi di sebut fase dispers, sedankan cairan dimana terdapat dispers disebut medium dispers. Emulsi tersebut dapat ditemukan dalam beberapa bahan pangan yaitu mayonnaise, susu, krim dan adonan roti. Berkebalikan dengan M/A, emulsi air dalam minyak (A/M) atau *water in oil* (W/O) adalah emulsi dengan air sebagai fase terdispersi dan minyak sebagai fase pendispersi. Jenis emulsi ini dapat ditemukan dalam produk margarin dan mentega (Winarno, 1997).

Emulsi rangkap *(duplex emulsion)* merupakan jenis emulsi yang lebih kompleks dibandingkan emulsi W/O dan O/W. Emulsi rangkap merupakan emulsi yang tersusun oleh mikrostruktur kompleks dimana droplet yang terdispersi mengandung droplet dengan ukuran lebih kecil di bagian dalamnya. Metode emulsifikasi ini digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, pangan dan pemisahan kimiawi. Jenis emulsi ini terdiri dari emulsi ganda *(double emulsion)* dan emulsi berkelipatan *(multiple emulsion)* (Aserin, 2008).



Gambar 2.1 konsep W/O - O/W emulsi

2.1.1 Tipe Emulsi

Dari hasil yang didapat, emulsi mempunyai beberapa tipe yaitu :

1. Tipe O/W (Oil in Water)
2. Tipe W/O (Water in Oil)
3. Tipe W/O/W (Water in Oil in Water)
4. Tipe O/W/O (oil in Water in Oil)

Tipe w/o/w adalah emulsi Multiple (ganda) dimana fase air teremulsi didalam fase minyak, Kemudian emulsi yang terjadi water in oil teremulsi lagi didalam air menjadi water in oil in water. Demikian pula untuk tipe o/w/o.

2.1.2 Tujuan Emulsi

Tujuan emulsi adalah untuk membuat suatu sediaan yang stabil dan rata dari dua cairan yang tidak dapat bercampur. (Ansel, 1989).

2.1.3 Zat Pengemulsi

Pemilihan zat pengemulsi sangat penting dalam menentukan keberhasilan pembuatan suatu emulsi yang stabil. Agar berguna dalam preparat farmasi, zat pengemulsi harus

mempunyai kualitas tertentu, diantaranya harus dapat dicampurkan dengan bahan formulatif lainnya, tidak mengganggu stabilitas dari zat terapeutik, tidak toksik dalam jumlah yang digunakan, serta mempunyai bau, rasa, dan warna yang lemah (Ansel, 1989; Gennaro, 1990).

Zat pengemulsi dapat digolongkan berdasarkan sumber sebagai berikut:

a. Golongan karbohidrat, seperti gom, tragakan, agar, dan pektin. Bahan-bahan ini koloid hidrofilik yang membentuk selaput multimolekul di sekeliling tetesan-tetesan minyak yang terdispersi dalam emulsi m/a.
b. Golongan protein, seperti gelatin, kuning telur, dan kasein. Zat-zat ini menghasilkan emulsi m/a.
c. Golongan alkohol, seperti stearil alkohol, setil alkohol, gliseril monostearat, kolesterol, dan turunan kolesterol. Bahan-bahan ini digunakan terutama sebagai zat pengental dan penstabil untuk emulsi m/a dari lotio dan salep tertentu yang digunakan sebagai obat luar.
d. Golongan surfaktan (sintetik), bisa yang bersifat anionik, kationik, dan nonionik yang diadsorpsi pada antarmuka minyak-air untuk membentuk selaput monomolekul dan mengurangi tegangan antarmuka.
e. Golongan zat padat terbagi halus, seperti bentonit, magnesium hidroksida, dan alumunium hidroksid yang diadsorpsi pada antarmuka antara dua fase cair taktercampurkan dan membentuk suatu selaput partikel disekitar globul terdispersi (Ansel, 1989; Martin, dkk., 2011).

2.1.4 Emulsifier atau Surfaktan

Emulsifier atau Emulgator adalah suatu zat atau bahan tambahan sebagai pereaksi agar zat terdispersi, zat ini dapat menurunkan teganggan permukaan sehingga 2 jenis cairan yang memiliki perbedaan tegangan permukaan dapat bercampur.

a. Span

Ester asam lemak sorbitan pertama kali diperkenalkan secara komersial tahun 1938 oleh Perusahaan Atlas Powder dengan nama dagang '*Span*'. Ester asam lemak sorbitan merupakan turunan dari reaksi sorbitol dengan asam lemak (Bash, 2015). *Span* merupakan jenis emulsifier nonionik lipofilik dengan nilai HLB rendah yang memiliki berat molekul rendah dan permukaan aktif (Hasenhuettl, 1997). Nomenklatur dan karakteristik fisik dari masing-masing ester sorbitan dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik Fisik Ester Sorbitan (Norn, 2015)

Nama IUPAC	Nama Komersial	Formasi Fisik (25°C)	HLB (±1)
Sorbitan monolaurate	*Span* 20	Cair	8,6
Sorbitan monopalmitate	*Span* 40	Padat	6,7
Sorbitan monostearate	*Span* 60	Cair	4,7
Sorbitan monooleate	*Span* 80	Padat	4,3
Sorbitan tristearate	*Span* 65	Cair	2,1
Sorbitan trioleate	*Span* 85	Padat	1,8

b. Tween

Polyoxyethylene (20) *sorbitan monooleate* atau lebih dikenal dengan polisorbat diperkenalkan oleh Perusahaan Atlas Powder pada tahun 1942 dengan nama dagang komersial '*Tween*' (Bash, 2015). *Tween* merupakan modifikasi dari ester sorbitan dengan etilen oksida. Emulsifier ini memiliki karakteristik fisik berwarna kuning hingga orange bening, cair dan berminyak. *Tween* bersifat hidrofilik karena panjangnya rantai polioksietilen. Nomenklatur dan karakteristik fisik *Tween* dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Karakteristik Emulsifier *Tween* (Norn, 2015)

Nama IUPAC	Nama Komersial	Nama Lain	Formasi Fisik (25°C)	HLB (±1)
Polysorbate 20	*Tween* 20	*Polyoxyethylene (20) sorbitan monolaurate*	Cair	16,7
Polysorbate 40	*Tween* 40	*Polyoxyethylene (20) sorbitan monopalmitate*	Cair	15,6
Polysorbate 60	*Tween* 60	*Polyoxyethylene (20) sorbitan monostearate*	Gel	14,9
Polysorbate 80	*Tween* 80	*Polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate*	Cair	15,0
Polysorbate 65	*Tween* 65	*Polyoxyethylene (20) sorbitan tristearate*	Padat	10,5
Polysorbate 85	*Tween* 85	*Polyoxyethylene (20) sorbitan trioleate*	Cair	11,0

2.2 Bahan Bakar

Bahan bakar solar diperoleh dari destilasi pendidihan minyak mentah (*crude oil*) pada suhu 250^0C hingga 370^0C. Hidrokarbon yang terdapat didalamnya terdiri dari parafin, naphtalene, olefin dan aromatik dengan jumlah karbon yang bervariasi 12 sampai 18. Bahan bakar solar diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu fossil diesel-1D yaitu bahan bakar untuk daerah beriklim dingin, fossil diesel-2D yaitu bahan bakar untuk diesel otomotif dan stasioner putaran menengah keatas serta, fossil diesel-4D yaitu bahan bakar untuk mesin diesel stasioner putaran rendah. Bahan bakar fossil diesel-2D dikenal dengan istilah HSD (high speed diesel).

Bahan bakar untuk diesel di Indonesia memiliki beberapa varian antara lain solar, biosolar, pertamina dexlite, dan pertamanina dex. Dari beberapa jenis tersebut yang membedakan

adalah properties dari bahan bakar tersebut antara lain: nilai cetane, nilai titik nyala, nilai berat jenis, dan nilai bahan pengotor atau nilai residu carbon. Berikut adalah salah satu nilai properties dari pertamina dex

Tabel 2.3 Nilai Properties Pertamina Dex

SPESIFIKASI PERTAMINA DEX

NO.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE UJI	
			MIN	MAKS	ASTM	LAIN
1.	Bilangan Cetana Angka Setana	-	53	-	D 613	
	atau Indeks Setana	-	48	-	D 4737	
2.	Berat Jenis @ 15 °C	kg/m^3	820[1)]	860	D 4052 / D 1298	
3.	Viskositas @ 40 °C	mm^2/sec	2,0	4,5	D 445	
4.	Kandungan Belerang	% m/m	-	0,05[2)]	D 2622 / D 4294 [*)]	
5.	Distilasi :				D 86	
	Temp. @ 90 % [3)]	°C	-	340		
	Temp. @ 95 % [3)]	°C	-	360		
	Titik Didih Akhir	°C	-	370		
6.	Titik Nyala	°C	55	-	D 93	
7.	Titik Tuang	°C	-	18	D 97	
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,3	D 4530	
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304 [**)]	
10.	Stabilitas Oksidasi	gr/m^3	-	25	D 2274	
11.	Biological Growth [***)]	-	Nihil			
12.	Kandungan FAME [***)]	% v/v	-	10		
13.	Kandungan metanol & etanol	% v/v	Tak terdeteksi		D 4815	
14.	Korosi Bilah Tembaga	merit	-	Kelas 1	D 130	
15.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D 482	
16.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473	
17.	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/gr	-	0	D 664	
18.	Bilangan Asam Total	mg KOH/gr	-	0,3	D 664	
19.	Partikulat	mg/l	-	10	D 2276	
20.	Lubrisitas (HFRR wear scar dia.@ 60 °C)	mikron	-	460	D 6079	CEC F-06-A-96
21.	Penampilan Visual	-	Jernih & Terang			
22.	Warna	No. ASTM	-	1,0	D 1500	

Sedangkan bahan bakar emulsi merupakan campuran antara bahan bakar diesel murni dengan air, dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan [24] didapatkan properties sebagai berikut :

Tabel 2.4. Komparasi Properties Bahan bakar Diesel dengan Emulsi Air

Fuel Properties				
Fuel	Density at 15 °C (kg/m³)	Viscosity at 40 °C (mm²/s)	Flash point °C	Heating value (MJ/kg)
BD	831.4	2.4	62	43.8
5% W/D	839.8	4.2	69	42.9
10% W/D	845.1	4.4	74	42.1
15% W/D	853.4	4.7	78	41.2
20% W/D	857.2	4.9	83	40.4
EN 590:2009	820–845	2–4.5	Above 55	NA

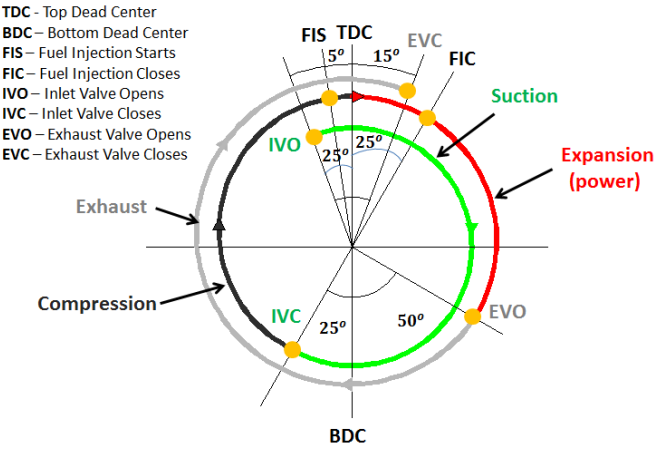
2.3 Motor Diesel

2.3.1 Pembakaran Motor Diesel

Motor diesel bekerja dengan tekanan kompresi dan temperatur yang tinggi untuk membakar udara-bahan bakar. (Kawano, 2011)[23] menjelaskan bahwa motor diesel hanya menghisap udara luar murni, kemudian dikompresikan dengan rasio tekanan tinggi sebesar (14-22:1). Pada saat langkah kompresi sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan yang sangat tinggi sebesar 175-300 kgf/cm^{2}dalam bentuk butiran-butiran halus dan lembut. butiran-butiran lembut bahan bakar tersebut bercampur dengan udara bertemperatur tinggi antara 450^0-550^{0}C di dalam ruang bakar dan menghasilkan pembakaran.

Dalam pembakaran mesin diesel dibutuhkan waktu injeksi bahan bakar yang tepat agar terjadi pembakaran. Waktuinjeksi atau yang biasa disebut start of injection (SOI) adalah titik awal penyemprotan bahan bakar. (Pulkrakbek, 2004) mendeskripsikan bahwa waktu injeksi adalah titik awal atau sudut saat penyemprotan bahan bakar menuju ruang bakar. Waktu injeksi sangat menentukan proses pembakaran di dalam silinder sehingga dapat mempengaruhi performa dan emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel, termasuk yang menggunakan *dual fuel*.

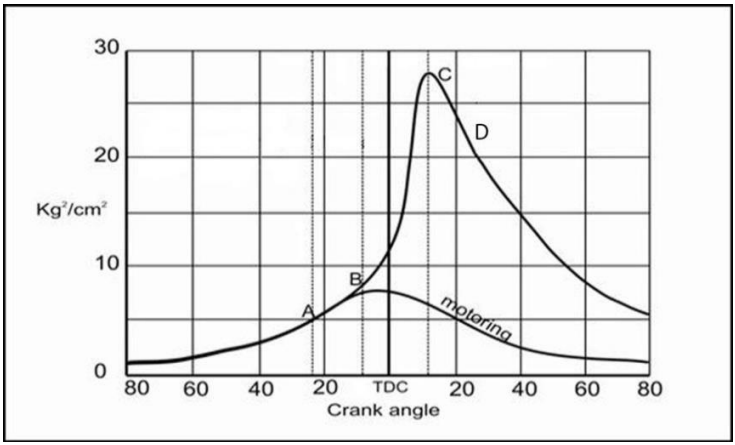
Durasi injeksi bahan bakar juga harus sesuai untuk mencapai bahan bakar yang efisien. Durasi injeksi bahan bakar adalah lama waktu bahan bakar diinjeksikan menuju ruang bakar. Untuk mempemudah mengamati waktu dan durasi injeksi bahan bakar menggunakan diaram derajat Derajat pengapian mesin diesel yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.2. Derajat Pengapian motor diesel

2.3.2 Tahap Pembakaran Pada Motor Diesel

Untuk terjadinya pembakaran pada ruang bakar, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, antara lain : adanya campuran yang dapat terbakar, adanya sesuatu yang menyulut terjadinya pambakaran, stabilitasi dan propagasi dari soi dalam ruang bakar. Proses pembakaran pada motor diesel memiliki beberapa tahap yang digambarkan dalam diagram



Gambar 2.3. Tahap Pembakaran pada motor diesel [25]

a. Tahap Pertama

Tahap ini disebut juga *Ignition Delay Period* yaitu area dalam rentang A – B pada gambar 2.5. Tahap ini merupakan periode atau rentang waktu yang dibutuhkan bahan bakar ketika saat pertama kali bahan bakar diinjeksikan (titik A) hingga saat pertamakali muncul nyala pembakaran (titik B). Artinya, selam periode ini biasanya di pengaruhi oleh *properties* yang dimiliki bahan bakar yaitu temperatur terbakiar sendiri bahan bakar, tekanan injeksi atau ukuran droplet, sudut awal injeksi, rasio kompresi, temperatur udara masuk, temperatur cairan pendingin, temperatur bahan bakar, tekanan udara masuk, putaran motor diesel, rasio udara- bahan bakar (AFR), ukuran motor jenis ruang bakar.

b. Tahap Kedua

Pada tahap ini terjadi apa yang disebut *Rapid or Uncontrolled Combustion* yang masksudnya adalah periode awal pembakaran hingga flame mulai bekembang yang diindikasikan oleh area B-C pada gambar 2.5. bahan bakar berupa droplet – droplet diselubungi oleh udara bertemperatur tinggi, sehingga panas yang diterima akan menguapkan droplet

– droplet bahan bakar tersebut. Bagian terluar droplet – droplet tersebut yang lebih dahulu menerima panas dan menguap kemudian terbakar. Panas yang ditimbulkan oleh pembakaran tersebut naik sangat drastis dan memicu proses yang sama pada bagian lain yang belum terbakar dengan cepat dan tidak beraturan. Proses ini menyebabkan kenaikan tekanan yang sangat besar.

c. Tahap Ketiga

Pada tahap ini terjadi apa yang disebut *Controlled Combustion* seperti ditunjukkan pada area C-D pada gambar 2.5 dimana bahan bakar segera terbakar setelah diinjeksikan. Hal ini disebabkan nyala pembakaran yang terjadi pada periode sebelumnya bergerak bersama menuju droplet -droplet yang baru diinjeksikan. Pembakaran dapat dikontrol dengan sejumlah bahan bakar yang diinjeksikan bahan bakar keruang bakar.

d. Tahap Keempat

Meskipun pada tahap ketiga telah selesai proses injeksi bahan bakar, kenyataannya masih ada bahan bakar yang belum terbakar seluruhnya. Dalam hal ini nyala pembakaran terus berkembang membakar bahan bakar yang tersisa pada ruang bahan bakar. Periode ini disebut dengan *after burning* yang ditunjukkan oleh area setelah titid D pada gambar 2.5 apabila kenyataannya ada bahan bakar yang belum terbakar sementara piston telah bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) untuk melakukan langkah buang, maka sisa – sisa bahan bakar tersebut akan ikut keluar bersama gas buang sebagai *unburn fuel*.

2.4 Unjuk Kerja Motor Diesel

Karakteristik operasi dan unjuk kerja dar mesin diesel biasanya berhubungan dengan :

2.4.1 Daya

Daya mesin merupakan daya yang dihasilkan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran digunakan beban lampu

dengan daya 200 watt – 2000 watt. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif pada generator (Ne). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus, Kawano [23]

$$Ne = \frac{V \; x \; l \; x \; Cos \; \varphi}{\eta \; generator \; x \; \eta \; transmisi} \; (Watt) \qquad (2.1)$$

Dengan :

Ne : Daya mesin (W)
V : Teganggan listrik (volt)
I : Arus listrik
η_{gen} : Effisiensi mekanisme generator
η_{trans} : Effisiensi transmisi
Cos θ : Faktor daya listrik (Cos φ) = 1

2.4.2 Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah kerja dalam satu menit dibagi putaran mesin, torsi memiliki satuan N.m (SI) atau *ft.lb* (British) dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terperosok. Moment torsi dihubungkan dengan persamaan seperti berikut, Kawano[23]

$$Mt = \frac{60 \; x \; Ne}{n} (N.m) \qquad (2.2)$$

Dengan :

Mt : torsi (*N.m)*
Ne : Daya (W)
n : Putaran mesin (rev/min)

Dari persamaan tersebut, torsi sebanding dengan daya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar daya yang diberikan mesin, maka torsi yang dihasilkan akan mempumyai kecenderungan untuk semakin besar. Semakin besar putaran mesin, maka torsi yang dihasilkan semakin kecil.

2.4.3 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 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.

Perumusan *bmep*, Kawano[23] adalah :

$$bmep = \frac{Ne\ x\ z\ x\ 60}{A\ x\ l\ x\ n\ x\ i}\ (\mathrm{N/m^2}) \qquad (2.3)$$

Dengan :

Ne : Daya poros mesin (Watt)
A : Luas penampang piston (m^2)
L : Panjang langkah piston (m)
i : Jumlah silinder
n : putaran mesin diesel (rpm)
z : 1 (mesin 2 langkah) atau 2 (mesin 4 langkah)

2.4.4 *Specific Fuel Consumption* (*sfc*)

Specific fuel consumption (*Sfc*) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) *hp* selama 1 (satu) jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar m (kg) dalam waktu s (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar *bhp* (*HP*) maka pemakaian bahan bakar perjam ˙, Kawano[23] adalah :

$$\dot{m}_{bb}\ \frac{m_{bb}}{s}\ (\mathrm{kg/s}) \qquad (2.4)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

$$sfc = \frac{3600\ x\ \dot{m}_{bb}}{Ne}\ (\mathrm{kg/KWh}) \qquad (2.5)$$

Dengan :

Ne : Daya poros mesin (Watt
ṁbb : *mass flowrate* bahan bakar per jam (kg/jam)

1 : jam : 3600 *s*

2.4.5 Effisiensi Thermal (*ηth*)

Efisiensi termal 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:

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\text{Energi panas bahan bakar / satuan waktu yang diberi}} \text{ x } 100\% \quad (2.6)$$

$$\eta_{th} = \frac{632}{\text{sfc .Q}} \text{ x } 100\% \quad \text{(tanpa daya supercharger)} \quad (2.7)$$

$$\eta_{th} = \frac{632}{\text{sfc .Q.f(blower)}} \text{ x } 100\% \quad (2.8)$$

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

2.5 SuperCharger

Peningkatan kapasitas udara sebuah mesin dikenal sebagai supercharging. Perangkat yang digunakan untuk meningkatkan kerapatan udara ini dikenal sebagai supercharger. *Supercharger* adalah blower atau kompresor yang memberikan muatan lebih padat ke mesin. Untuk instalasi kendaraan darat, digunakan untuk menghasilkan keuntungan pada *output* daya mesin.

Supercharger elektrik adalah sebuah kompresor gas yang digunakan untuk memompa udara ke silinder mesin pembakaran dalam, tambahan massa oksigen yang dipaksa masuk ke silinder untuk membuat mesin membakar lebih banyak bahan bakar, dan meningkatkan efisiensi volumetrik mesin serta membuat lebih bertenaga. Sebuah supercharger elektrik digerakkan secara elektrik oleh baterai aki.

2.6 Rasio Udara Bahan Bakar Mesin Diesel

Pada mesin diesel untuk kecepatan tertentu dan tidak berhubungan dengan beban, udara suplai hampir konstan memasuki silinder. Dari situ terkadang mesin diesel diberi nama

motor constant air supply. Pada perubahan beban jumlah bahan bakar berubah, yang merubah rasio udara-bahan bakar. *Overall* rasio udara-bahan bakar dapat bervariasi dari 100:1 sampai 20:1, pada beban penuh, tidak sebagaimana pada motor SI (Spark Ignition) yang mempunyai rasio udara-bahan bakar dekat stoikiometri dari tanpa beban sampai beban penuh.

Untuk motor SI, motor akan menggunakan campuran sedikit lebih kaya (misal 13,5:1 atau 14:1). Sedangkan pada motor CI (Compress Ignition) atau mesin diesel, akan menggunakan campuran yang sedikit miskin (misal 20:1). Walaupun indikasi efisiensi termal lebih tinggi pada campuran lebih miskin, namun daya output dan mep menurun.

Daya output dan mep maksimum adalah yang diinginkan pada motor CI atau mesin diesel, untuk itu pembakaran diusahakan sedekat mungkin dengan campuran stoikiometri pada beban penuh. Namun dengan kurang baiknya distribusi bahan bakar dan terbatasnya waktu pencampuran dengan udara menghasilkan asap yang berlebihan bila dioperasikan dekat rasio kimia tepat. Maka dari itu motor CI harus diopersikan pada udara lebih (untuk rasio udara-bahan bakar 20-23:1, dibutuhkan udara lebih 35-50%). Kawano [23].

2.6.1 Pembakaran Stoikiometri

Jika ketersediaan oksigen cukup, bahan bakar hidrokarbon akan teroksidasi secara menyeluruh. Karbon yang ada dalam bahan bakar akan diubah menjadi karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen akan menjadi uap air (H_2O). Pembakaran yang demikian disebut dengan pembakaran stoikiometri. Persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon C_xH_y dengan udara dapat dituliskan sebagai berikut.

$$C_xH_y + (O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow bCO_2 + cH_2O + dN_2 \quad (2.9)$$

Dari persamaan (2.1) bisa dicari kesetimbangannya, yaitu.

Kesetimbangan C : $x = b$

Kesetimbangan H : $y = 2c \rightarrow c = y/2$

Kesetimbangan O : $2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = x + y/4$
Kesetimbangan N : $2(3{,}76)a = 2d \rightarrow d = 3{,}76a \rightarrow d = 3{,}76(x + y/4)$
Maka persamaan 2.1 di atas menjadi

$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O + 3{,}76\left(x + \frac{y}{4}\right)N_2 \quad (2.10)$$

Jumlah oksigen yang di butuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

$$m_{O_2}\frac{m_{atom}O_2}{m_{atom}C_xH_y}x\ \%\ C_xH_y\left(\frac{kg}{kg}\text{bahan bakar}\right) \quad (2.11)$$

Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar *(air fuel ratio)* untuk bahan bakar hidrokarbon (CxHy) adalah sebagai berikut :

$$(A/F)_S = \frac{m_{udara}}{m_{bahan\ bakar}} = \left(\frac{(\sum n_i M_i)_{udara}}{(\sum n_i \bar{M}_i)_{bahan\ bakar}}\right. \quad (2.12)$$

$$(A/F)_S = \frac{\left(x+\frac{y}{4}\right)\bar{M}_{O_2} + 3.76\left(x+\frac{y}{4}\right)\bar{M}_{N_2}}{x\,\bar{M}_C + y\,\bar{M}_H} \quad (2.13)$$

Kawano (2011)[23] menyatakan bahwa besarnya rasio udara dan bahan bakar stoikiometri sangat bergantung pada komposisi bahan bakar hidrokarbon sehingga mempunyai rentangan 100:1 sampai dengan 20:1

2.6.2 Pembakaran Non Stoikiometri

Mekanisme pembakaran dalam aplikasinya dituntut dapat berlangsung secara cepat, sehingga sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat proses pencampuran antara udara dan bahan bakar yang tidak sempurna. Pembakaran yang seperti ini disebut dengan pembakaran non-stoikiometri. Persamaan reaksi kimia untuk pembakaran non-stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon C_xH_y dengan udara dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C_aH_\beta + \gamma\left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right)(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow \alpha CO_2 + \frac{\beta}{2}H_2O + dN_2 + eCO + fO_2 \qquad (2.14)$$

Jadi intinya pembakaran dalam motor bakar ada tiga jenis menurut komposisi rasio antara udara dengan bahan bakar, yaitu:

1. Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri
   Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO_2, uap air, dan N_2.
2. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin
   Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO_2, uap air, O_2 dan N_2.
3. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin
   Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO_2, uap air, O_2 dan N_2.

Pada pembakaran juga dikenal rasio ekivalen (λ). Berikut adalah persamaan untuk menentukan besarnya λ.

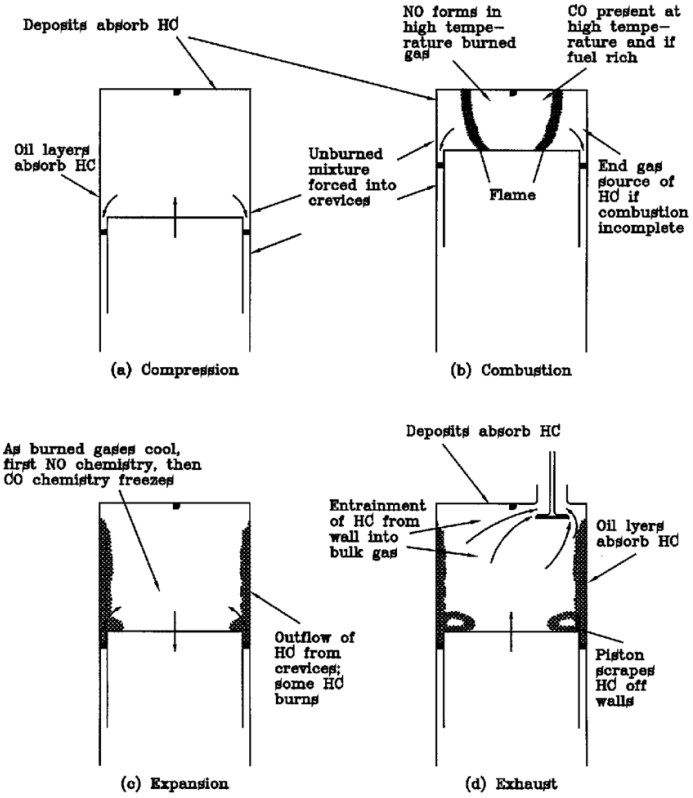
$$\lambda = \frac{(A/F)_{aktual}}{(A/F)_{stoikiometri}} \qquad (2.15)$$

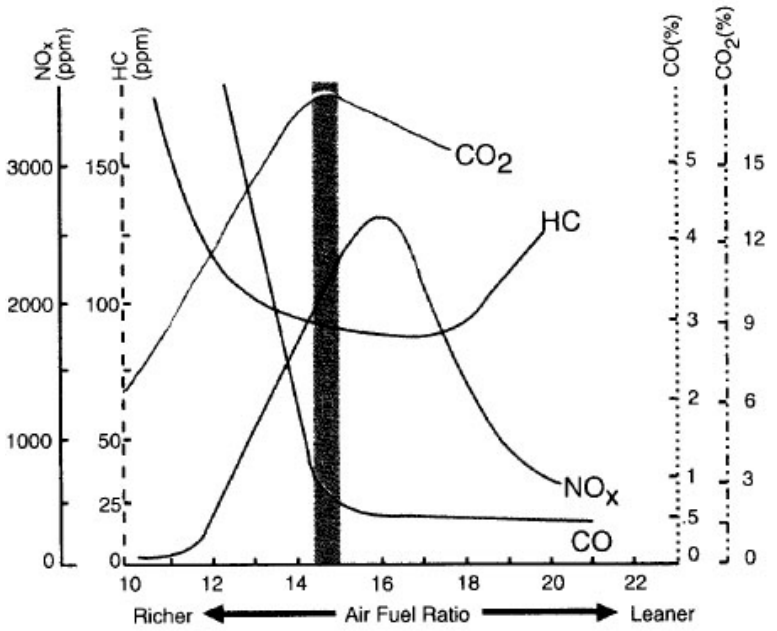
Besarnya λ untuk campuran stoikiometri adalah 1, untuk campuran miskin λ lebih besar dari 1 sedangkan untuk campuran kaya besarnya λ kurang dari 1.

2.7 Polusi Udara

Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar kedalam udara sehingga mengakibatkan kualitas udara menurun dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya (UUPLH No.23/1997 pasal 1). Polutan primer adalah polutan dimana keberadaannya di udara langsung dari sumbernya. Contoh : partikulat matter, Nitrogen Oksida (NOx), Hidrokarbon (HC), dan Karbon Monoksida (CO). Sedangkan polutan sekunder adalah polutan

primer yang bereaksi dengan komponen lain diudara, contohnya Ozon (O3) dan Peroksi Asetil Nitrat (PAN) dimana keduanya terbentuk di atmosfir melalui proses hidrolisis, petrochemical atau oksidasi (Kawano, 2011).





Gambar 2.4 (a) Mekanisme Terbentuknya Polutan. (b) Emisi Gas Buang Terhadap *Air Fuel Ratio* (Kawano, 2011)

Dari Gambar 2.6 dapat diketahui mekanisme terbentuknya polutan pada ruang bakar dan pengaruh *air fuel ratio* terhadap emisi gas buang. Penyebab utama dari terbentuknya polutan ini adalah karena pembakaran yang tidak sempurna dalam ruang bakar, sehingga menghasilkan deposit hidrokarbon di antara silinder dengan dinding ruang bakar. Gas NO terbentuk ketika temperatur tinggi, sedangkan gas CO terbentuk ketika temperatur tinggi dan bahan bakar lebih kaya daripada udara [Gambar 2.6 (a)]. Sedangkan jika *air fuel ratio* semakin kecil (campuran kaya) akan menghasilkan gas CO dan hidrokarbon lebih besar daripada campuran miskin [Gambar 2.6 (b)]. Meskipun suatu *engine* sudah melakukan pembakaran yang sesuai, perlu juga ada analisa terhadap emisi gas buangnya yang dipengaruhi oleh rasio

kompresi. Dari kedua jenis polutan diatas yang sering jadi perhatian adalah polutan primer, meskipun polutan sekunder tidak bisa dianggap ringan. Berikut ini adalah penjelasan tentang beberapa polutan primer.

2.7.1 Hidrokarbon tidak Terbakar (HC)

Hidrokarbon terjadi akibat bahan bakar yang tidak terbakar kemudian keluar begitu saja. Sebab terjadinya hidrokarbon (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalaan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan karena adanya overlap valve, sehingga HC dapat keluar melalui saluran pembuangan.

2.7.2 Karbon Monoksida (CO)

Pada pembakaran yang tidak normal, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO yang berada di dalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang. Karbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi membentuk karbon monoksida dan oksigen.

2.7.3 NOx

Diantara berbagai jenis oksida nitrogen yang ada di udara, nitrogen dioksida (NO2) merupakan gas yang paling beracun. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO2 sebesar 250 µg/m3 dan 500 µg/m3 dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat.

2.8 Penelitian Sebelumnya

2.8.1 P. Baskar, A. Senthilkumar (2016)[15]

Menurut P baskar dan A senthilkumar dalam jurnal berjudul *Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a diesel engine* dalam penelitiannya menggunakan putaran mesin 1500 rpm dengan cara memvariasikan oksigen yang masuk dalam *combustion* antaralain 21% (udara biasa), 23%, 25%, 27%. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penambahan udara 25% dalam bahan bakar dapat meningkatkan tekanan pada ruang bahan bakar menjadi 60 bar, serta dapat meningkatkan effisiensi thermal menjadi 36% saat beban maksimal, menurunkan konsumsi bahan bakar menjadi 0,3 kg/ kw.h dan juga menurunkan emisi gas buang sebanyak 15 %.

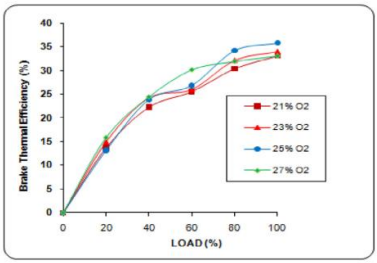


Fig. 3. Brake thermal efficiency in percent as a function of percentage of load.

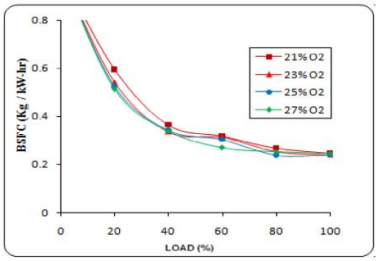


Fig. 5. Brake specific fuel consumption in Kg/kW-hr as a function of percentage of load.

2.8.2 Youcai Liang, dkk (2013)[26]

Menurut Youci Liang, dkk. dalam penelitiannya yang berjudul *Effect of oxygen enriched combustion and water–diesel emulsion on the performance and emissions of turbocharged diesel engine* menggunakan emulsi W/D 30% by volume dengan variasi oksigen 21% hingga 24% by volume menyatakan bahwa penggunaan emulsi *water in diesel* 30% menurunkan daya hingga 40,8% akibat dari nilai kalori yang turun. Dengan penambahan udara dapat meningkatkan konsentrasi campuran dengan bahan bakar. Dan dapat menurunkan nilai emisi pada gas buang sebanyak 20 %. Serta pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai Afr ideal dari mesin diesel antara 20 hingga 80[25]

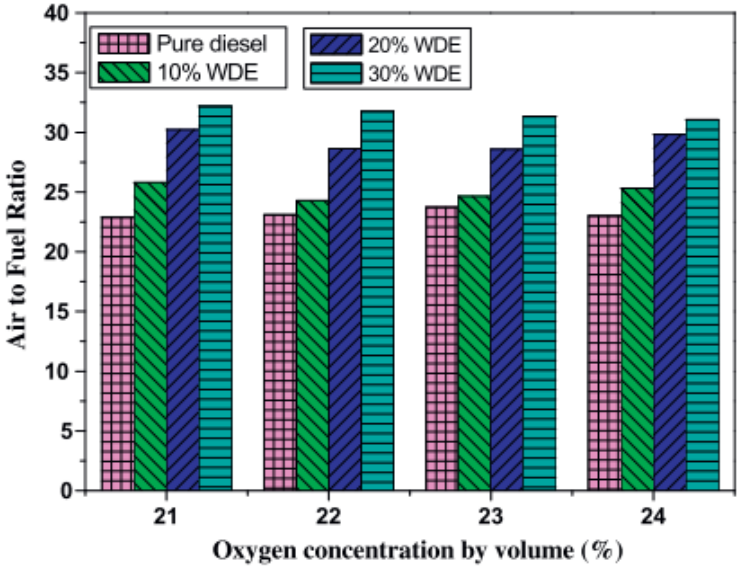
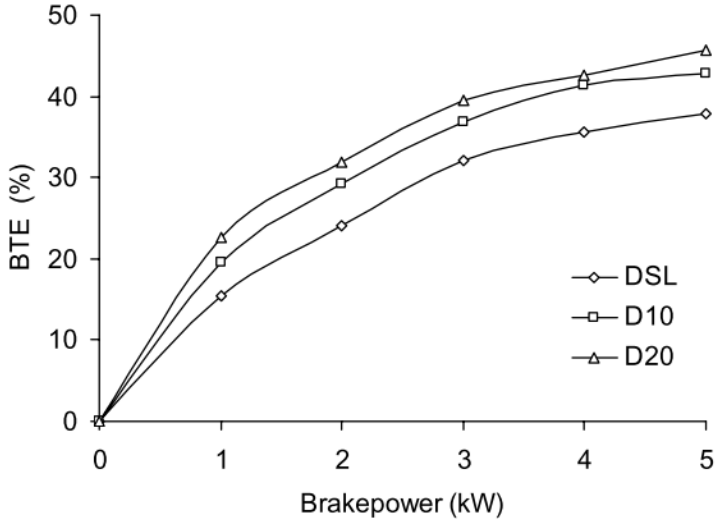
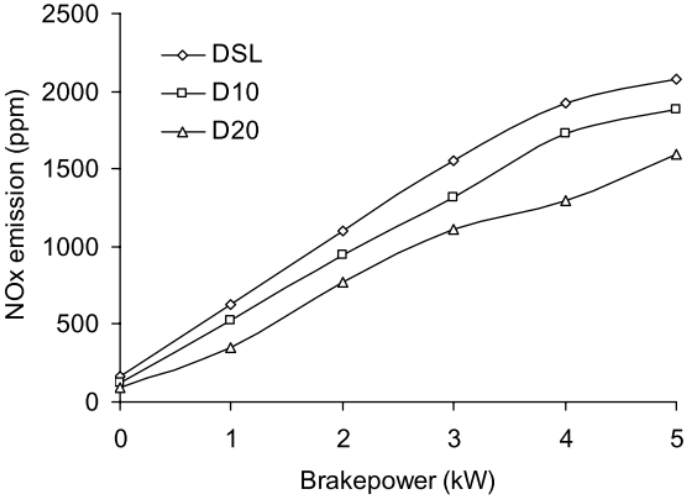


Fig. 2. Influence of OE combined with WDE on air to fuel ratio.

2.8.3 Kannan, K.,Udayakumar, M. (2009)[27]

Pada penelitian Kannan K dan M Udayakumar dalam jurnal "*NOx AND HC EMISSION CONTROL USING WATER EMULSIFIED DIESEL IN SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE"* memvariasikan bahan bakar diesel dengan air 10% hingga 20% by volume dengan putaran mesin konstan 1500 rpm dan beban maximum. Dari hasil percobaan tersebut Kannan menyatakan bahwa penggunaan W/D 20% dapat meningkatkan Break Thermal Efficiency mesin sebesar 15% lebih tinggi dibandingkan dengan diesel murni sedangkan untuk kadar emisi (Nox) turun hingga 25% dari kadar emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar diesel biasa.


50
40
30
20
10
0
BTE (%)
0
1
2
3
4
5
Brakepower (kW)
DSL
D10
D20

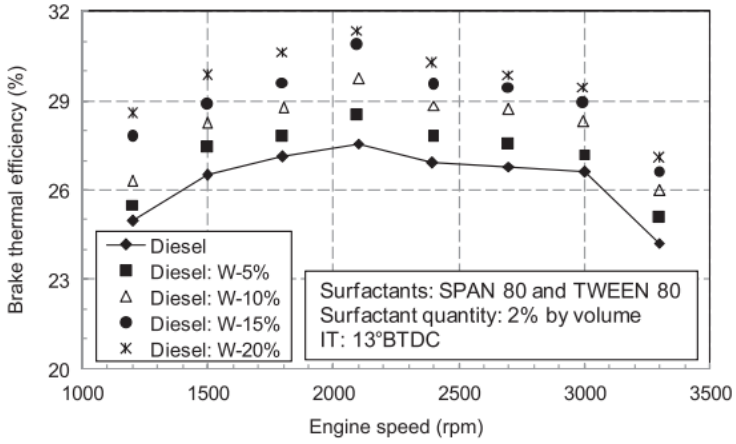

2500
2000
1500
1000
500
0
NOx emission (ppm)
0
1
2
3
4
5
Brakepower (kW)
DSL
D10
D20

2.8.4 Biplab K. Debnath, dkk. (2013)[28]

Pada penelitian Debnath Biplab K pada tahun 2013 yang berjudul "A comprehensive review on the application of emulsions as an alternative fuel for diesel engines" tentang review pembuatan, karakteristik emulsi serta penggunaan pada *engine*. Untuk pengujian ke stabilan emulsi dapat dihitung dengan cara :

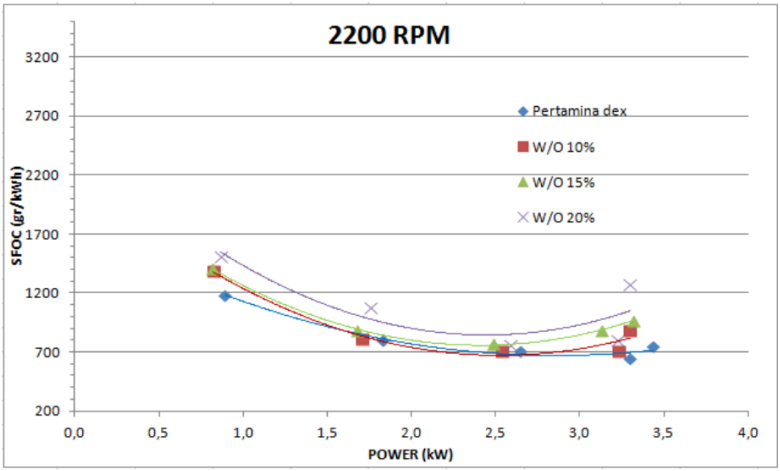
$$stabilitas\ emulsi = \frac{volume\ emulsi}{total\ volume\ cairan} x100$$

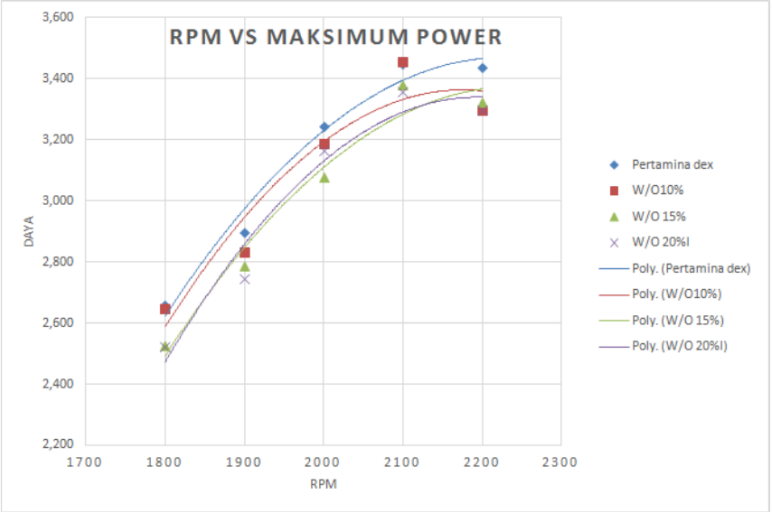
Pada hasil uji pada *engine* merujuk pada peneliatan baskar pengujian dilakukan pada variasi putaran serta bahan bakar divariasikan didapatkan bahwa penggunaan bahan bakar emulsi semakin tinggi kandungan air maka effisiensi yang didapat semakin tinggi pula. Dapat dilihat pada putaran 2100 rpm dengan menggunakan bahan bakar emulsi W-20 yang berarti kandungan air 20% effisiensi *thermal* mencapai 31% sedangkan bahan bakar disel hanya mencapai effisiensi *thermal* 27%

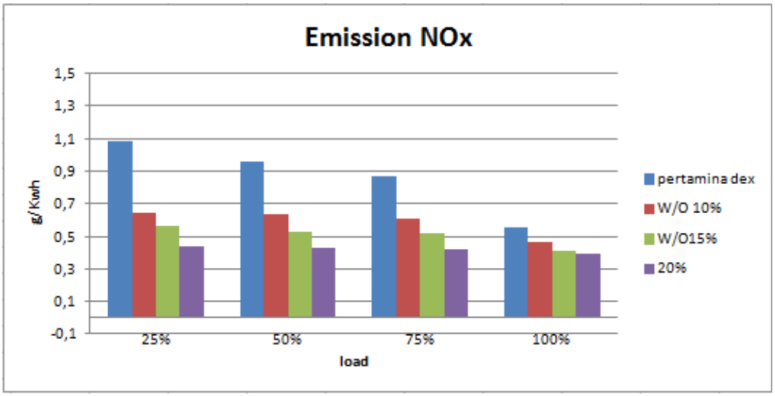


2.8.5 Benny Cahyono, dkk (2017)[29]

Pada penelitian Benny Cahyono, dkk yang berjudul "*Effect of Water in Fuel Emulsion on Performance and NOx of Diesel Engine*" dengan menggunakan eksperimen, eksperimen ini memerlukan beberapa variasi pengemisi kadar air dengan 10%, 15%, dan 20%. Variasi air yang berbeda ini sangat berpengaruh pada kinerja dan emisi NOx. Dengan menggunakan emulsi bahan bakar air 10% di SFOC telah meningkat 216,2 g / Kwh atau 11,6% dibandingkan dengan Pertamina Dex bahan bakar. Namun, air yang digunakan dalam emulsi bahan bakar 15% dan 20% dalam SFOC meningkat untuk membandingkan emulsi 10%. Efek penggunaan air dalam emulsi bahan bakar telah mengurangi emisi NOx. Air dalam emulsi bahan bakar telah berkurang 50,5%. Sedangkan pada penggunaan bahan bakar emulsi semakin besar persentasi air maka daya yang dihasilkan semakin menurun.




RPM VS MAKSIMUM POWER
DAYA
RPM
3,600
3,400
3,200
3,000
2,800
2,600
2,400
2,200
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
Pertamina dex
W/O10%
W/O 15%
W/O 20%I
Poly. (Pertamina dex)
Poly. (W/O10%)
Poly. (W/O 15%)
Poly. (W/O 20%I)


Emission NOx
g/Kwh
load
1,5
1,3
1,1
0,9
0,7
0,5
0,3
0,1
-0,1
25%
50%
75%
100%
pertamina dex
W/O 10%
W/O15%
20%

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dengan menggunakan mesin genset diesel merk Diamond dimana bahan bakar diesel diganti dengan bahan bakar emulsi dan bahan bakar pertamina dex sebagai pembanding.

Serangkaian proses penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (TPBB), Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada penelitian mengenai uji fisik emulsi dilakukan di Lab Teknik Kimia Industri. Dan penelitian mengenai karakteristik bahan bakar dilakukan di Lab Energi dan Lingkungan, LPPM ITS.

3.1 Alat Uji

Alat uji yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

a. Motor Diesel Empat Langkah,

1. *Merk* : *Diesel Diamond*
2. *Type* : Di 800
3. Model : 1 Silinder Diesel 4 langkah
4. *Bore x Stroke* : 82 mm x 78 mm
5. *Displacement* : 411 cc
6. *Max. Power* : 8 HP (6 KW) / 2400 rpm
7. *Continous Power* : 5,2 HP (4 KW)/2200 rpm
8. *Compression Ratio* : 18:1
9. *Cooling system* : *Hopper/ Condenser*
10. *Lube capacity* : 1,8 liter

b. *Generator Electrical Dynamometer*

1. *Type* : ST-6
2. *Voltage - Ampere* : 230 V – 26,1 A (AC)
3. Max AC Output : 6 KW
4. *Frequency* : 50 Hz
5. *Loading System* : *Electric Bulb System*
6. *Electric Control*: *Volt meter, Amperemeter, Switch*

c. *Electric Supercharger*

Kompresor udara yang berfungsi menekan udara tambahan ke ruang bakar *engine*.

1. Merk : " Mirage Power " *Electric Supercharger*
2. Motor : DC 12 Volt
3. RPM : 5000 rpm
4. Watt : 40W
5. Dimensi : 300 x 233 (mm)

d. *Voltage Regulator*

Voltage regulator ini digunakan untuk mengatur variasi tegangan yang dimasukkan ke *electric supercharger*.

e. *Exhaust Gas Analyze*r

Exhaust gas analyzer ini digunakan untuk menganalisa gas buang yang dihasilkan dari pembakaran mesin diesel.

f. Beban Lampu

Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 10 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 500, dan 200 Watt. Lampu-lampu tersebut disusun secara parallel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/kontak untuk pengaturan beban lampu.

g. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data percobaan adalah sebagai berikut :

1. *Flow Rate Air Meter*

   Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah *flow rate* udara yang masuk ke *intake manifold*.

2. Gelas Ukur

   Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar emulsi diesel yang dikonsumsi oleh motor diesel yaitu 5,024 ml setiap pengambilan data.

3. *Stopwatch*

   Alat ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan mesin diesel untuk mengkonsumsi bahan bakar emulsi diesel sebanyak 25 ml.

4. *Amperemeter dan Voltmeter*

   Alat ini digunakan untuk mengukur arus listrik (I) dan tegangan listrik (V) yang terjadi akibat pemberian beban pada generator listrik.

5. *Thermometer Digital*

   Alat ini digunakan untuk mengukur temperature pada mesin diesel.

6. *Tachometer Digital*

   Alat ini digunakan untuk mengukur putaran mesin.

7. *Gas Analyzer*

   Alat ini digunakan untuk mengukur emisi HC, CO, dan PM hasil dari pembakaran mesin diesel.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Prosedur Pembuatan Emulsi

1. Menyiapkan bahan bakar pertamina dex sebanyak 700ml, air 300ml, dan surfaktan jenis *span80* dan *tween80* sebanyak 2%.
2. Memasukkan bahan-bahan tersebut ke dalam gelas ukur.
3. Dilakukan pencampuran menggunakan *mixer* jenis *magnetic stirrer* dengan kecepatan putaran 2000 rpm selama 30 menit.
4. Setelah itu untuk menstabilkan emulsi, campuran tersebut dimasukkan ke dalam alat penstabil (*sonicator*) selama 60 menit.
5. Selanjutnya diamkan bahan bakar emulsi selama 1 jam, 24jam, dan 48jam. Setelahnya bahan bakar emulsi diamati dan diukur untuk menentukan stabilitas dan aktivitas emulsi,properties bahan bakar dan dilakukan uji atomisasi pada bahan bakar emulsi tersebut.
6. Ulangi langkah 1 sampai 5 dengan komposisi bahan bakar pertamina dex dan air 20%, 25%, 30%, 35%,

40% per 1000ml dan surfaktan jenis *span80* dan *tween80* sebanyak 2%.

3.2.2 Prosedur Pengujian Stabilitas dan Aktivitas Emulsi

Pengujian stabilitas dan aktivitas emulsi dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan standart ASTM D1796-04.

3.2.3 Prosedur Pengujian Properties Bahan Bakar Emulsi

a. Pengujian Densitas

Prosedur uji :

1. Kocok sampel minyak dalam kemasan aslinya supaya homogen.
2. Tuang sampel minyak ke dalam gelas silinder yang dipegang miring (30-45°).
3. Diamkan 5-10 menit agar gelembung udaranya naik atau airnya mengendap (kalau sampel mengandung air).
4. Masukkan hidrometer yang sesuai ke dalam sampel minyak tersebut perlahan-lahan. Masukkan pula termometernya sampai benang air raksanya terbenam.
5. Biarkan hidrometer tercelup selama 15-20 menit, baru lakukan pembacaan skala hidrometer dan termometer.
6. Merubah hasil pembacaan ke ASTM IP *measurement table*.

b. Pengujian Nilai Kalor

Prosedur uji :

1. Periksa kesiapan alat dan kelengkapannya.
2. Set calorimeter operation dengan mengacu pada buku petunjuk.
3. Kalibrasi bomb calorimeter dengan menggunakan benzoic acid yang mempunyai panas pembakaran 6.318 kalori/gram.

4. Letakkan bahan bakar yang akan diuji pada *sample cup* dan lakukan penimbangan.
5. Pasangkan kepala bomb pada stand penyangga, kemudian *sample cup* tadi diletakkan pada *holder bomb*.
6. Pasangkan *fuse wire* pada kedua electrode bomb, bengkokkan, atur hingga *fuse wire* terendam dalam sample dan dengan catatan tidak boleh bersinggungan dengan *sample cup*. Panjang *fuse wire* ditentukan 100 mm.
7. Tutup bomb dan kencangkan.
8. Lakukan pengisian oksigen pada bomb dengan menggunakan auto charger, tekanan ± 150 psi.
9. Tuangkan 2 liter air ke dalam *bucket*.
10. Tempatkan bomb dalam *bucket* pada posisi bagian bawah bomb duduk pada circular boss pada bagian bawah *bucket*.
11. Taruh *bucket* tersebut pada calorimeter.
12. Hubungkan kabel anoda dan katoda pada kepala bomb.
13. Tutup calorimeter lalu turunkan thermometer sampai terendam sehinggan temperature dapat terbaca.
14. Hidupkan motor (pengaduk)
15. Lakukan pembacaan termometer jacket dan bucket.
16. Temperatur jacket dan bucket harus sama, jika termometer jacket menunjukkan nilai temperature yang lebih tinggi dari temperature bucket lakukan pendinginan air dalam jacket dengan water cooling dan begitu sebaliknya.
17. Jika temperatur sudah sama, calorimeter akan secara otomatis membakar bahan bakar dalam bomb.
18. Tunggu hingga display layer monitor dan printer menunjukkan hasil pembakaran.
19. Catat nilai kalor atas yang ditunjukkan, bila tidak ada maka pembakaran gagal atau misfire.

20. Jika sudah, matikan motor dan buka calorimeter.
21. Angkat bucket dari calorimeter kemudian keluarkan bomb dari bucket.
22. Buang gas bertekanan yang ada dalam bomb kemudian buka tutup bomb.
23. Bersihkan air dari dalam bomb dengan tissue, lakukan penimbangan massa air.
24. Massa air yang ada digunakan untuk menghitung nilai kalor bawah (*Low Heating Value*).
25. Bersihkan alat dan rapikan kembali.

c. Pengujian Flash Point

1. Isi cawan dengan sampel sampai tanda pengisian yang ada di bagian dalam cawan.
2. Gunakan pemanasan dengan kecepatan kenaikan 5 sampai 6°C (9 sampai 11°F).
3. Nyalakan api penguji, atur diameter nyala 3,2 sampai 4,8 mm (0.126 sampai 0.189 inci).
4. Jalankan pengaduk dengan kecepatan putaran 90 sampai 250 rpm. Pengaduk dilakukan ke arah bawah.
5. Jika sampel diperkirakan mempunyai titik nyala 110°C (230 °F) atau lebih rendah, gunakan sumber pengapian saat temperature sampel 23 ± 5°C (41 ± 9°F) dibawah titik nyala yang diperkirakan, dan sesudah itu setiap saat pada pembacaan temperature dengan kelipatan 1°C (2°F). Hentikan pengadukan sampel dan gunakan sumber pengapian dengan mengoperasikan mekanisme tutup yang mengatur shutter sehingga sumber pengapian diturunkan ke dalam ruang uap di dalam sampel dalam waktu 0,5 detik, biarkan dalam posisi ini selama 1 detik, kemudian cepat naikkan dalam posisi ke atas.
6. Catat, sebagai titik nyala pengamatan. Pembacaan pada peralatan pengukur temperatur pada saat api penguji menyebabkan nyala sesaat yang jelas dibagian dalam cawan.

7. Bilas umber pengapian menggunakan nyala api, pemakaian api uji dapat menyebabkan lingkaran nyala biru atau api besar sebelum titik nyala yang sebenarnya. Ini bukan titik nyala dan abaikan.
8. Bila peralatan sudah didinginkan sampai temperatur aman kurang dari 55°C (130°F), ambil cawan dan tutup, bersihkan peralatan.

d. Pengujian Viskositas Kinematis

1. Atur dan jaga penangas viscometer pada temperatur uji yang diperlukan (40°C).
2. Pilih sebuah viscometer yang bersih dan kering yang telah dikalibrasi yang mempunyai kisaran yang mencakup viskositas kinematic yang diperkirakan.
3. Isi viscometer dengan sampel uji sesuai cara yang ditentukan oleh desain viscometer.
4. Gunakan pompa isap atau tekanan untuk mengatur batas atas sampel uji ke suatu posisi dalam tabung kapiler viskositas sekitar 7 mm di atas tanda tera penetapan waktu pertama.
5. Ketika sampel uji terakhir kali melintasi tanda tera penetapan waktu pertama, jalankan hitungan waktu dan tunggu hingga batas tera penetapan waktu kedua.
6. Catat waktu yang dibutuhkan sampel sampai batas tera penetapan waktu kedua.

e. Prosedur Pengujian Semprotan Emulsi

1. Menyiapkan alat sesuai dengan skema pengujian semprotan.
2. Menyiapkan kamera sebagai media perekam semprotan.
3. Memasukkan emulsi kedalam tabung penyemprotan
4. Mengatur tekanan penyemprotan.
5. Memulai proses penyemprotan.
6. Hasil rekaman diubah kedalam bentuk foto dan selanjutnya diteliti

3.2.4 Tahap Pengujian

Dalam pelaksanaan pengujian eksperimen ini ada beberapa tahapan yang harus dilaksanakan, antara lain:

1. Pengujian dan unjuk kerja dari mesin

   Pada tahap awal dilakukan pengujian *pressure reducer* dan unjuk kerja mesin secara bersamaan dengan menggunakan pegas standart dengan konstanta 23,33 N/mm dengan tekanan 1,5 bar, selanjutnya secara bersamaan diikuti pengujian pada mesin dengan pembebanan listrik 800-4000 watt (interval 200 watt) pada kecepatan konstan (1500 rpm).
2. Pengujian temperatur blok silinder mesin, oli pelumas dan air pendingin

   Pada pengujian temperatur ini menggunakan metoda dan putaran mesin yang sama diketahui dari nilai yang tertera pada alat ukur *thermocouple*.
3. Bahan bakar menggunakan emulsi dengan kandungan air tertinggi yang telah di uji dan memenuhi syarat sebagai bahan bakar yaitu 30% dan 35%

3.2.5 Proses Pengujian

a. Pengujian Standart dengan Bahan Bakar Pertamina Dex

Percobaan dilakukan dengan putaran mesin tetap *(stationary speed)* dengan variasi beban listrik. Tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Menghidupkan mesin diesel kemudian lakukan pemanasan ± 20 menit
2. Pengecekan mesin tanpa beban pada putaran 1500 rpm.
3. Memberikan pembebanan 800-4000 watt (interval 200) dengan putaran kontan 1500 rpm.
4. Mencatat data-data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban, seperti: Waktu konsumsi bahan bakar setiap 25 ml, massa alir udara yang masuk ke *intake manifold*, Temperatur mesin, pelumas, cairan pendingin, gas buang, Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).

5. Setelah pengambilan data selesai dilakukan, maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol kemudian matikan mesin.

f. Pengujian Menggunakan Variasi *Mass Flow* Udara :

Untuk melakukan pengujian dengan bahan bakar emulsi diesel sama seperti melakukan pengujian bahan bakar solar murni.

1. Mengganti bahan bakar solar menjadi bahan bakar emulsi diesel.
2. Mengaktifkan dan pengecekan mesin diesel.
3. Memasang pengukuran *air flow meter*.
4. Menentukan mengatur pengaturan waktu injeksi emulsi.
5. Mengatur waktu injeksi emulsi sebesar 17^0 BTDC dengan durasi injeksi emulsi menggunaka shim(penyetel bukaan injektor).
6. Hidupkan mesin selama ±20 menit sampai temperatur kerja.
7. Melakukan pembebanan lampu mesin diesel mulai 800 watt sampai dengan 4000 watt dengan interval 200 watt dan putaran mesin 1500 rpm.
8. Mencatat data-data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban, seperti:
   - Waktu konsumsi minyak solar setiap 25 ml.
   - *Flowrate gas* keluar pada *outlet gas*
   - *Flowrate* udara yang masuk ke *intake manifold*.
   - Temperatur mesin, pelumas, cairan pendingin dan temperature di *pressure reducer*
   - Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
9. Jika pengambilan data pertama selesai kemudian dilanjutkan dengan variasi waktu dan durasi injeksi emulsi selanjutnya dengan cara yang sama.
10. Mesin dibiarkan dalam kondisi tanpa beban selama ± 5 menit.
11. Mesin dimatikan dan ditunggu kembali dingin.
12. Untuk pengujian variasi konstanta pegas selanjutnya dimulai dari langkah 1 sampai 9 dengan cara yang sama.

g. Pengujian Emisi Menggunakan Gas Analyzer

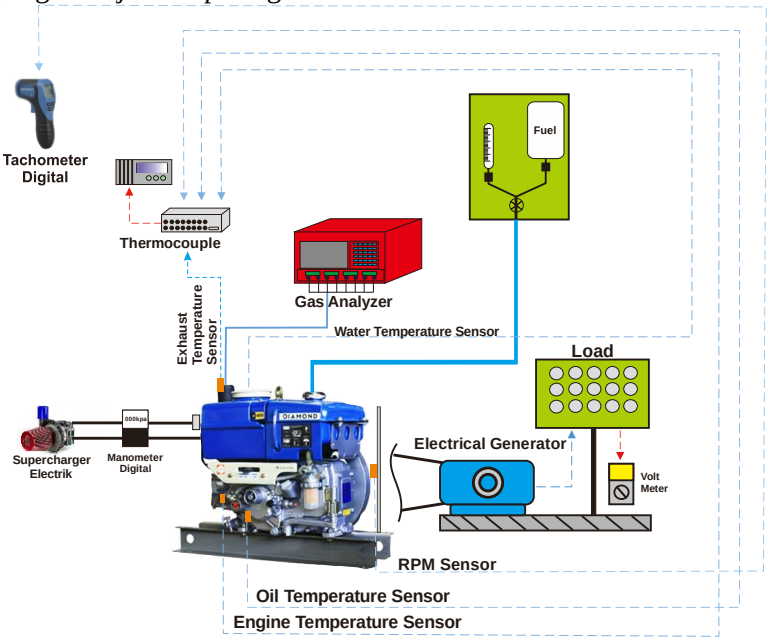
1. Menghubungkan sensor emisi ke pipa *exhaust.*
2. Melakukan pengukuran emisi pada setiap pengujian solar murni dan emulsi diesel 40% dan 50% dengan variasi pengaturan waktu dan durasi injeksi emulsi.

3.2.6 Akhir Pengujian

Setelah dilakukan pengujian dan semua data yang diinginkan sudah diperoleh maka lepas semua peralatan alat pengujian kemudian setelah itu mesin sudah dapat dimatikan. Setelah selesai, mengembalikan semua peralatan ke tempat semula.

3.3 Skema Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini ditetapkan skema rancangan penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Skema Rancangan Penelitian

3.4 Rancangan Eksperimen

Pada penelitian ini ditetapkan parameter input maupun parameter output. Ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut

Tabel 3.1 Parameter Penelitian

zParameter *Input*					Parameter *Output*	
Konstan		**Variasi**			**Diukur**	**Dihitung**
Bahan bakar	**Putaran mesin**	**Voltage Super Charger**	**Beban Listrik**	**% air**		
- Pertamina Dex -Emulsi W/D	1500 rpm	0 8 V 10 V 12 V	800 – 4000 dengan interval 200	0% 30 % 35 %	1. Arus listrik (A) 2. Tegangan (V) 3. *Flow rate* ($\dot{m}$) Bahan bakar 4. *Flow rate* ($\dot{m}$) udara 5. Temperatur mesin (^{0}C) pada diniding head luar 6. Temperatur oli mesin (^{0}C) 7. Temperatur air pendingin (^{0}C)	1. Daya 2. Torsi 3. BSfc 4. η_{therma} 5. AFR

					8. Emisi gas buang (HC, CO, NOx) 9. Mass flow udara	

3.5 Pengambilan Data

1. Cara pengambilan data

Cara pengambilan data dilakukan langsung dengan cara mengamati hasil pembacaan dari alat ukur yang digunakan.

2. Jenis dan jumlah data

Jenis data yang diambil adalah data pengujian standar dan data pengujian perlakukan. Adapun jumlah data yang di ambil adalah data tekanan silinder, HRR, waktu konsumsi solar, kecepatan aliran udara dan gas serta temperatur.

3. Lokasi pengambilan data

Lokasi pengambilan data adalah pada laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya

3.6 Metode Analisa Data

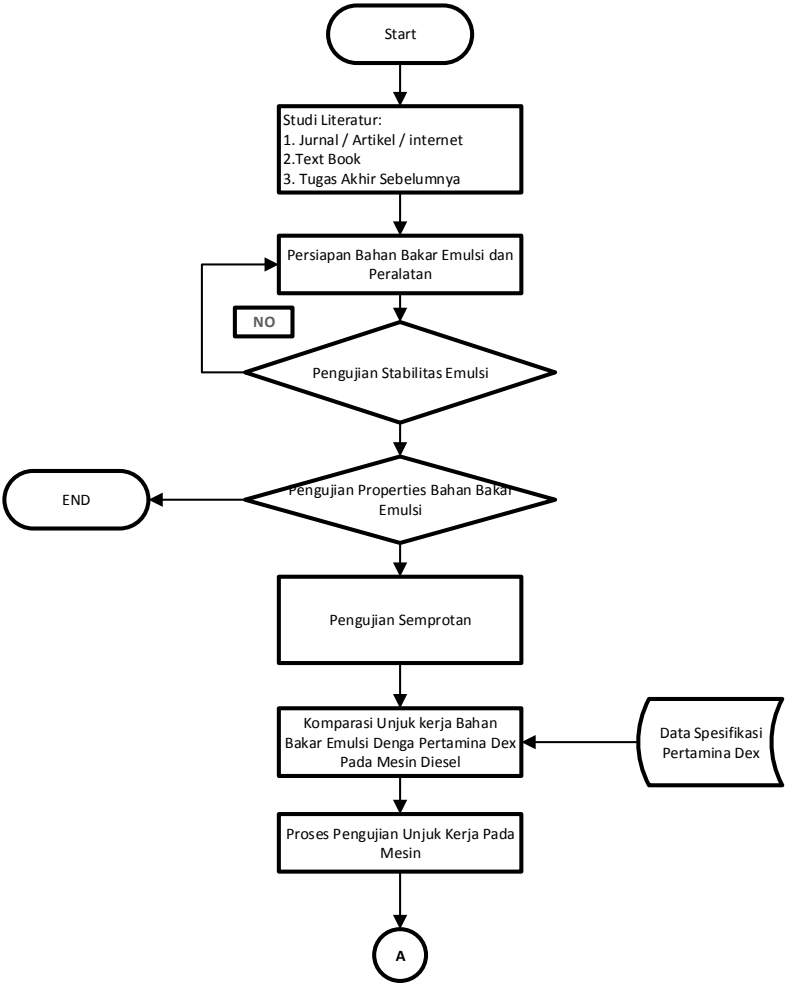
Metode analisa data yang digunakan pada penelitian ini adalah dilakukan dengan menggunakan rumus teoritis yang telah dijelaskan pada bab 2.

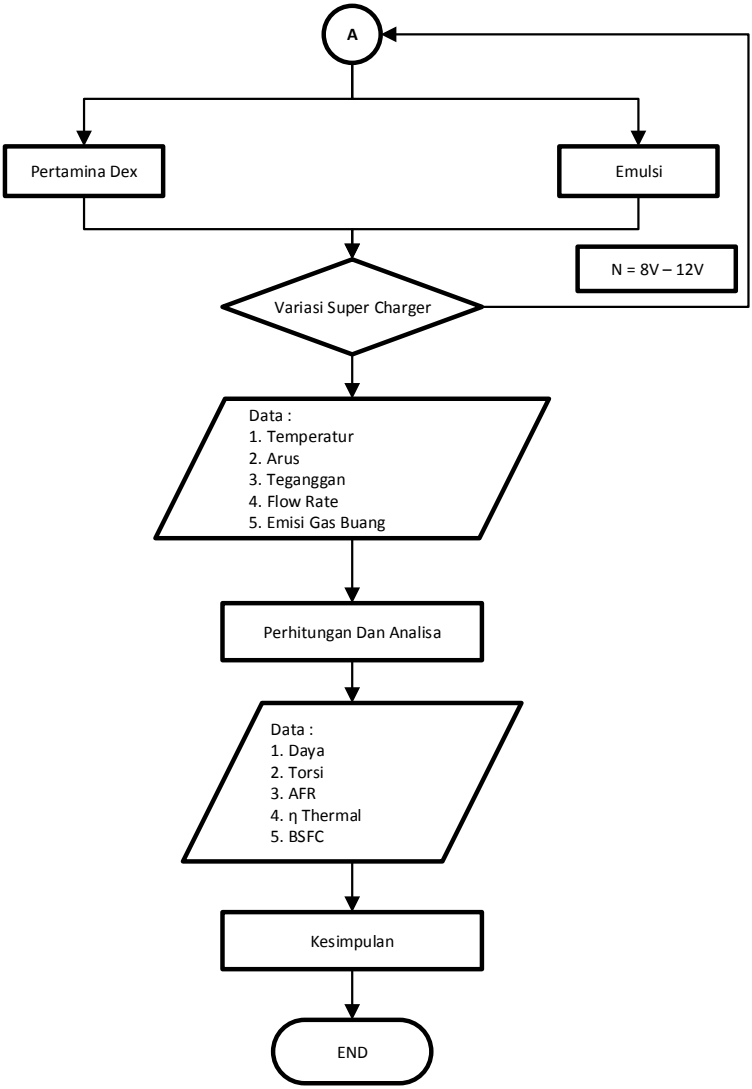
Adapun parameter yang dianalisis adalah Solar tersubsitusi, efisiensi termal, AFR dan temperatur. Kemudian grafik tersebut ditampilkan sesuai dengan parameter yang dianalisa sebagai berikut:

a. Bfsc
b. Grafik *Air Fuel Ratio(AFR)*
c. *Thermal Effieciency* .

3.7 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan diagram alir agar penelitian lebih terarah sehingga tidak menyimpang terlalu jauh dan juga agar memudahkan dalam menjelaskan tentang proses penelitian.





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian terhadap bahan bakar emulsi serta perhitungan-perhitungan yang diperlukan dalam penelitian. Pengujian terhadap bahan bakar yang dimaksud adalah uji stabilitas, uji properties serta uji penetrasi. Sedangkan perhitungan yang dimaksud adalah perhitungan unjuk kerja mesin antara lain daya, torsi, *bmep, sfc, afr, efisiensi thermal, dan* energi persiklus. Adapun data hasil penelitian seluruhnya dapat dilihat pada lampiran.

4.1 Uji Stabilitas

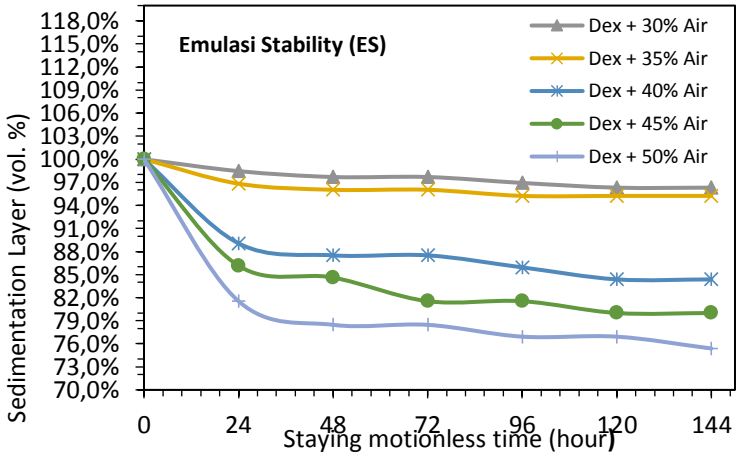
4.1.1 Homogenitas (*Emulsi Stability*)

Emulsi stability menunjukan kemampuan emulsi untuk menstabilkan lapisan pengemulsi setelah disimpan tidak bergerak untuk waktu tertentu pada suhu ruang. Nilai ES ditentukan dengan menghitung rasio volume lapisan pengemulsi terhadap total volume emulsi. Studi eksperimental yang dilakukan emulsi pertamina dex dan air menunjukkan bahwa lapisan emulsi tetap stabil pada 1 jam hinggak 48 jam. Persentase sedimen 1 jam pada 50% air 96 %, 24 jam 92%, dan 48 jam 91%.

Tabel 4.1 Pengamatan Emulsi Stability (ES)

Fuel	Jam Pengamatan						
	1	24	48	72	96	120	144
Dex 70% + Air 30% + Surfaktan 2%	100.0%	98.5%	97.7%	97.7%	96.9%	96.3%	96.3%
Dex 65% + Air	100.0%	96.8%	96.0%	96.0%	95.2%	95.2%	95.2%

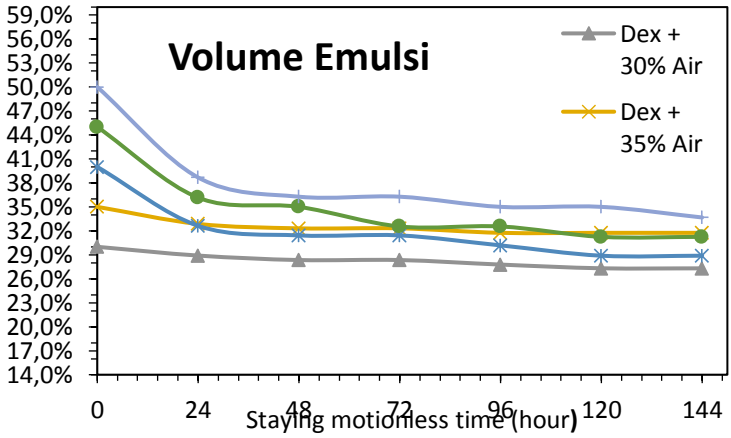
35% + Surfaktan 2%							
Dex 60% + Air 40% + Surfaktan 2%	100.0%	89.1%	87.5%	87.5%	85.9%	84.4%	84.4%
Dex 55% + Air 45% + Surfaktan 2%	100.0%	86.2%	84.6%	81.5%	81.5%	80.0%	80.0%
Dex 50% + Air 50% + Surfaktan 2%	100.0%	81.5%	78.5%	78.5%	76.9%	76.9%	75.4%



Gambar 4.1 Stabilitas emulsi

Tabel 4.2 Pengamatan Volume Emulsi

Fuel	Jam Pengamatan						
	1	24	48	72	96	120	144
Dex 70% + Air 30% + Surfaktan 2%	30.0%	28.9%	28.3%	28.3%	27.8%	27.3%	27.3%
Dex 65% + Air 35% + Surfaktan 2%	35.0%	32.9%	32.3%	32.3%	31.8%	31.8%	31.8%
Dex 60% + Air 40% + Surfaktan 2%	40.0%	32.6%	31.4%	31.4%	30.2%	28.9%	28.9%
Dex 55% + Air 45% + Surfaktan 2%	45.0%	36.2%	35.0%	32.5%	32.5%	31.3%	31.3%
Dex 50% + Air 50% + Surfaktan 2%	50.0%	38.7%	36.3%	36.3%	35.0%	35.0%	33.7%



Gambar 4.2 stabilitas per volum

4.1.2 Emulsi Activity

Emulsi Activity merupakan kemampuan emulsi untuk mempertahankan lapisan pengemulsi dibawah gaya sentrigugal, dengan jumalah air dan pertamina dex yang sama dalam W/D, ketika kecepan sentrifugal meningkat, ketinggian lapisan sedimen dari W/D meningkat. Hal ini karena berat jenis minyak lebih ringan dari pada air dan emulsi W/D.

4.2 Uji Properties

Pengujian properties suatu bahan bakar dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kandungan yang terdapat pada bahan bakar tersebut berupa: titik nyala (*flash point*), viskositas kinematic, density, serta calor value.

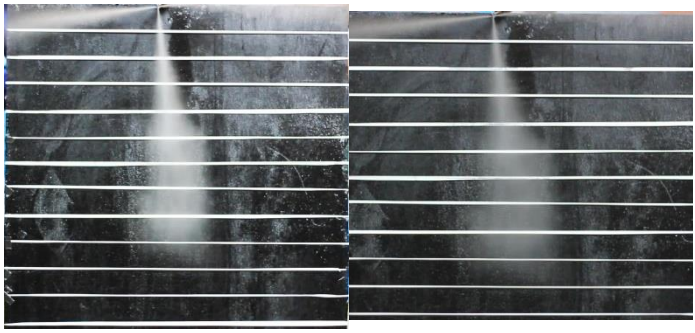
Tabel 4. 3 Nilai Properties Emulsi

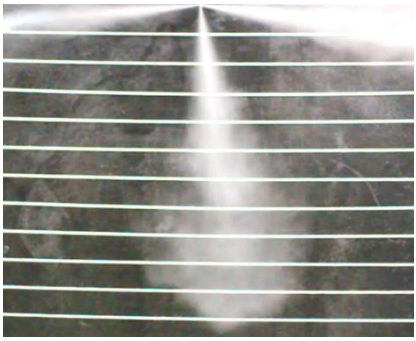
Parameter	Satuan	Identifikasi Sample			Metode
		Dex	E 30	E 35	
Titik Nyala	^{o}C	55	80	85	ASTM D. 93
Viscositas Kinematic 40 ^{0}C	cSt	3,39	4,46	4,48	ASTM D. 445
Density 40 ^{o}C	Kg/l	0,86	0,8533	0,8583	ASTM D. 1298
Calori Value	Kj/Kg	46189,1963	31119,3121	28821,7637	ASTM D. 975

Parameter	Satuan	Identifikasi Sample			Metode
		E 40	E 45	E 50	
Titik Nyala	^{o}C	N/A	N/A	N/A	ASTM D. 93
Viscositas Kinematic 40 ^{0}C	cSt	N/A	N/A	N/A	ASTM D. 445
Density 40 ^{o}C	Kg/l	0,864	0,8783	0,8898	ASTM D. 1298
Calori Value	Kj/Kg	27237,3111	N/A	N/A	ASTM D. 975

4.3 Uji Penetrasi

Uji ini dimaksudkan untuk mengamati bentuk semprotan yang dihasilkan dari bahan bakar tersebut.





Gambar 4.3. a) penetrasi pertamina Dex b) penetrasi emulsi W/D 35 c) penetrasi emulsi W/D30

Pada gambar a) ditunjukkan hasil semprotan untuk tekanan injeksi bahan bakar pertamina dex oleh injector mesin Diamond Di 800 pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2, ditunjukkan bahwa hasil atomisasi diperoleh panjang semprotan (L) dengan panjang 50 cm dan sudut semprotan (Ø) sebesar 19^o, Sedangkan pada gambar 2 ditunjukkan hasil semprotan/droplet untuk tekanan injeksi bahan bakar Emulsi Pertamina dex + 50% air oleh injector mesin Diamond Di 800 pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2, ditunjukkan bahwa hasil atomisasi diperoleh panjang semprotan (L) dengan panjang 55 cm dan sudut semprotan (Ø) sebesar 20^o. dari hasil kedua atomisasi tersebut diatas dinyatakan bahwa emulsi W/D 35% bisa dijadikan sebagai bahan bakar penganti pertamina dex, dikarenakan nilai atomisasi hampir mendekati sama.

4.4 Perhitungan Unjuk Kerja

Perhitungan yang dihitung di bawah ini adalah pada variasi penambahan mass flow rate udara. Perbandingan dilakukan pada pembebanan lampu 2000 watt dengan data-data yang dimiliki sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Pengambilan Data Percobaan

Bahan bakar:	**E 30**	Variasi	10	volt						
Beban	**Kons. Bahan Bakar**	**Waktu**	**Δp**	**Temperatur**				**Speed**	**Arus**	**Tegangan**
				Mesin	**Exh**	**Oli**	**Cooler**			
Watt	**ml**	**detik**	**pa**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**RPM**	**Ampere**	**Volt**
2000	25	117	-30	115	196	95	105	1500	7,7	220

Tabel 4.4 Data pada Pembebanan Lampu 2000 Watt dengan mass flow udara 0,0812 kg/s

a) Aliran Bahan Bakar Emulsi

Pengukuran aliran bahan bakar masuk menggunakan perhitungan dengan menggunakan dan didapatkan debit kemudian dimasukan perhitungan sehingga didapat aliran massa *Emulsi 30*

$$\dot{m}_{\text{Emulsi 30}} = \rho_{\text{emulsi}} \cdot Q_{\text{emulsi}}$$

$$\dot{m}_{\text{emulsi}} = \left(853 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \text{x} \left(0{,}0000001289 \frac{\text{m}^3}{s}\right)$$

$$= 0{,}000109923 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

b) Aliran Udara Pembakaran

Berikut ini salah satu perhitungan ṁ udara dan ṁ emulsi menggunakan persamaan yang sama. Pengukuran aliran udara masuk dilakukan dengan menggunakan pitot-static tube yang dihubungkan dengan manometer digital

didapatkan data Δp udara = 210 Pa kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut, yaitu:

$$V_{udara} = \sqrt{\frac{2(\Delta P)}{\rho_{udara}}}$$

$$V_{udara} = \sqrt{\frac{2x\ 210Pa}{1{,}1614\ \frac{kg}{m^3}}}$$

$$V_{udara} = 15{,}3853\ \frac{m}{s}$$

Kecepatan fluida yang diukur dengan menggunakan *pitot static tube* merupakan kecepatan maksimal dari fluida yang melewati pipa. Dalam kasus ini fluida yang dimaksud adalah udara. Selanjutnya untuk mencari kecepatan rata-rata aliran udara diperlukan perhitungan *reynolds number* untuk mengetahui aliran tersebut *laminer* atau *turbulent.*

$$Re_{V_{max}} = \frac{\rho_{udara}.V_{max}.D}{\mu_{air}}$$

Diketahui,

-D = 0.038m

-ρ_{udara} = 1.1614 Kg/m^3

-μ_{udara} = 187.2 x 10^{-7} N.s/m^2

$$Re_{V_{max}} = \frac{\left(1.1614\,\frac{kg}{m^3}\right) x \left(3.14\,\frac{m}{s}\right) x(0.038m)}{184.6x10^{-7}\,\frac{Ns}{m^3}}$$

$$Re_{V_{max}} = 27671{,}24\ (Aliran\ Turbulent)$$

Faktor koreksi berdasarkan bilangan turbulent diatas, Fox and McDonald's [21] yaitu :

Untuk $Re_{V_{max}} > 4000$ maka digunakan

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

n = -1.7+1.8log(27671,24)

n = 6,295652

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = \frac{2x\ 6{,}295652^2}{(6{,}295652+1)(2\ x\ 6{,}295652+1)}$$

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = 0{,}79$$

maka besar kecepatan rata-rata sebagai berikut :

$$\bar{V} = 0.79 x V_{max}$$

$$\bar{V} = 0.79 x 19{,}01664$$

$$\bar{V} = 15{,}38538 \ \frac{m}{s}$$

Dengan mengetahui kecepatan udara maka nilai dari laju massa aliran udara (*air mass flow rate*) dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{m}_{udara} = \rho_{udara} . A_{udara} . \bar{V}_{udara}$$

$$\dot{m}_{udara} = \left(1{,}1614 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\frac{\pi}{4} x \ 0{,}038^2\right) m^2 \ x \left(15{,}38538 \frac{m}{s}\right)$$

$$= 0{,}020265 \ \frac{kg}{s}$$

4.4.1 Perhitungan Daya

Daya mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel dikopel dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif pada generator (Ne), yang mana satuannya dalam bentuk kilowatt. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$Ne = \frac{\text{Vx l x } Cos\varphi}{n_{generator}\ x\ n_{transmisi}}\ (Watt)$$

Dimana :

Ne : Daya mesin (W)

V : Tegangan listrik (Volt)

I : Arus listrik (Ampere)

η_{gen} : Efisiensi mekanisme generator (0.9) [9]

η_{trans} : Efisiensi transmisi (0.95) [9]

Cos φ : Faktor daya listrik (Cos φ) = 1

Daya untuk percobaan emulis 30 pada beban 2000 watt dengan variasi arus 10 volt pada electrik supercharger :

$$Ne = \frac{220\text{x } 7{,}3 \text{ x } Cos\varphi}{0{,}9\ x\ 0{,}95}\ (Watt)$$

Ne = 1878,362573 Watt

Ne = 2,5169 Hp

4.4.2 Perhitungan Torsi

Perhitungan torsi menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$Mt = \frac{7127{,}4 \text{ x } Ne}{n}\ (N.m)$$

Dimana:

Mt : Torsi ($N.m$)

Ne : Daya (Hp)

N : Putaran mesin (rev/min)

Torsi untuk pengujian emulsi 30 pada pembebanan 2000 watt dengan variasi arus 10 volt pada electrik supercharger :

$$Mt = \frac{7127{,}4 \text{ x } 2{,}5169}{1500} \ (N.m)$$

Mt = 11,9593 (N.m)

4.4.3 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP)

Perhitungan tekanan efektif rata-rata menggunakan rumusan sebagai berikut

$$BMEP = \frac{\text{Ne x Z x 60}}{A \ x \ l \ x \ n \ x \ i} \ (N/m^2)$$

Dimana:

Ne : Daya poros mesin (Hp)

A : Luas penampang piston (m^2)

L : Panjang langkah piston (m)

I : Jumlah silinder

N : Putaran mesin diesel (rpm)

Z : 1 (mesin 2 langkah) atau 2 (mesin 4 langkah)

Untuk pengujian emulsi pada pembebanan 2000 watt dengan variasi penambahan *mass flow rate* (ṁ) udara 0,007931 kg/s :

$$BMEP = \frac{2{,}5169 \text{ x } 2 \text{ x } 60}{0{,}082\ x\ 0{,}078\ x\ 1500\ x\ 1}\ (N/m^2)$$

BMEP = 3,721143 Kg/cm^2

4.4.4 Perhitungan *Specific Fuel Consumption*

Perhitungan *spesific fuel consumption* menggunakan rumusan sebegai berikut :

$$sfc_{Emulsi\ 30} = 3600 \frac{\dot{m}_{biodiesel}}{Ne} \left(\frac{kg}{Hp.jam}\right)$$

Dengan:

Ne = 2,5169 Hp

$\dot{m}_{Emulsi\ 30}$ = 0.000109923 kg/detik

1 jam = 3600 s

Untuk perhitungan *emulsi 30* dengan pembebanan 2000 watt :

$$sfc_{emulsi\ 30} = 3600 \frac{0{,}000109923}{2{,}395} \left(\frac{kg}{Hp.jam}\right)$$

$$sfc_{emulsi\ 30} = 0{,}157226 \left(\frac{kg}{Hp.jam}\right)$$

4.4.5 Perhitungan Rasio Udara-Bahan Bakar (*AFR*)

Untuk mendapatkan pembakaran yang ideal maka diperlukan rasio udara bahan bakar yang tepat. Maka rasio udarabahan bakar yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Untuk *Emulsi 30* pada pembebanan 2000 watt dengan variasi arus 10 volt pada electrik supercharger:

$$AFR = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{emulsi}}$$

dengan :

$$AFR = \frac{0{,}020265}{0{,}00182265\ \text{Kg/s}}$$

$$AFR = 73{,}50128$$

4.4.6 Perhitungan Efisiensi Thermal

Untuk *dual-fuel* pada pembebanan 2000 watt dengan menggunakan variasi arus 10 volt pada elektrik supercharger :

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne\ x\ 0{,}178179038884112}{\left(\dot{m}_{Emulsi\ 30}.\ LHV_{Emulsi\ 30}\right)} x100\% \right)$$

dengan

Ne = 2,5169 Hp

$\dot{m}_{Emulsi}$ = 0,00182265 kg/s

LHV_{Emulsi} = 7432,72 kcal/kg

$$\eta_{th} = \left(\frac{2{,}5169\ Hp\ x\ 0{,}178179038884112\ Kcal/Hp}{\left((0{,}00182265\ kg/s . 7432{,}72\ kcal/kg)\right)} x100\% \right)$$

$$\eta_{th} = 54{,}889\ \%$$

4.5 Perhitungan Energi Input per Siklus

Besar energi per siklus untuk *emulsi 30* pada pembebanan 2000 watt dengan menggunakan variasi arus 10 volt pada elektrik supercharger :

$$Energi\ input\ per\ siklus = t \times \dot{m}_{Emulsi\ 30} \times LHV_{Emulsi\ 30}$$

dengan:

$\dot{m}_{\text{Emulsi 30}}$: 0,000109923 kg/s

$LHV_{\text{Emulsi 30}}$: 7432,72 Kcal/kg = 31119,3121 KJ/kg

t : 1 menit1500 rev×2 rev ×60 s1 menit = 0.08 s

$$Energi\ input\ per\ Siklus = 0{,}08\ s\ x\ 31119{,}3121\ \frac{kj}{kg}\ x\ 0{,}000109923\ \frac{kg}{s}$$

Energi input per siklus = 0,273658 Kj

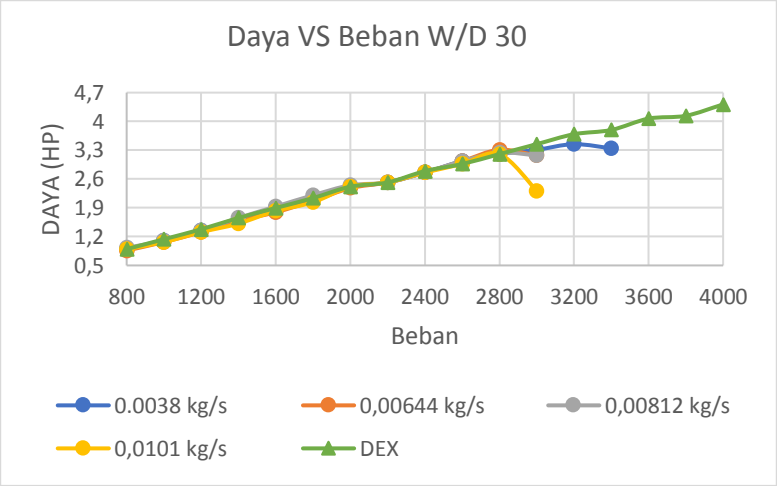
4.6 Analisa Grafik

Pada sub bab ini akan menampilkan grafik hasil pengujian beserta analisanya. Grafik akan digambarkan dalam bentuk fungsi pembebanan listrik. Serta terdapat beberapa variasi penambahan

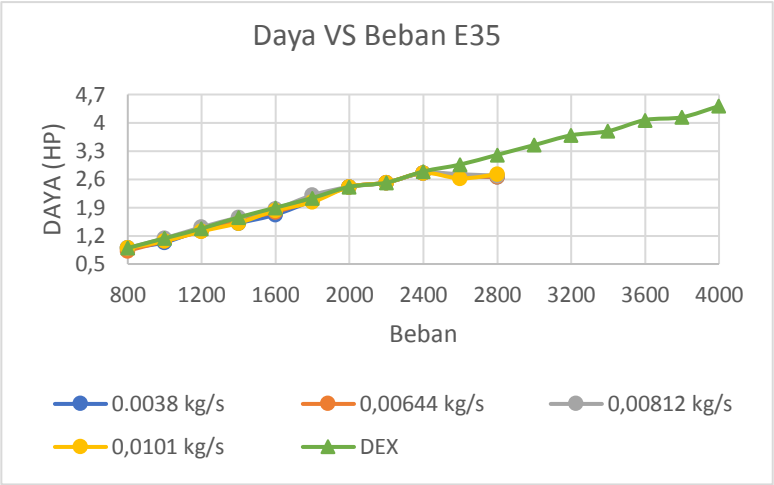
mass flow rate (ṁ) udara dengan cara mengatur arus yang masuk menggunakan voltage regulator di mana masing-masing variasi digambarkan pada garis yang berbeda. Variasi *mass flow rate* (ṁ) udara 0,0038 kg/s sampai 0,0101kg/s meliputi perubahan voltage sebesar 0 volt, 8 Volt, 10 Volt dan 12 Volt

4.6.1 Daya

Daya adalah ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja persatuan waktu yang dinyatakan dalam kilowatt (KW). Berikut adalah grafik daya terhadap pembebanan beban untuk bahan bakar Emulsi 30 dan Emulsi 35.



Gambar 4.5 Daya pada bahan bakar Emulsi 30



Gambar 4.6 Daya pada bahan bakar emulsi 35

Unit generator-set bekerja dengan menghasilkan tegangan listrik dimana putaran generator harus dijaga konstan pada 1500 rpm untuk mendapatkan tegangan listrik tetap, sementara pada saat beban listrik ditambah maka akan menyebabkan putaran generator yang diputar oleh mesin diesel akan turun. Putaran tersebut diperoleh dengan melakukan kontrol pada jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar melalui mekanisme *governor*. Setiap penambahan beban listrik, maka jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar semakin banyak untuk menjaga putaran mesin konstan.

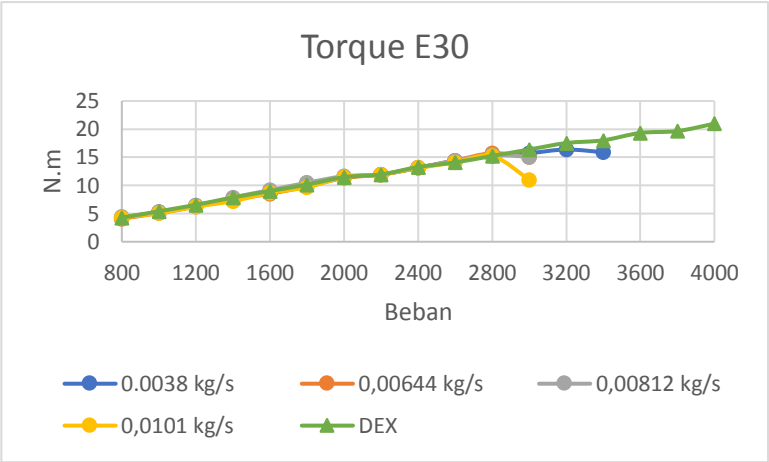
Sehingga analisa yang dapat dinyatakan adalah daya yang diperlukan akan naik dengan bertambahnya beban listrik yang diberikan sebagai kompensasi bertambahnya bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Bahan bakar yang bertambah banyak menyebabkan semakin banyak energi yang dapat dikonversi menjadi energi panas dan mekanik dengan udara yang cukup. Energi menjadikan daya engine semakin besar sesuai dengan beban yang diberikan kepada engine. Selain itu, apabila nilai Volt

(tegangan), cos , *ηgen* dan *ηtransmis*i bernilai tetap maka nilai Ne akan sebanding dengan nilai I (arus listrik). Hal ini menunjukkan bahwa dengan nilai V (tegangan), cos Ø, *ηgen* dan *ηtransmis*i yang tetap maka dengan semakin bertambahnya beban yang diberikan akan menyebabkan tingginya arus listrik (I) yang dibutuhkan, sehingga daya yang yang diperlukan juga akan naik, sesuai dengan perumusan :

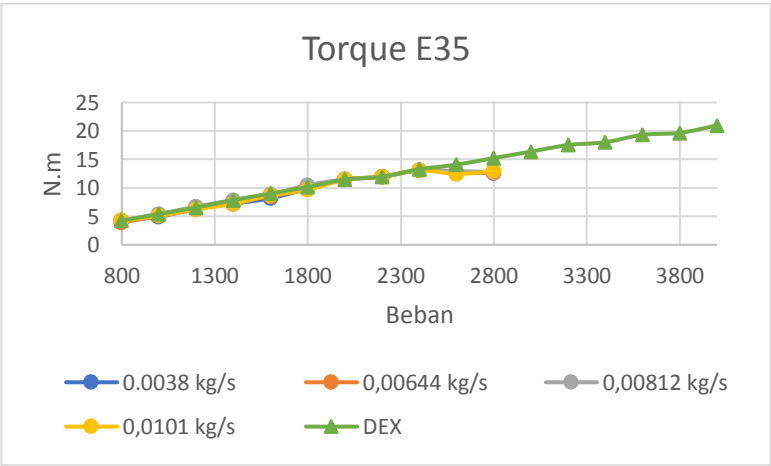
Idealnya untuk putaran engine konstan daya akan sebanding dengan bertambahnya beban, karena nilai putaran tidak berpengaruh pada perubahan nilai daya engine. Untuk beban 800 s.d. 4000 Watt mengikuti idealnya kenaikan daya yang linier dengan kenaikan beban, untuk bahan bakar emusi 30 dan 35 hanya mampu memenuhi hingga 3000 watt berbeda dengan menggunakan bahan bakar pertamina dex yang mampu memenuhi hingga beban 4000 watt. Sementara untuk emulsi 35 pada beban 1200 s.d. 1600 Watt terlihat adanya perubahan dan variasi nilai yang menyimpang dari bentuk ideal meskipun secara umum dapat dikategorikan linier. Hal ini disebabkan apabila dilihat dari hasil pengambilan data (seperti yang ditunjukkan pada lampiran) nilai dari *amphere yang* dibaca oleh alat ukur mengalami perbedaan antara 0,1 sd 0,3 A mulai dari beban 1200 Watt. Ini disebabkan karna pada saat pengujian berlangsung putaran pada setiap variasi tidak konstan sebesar 1500 rpm.

4.6.2 Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan dari mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu beban diberikan ke poros mesin. Sehingga dapat disimpulkan, bahwah torsi akan semakin besar apabila beban yang diberikan juga semakin besar. Berikut adalah grafik torsi terhadap penambahan beban pada bahan bakar dex, emulsi 30 dan emulsi 35 :



Gambar 4.8 Torsi dengan bahan bakar emulsi 30



Gambar 4.9 torsi dengan bahan bakar emulsi 35

Besarnya nilai torsi bergantung pada nilai daya (*Ne*) dan putaran mesin (n). Dalam pengujian penelitian ini, putaran mesin dijaga konstan sehingga perubahan nilai torsi bergantung pada

variasi besarnya nilai daya mesin dan pada akhirnya bentuk grafik yang ditunjukkan kurang lebih sama dengan bentuk grafik yang ditunjukkan oleh grafik daya fungsi beban listrik. Secara umum penambahan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan membuat torsi yang dihasilkan oleh engine semakin besar, karena semakin banyak bahan bakar yang masuk ke ruang bakar yang kemudian diubah menjadi energi mekanik mengatasi beban pada poros engine.

$$Mt = \frac{7127{,}4 \text{ x } Ne}{n} \ (N.m)$$

Idealnya untuk putaran engine konstan daya akan sebanding dengan bertambahnya beban, karena nilai putaran tidak berpengaruh pada perubahan nilai daya engine. Untuk beban 800 s.d. 2000 Watt mengikuti idealnya kenaikan daya yang linier dengan kenaikan beban, sementara untuk bahan bakar emusi 35 pada beban 1200 s.d. 1600 Watt terlihat adanya perubahan dan variasi nilai yang menyimpang dari bentuk ideal meskipun secara umum dapat dikategorikan linier. Hal ini disebabkan apabila dilihat dari hasil pengambilan data (seperti yang ditunjukkan pada lampiran) nilai dari *amphere yang* dibaca oleh alat ukur mengalami perbedaan antara 0,1 sd 0,5 A mulai dari beban 1200 Watt. Ini disebabkan karna pada saat pengujian berlangsung putaran pada setiap variasi tidak konstan sebesar 1500 rpm.

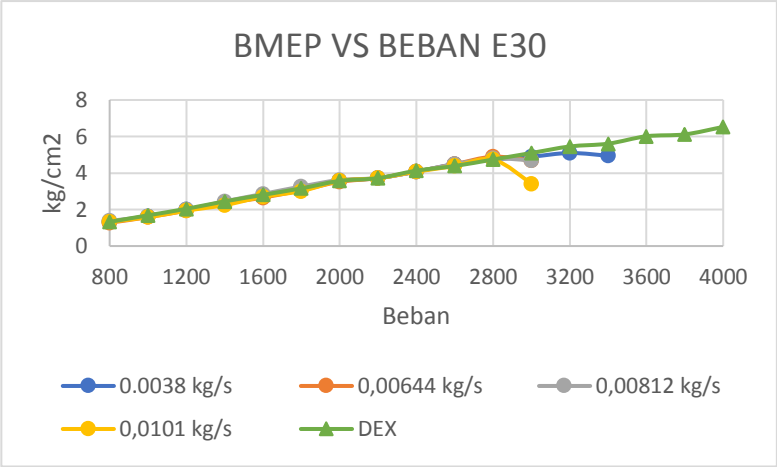
4.6.3 Tekanan Efektif Rata-Rata

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang langkah kerja piston sehingga meghasilkan daya yang sama dengan daya poros efektif.

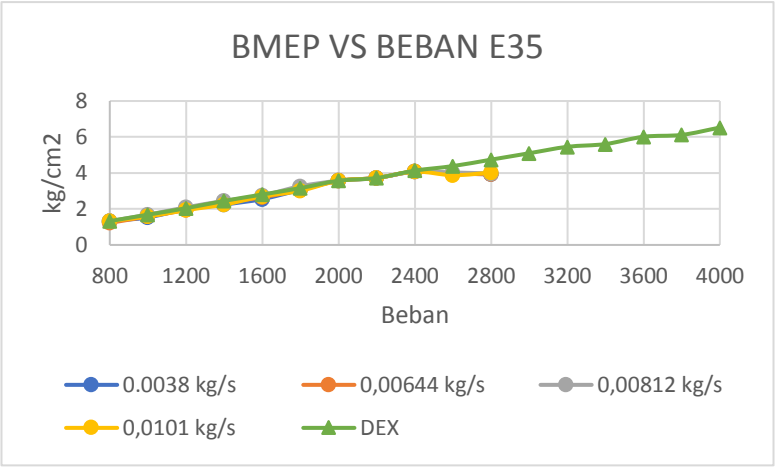
Berdasarkan grafik *bmep* fungsi beban, terlihat bahwa nilai bmep mempunyai kecenderungan naik seiring dengan bertambahnya beban. Hal ini berlaku terhadap semua pengujian, baik yang menggunakan bahan bakar Dex maupun emulsi. Dari

grafik bmep fungsi beban diatas juga terlihat nilai *bmep* untuk semua pengujian dan pada pembebanan yang sama, nilai bmep tidak berbeda jauh. Hal ini sesuai dengan perumusan *bmep*. Nilai *bmep* didapat melalui persamaan:

$$BMEP = \frac{\text{Ne x Z x 60}}{A\ x\ l\ x\ n\ x\ i}\ (N/m^2)$$



Gambar 4.11 BMEP dengan bahan bakar emulsi 30



Gambar 4.12. BMEP dengan bahan bakar emulsi 35

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa variabel yang mempengaruhi perubahan nilai bmep dalam pengujian engine kali ini adalah daya engine (Ne), sementara variabel yang lain bernilai konstan termasuk putaran engine (n). Apabila ditinjau dari fenomena yang terjadi di dalam engine, kenaikan beban akan menyebabkan perubahan AFR *(air- fuel ratio)* ke arah campuran kaya bahan bakar. Semakin banyak bahan bakar yang diledakkan di ruang bakar, maka tekanan ekspansi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya kenaikan bmep seiring dengan kenaikan beban.

Apabila kita generalisir maka bentuk grafik tekanan efektif rata-rata fungsi beban listrik di atas membentuk garis lurus linier mengikuti bentuk ideal dari grafik torsi fungsi beban listrik dengan mengabaikan bentuk perbedaan nilai torsi yang cukup kecil antara masing-masing garis sesuai dengan variasi laju alir massa udara.

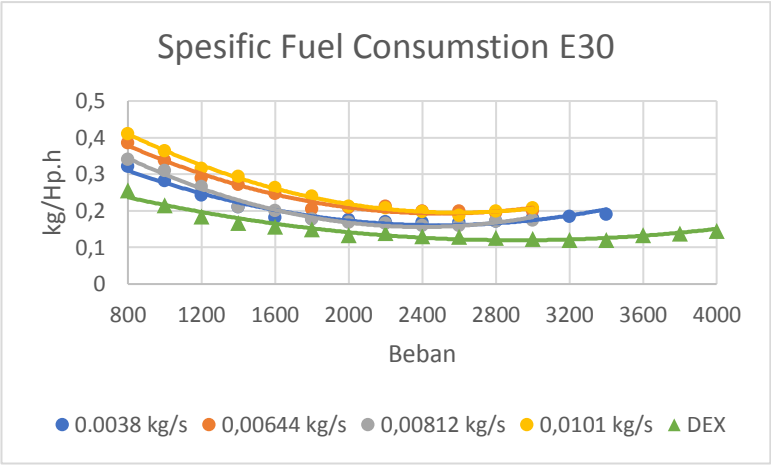
Pengamatan yang lebih detail menunjukkan pada beban 800 hingga 1000 Watt menunjukkan model yang demikian. Akan tetapi apabila ditinjau pada beban 1200 s.d. 1600 Watt pada bahan

bakar Emulsi 35 sebenarnya mengalami kenaikan tetapi kurang signifikan dibandingkan dengan penambahan massa udara yang masuk, hal ini disebabkan adanya perbedaan nilai amphere yang dimulai dari beban 1200 Watt. Kemudian ketidakstabilan amphere listrik ini kemudian mempengaruhi nilai daya engine yang dihasilkan oleh engine, dimana daya engine sebagai variabel pembentuk nilai bmep mempengaruhi nilai bmep yang direpresentasikan melalui grafik tekanan efeektif ratarata fungsi beban listrik yang demikian.

Dalam keadaan ideal, *bmep* umumnya lebih besar dari tekanan atmosfer. Namun pada data awal pengujian ini terlihat bahwa nilai bmep berada di bawah tekanan atmosfer. Hal ini dimungkinkan karena tekanan yang ditampilkan adalah tekanan alat ukur, sehingga untuk mendapatkan tekanan absolute harus ditambah dengan tekanan atmosfer. Selain hal tersebut, nilai *bmep* yang berada di bawah tekanan atmosfer dimungkinkan karena generator tersebut dioperasikan di bawah kondisi operasi minimal yang disyaratkan, akibatnya performa yang dihasilkan pada pembebanan awal tidak akan optimal.

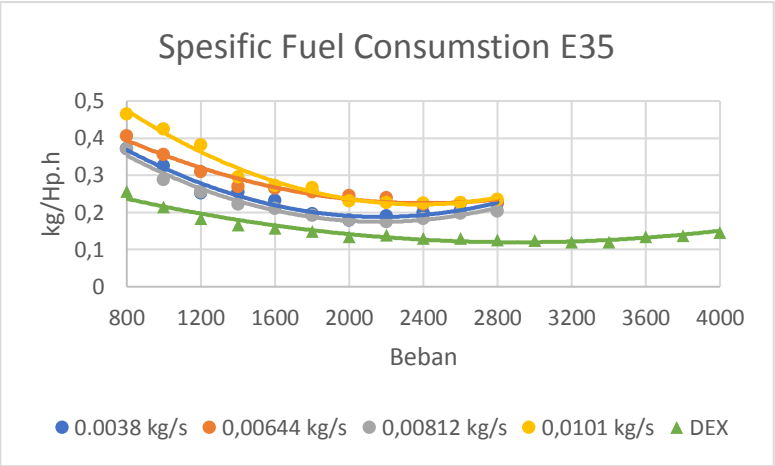
4.6.4 *Specific Fuel Consumption*

Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya dalam waktu satu jam. Besar atau kecilnya SFC ditentukan oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar di dalam ruang bakar, karena semakin sempurna pembakaran yang terjadi di ruang bakar akan menghasilkan daya yang semakin besar pula. SFC merupakan representasi keefektifan mesin dalam mengkonsumsi bahan bakar.



Gambar 4.14 *Sfc* dengan bahan bakar emulsi 30

Dari gambar 4.14 terlihat pada bahan bakar emulsi W/D 30 dengan variasi *mass flow* 0,0101 kg/s adalah kondisi maksimum dengan nilai *sfc* yang terbesar. Apabila diambil satu kondisi beban listrik maka akan terlihat setiap penambahan ṁ udara akan membuat *sfc* semakin turun meski perbedaannya masih tergolong kecil. Hal ini disebabkan rasio penurunan laju alir massa emulsi. Hal ini disebabkan pembakaran semakin sempurna apabila udara yang masuk ke ruang bakar semakin banyak sehingga emulsi yang diinjeksikan ke ruang bakar semakin berkurang. Berdasarkan grafik *sfc* fungsi beban, nilai *sfc* untuk semua pengujian mengalami penurunan dengan bertambahnya pembebanan.



Gambar 4.15 *Sfc* dengan bahan bakar emulsi 35

Pada gambar 4.15 menunjukkan perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik emulsi 35 saja untuk bahan bakar emulsi 35. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa secara umum konsumsi emulsi mengalami peningkatan beriring bertambahnya udara yang masuk ke dalam ruang bakar melalui variasi penambahan arus pada electrik supercharger. Ini berarti bahwa jumlah udara yang masuk ke ruang bakar dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar emulsi untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan untuk mengatasi beban listrik. Sesuai dengan persamaan berikut :

$$sfc_{Emulsi\ 30} = 3600\,\frac{\dot{m}_{biodiesel}}{Ne}\left(\frac{kg}{Hp.jam}\right)$$

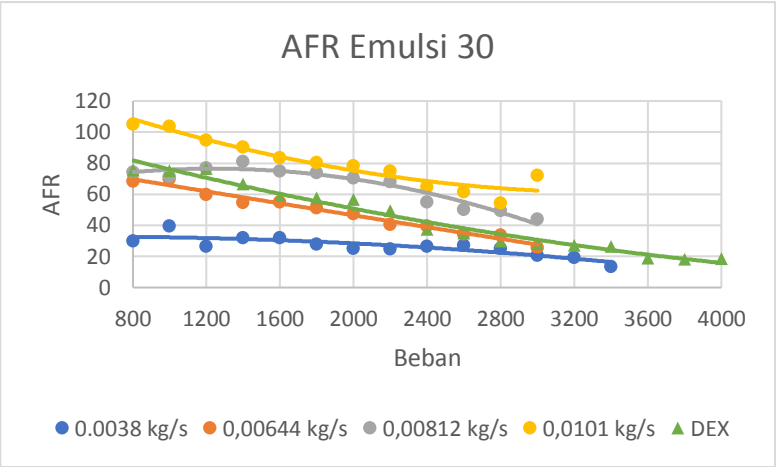
Dari grafik terlihat bahwa *sfc* tiap bahan bakar memili nilai yang berbeda ini di kaerenakan tiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sehingga konsumsi bahanbakar tiap jamnya berbeda. Dari grafik terlihat *sfc* tertinggi dari bahan bakar Emulsi W/D 35 dan variasi 12 Volt atau pada *mass flow rate* udara 0,0101

kg/s karena memili nilai *LHV* yang rendah dan juga *mass flow rate* udara tinggi sehingga konsumsi semakin meningkat.

Untuk pembebanan yang sama, nilai *sfc* semakin turun dengan bertambahnya *mass flow rate* udara. Hal ini disebabkan dengan semakin besar penambahan *mass flow rate* udara, akan menyebabkan *mass flowrate* bahan bakar meningkat, sehingga *mass flow rate* bahan bakar meningkat membuat pembakaran semakin besar. Jika pembakaran besar otomatis *governor* akan menurunkan debit bahan bakar . Dengan naiknya *mass flow rate udara*, *mass flowrate* bahan bakar akan turun dan faktor inilah yang menyebabkan *sfc* turun.

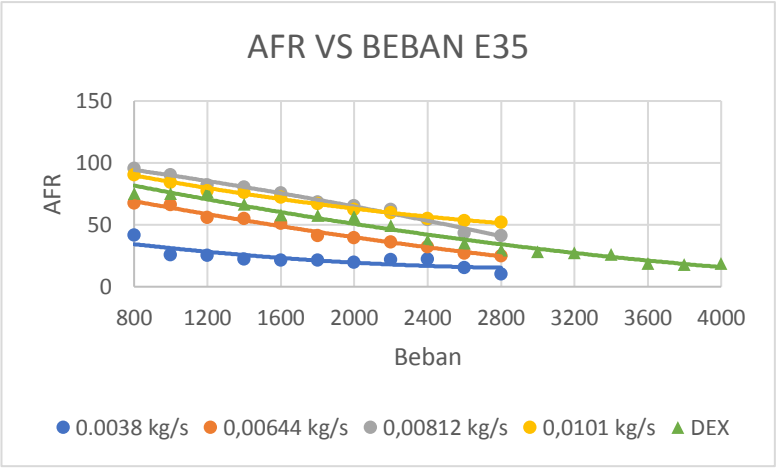
4.6.5 Analisa Rasio Udara-Bahan Bakar

AFR adalah rasio perbandingan campuran antara udara dengan bahan bakar. Ketika nilai AFR tinggi melebihi batas maksimal dari mesin diesel maka campuran bahan bakar terlalu miskin akibat dari kelebihan dari pasokan udara, dan ketika AFR terlalu rendah melebihi batas minimum dari mesin diesel maka campuran terlalu kaya.



Gambar 4.16 Afr dengan bahan bakar emulsi 30

Pada grafik terlihat pada variasi *mass flow* udara 0,0038 kg/s bahan bakar emulsi W/D 30 merupakan kondisi *AFR* terendah pada, sedangkan pada penambahan laju alir massa udara dengan mengatur arus supercharger 12 volt atau *mass flow* udara 0,0101 kg/s merupakan kondisi AFR tertinggi tetapi melebihi *afr ideal* yaitu sebesar 105,2791 pada beban rendah. Bertambahnya beban listrik menyebabkan AFR berkurang disebabkan pertambahan beban listrik sejalan dengan pertambahan bahan bakar emulsi, sementara laju alir massa udara.



Gambar 4.17 Afr dengan bahan bakar emulsi 35

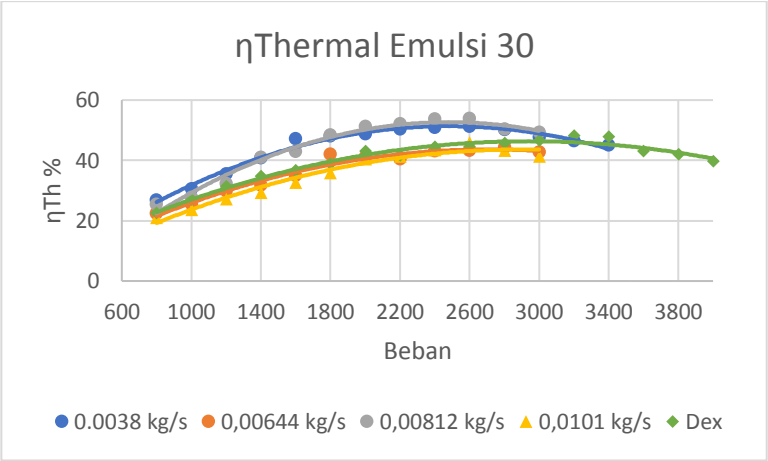
Pada grafik terlihat pada variasi 0 volt merupakan kondisi *AFR* terendah pada emulsi 35, sedangkan pada penambahan laju alir massa udara merupakan kondisi AFR tertinggi. Kondisi paling ideal adalah dengan *mass flow* rate udara 0,00644 kg/s pada arus 8 volt Bertambahnya beban listrik menyebabkan AFR berkurang disebabkan pertambahan beban listrik sejalan dengan pertambahan bahan bakar emulsi, sementara laju alir massa udara selalu konstan untuk setiap satu kondisi variasi ṁ udara sesuai dengan perumusan :

$$AFR = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{emulsi}}$$

Disebutkan bahwa idealnya AFR berada dalam kisaran 18 ≤ AFR ≤ 80. Hal ini menunjukkan bahwa pengujian telah mencapai syarat AFR ideal dan pengujian pada kondisi *standar* dengan penambahan laju alir massa udara juga telah mencapai syarat AFR ideal.

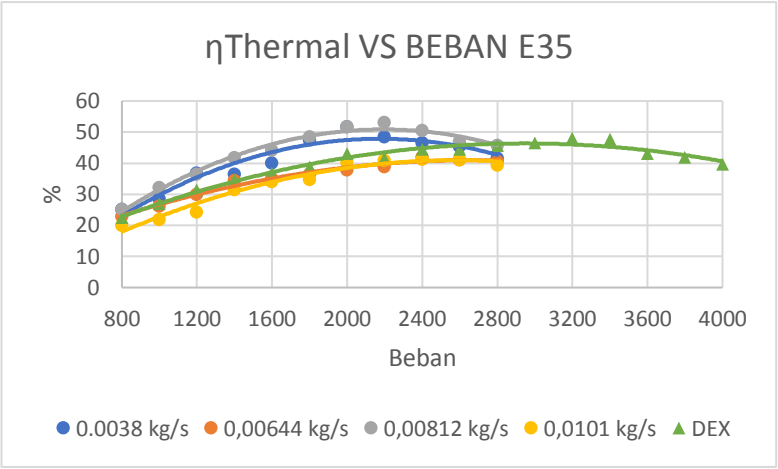
4.6.6 Analisa Effisiensi *Thermal*

Effisiensi *thermal* adalah perbandingan antara bahan bakar yang dapat diubah menjadi energi dengan nilai kalor yang terkandung dalam bahan bakar (LHV). Berikut adalah gambar dari grafik effisiensi *thermal*:



Gambar 4.18 ηThermal pada bahan bakar 3mulsi 30

Dari gambar 4.18 terlihat bahwa efisiensi thermal tertinggi ada pada penggunaan emulsi 30 dengan variasi arus electrik supercharger sebesar 10 v atau *mass flow* udara 0,00812 kg/s mencapai nilai 50,4% pada beban 2400 watt sedangkan pertamina dex hanya 44% dan mencapai effisiensi maksimal 48% pada beban 3200 watt, Hal ini disebabkan konsentrasi udara yang lebih tinggi membuat AFR yang dihasilkan juga lebih tinggi, sehingga pembakaran akan lebih sempurna.



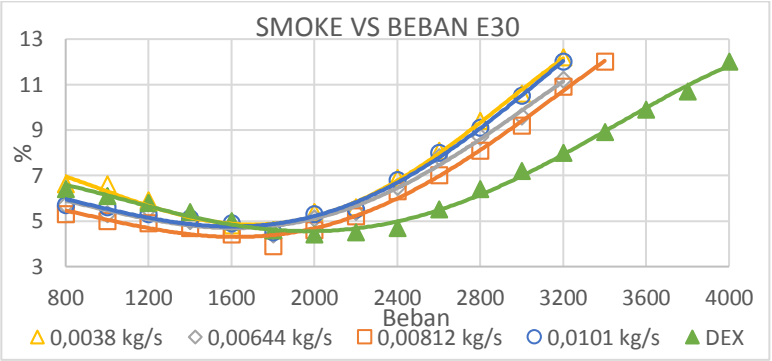
Gambar 4.19 ηThermal dengan bahan bakar emulsi 35

Dari gambar 4.19 terlihat bahwa efisiensi tertinggi pada variasi arus elektrik supercharger 10 volt atau *mass flow* udara 0,00812 kg/s sedangkan effisiensi yang mendekati refrensi adalah variasi dengan arus sebesar 8 volt atau *mass flow* udara 0,00644 kg/s. Hal ini disebabkan saat laju alir massa udara meningkat maka laju alir massa bahan bakar meningkat, sementara memiliki LHV yang jauh lebih rendah dari *dex*. Tentunya peran penambahan laju alir massa udara sangat penting karena dapat mendukung pembakaran yang lebih sempurna, sehingga effisiensi *thermal* menjadi lebih baik. Akan tetapi jika dilihat lebih detail, disaat penambahan laju alir massa udara dengan mengatur arus elektrik supercharger sebesar 12 volt effisiensi *thermal* malah turun. Hal ini dikarenakan emulsi 35 yang dioperasikan pada kondisi tersebut telah mencapai titik tertinggi untuk memasukkan campuran udara-bahan bakar. Sehingga laju alir massa emulsi semakin cepat. Hal ini disebabkan konsentrasi udara yang lebih tinggi membuat AFR yang dihasilkan juga lebih tinggi, sehingga pembakaran akan lebih sempurna. Melalui persamaan umum efisiensi termal :

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne\ x\ 0{,}178179038884112}{((\dot{m}_{Emulsi\ 30}.\ LHV_{Emulsi\ 30}))} x100\% \right)$$

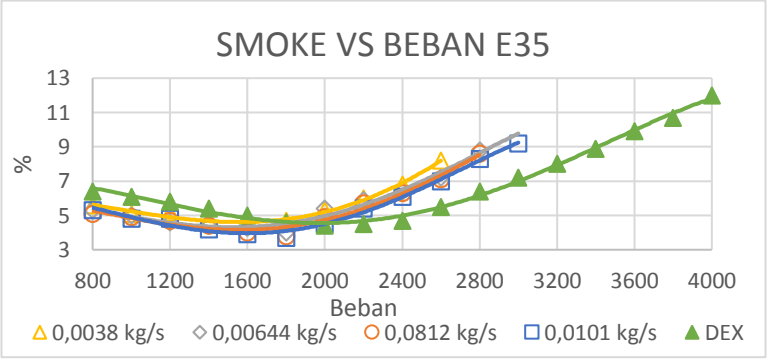
Dapat dilihat bahwa ada hubungan antara sfc dengan nilai efisiensi thermal dimana nilai sfc merupakan kebalikan dari nilai efisiensi *thermal* atau sebaliknya. Dimana saat sfc turun hingga nilai terendah maka efisiensi *thermal* naik hingga bernilai maksimum, yang menggambarkan bahwa dengan naiknya efisiensi termal maka semakin banyak bahan bakar yang dapat dikonversi selama proses pembakaran menjadi daya yang dikeluarkan melalui poros mesin. Saat nilai sfc naik kembali maka nilai efisiensi *thermal* turun yang mengindikasikan semakin banyak bahan bakar yang terbuang bersama gas sisa pembakaran karena tidak dapat dikonversi menjadi daya mesin pada saat proses pembakaran berlangsung di ruang bakar.

4.6.7 Analisis smoke



Gambar 4.20 % Smoke vs Beban E30

Grafik di atas menunjukkan pengaruh laju alir massa udara terhadap asap gas buang setiap kenaikan beban listrik pada bahan bakar emulsi 30. Dalam grafik digambarkan bahwa adanya peningkatan asap gas buang terhadap kenaikan beban, yang disebabkan bertambahnya jumlah energi input ke dalam ruang bakar untuk memberikan daya engine terhadap kenaikan beban listrik.



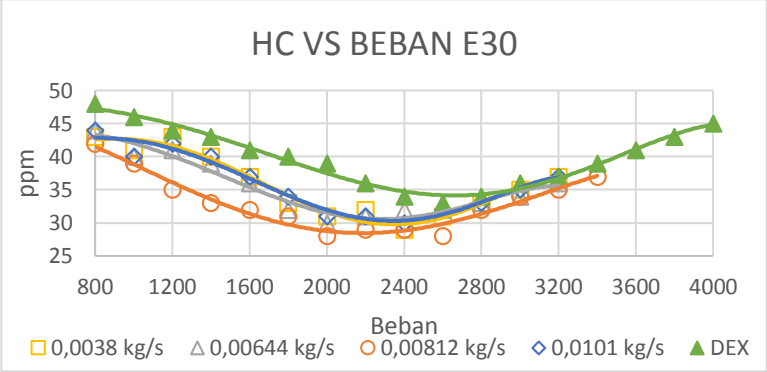
Gambar 4.21 % Smoke vs Beban E35

Grafik di atas menunjukkan pengaruh laju alir massa udara terhadap asap gas buang setiap kenaikan beban listrik pada bahan bakar emulsi 35. Dalam grafik digambarkan bahwa adanya peningkatan asap gas buang terhadap kenaikan beban, yang disebabkan bertambahnya jumlah energi input ke dalam ruang bakar untuk memberikan daya engine terhadap kenaikan beban listrik.

Selain itu grafik juga menunjukkan penurunan nilai persentase asap gas buang setiap kenaikan laju alir massa udara. Hal ini disebabkan karena pembakaran dalam ruang bakar semakin sempurna seiring bertambahnya laju alir massa udara. Semakin laju alir massa udara ditambahkan maka homogenitasa terhadap bahan bakar semakin meningkat sehingga semakin rendah asap yang di hasilkan

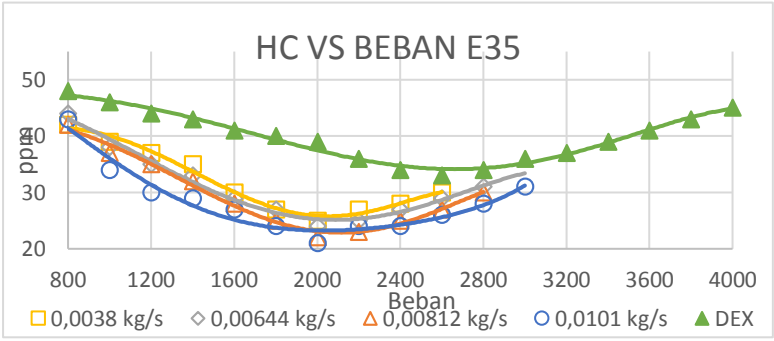
4.6.8 Analisis HC

Hidrokarbon terjadi akibat bahan bakar yang tidak terbakar kemudian keluar begitu saja. Sebab terjadinya hidrokarbon (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalaan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan karena adanya *overlap valve*, sehingga HC dapat keluar melalui saluran pembuangan.



Gambar 4.22. Emisi HC vs Beban Emulsi 30

Gambar 4.22 menunjukkan grafik hidrokarbon pada bahan bakar emulsi W/D 30 berdasarkan gambar nilai hc mengalami penuruna



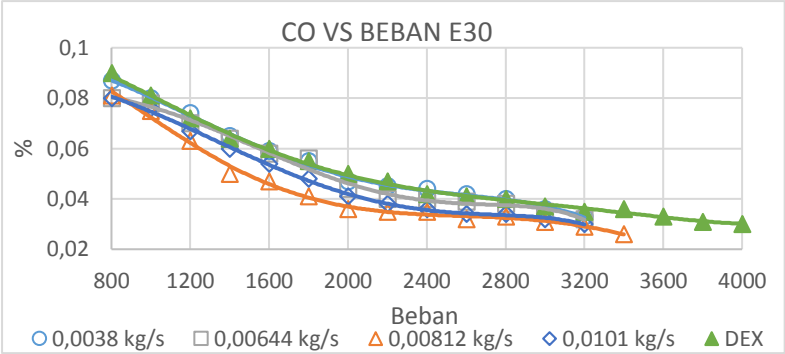
mulai dari beban 800 hingga beban 1600 waat kemudian mengalami peningkatan pada beban 1800 hingga beban tinggi. Ini menunjukkankan bahwa pada beban 1600 terjadi komposisi udara dan bahan bakar yang tepat sehingga pembakaran yang di hasilkan sempurna dibandingkan dengan beban yang lain.

Gambar 4.23 Emisi HC vs Beban Emulsi 35

Gambar 4.23 menunjukkan bahwa emisi hidrokarbon yang terjadi pada bahan bakar emulsi W/D 35. Terjadi penurunan yang drastis pada variasi 12 Volt atau $\dot{m}$ udara 0,0101 kg/s ini merupakan emisi terendah karena penambahan udara sebesar 0,020 kg/s hingga 0,028 kg/s sehingga bahan bakar emulsi yang di injeksikan semakin homogen dan pembakaran lebih sempurna. Tetapi pada beban 1800 watt hingga 200 mengalami kenaikan kembali.

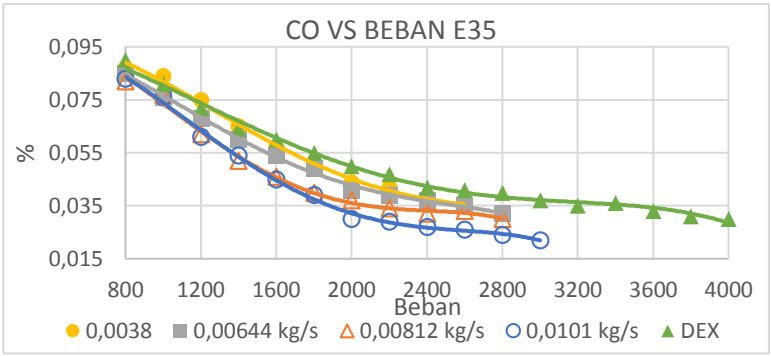
4.6.9 Analisa CO

Emisi CO adalah emisi berbahaya yang terbentuk dari bahan bakar yang tidak terbakar dengan sempurna. Pada pembakaran yang tidak sempurna, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO yang berada di dalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang. Karbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi membentuk karbon monoksida dan oksigen.



Gambar 4.24 Emisi CO vs Beban Emulsi 30

Berdasarkan gambar 4.24. menunjukkan emisi CO pada emulsi W/D30 secara umum mengalami penurunan 30% dibandingkan dengan bahan bakar dex pada beban 1600 watt. Hal ini disebabkan karena penambahan massa Udara sehingga pembakaran menjadi ideal dan dapat menurunkan emisi.

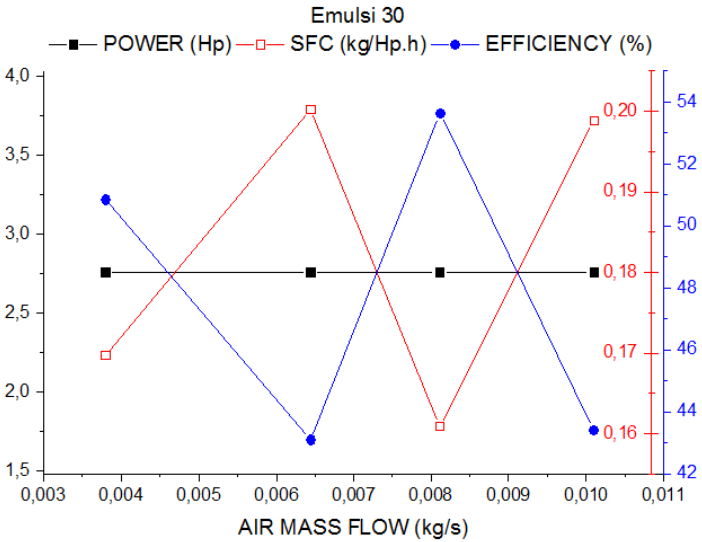


Gambar 4.25. Emisi CO vs Beban Emulsi 35

Berdasarkan gambar 4.25 menunjukkan emisi CO pada emulsi W/D35 secara umum mengalami penurunan 10% hingga 30% dibandingkan dengan bahan bakar dex. Hal ini disebabkan

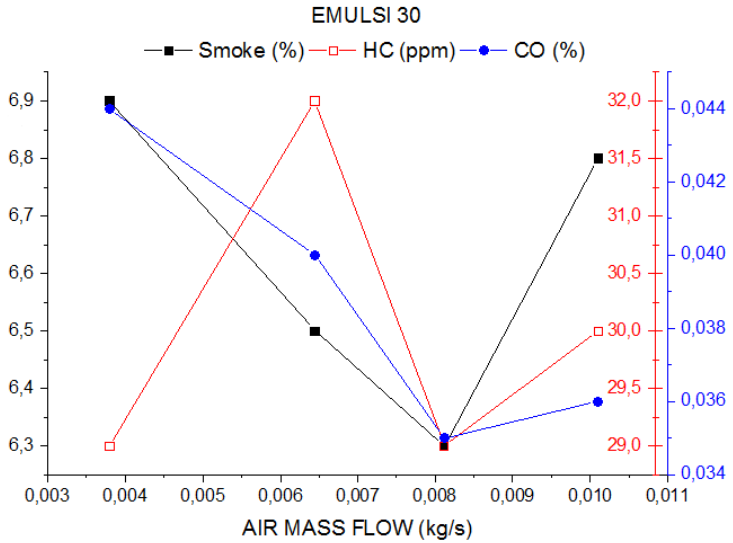
karena penambahan massa Udara sehingga pembakaran menjadi ideal dan dapat menurunkan emisi setelah pembakaran yang terjadi padaruang bakar.

4.7 Analisa Grafik *Performance*



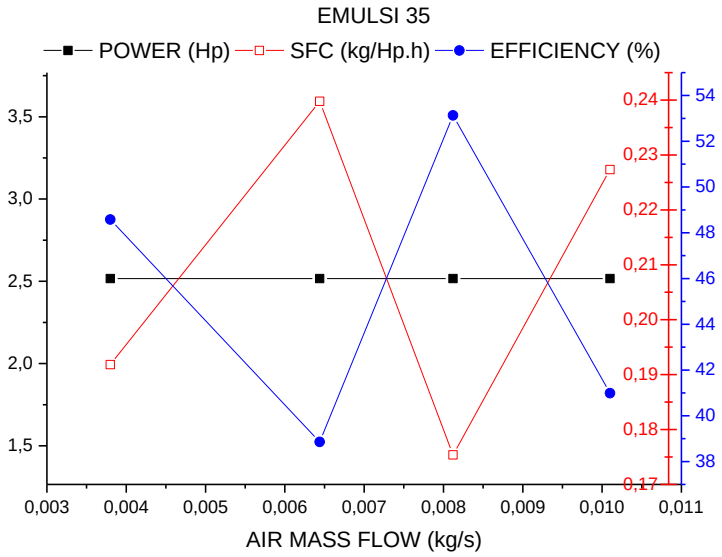
Gambar 4.26 power, sfc, effisiensi emulsi 30

Pada gambar 4.26 menunjukkan bahwa performa mesin saat menggunakan bahan bakar emulsi 30 dan beban 2400 watt dengan penambahan mass flow udara didapatkan bahwa penambahan massa udara sebesar 0,812 kg/s menghasilkan konsumsi bahan bakar yang rendah yaitu sebesar 0,16 kg/hp.h untuk daya yang sama dan juga memiliki effisiensi thermal yang tinggi sebesar 51 %



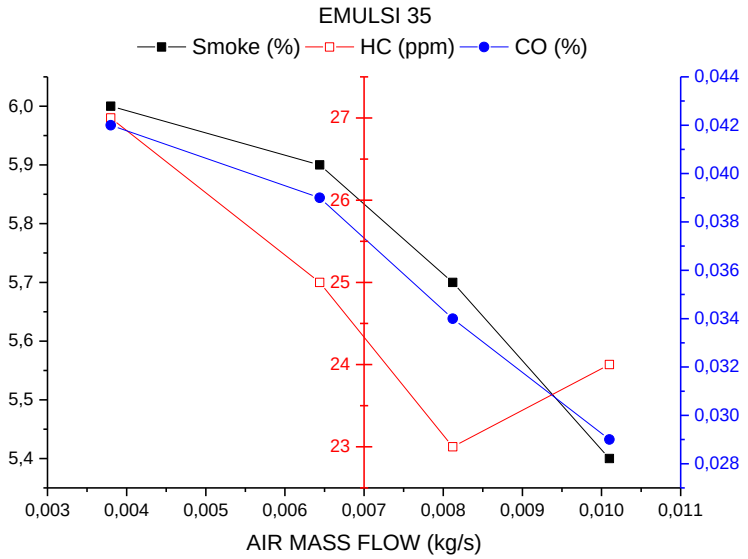
Gamabar 4.27 smoke, HC, CO emulsi 30

Pada gambar 4.27 menunjukkan bahwa performa mesin saat menggunakan bahan bakar emulsi 30 dan beban 2400 watt dengan penambahan mass flow udara didapatkan bahwa penambahan massa udara sebesar 0,812 kg/s menghasilkan emisi yang rendah di bandngkan dengan bahan bakar fosil seperti dex dan juga memiliki emisi paling rendah yaitu dengan nilai Smoke, HC, dan Co sebesar 6,3%, 29 ppm, dan 0,035%



Gambar 4.28 power, sfc, effisiensi emulsi 35

Pada gambar 4.27 menunjukkan bahwa performa mesin saat menggunakan bahan bakar emulsi 35 dan beban 2200 watt dengan penambahan mass flow udara didapatkan bahwa penambahan massa udara sebesar 0,812 kg/s menghasilkan daya sebesar 2,5 hp dan memiliki sfc yag rendah sebesar 0,175 kg/Hp.h dan effisiensi mencapai 53%.



Gambar 4.29 smoke, HC, CO emulsi 35

Pada gambar 4.27 menunjukkan bahwa performa mesin saat menggunakan bahan bakar emulsi 35 dan beban 2200 watt dengan penambahan mass flow udara didapatkan bahwa penambahan massa udara sebesar 0,812 kg/s menghasilkan emisi yang rendah untuk nilai smoke, HC, dan Co sebesar 5,7%, 23 ppm, 0,034%. Namun pada penambahan *mass flow* udara sebesar 0,1010 kg/s pada emisi smoke dan CO terus menurun sedangkan pada HC kembali Naik.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan Emulsi dapat menurunkan pemakaian bahan bakar fosil sebanyak 35% dengan adanya penambahan air kedalam bahan bakar diesel sebanyaka 35% by volume. Tetapi menggunakan bahan bakar emulsi hanya mampu memenuhi kebutuhan hingga beban 3000 watt atau 75% dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar pertamina dex
2. Dengan penggunaan **bahan bakar emulsi E30** pada mesin diesel Diamond DI 800 didapatkan penambahan mass flow rate udara paling optimal 0,006 kg/s pada arus 10 volt, dimana terjadi perbaikan unjuk kerja dan emisi gas buang dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar Pertamina Dex murni tanpa penambahan mass flow rate udara. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya *thermal efficiency* sebesar 12,6%. Namun untuk nilai *SFC* menurun hingga 24,5% dari bahan bakar Pertaminda Dex murni pada kondisi standar. Sedangkan untuk emisi yang dihasilkan untuk *smoke opacity, HC,* dan *CO* sebesar 9%, 21,35%, dan 27%.
3. Penggunaan bahan **bakar emulsi E35** pada mesin diesel Diamond DI 800 didapatkan *Afr* paling optimal pada arus 10 Volt, dimana terjadi perbaikan unjuk kerja dan emisi gas buang dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar Pertamina Dex murni pada kondisi tanpa penambahan *mass flow rate* udara. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya *thermal efficiency* sebesar 16,35%. Namun

untuk nilai *SFC* menurun hingga 26,44% dari bahan bakar Pertaminda Dex murni pada kondisi standar. Sedangkan untuk emisi yang dihasilkan untuk *smoke opacity, HC,* dan *CO* sebesar 16,98%, 21,05%, dan 40%.

4. Pola penyemprotan pada penginjeksian 200 kg/cm^2 dengan menggunakan **bahan bakar emulsi E30**, didapatkan hasil yang lebih panjang dibandingkan dengan **bahan bakar E35**, dimana panjang semprotannya (L) mencapai 55 cm dengan sudut semprotan sebesar (Ø) 20^o. Sehingga proses atomisasi antara bahan bakar dengan udara menjadi lebih baik.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran, antara lain:

1. Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang akan mendapatkan hasil yang akurat apabila menggunakan alat *pressure tranduser,* sehingga diketahui secara jelas proses pembakaran dengan indikasi *pressure* yang ditampilkan.
2. Gunakan bahan kimia, emulgator yang lebih baik agar campuran bahan bakar dapat tercampur secara homogen, dan separasi yang terjadi lebih lama terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

1. B. Principles, Ciencia De Las Emulsiones Principios Básicos. .
2. L. J. Muzio and G. C. Quartucy, "Implementing NOx control: Research to application," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 23, no. 3, pp. 233–266, Jan. 1997.
3. R. M. Joshi and M. J. Pegg, "Flow properties of biodiesel fuel blends at low temperatures," *Fuel*, vol. 86, no. 1–2, pp. 143–151, 2007.
4. C.-Y. Lin and K.-H. Wang, "Diesel engine performance and emission characteristics using three-phase emulsions as fuel," *Fuel*, vol. 83, no. 4–5, pp. 537–545, Mar. 2004.
5. A. Alahmer, J. Yamin, A. Sakhrieh, and M. A. Hamdan, "Engine performance using emulsifed diesel fuel," *Energy Conversion and Management*, vol. **51**, no. 8, pp. 1708–1713 (2010)
6. "NOx and HC emission control using water emulsified diesel in single cylinder diesel engine," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 4, no. 8, pp. 59–62, 2009.
7. J. Ghojel, D. Honnery, and K. Al-Khaleef, "Performance, emissions and heat release characteristics of direct injection diesel engine operating on diesel oil emulsion," Applied Termal Engineering, vol. **26**, no. 17-18, pp. 2132–2141 (2006)
8. N. Samec, B. Kegl, and R. W. Dibble, "Numerical and experimental study of water/oil emulsified fuel combustion in a diesel engine," *Fuel*, vol. 81, no. 16, pp. 2035–2044, 2002.
9. N. Samec, Z. Dobovisek, and A. Hribernik, "The Effect of Water emulsifed in diesel fuel on diesel fuel on exhaust emission,
10. R. Ochoterena, A. Lif, M. Nyden, S. Andersson, and I. Denbratt, "Optical studies of spray development and combustion of water in-diesel emulsion and microemulsion fuels," *Fuel*, vol. 89, no. 1, pp. 122–132 (2010)
11. J. Park, K. Huh, and K. Park, "Experimental study on the combustion characteristics of emulsifed diesel in a rcem," in

Proceedings of the Seoul FISITA World Automotive Congress, Seoul, Republic of Korea, June (2000)
12. Y. Morozumi and Y. Saito, "Effect of physical properties on microexplosion occurrence in water-in-oil emulsion droplets," *Energy and Fuels*, vol. **24**, no. 3, pp. 1854–1859 (2010)
13. W. B. Fu, L. Y. Hou, L. Wang, and F. H. Ma, "A unifed model for the micro-explosion of emulsifed droplets of oil and water," *Fuel Processing Technology*, vol. **79,** no. 2, pp. 107–119 (2002)
14. M. Abu-Zaid, "Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions," *Energy Convers. Manag.*, vol. 45, no. 5, pp. 697–705, Mar. 2004.
15. A. M. Ithnin, M. A. Ahmad, M. A. A. Bakar, S. Rajoo, and W. J. Yahya, "Combustion performance and emission analysis of diesel engine fuelled with water-in-diesel emulsion fuel made from low-grade diesel fuel," *Energy Convers. Manag.*, vol. 90, pp. 375–382, 2015.
16. A. M. Ithnin, M. A. Ahmad, M. A. A. Bakar, S. Rajoo, and W. J. Yahya, "Combustion performance and emission analysis of diesel engine fuelled with water-in-diesel emulsion fuel made from low-grade diesel fuel," *Energy Convers. Manag.*, vol. 90, pp. 375–382, 2015.
17. M. Yahaya Khan, Z. A. Abdul Karim, F. Y. Hagos, A. R. A. Aziz, and I. M. Tan, "Current trends in water-in-diesel emulsion as a fuel," *Sci. World J.*, vol. 2014, no. January, 2014.
18. M. P. Ashok and C. G. Saravanan, "Combustion Characteristics of Compression Engine Driven by Emulsified Fuel Under Various Fuel Injection Angles," *J. Energy Resour. Technol.*, vol. 129, no. 4, p. 325, 2007.
19. J. Sadhik Basha and R. B. Anand, "An experimental investigation in a diesel engine using carbon nanotubes blended water-diesel emulsion fuel," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy*, vol. 225, no. 3, pp. 279–288, 2011.
20. M. E. A. Fahd, Y. Wenming, P. S. Lee, S. K. Chou, and C. R. Yap, "Experimental investigation of the performance and

emission characteristics of direct injection diesel engine by water emulsion diesel under varying engine load condition," *Appl. Energy*, vol. 102, pp. 1042–1049, 2013.
21. O. Armas, R. Ballesteros, F. J. Martos, and J. R. Agudelo, "Characterization of light duty Diesel engine pollutant emissions using water-emulsified fuel," *Fuel*, vol. 84, no. 7–8, pp. 1011–1018, 2005.
22. R. G. Papagiannakis, C. D. Rakopoulos, D. T. Hountalas, and D. C. Rakopoulos, "Emission characteristics of high speed, dual fuel, compression ignition engine operating in a wide range of natural gas/diesel fuel proportions," *Fuel*, vol. 89, no. 7, pp. 1397–1406, 2010.
23. Kawano D. Sungkono, 2014. Motor Bakar Torak (Diesel). Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
24. S. Vellaiyan and K. S. Amirthagadeswaran, "Influence of Water-in-Diesel Emulsion Fuel and Compression Ratio on Combustion, Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine," *J. Sustain. Energy Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 238–253, 2016.
25. Heywood JB. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw- Hill Book Company; 1988. p. 53.
26. Y. Liang, G. Shu, H. Wei, and W. Zhang, "Effect of oxygen enriched combustion and water-diesel emulsion on the performance and emissions of turbocharged diesel engine," *Energy Convers. Manag.*, vol. 73, pp. 69–77, 2013.
27. "NOx and HC emission control using water emulsified diesel in single cylinder diesel engine," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 4, no. 8, pp. 59–62, 2009.
28. B. K. Debnath, U. K. Saha, and N. Sahoo, "A comprehensive review on the application of emulsions as an alternative fuel for diesel engines," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 196–211, 2014.
29. B. Cahyono, A. Z. M. Fathallah, and N. Pahlevi, "Effect of Water in Fuel Emulsion on Performance and NOx of Diesel Engine," vol. 1, no. 4, 2017.

PERHITUNGAN UDARA

$$V_{udara} = \sqrt{\frac{2(\Delta P)}{\rho_{udara}}}$$

$$Re_{V_{max}} = \frac{\rho_{udara} . V_{max} . D}{\mu_{air}}$$

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$\dot{m}_{udara} = \rho_{udara} . A_{udara} . \bar{V}_{udara}$$

D	A	Δp (Pa)	viscousity (kg/ms)	density (kg/m3)	Vmax	Re max	n	Vavg
0,038	0,001134118	10	0,00001872	1,1614	4,149770576	9783,261473	5,48287059	3,216348625
0,038	0,001134118	20	0,00001872	1,1614	5,868661829	13835,62106	5,753797586	4,599984657
0,038	0,001134118	30	0,00001872	1,1614	7,187613477	16945,10594	5,912279719	5,668405319
0,038	0,001134118	40	0,00001872	1,1614	8,299541152	19566,52295	6,024724582	6,572596831
0,038	0,001134118	50	0,00001872	1,1614	9,279169099	21876,0377	6,111943594	7,371405813
0,038	0,001134118	60	0,00001872	1,1614	10,16482046	23963,99863	6,183206715	8,095132934
0,038	0,001134118	70	0,00001872	1,1614	10,97926094	25884,07687	6,243458826	8,761831663
0,038	0,001134118	80	0,00001872	1,1614	11,73732366	27671,24212	6,295651578	9,383292634
0,038	0,001134118	90	0,00001872	1,1614	12,44931173	29349,78442	6,341688848	9,967721785

0,038	0,001134118	100	0,00001872	1,1614	13,12272679	30937,3892	6,38287059	10,52110381
0,038	0,001134118	110	0,00001872	1,1614	13,76323197	32447,40753	6,42012406	11,04796329
0,038	0,001134118	120	0,00001872	1,1614	14,37522695	33890,21187	6,45413371	11,55181995
0,038	0,001134118	130	0,00001872	1,1614	14,96221059	35274,05088	6,48541960	12,03547609
0,038	0,001134118	140	0,00001872	1,1614	15,52701973	36605,61256	6,51438582	12,50120617
0,038	0,001134118	150	0,00001872	1,1614	16,07199233	37890,40876	6,54135272	12,95088652
0,038	0,001134118	160	0,00001872	1,1614	16,5990823	39133,04589	6,56657857	13,3860866
0,038	0,001134118	170	0,00001872	1,1614	17,10994241	40337,42042	6,59027461	13,80813506
0,038	0,001134118	180	0,00001872	1,1614	17,60598549	41506,86318	6,61261584	14,21816857
0,038	0,001134118	190	0,00001872	1,1614	18,08843058	42644,2481	6,63374883	14,61716855
0,038	0,001134118	200	0,00001872	1,1614	18,558338 2	43752,07539	6,65379758 6	15,00598938

0,038	0,001134118	210	0,00001872	1,1614	19,01663778	44832,53624	6,672867955	15,38538031
0,038	0,001134118	220	0,00001872	1,1614	19,46414931	45887,5638	6,691051002	15,75600274
0,038	0,001134118	230	0,00001872	1,1614	19,90160054	46918,87377	6,708425642	16,11844402
0,038	0,001134118	240	0,00001872	1,1614	20,32964092	47927,99726	6,725060707	16,47322857
0,038	0,001134118	250	0,00001872	1,1614	20,74885288	48916,30737	6,741016597	16,82082694
0,038	0,001134118	260	0,00001872	1,1614	21,15976114	49885,04116	6,756346603	17,16166326
0,038	0,001134118	270	0,00001872	1,1614	21,56284043	50835,31781	6,771097977	17,49612142
0,038	0,001134118	280	0,00001872	1,1614	21,95852188	51768,15374	6,785312818	17,82455022
0,038	0,001134118	290	0,00001872	1,1614	22,34719846	52684,47539	6,799028788	18,14726771
0,038	0,001134118	300	0,00001872	1,1614	22,72922953	53585,12995	6,812279719	18,46456487
0,038	0,001134118	310	0,00001872	1,1614	23,10494473	54470,89458	6,825096114	18,77670872

0,038	0,001134118	320	0,00001872	1,1614	23,47464732	55342,48424	6,83750557	19,08394499
0,038	0,001134118	330	0,00001872	1,1614	23,83861704	56200,55842	6,84953136	19,38650045
0,038	0,001134118	340	0,00001872	1,1614	24,1971126	57045,72703	6,86120161	19,68458487
0,038	0,001134118	350	0,00001872	1,1614	24,55037381	57878,55542	6,87253183	19,9783928
0,038	0,001134118	360	0,00001872	1,1614	24,89862346	58699,56884	6,88354284	20,268105
0,038	0,001134118	370	0,00001872	1,1614	25,24206897	59509,25631	6,89425241	20,55388986
0,038	0,001134118	380	0,00001872	1,1614	25,58090385	60308,07402	6,90467582	20,83590448
0,038	0,001134118	390	0,00001872	1,1614	25,91530894	61096,44832	6,91482836	21,11429575
0,038	0,001134118	400	0,00001872	1,1614	26,24545357	61874,7784	6,92472482	21,38920124
0,038	0,001134118	410	0,00001872	1,1614	26,57149655	62643,43866	6,93437606	21,66074999
0,038	0,001134118	420	0,00001872	1,1614	26,89358706	63402,78079	6,94379495	21,92906328

0,038	0,001134118	430	0,00001872	1,1614	27,21186544	64153,13568	6,952992222	22,19425522
0,038	0,001134118	440	0,00001872	1,1614	27,52646393	64894,81507	6,961977998	22,45643337
0,038	0,001134118	450	0,00001872	1,1614	27,8375073	65628,11309	6,970761852	22,71569921
0,038	0,001134118	460	0,00001872	1,1614	28,14511314	66353,30762	6,979352638	22,97214867
0,038	0,001134118	470	0,00001872	1,1614	28,44939374	67070,66153	6,987758662	23,22587249
0,038	0,001134118	480	0,00001872	1,1614	28,75045391	67780,42374	6,995987703	23,47695663
0,038	0,001134118	490	0,00001872	1,1614	29,04839403	68482,83031	7,004047062	23,72548262
0,038	0,001134118	500	0,00001872	1,1614	29,34330915	69178,1053	7,011943594	23,97152787

Data Percobaan Emulsi

Bahan bakar:		E 30		Variasi		0	volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	316	-30	99	127	80	79	1500		
800	25	266	-20	105	152	83	84	1500	2,6	220
1000	25	246	-40	109	158	86	86	1500	3,2	220
1200	25	235	-20	112	164	88	91	1500	3,9	220
1400	25	229	-30	114	176	90	94	1500	4,6	220
1600	25	230	-30	115	179	92	97	1500	5,3	220
1800	25	200	-20	114	198	94	100	1500	6,2	220
2000	25	180	-30	115	196	95	105	1500	7,0	220
2200	25	178	-40	115	220	95	100	1500	7,3	220
2400	25	164	-40	114	239	87	94	1500	8,0	220
2600	25	150	-50	115	245	89	96	1500	8,8	220
2800	25	139	-50	116	257	90	97	1500	9,3	220
3000	25	128	-50	116	260	94	98	1500	9,6	220
3200	25	120	-40	116	266	100	100	1340	10,0	220
3400	25	120	-20	115	255	103	103	1250	9,7	220

V	ṁ udara		Q	ṁ bahan bakar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
5,668405319	0,002977	10,71611	0,0000000791	0,000067484	0,242943	44,10958						
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000000940	0,000080169	0,288609	30,13165	0,89643	4,259478	43,3932	1,325339	0,321954	26,80513
6,572596831	0,003452	12,42549	0,0000001016	0,000086687	0,312073	39,81594	1,103299	5,242434	53,40701	1,631186	0,282855	30,51041
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001064	0,000090745	0,326681	26,62007	1,344645	6,389217	65,0898	1,988008	0,242949	35,52184
5,668405319	0,002977	10,71611	0,0000001092	0,000093122	0,33524	31,96549	1,585992	7,535999	76,77258	2,34483	0,211376	40,82782
5,668405319	0,002977	10,71611	0,0000001087	0,000092717	0,333783	32,10507	1,827338	8,682781	88,45536	2,701652	0,182661	47,24617
5,668405319	0,002977	10,71611	0,0000001250	0,000106625	0,38385	27,91745	2,137641	10,15722	103,4761	3,160423	0,179567	48,06009
5,668405319	0,002977	10,71611	0,0000001389	0,000118472	0,4265	25,12571	2,413466	11,46782	116,8278	3,568219	0,176717	48,83526
5,668405319	0,002977	10,71611	0,0000001404	0,000119803	0,431292	24,84653	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,171358	50,36233
6,572596831	0,003452	12,42549	0,0000001524	0,000130030	0,46811	26,54396	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,169713	50,85068
7,371405813	0,003871	13,93564	0,0000001667	0,000142167	0,5118	27,22867	3,034071	14,41669	146,8693	4,485762	0,168684	51,16074
7,371405813	0,003871	13,93564	0,0000001799	0,000153417	0,552302	25,23191	3,206462	15,23582	155,2141	4,740634	0,172247	50,10265
6,572596831	0,003452	12,42549	0,0000001953	0,000166602	0,599766	20,71724	3,309896	15,7273	160,221	4,893558	0,181204	47,626
6,572596831	0,003452	12,42549	0,0000002083	0,000177708	0,63975	19,42241	3,447808	16,38261	166,8969	5,097456	0,185553	46,50977
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000002083	0,000177708	0,63975	13,59323	3,344374	15,89113	161,89	4,944533	0,191291	45,11447

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	6,5	46	0,089
800	6,6	43	0,087
1000	6,6	41	0,08
1200	5,9	43	0,074
1400	5,2	40	0,065

1600	4,8	37	0,059
1800	4,6	33	0,055
2000	5,4	31	0,047
2400	5,6	32	0,045
2600	6,9	29	0,044
2800	8,1	31	0,042
3000	9,4	33	0,04
3200	10,6	35	0,036
3400	12,2	37	0,033

Bahan bakar:		E 30		Variasi		8	Volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	266	140	100	79	81	131	1500		
800	25	231	130	106	82	83	148	1500	2,5	220
1000	25	212	160	107	83	85	157	1500	3,1	220
1200	25	202	130	110	169	87	88	1500	3,8	220
1400	25	178	140	112	176	89	90	1500	4,6	220
1600	25	173	150	114	186	91	90	1500	5,2	220
1800	25	181	120	115	188	92	95	1500	6,0	220
2000	25	154	140	116	203	94	99	1500	6,9	220
2200	25	143	120	115	227	89	97	1500	7,3	220
2400	25	139	120	116	247	91	101	1500	8,0	220
2600	25	127	110	117	258	93	103	1500	8,8	220
2800	25	119	120	117	271	94	106	1500	9,6	220
3000	25	120	70	116	245	96	108	1342	9,2	220
3200	25									
3400	25									
3600	25									
3800	25									
4000	25									

V	ṁ udara		Q	ṁ solarṁ bahan bakar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000000940	0,000080169	0,288609	81,88766						
12,03547609	0,00632	22,75306	0,0000001082	0,000092316	0,332338	68,46367	0,861952	4,095652	41,72423	1,274364	0,385564	22,38283
13,3860866	0,00703	25,30638	0,0000001179	0,000100590	0,362123	69,88346	1,068821	5,078608	51,73804	1,580211	0,338806	25,47185
12,03547609	0,00632	22,75306	0,0000001238	0,000105569	0,38005	59,86866	1,310167	6,22539	63,42083	1,937033	0,290077	29,75075
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000001404	0,000119803	0,431292	54,79701	1,585992	7,535999	76,77258	2,34483	0,271938	31,73516
12,95088652	0,006801	24,48364	0,0000001445	0,000123266	0,443757	55,1735	1,79286	8,518955	86,78639	2,650677	0,247514	34,86682
11,55181995	0,006066	21,8387	0,0000001381	0,000117818	0,424144	51,48893	2,068685	9,829564	100,1381	3,058474	0,205031	42,09134
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000001623	0,000138474	0,498506	47,40865	2,378988	11,304	115,1589	3,517245	0,209546	41,1844
11,55181995	0,006066	21,8387	0,0000001748	0,000149126	0,536853	40,6791	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,213299	40,45962
11,55181995	0,006066	21,8387	0,0000001799	0,000153417	0,552302	39,54123	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,200237	43,09905
11,04796329	0,005802	20,88616	0,0000001969	0,000167913	0,604488	34,55181	3,034071	14,41669	146,8693	4,485762	0,199233	43,3161
11,55181995	0,006066	21,8387	0,0000002101	0,000179202	0,645126	33,85184	3,309896	15,7273	160,221	4,893558	0,194908	44,2773
8,761831663	0,004601	16,56423	0,0000002083	0,000177708	0,63975	25,89173	3,171984	15,072	153,5452	4,68966	0,201688	42,78899
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	5,9	46	0,088
800	5,7	44	0,08
1000	5,3	40	0,078

1200	5,5	41	0,07
1400	5	39	0,064
1600	4,8	36	0,058
1800	4,4	32	0,056
2000	5,1	30	0,044
2200	5,4	31	0,04
2400	6,5	32	0,04
2600	7,8	32	0,039
2800	8,7	33	0,038
3000	9,6	34	0,035

Bahan bakar:		E 30		Variasi		10	Volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	337	150	108	129	92	90	1500		
800	25	242	140	98	107	91	91	1500	2,7	220
1000	25	224	150	111	165	93	86	1500	3,2	220
1200	25	214	190	113	177	93	95	1500	3,9	220
1400	25	220	200	114	189	94	97	1500	4,8	220
1600	25	198	210	115	205	95	99	1500	5,6	220
1800	25	195	190	115	212	96	102	1500	6,4	220
2000	25	186	210	115	200	96	103	1500	7,1	220
2200	25	184	200	115	213	96	100	1500	7,3	220
2400	25	173	150	116	227	97	92	1500	8,0	220
2600	25	158	170	117	244	97	95	1500	8,8	220
2800	25	138	190	118	262	98	96	1460	9,4	220
3000	25	138	150	115	247	99	99	1330	9,2	220
3200	25									220
3400	25									220
3600	25									220
3800	25									220
4000	25									220

V	ṁ udara		Q	ṁ bahan bakar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
12,95088652	0,006801	24,48364	0,0000000742	0,000063279	0,227804	107,4767						
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000001033	0,000088120	0,317231	74,4993	0,930908	4,423304	45,06217	1,376313	0,340776	25,32457
12,95088652	0,006801	24,48364	0,0000001116	0,000095201	0,342723	71,43852	1,103299	5,242434	53,40701	1,631186	0,310635	27,78183
14,61716855	0,007676	27,63374	0,0000001168	0,000099650	0,358738	77,03036	1,344645	6,389217	65,0898	1,988008	0,26679	32,34754
15,00598938	0,00788	28,36881	0,0000001136	0,000096932	0,348955	81,29657	1,654948	7,863651	80,11052	2,446779	0,210855	40,9286
15,38538031	0,008079	29,08605	0,0000001263	0,000107702	0,387727	75,01677	1,930773	9,17426	93,46227	2,854576	0,200815	42,97503
15,38538031	0,008079	29,08605	0,0000001282	0,000109359	0,393692	73,88015	2,206597	10,48487	106,814	3,262372	0,178416	48,37016
15,38538031	0,008079	29,08605	0,0000001344	0,000114651	0,412742	70,4703	2,447944	11,63165	118,4968	3,619194	0,168608	51,184
15,00598938	0,00788	28,36881	0,0000001359	0,000115897	0,417228	67,9935	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,165771	52,05993
12,95088652	0,006801	24,48364	0,0000001445	0,000123266	0,443757	55,1735	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,160884	53,64127
12,95088652	0,006801	24,48364	0,0000001582	0,000134968	0,485886	50,38967	3,034071	14,41669	146,8693	4,485762	0,160143	53,88932
14,61716855	0,007676	27,63374	0,0000001812	0,000154529	0,556304	49,67379	3,24094	15,39965	156,8831	4,791609	0,171649	50,27706
12,95088652	0,006801	24,48364	0,0000001812	0,000154529	0,556304	44,01123	3,171984	15,072	153,5452	4,68966	0,175381	49,20733
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	5,4	44	0,088
800	5,3	42	0,081
1000	5	39	0,075

1200	4,9	35	0,063
1400	4,7	33	0,05
1600	4,4	32	0,047
1800	3,9	31	0,041
2000	4,6	28	0,036
2200	5,2	29	0,035
2400	6,3	29	0,035
2600	7	28	0,032
2800	8,1	32	0,033
3000	9,2	34	0,031

Bahan bakar:		E 30		Variasi		12	Volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	207	370	88	131	68	68	1500		
800	25	208	370	95	148	71	71	1500	2,6	220
1000	25	197	400	100	158	76	76	1500	3,1	220
1200	25	185	380	103	168	78	78	1500	3,8	220
1400	25	172	400	107	177	81	81	1500	4,4	220
1600	25	159	400	108	186	84	84	1500	5,3	220
1800	25	157	380	111	194	85	85	1500	5,9	220
2000	25	149	400	112	207	87	87	1500	7,0	220
2200	25	146	380	113	225	90	98	1500	7,3	220
2400	25	140	310	115	242	93	106	1500	8,0	220
2600	25	138	290	115	249	94	108	1500	8,6	220
2800	25	120	300	115	254	96	109	1480	9,3	220
3000	25	159	300	115	217	97	109	1356	6,7	220
3200	25									220
3400	25									220
3600	25									220
3800	25									220
4000	25									220

V	ṁ udara		Q	ṁ solar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
20,55388986	0,010794	38,85711	0,0000001208	0,000103019	0,37087	104,773						
20,55388986	0,010794	38,85711	0,0000001202	0,000102524	0,369087	105,2791	0,89643	4,259478	43,3932	1,325339	0,411729	20,9604
21,38920124	0,011232	40,43626	0,0000001269	0,000108249	0,389695	103,7638	1,068821	5,078608	51,73804	1,580211	0,364603	23,6696
20,83590448	0,010942	39,39026	0,0000001351	0,000115270	0,414973	94,92247	1,310167	6,22539	63,42083	1,937033	0,316733	27,24697
21,38920124	0,011232	40,43626	0,0000001453	0,000123983	0,446337	90,59577	1,517036	7,208347	73,43464	2,242881	0,294217	29,33216
21,38920124	0,011232	40,43626	0,0000001572	0,000134119	0,48283	83,74842	1,827338	8,682781	88,45536	2,701652	0,264226	32,66148
20,83590448	0,010942	39,39026	0,0000001592	0,000135828	0,488981	80,55582	2,034207	9,665738	98,46918	3,007499	0,240379	35,90166
21,38920124	0,011232	40,43626	0,0000001678	0,000143121	0,515235	78,48122	2,413466	11,46782	116,8278	3,568219	0,213483	40,42474
20,83590448	0,010942	39,39026	0,0000001712	0,000146062	0,525822	74,91178	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,208916	41,30843
18,77670872	0,00986	35,49735	0,0000001786	0,000152321	0,548357	64,734	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,198806	43,40912
18,14726771	0,00953	34,30739	0,0000001812	0,000154529	0,556304	61,67019	2,965115	14,08904	143,5313	4,383812	0,187616	45,99816
18,46456487	0,009696	34,90724	0,0000002083	0,000177708	0,63975	54,56388	3,206462	15,23582	155,2141	4,740634	0,199519	43,25408
18,46456487	0,009696	34,90724	0,0000001572	0,000134119	0,48283	72,29714	2,310032	10,97635	111,8209	3,415296	0,209015	41,28905
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	6	45	0,088

800	5,7	44	0,08
1000	5,6	40	0,076
1200	5,3	42	0,067
1400	5,1	40	0,06
1600	4,9	37	0,054
1800	4,5	34	0,048
2000	5,3	31	0,041
2200	5,5	31	0,038
2400	6,8	30	0,036
2600	8	32	0,034
2800	9,1	33	0,034
3000	10,5	35	0,032

Bahan bakar:		E 35		Variasi		0	volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	259	-40	92	131	73	66	1500		
800	25	232	-50	98	148	76	75	1500	2,6	220
1000	25	229	-20	102	158	78	76	1500	3,0	220
1200	25	227	-20	105	165	81	82	1500	3,9	220
1400	25	199	-20	108	176	83	80	1500	4,4	220
1600	25	193	-20	110	179	85	87	1500	5,0	220
1800	25	190	-20	112	184	87	89	1500	6,0	220
2000	25	178	-20	114	190	89	90	1500	7,0	220
2200	25	160	-30	116	200	88	92	1500	7,3	220
2400	25	140	-40	106	235	73	94	1500	8,0	220
2600	25	140	-20	107	214	75	93	1318	7,8	220
2800	25	130	-10	108	208	77	90	1250	7,7	220
3000	25									220
3200	25									220
3400	25									220
3600	25									220
3800	25									220
4000	25									220

V	ṁ udara		Q	ṁ solar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
6,572596831	0,003452	12,42549	0,0000000965	0,000082847	0,298251	41,66118						
7,371405813	0,003871	13,93564	0,0000001078	0,000092489	0,332961	41,85363	0,89643	4,259478	43,3932	1,325339	0,37143	25,0867
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001092	0,000093701	0,337323	25,78023	1,034343	4,914782	50,06907	1,529237	0,326123	28,57189
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001101	9,45264E-05	0,340295	25,55507	1,344645	6,389217	65,0898	1,988008	0,253074	36,81906
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001256	0,000107827	0,388176	22,4029	1,517036	7,208347	73,43464	2,242881	0,255878	36,41565
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001295	0,000111179	0,400244	21,72744	1,723904	8,191303	83,44846	2,548728	0,232173	40,13374
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001316	0,000112934	0,406563	21,38971	2,068685	9,829564	100,1381	3,058474	0,196532	47,41187
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001404	0,000120548	0,433972	20,03878	2,413466	11,46782	116,8278	3,568219	0,179813	51,82035
5,668405319	0,002977	10,71611	0,0000001563	0,000134109	0,482794	22,19605	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,191821	48,57638
6,572596831	0,003452	12,42549	0,0000001786	0,000153268	0,551764	22,51956	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,200042	46,58009
4,599984657	0,002416	8,696267	0,0000001786	0,000153268	0,551764	15,76084	2,689291	12,77843	130,1796	3,976016	0,205171	45,41559
3,216348625	0,001689	6,080504	0,0000001923	0,000165058	0,594208	10,23296	2,654812	12,61461	128,5106	3,925041	0,223823	41,63095
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	5,7	48	0,089
800	5,6	42	0,087
1000	5,1	39	0,084

1200	5,2	37	0,075
1400	4,7	35	0,065
1600	4,4	30	0,057
1800	4,7	27	0,051
2000	5,3	25	0,044
2200	6	27	0,042
2400	6,8	28	0,038
2600	8,2	30	0,035
2800	11,5	77	0,15

Bahan bakar:		E 35		Variasi		8	Volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	267	130	91	114	77	70	1500		
800	25	230	130	99	146	79	72	1500	2,4	220
1000	25	203	130	102	157	80	77	1500	3,1	220
1200	25	190	130	105	158	83	80	1500	3,8	220
1400	25	180	130	106	156	84	80	1500	4,6	220
1600	25	162	130	107	186	85	86	1500	5,2	220
1800	25	146	130	108	193	86	89	1500	6,0	220
2000	25	130	130	112	202	87	91	1500	7,0	220
2200	25	128	120	114	212	88	95	1500	7,3	220
2400	25	126	100	115	230	89	98	1500	8,0	220
2600	25	127	70	115	216	90	98	1313	7,8	220
2800	25	127	60	115	204	91	98	1178	7,7	220
3000	25									220
3200	25									220
3400	25									220
3600	25									220
3800	25									220
4000	25									220

V	ṁ udara		Q	ṁ solar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000000936	0,000080365	0,289315	81,68795						
12,03547609	0,00632	22,75306	0,0000001087	0,000093293	0,335857	67,74636	0,827474	3,931826	40,05526	1,22339	0,405882	22,95733
13,3860866	0,00703	25,30638	0,0000001232	0,000105702	0,380527	66,5035	1,068821	5,078608	51,73804	1,580211	0,356025	26,17219
12,03547609	0,00632	22,75306	0,0000001316	0,000112934	0,406563	55,96438	1,310167	6,22539	63,42083	1,937033	0,310314	30,02752
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000001389	0,000119208	0,42915	55,07053	1,585992	7,535999	76,77258	2,34483	0,270588	34,43599
12,95088652	0,006801	24,48364	0,0000001543	0,000132454	0,476833	51,34632	1,79286	8,518955	86,78639	2,650677	0,265962	35,03488
11,55181995	0,006066	21,8387	0,0000001712	0,000146969	0,529089	41,27605	2,068685	9,829564	100,1381	3,058474	0,255761	36,43228
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000001923	0,000165058	0,594208	39,77316	2,413466	11,46782	116,8278	3,568219	0,246205	37,84632
11,55181995	0,006066	21,8387	0,0000001953	0,000167637	0,603492	36,18722	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,239776	38,8611
10,52110381	0,005525	19,89014	0,0000001984	0,000170298	0,613071	32,44342	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,222269	41,92208
8,761831663	0,004601	16,56423	0,0000001969	0,000168957	0,608244	27,23287	2,689291	12,77843	130,1796	3,976016	0,226173	41,19842
8,09513294	0,004251	15,30384	0,0000001969	0,000168957	0,608244	25,16069	2,654812	12,61461	128,5106	3,925041	0,22911	40,67024
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	5,6	46	0,088
800	5,3	44	0,085

1000	5	38	0,076
1200	4,6	35	0,068
1400	4,4	33	0,06
1600	4,3	29	0,054
1800	4	27	0,049
2000	5,4	24	0,041
2200	5,9	25	0,039
2400	6,4	27	0,037
2600	7,2	29	0,035
2800	8,8	31	0,032

Bahan bakar:		E 35		Variasi		10	Volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	282	240	92	127	74	67	1500		
800	25	232	250	100	151	77	72	1500	2,6	220
1000	25	235	220	103	159	80	79	1500	3,3	220
1200	25	214	220	106	162	82	79	1500	4,1	220
1400	25	209	220	109	171	84	85	1500	4,8	220
1600	25	197	220	112	181	86	89	1500	5,4	220
1800	25	182	210	113	195	88	92	1500	6,4	220
2000	25	178	200	114	203	90	93	1500	7,0	220
2200	25	175	190	115	234	92	100	1500	7,3	220
2400	25	152	190	114	233	85	92	1500	8,0	220
2600	25	143	140	114	220	86	93	1325	7,9	220
2800	25	141	130	115	204	87	95	1195	7,8	220
3000	25									220
3200	25									220
3400	25									220
3600	25									220
3800	25									220
4000	25									220

V	ṁ udara		Q	ṁ solar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
16,47322857	0,008651	31,14262	0,0000000887	0,000076090	0,273926	113,6901						
16,82082694	0,008833	31,79976	0,0000001078	0,000092489	0,332961	95,50589	0,89643	4,259478	43,3932	1,325339	0,37143	25,0867
15,75600274	0,008274	29,78671	0,0000001064	0,000091309	0,328711	90,61681	1,137777	5,40626	55,07598	1,682161	0,288906	32,25255
15,75600274	0,008274	29,78671	0,0000001168	0,000100269	0,360967	82,51913	1,413601	6,716869	68,42773	2,089957	0,255353	36,49051
15,75600274	0,008274	29,78671	0,0000001196	0,000102667	0,369603	80,59112	1,654948	7,863651	80,11052	2,446779	0,223332	41,72245
15,75600274	0,008274	29,78671	0,0000001269	0,000108921	0,392117	75,96388	1,861817	8,846607	90,12433	2,752626	0,21061	44,24277
15,38538031	0,008079	29,08605	0,0000001374	0,000117898	0,424434	68,52901	2,206597	10,48487	106,814	3,262372	0,192348	48,44329
15,00598938	0,00788	28,36881	0,0000001404	0,000120548	0,433972	65,37015	2,413466	11,46782	116,8278	3,568219	0,179813	51,82035
14,61716855	0,007676	27,63374	0,0000001429	0,000122614	0,441411	62,60314	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,175379	53,13041
14,61716855	0,007676	27,63374	0,0000001645	0,000141168	0,508204	54,3753	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,184249	50,57267
12,50120617	0,006565	23,63352	0,0000001748	0,000150052	0,540189	43,75048	2,723769	12,94226	131,8486	4,02699	0,198324	46,9835
12,03547609	0,00632	22,75306	0,0000001773	0,000152181	0,547851	41,53146	2,689291	12,77843	130,1796	3,976016	0,203716	45,73998
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	5,5	45	0,086
800	5,1	42	0,082
1000	4,9	37	0,077

1200	4,7	35	0,062
1400	4,4	32	0,052
1600	4	28	0,046
1800	3,8	25	0,04
2000	4,9	22	0,037
2200	5,7	23	0,034
2400	6,3	25	0,032
2600	7,1	27	0,033
2800	8,6	30	0,03

Bahan bakar:		E 35		Variasi		12	Volt			
Beban	Kons. Bahan Bakar	Waktu	Δp	Temperatur				Speed	Arus	Tegangan
				Mesin	Exh	Oli	Cooler			
Watt	ml	detik	pa	°C	°C	°C	°C	RPM	Ampere	Volt
0	25	200						1500		
800	25	185	350	106	169	94	85	1500	2,6	220
1000	25	170	360	110	181	93	85	1500	3,1	220
1200	25	154	360	110	177	93	81	1500	3,8	220
1400	25	172	320	111	177	92	95	1500	4,4	220
1600	25	155	320	111	194	91	90	1500	5,3	220
1800	25	142	330	111	200	90	90	1500	5,9	220
2000	25	138	300	112	202	88	91	1500	7,0	220
2200	25	135	290	112	220	87	90	1500	7,3	220
2400	25	124	290	110	233	85	85	1500	8,0	220
2600	25	130	250	110	218	87	87	1320	7,6	220
2800	25	120	280	111	205	85	85	1209	7,9	220
3000	25									220
3200	25									220
3400	25									220
3600	25									220
3800	25									220
4000	25									220

V	ṁ udara		Q	ṁ solar		AFR	Ne	Mt		bmep	SFC	η_{th}
m/s	kg/s	kg/h	m^3/s	kg/s	kg/h		HP	N.m	kg.cm	kg/cm^2	kg/HP.h	%
20,55388986	0,010794	38,85711	0,0000001250	0,000107288	0,386235	100,6048						
19,9783928	0,010491	37,76913	0,0000001351	0,000115986	0,417551	90,45386	0,89643	4,259478	43,3932	1,325339	0,465793	20,00448
20,268105	0,010644	38,31683	0,0000001471	0,000126221	0,454394	84,32511	1,068821	5,078608	51,73804	1,580211	0,425136	21,91759
20,55388986	0,010794	38,85711	0,0000001623	0,000139334	0,501604	77,46572	1,310167	6,22539	63,42083	1,937033	0,382855	24,3381
18,14726771	0,00953	34,30739	0,0000001453	0,000124753	0,44911	76,38965	1,517036	7,208347	73,43464	2,242881	0,296045	31,47483
19,08394499	0,010022	36,07818	0,0000001613	0,000138435	0,498368	72,39269	1,827338	8,682781	88,45536	2,701652	0,272729	34,16566
19,38650045	0,010181	36,65016	0,0000001761	0,000151109	0,543993	67,37249	2,034207	9,665738	98,46918	3,007499	0,267423	34,84357
18,46456487	0,009696	34,90724	0,0000001812	0,000155489	0,559761	62,36099	2,413466	11,46782	116,8278	3,568219	0,231932	40,17533
18,14726771	0,00953	34,30739	0,0000001852	0,000158944	0,5722	59,95699	2,5169	11,9593	121,8347	3,721143	0,227343	40,98632
18,14726771	0,00953	34,30739	0,0000002016	0,000173044	0,62296	55,07161	2,758247	13,10609	133,5175	4,077965	0,225854	41,25665
16,82082694	0,008833	31,79976	0,0000001923	0,000165058	0,594208	53,51623	2,620334	12,45078	126,8417	3,874067	0,226768	41,09029
17,82455022	0,00936	33,6973	0,0000002083	0,000178813	0,643725	52,34735	2,723769	12,94226	131,8486	4,02699	0,236336	39,42672
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!

Beban	Smoke (%)	UHC (ppm)	CO(%)
0	5,4	45	0,085
800	5,3	43	0,083
1000	4,8	34	0,076

1200	4,8	30	0,061
1400	4,2	29	0,054
1600	3,9	27	0,045
1800	3,7	24	0,039
2000	4,5	21	0,03
2200	5,4	24	0,029
2400	6,1	24	0,027
2600	7	26	0,026
2800	8,3	28	0,024
3000	9,2	31	0,022

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Surabaya, 22 November 1993, dari pasangan Bapak Purnomo dan Ibu Winarni. Penulis merupakan anak kedua dari enam bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Cahaya Putra – Surabaya (1998-2000), SDN Gading 2 – Surabaya (2000-2006), SMPN 15 - Surabaya (2006-2009), SMA IPIEMS - Surabaya (2009-2012), menempuh pendidikan Diploma 3 Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga 2015, kemudian pada tahun 2016 melanjutkan pendidikan Lintas Jalur Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil Departemen Teknik Mesin, Bidang Studi Teknik Konversi Energi.