TUGAS AKHIR – TM 184835

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI TEKANAN INJEKSI TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR CAMPURAN DEXLITE, ETHANOL, DAN *CRUDE PALM OIL*

Irsyad Aufa Barraq

NRP 02111640000136

Dosen Pembimbing
Dr. Ir.Atok Setiyawan, M.Eng. S.c

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Indusri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI TEKANAN INJEKSI TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR CAMPURAN DEXLITE, ETHANOL, DAN *CRUDE PALM OIL*

Irsyad Aufa Barraq

02111640000136

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. S.c

196604021989031002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020

FINAL PROJECT – TM 184835

EXPERIMENTAL STUDY EFFECT OF INJECTION PRESSURE BLENDING FUEL DEXLITE, ETHANOL, AND CRUDE PALM OIL ON PERFORMANCE AND EMISSION OF DIESEL ENGINE

Irsyad Aufa Barraq

02111640000136

Supervisor

Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. S.c

196604021989031002

Mechanical Engineering Department

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI TEKANAN INJEKSI TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR CAMPURAN DEXLITE, ETHANOL, DAN *CRUDE PALM OIL*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Irsyad Aufa Barraq

NRP. 02111640000136

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc ..... (Pembimbing)
   NIP. 196604021989031002
1. Is Bunyamin Suryo, ST, MSc. ..... (Penguji I)
   NIP. 198208192012121003
2. Dr. Bambang Sudarmanta, S.T., M.T. ..... (Penguji II)
   NIP. 197301161997021001
1. Ary Bachtiar K.P., ST, MT, PhD. ..... (Penguji III)
   NIP. 197105241997021001

SURABAYA
JULI, 2020

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI TEKANAN INJEKSI TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR CAMPURAN DEXLITE, ETHANOL, DAN *CRUDE PALM OIL*

Nama Mahasiswa	**: Irsyad Aufa Barraq**
NRP	**: 02111640000136**
Departemen	**: Teknik Mesin FTIRS-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. Sc.**

ABSTRAK

Untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan mengurangi pengaruh buruk pada lingkungan maka diperlukan penelitian terhadap sumber energi yang terbaharukan dan ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbaharukan yang dapat digunakan adalah bahan bakar nabati atau yang berasal dari tumbuhan. Bahan bakar nabati yang dapat digunakan adalah bioethanol dan minyak kelapa sawit (crude palm oil). Tetapi, bahan bakar nabati memiliki kelemahan yang mempengaruhi performa suatu mesin motor bakar, seperti Cetane Number, Caloric Value, dan Viscosity. Dibutuhkan rekayasa terkait bahan bakar yang sudah diaplikasikan. Penelitian ini akan diketahui bagaimana pengaruh perubahan tekanan injeksi (injection pressure) sebagai rekayasa teknologi dan bahan bakar campuran Dexlite, Ethanol, Crude Palm Oil terhadap unjuk kerja mesin dan emisi bahan bakar yang dihasilkan.

Penelitian dimulai dengan mencampurkan bahan bakar Dexlite dengan variasi persentase Ethanol 0%, 10%, dan 15% dan Crude Palm Oil 5%, 7,5%, dan 10%. Digunakan alat magnetic stirrer pada 1500 rpm untuk mencampurkan bahan bakar dengan waktu tunggu selama 10 menit untuk ada atau

tidaknya separasi. Selanjutnya disimpulkan campuran bahan bakar terbaik (efisiensi termal tertinggi dan terendah) yang akan digunakan pada bahan bakar uji dengan variasi tekanan injeksi (injection pressure). Kemudian dilakukan uji unjuk kerja dan emisi dengan variasi tekanan injeksi (injection pressure) yaitu 190 kg/cm^2, 210 kg/cm^2, 220 kg/cm^2.

Hasil dari penelitian ini didapatkan campuran bahan bakar tertinggi dan terendah dengan parameter efisiensi termal yang akan digunakan untuk bahan bakar variasi tekanan injeksi. Efisiensi termal tertinggi pada tekanan injeksi standar 200 k/cm^2 adalah campuran bahan bakar D77,5C7,5E15 dan efisiensi termal terendah pada tekanan injeksi standar 200 k/cm^2 adalah D80C10E10. Rata-rata efisiensi Termal tertinggi pada campuran bahan bakar D80C10E10 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 adalah 13,89%. Sedangkan rata-rata efisiensi Termal tertinggi pada campuran bahan bakar D77,5C7,5E15 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 adalah 18,71%. Seiring kenaikan tekanan injeksi maka unjuk kerja mesin diesel mengalami peningkatan dan smoke opacity yang dihasilkan akan semakin rendah.

Kata Kunci *:* Diesel, Dexlite, Ethanol, *Crude Palm Oil, Injection Pressure*

EXPERIMENTAL STUDY EFFECT OF INJECTION PRESSURE BLENDING FUEL DEXLITEM ETHANOL, AND CRUDE PALM OIL ON PERFORMANCE AND EMISSION OF DIESEL ENGINE

Student's name	**: Irsyad Aufa Barraq**
Student's number	**: 02111640000136**
Department	**: Teknik Mesin FTIRS-ITS**
Advisor	**: Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. Sc.**

ABSTRACT

To reduce the consumption of fossil fuels and reduce the bad influence of the environment, research is needed on renewable and environmentally friendly energy sources. One of the renewable energy sources that can be used is biofuel or derived from plants. Biofuels that can be used are bioethanol and crude palm oil. However, biofuels have weaknesses that affect the performance of a combustion engine, such as Cetane Number, Caloric Value, Viscosity. Fuel engineering is needed that has been applied. This research will find out how the effect of injection pressure as a technological engineering and fuel mixture of Dexlite, Ethanol, Crude Palm Oil on performance and emissions of diesel engine.

The study began by mixing Dexlite fuel with a variation of 0%, 10%, and 15% Ethanol and Crude Palm Oil 5%, 7.5%, and 10%. A magnetic stirrer at 1500 rpm is used to mix the fuel with a waiting time of 10 minutes for the presence or absence of separation. It was concluded that the best fuel mixture (the highest and lowest of thermal efficiency) will be used in the experiment with a variation of injection pressure. Then the performance and emission have resulted with the variation of injection pressure, such as 190 kg / cm2, 210 kg / cm2, 220 kg / cm2.

The results of this study obtained the highest and lowest fuel mix with thermal efficiency parameters that will be used for

fuel injection pressure variations. The highest thermal efficiency is the fuel mixture D77,5C7,5E15 at injection pressure 200 k/cm^2 and the lowest thermal efficiency is D80C10E10 at injection pressure 200 k/cm^2. Highest average thermal efficiency in fuel mixture D80C10E10 at injection pressure 220 kg/cm^{2}is 13,89%. Highest average thermal efficiency in fuel mixture D77,5C7,5E15 at injection pressure 220 kg/cm^2 is 18,71%. As injection pressure increases, engine performance increases and smoke opacity emissions decrease.

Keywords : **Diesel, Dexlite, Ethanol,** ***Crude Palm Oil, Injection Pressure***

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sekaligus sebagai penutup manis perantauan penulis menimba ilmu di Surabaya. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, banyak sekali pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikannya. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih, khusunya kepada:

1. Bapak Abdul Haris Harianto dan Ibu Wiji Suwarti selaku kedua orang tua serta kakak penulis Iqbal Asadul Haq yang selalu memberikan doa dan dukungan yang tak terhingga. Terima kasih karena telah menjadi keluarga yang terbaik bagi penulis.
2. Dosen pembimbing tugas akhir ini, **Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. Sc**, yang tidak henti meberikan pengampunan kepada mahasiswanya dan memberikan arahan penulis untuk menyelesaikan tugas-tugas kehidupan yang tak ada habisnya.
3. Para dosen penguji **Is Bunyamin Suryo, ST., M. Sc**, **Dr. Bambang Sudarmanta S.T., M.T.**, dan **Ary Bachtiar K.P., ST. MT. PhD** yang telah banyak memberikan masukan sehingga tugas akhir ini dapat ditulis dengan sebaik-baiknya.
4. **Indra Sidharta, S.T., M.T.** selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan saran dan motivasi penulis selama menjalankan studinya
5. Arief Rahman dan Moh.Firmansyah yang selalu menemani penulis dalam menjalani perkuliahan di Teknik Mesin ITS serta menjadi teman *backpackers*.
6. Anggota Reena (Dimas, Ipul, Ruhil, Tesi, dan Poo) yang telah menjadi teman yang ada dalam suka dan duka dari SMA.
7. Kabinet Interaksi BEM FTI ITS 18-19 yang telah memberikan pembelajaran di luar kuliah dan pengalaman hidup.
8. Untuk Keluarga HOODIE HUBLU BEM FTI 18-19 yang telah menemani selama tahun ketiga perkuliahan.

9. Kerabat “Seperjuangan Diesel Yanmar: Andreas Tommy Irawan dan M. Almeir Wirma” yang telah membantu penulis menyelesaikan tugas akhir.
10. Angkatan M59 yang telah menemani penulis selama berkuliah di Teknik Mesin ITS.
11. Segenap dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTI ITS yang telah memberikan ilmu dan pembelajaran semoga dapat bermanfaat kedepannya.

Penulis menyadari bahwa manusia hanyalah makhluk yang tak luput dari lupa dan khilaf. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Terakhir, penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR xix
DAFTAR GAMBAR xxiv
DAFTAR TABEL xxvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Penelitian 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Bahan Bakar 5
2.1.1 Bahan Bakar Diesel ……..……5
2.1.2 Bahan Bakar Dexlite .....
2.1.3 Bahan Bakar Etanol 6
2.1.4 *Crude Palm Oil* 8
2.1.5 Pencampuran Bahan Bakar (*Fuel Blend*) 9
2.2 Dasar Teori Pembakaran 11
2.2.1 Perhitungan Stokiometri Kebutuhan Udara 11
2.2.2 Pembakaran Non-Stokiometri 13
2.3 Dasar Teori Mesin Diesel 15
2.3.1 Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel 15
2.3.2 Sistem Pemasukan Bahan Bakar 16
2.3.3 Unjuk Kerja Mesin Diesel 18
2.3.4 Emisi Gas Buang 21
2.4 Penelitian Terdahulu 24
2.4.1 Penelitian G.R.K. Sastry (2015) 24
2.4.2 Penelitian Apri Ashari (2016) 26

2.4.3 Penelitian T.F. Yusaf (2011) 28

BAB III METODE PENELITIAN.....31

3.1 Metode Penelitian.....31

3.2 Peralatan Eksperimen 31

3.2.1 Alat Uji 31

3.2.2 Alat Ukur 33

3.3 Sistematika Penelitian 313

3.3.1 Tahap-Tahap Penelitian.....33

3.4 Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji *Properties*……34

3.4.1 Tahap Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji *Properties* 36

3.4.2 Pengaturan Tekanan Injeksi.....37

3.4.3 *Flowchart* Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji *Properties* 38

3.5 Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi 39

3.5.1 Skema Alat 44

3.5.2 Tahap-Tahap Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi .45

3.5.3 Flowchart Penelitian.....47

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 49

4.1 Hasil Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji *Properties* 49

4.1.1 Hasil Pencampuran Bahan Bakar (*Fuel Blend*).....49

4.1.2 Data *Properties* Bahan Bakar.....52

4.2 Contoh Perhitungan Unjuk Kerja 54

4.2.1 Daya.....54

4.2.2 Torsi.....55

4.2.3 *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP).....56

4.2.4 *Spesific Fuel Consumption* (SFC) 57

4.2.5 Efisiensi Termal.....58

4.3 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan Persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* pada Tekanan Injeksi (*Injection Pressure*) Standar 200 kg/cm^2.....58

4.3.1 Torsi.....59

4.3.2 *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP).....61

4.3.3 Efisiensi Termal.....62

4.3.4 *Spesific Fuel Consumption* (SFC) 64

4.3.5 Temperatur *Exhaust,Engine, Coolant,* dan Pelumas ..67

4.3.6 *Smoke Opacity* 71

4.4 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan Persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* pada Tekanan Injeksi (*Injection Pressure*) Standar 200 kg/cm2 75

4.4.1 Torsi.....75

4.4.2 *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP).....78

4.4.3 Efisiensi Termal.....80

4.4.4 *Spesific Fuel Consumption* (SFC) 82

4.4.5 Temperatur *Exhaust*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas .84

4.4.6 *Smoke Opacity* 89

BAB V KESIMPULAN.....91

5. 1 Kesimpulan.....91

5.2. Saran.....92

DAFTAR PUSTAKA 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahap Pembakaran Pada Mesin Diesel 15
Gambar 2.2 Skema Kerja Governor Mekanis-Hidrolis 22
Gambar 2.3 BTE vs *Injection Pressure* 25
Gambar 2.4 BSFC vs *Injection Pressure* 25
Gambar 2.5 *Volumetric Efficiency* vs *Injection Pressure* 25
Gambar 2.6 CO vs *Injection Pressure* 25
Gambar 2.7 Torsi yang Dihasilkan Tekanan Injeksi yang Divariasikan.....26
Gambar 2.8 SFC yang Dihasilkan Tekanan Injeksi yang Divariasikan.....27
Gambar 2.9 *Smoke Opacity* yang Dihasilkan Tekanan Injeksi yang Divariasikan.....27
Gambar 2.10 Torsi dan *Brake Power* Terhadap Kecepatan Putaran 28
Gambar 2.11 Emisi CO Terhadap Kecepatan Putaran.....29
Gambar 3.1 Shim Set Injektor Yanmar TF 55 R……37
Gambar 3.2 Skema Peralatan Generator Set.....44
Gambar 4.1 Grafik Torsi Terhadap Beban……60
Gambar 4.2 Grafik BMEP Terhadap Beban 61
Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Beban 63
Gambar 4.4 Grafik SFC Terhadap Beban.....65
Gambar 4.5 Grafik Temperatur *Exhaust* Terhadap Beban.....67
Gambar 4.6 Grafik Temperatur *Engine* Terhadap Beban 68
Gambar 4.7 Grafik Temperatur *Coolant* Terhadap Beban…… 69
Gambar 4.8 Grafik Temperatur Pelumas Terhadap Beban …...70
Gambar 4.9 Grafik *Smoke Opacity* 72
Gambar 4.10 Grafik Torsi Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 76

Gambar 4.11 Grafik BMEP Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 78
Gambar 4.12 Grafik Efisiensi Termal Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 80
Gambar 4.13 Grafik SFC Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 82
Gambar 4.14 Grafik Temperatur *Exhaust* Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 84
Gambar 4.15 Grafik Temperatur *Engine* Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 85
Gambar 4.16 Grafik Temperatur *Coolant* Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 86
Gambar 4.17 Grafik Temperatur Pelumas Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 87
Gambar 4.18 Grafik *Smoke Opacity* Variasi *Injection Pressure* Terhadap Beban Bahan Bakar D80C10E10 dan D77,5C7,5E15 89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Bakar Biosolar Pertamina 6
Tabel 2.2 Hasil Uji LEMIGAS Bahan Bakar Dexlite.....7
Tabel 2.3 *Properties* Bahan Bakar Etanol 8
Tabel 2.4 *Properties Crude Palm Oil*.....9
Tabel 3.1 Spesifikasi Dexlite.....35
Tabel 3.2 Spesifikasi Etanol 36
Tabel 3.3 Matriks Rancangan Pengujian Bahan Bakar Etanol ...41
Tabel 3.4 Matriks Rancangan Pengujian Bahan Bakar Uji 42
Tabel 3.5 Tabel Pengambilan Data.....44
Tabel 4.1 Hasil *Blending* Campuran Bahan Bakar……49

Tabel 4.2 Data *Properties* Bahan Bakar 53
Tabel 4.3 Data Percobaan Bahan Bakar D80C10E10 *Injection Pressure* 200 kg/cm^2.....54
Tabel 4.4 Matrik Rata-Rata Efisiensi Termal dan *Smoke Opacity* 74

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencarian sumber energi terbaharukan (*renewable energy*) sangat diperlukan untuk mengatasi selisih dari produksi harian minyak bumi dengan konsumsi harian minyak bumi. Penggunaan bahan bakar sangat diperlukan dalam keberlansungan industry dan transportasi. Salah satu mesin yang digunakan pada transportasi adalah mesin diesel. Bahan bakar yang digunakan pada mesin diesel adalah Solar, Dexlite, dan Pertadex yang merupakan bahan bakar fosil sehingga ketersediaannya semakin berkurang. Penggunaan bahan bakar fosil dapat menimbulkan pengaruh buruk pada lingkungan. Salah satu penyebab utama efek rumah kaca adalah emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar seperti CO, CO_2, NO_x, dan HC.

Untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan mengurangi pengaruh buruk pada lingkungan maka diperlukan penelitian terhadap sumber energi yang terbaharukan dan ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbaharukan yang dapat digunakan adalah bahan bakar nabati atau yang berasal dari tumbuhan. Salah satu bahan bakar nabati yang dapat digunakan adalah bioethanol dan minyak kelapa sawit (*crude palm oil*). Bioethanol dapat dibuat dari berbagai tumbuhan seperti tebu, singkong, jagung, dan kentang. *Crude Palm Oil* atau minyak kelapa sawit adalah minyak nabati yang didapatkan dari mesocarp buah pohon kelapa sawit yang umumnya dari spesies *Elais guineensis* dan sedikit dari spesies *Elaeis oleifera* dan *Attalea maripa*, Reeves dkk.

Penelitian mengenai unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar campuran antara bahan bakar diesel dan ethanol (*dual fuel*) sudah dilakukan Achmad Praptijanto dkk. Hasil penelitian dengan perpaduan ethanol dan bahan bakar diesel E0, E2,5 , E5, E7, dan E10 disimulasikan menggunakan *Virtual Engine Simulation Tool* yang dioperasikan dengan *Direct Injection* (DI)

silinder ganda dengan rasio kompresi 19 : 1 yang memiliki kapasitas mesin 1630 cc pada putaran 1.000-1.500 dengan pembebanan mesin 0, 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 Nm. Penambahan kadar persentase ethanol dapat meningkatkan daya yang dihasilkan dan juga menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi. Emisi gas buang CO, HC, dan *soot* mengalami penurunan.

Penelitian mengenai unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar campuran antara bahan bakar diesel dan *preheated palm oil* (*dual fuel*) sudah dilakukan Senthur dkk. Hasil penelitian pada sebuah mesin diesel *Direct Injection* (DI) silinder tunggal dioperasikan pada putaran konstan 1500 RPM dengan variasi beban *engine* dari 0 sampai dengan 100%. dengan perpaduan *palm oil* dan bahan bakar diesel PO0, PO20, PO30, dan PO40 dioperasikan pada Penambahan kadar persentase *preheated palm oil* dapat meningkatkan *brake specific fuel consumption,* menurunkan *brake thermal efficiency*, menurunkan tekanan silinder, dan menurunkan emisi CO, HC, dan NOx

Berdasarkan uraian diatas, penambahan bahan bakar Ethanol dapat mengurangi emisi gas buang CO, HC, dan *soot* serta meningkatkan daya mesin yang dihasilkan dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Tetapi kekurangan ethanol sebagai bahan bakar mesin diesel adalah ethanol memiliki angka setana yang kecil yang menyebabkan durasi *ignition delay* lebih panjang. Hal ini menyebabkan rendahnya daya dan torsi yang dihasilkan. Selain angka setana yang rendah, ethanol memiliki nilai kalor yang rendah sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi.

Penambahan bahan bakar *crude palm oil* pada mesin diesel dapat memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah viskositas bahan bakar yang sangat tinggi hampir sepuluh kali dari HSD, meningkatkan emisi gas buang CO, HC, dan NOx karena pembakaran yang terjadi pada ruang bakar tidak sempurna, meningkatkan *brake specific fuel consumption* karena memiliki nilai kalor yang rendah dan *latent heat of vaporization* yang tinggi.

Namun, *crude palm oil* memiliki keunggulan pada jumlah produksi yang sangat melimpah serta bersifat *renewable.* Selain itu, harga *crude palm oil* sebesar Rp6539/kg lebih rendah dibandingkan biodiesel (FAME) sebesar Rp8494/L adalah keunggulan penambahan bahan bakar *crude palm oil* dibandingkan biodiesel (FAME) pada mesin diesel.

Untuk mendapatkan performa mesin diesel yang optimal dengan campuran bahan bakar dexlite, ethanol, dan *crude palm oil*, maka dapat dilakukan perubahan operasi parameter terkait sistem pemasukan bahan bakarnya, salah satunya dengan memanipulasi tekanan injektor. Maka dari itu, penelitian ini akan menggunakan *Ethanol Fuel Grade* 99, 6% dan *Crude Palm Oil* sebagai campuran untuk bahan bakar diesel, dan dilakukan optimasi dengan memanipulasi tekanan injektor. Bahan bakar diesel yang digunakan adalah dexlite yang diproduksi dan dipasarkan oleh PT. Pertamina Tbk. di Indonesia. Penelitian akan dilakukan dengan memvariasikan tekanan injektor pada bahan bakar Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* pada persentase tertentu. Unjuk kerja mesin diesel diharapkan mampu mendapatkan performa optimum serta mendapatkan hasil pengujian emisi gas buang yang ramah terhadap lingkungan dengan penambahan Ethanol dan *Crude Palm Oil* dan tekanan injektor yang tepat sehingga pada akhirnya, bahan bakar campuran Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* dapat dijadikan solusi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan dapat menjadi sumber energi yang terbaharukan dan ramah lingkungan

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perubahan tekanan injeksi sebagai rekayasa teknologi pada Mesin Diesel dengan bahan bakar campuran Dexlite, Ethanol, dan *Palm Oil* dengan persentase tertentu terhadap unjuk kerja dan emisi bahan bakar yang dihasilkan

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Percobaan menggunakan mesin diesel satu silinder empat langkah dan *Direct Injection* Yanmar TF 55 R
2. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran dexlite, ethanol, dan *palm oil*, dimana dexlite adalah produksi PT. Pertamina Tbk. Ethanol (*Non-Hydros* 99,6%) dan *palm oil* adalah produksi PT. Wilmar Tbk.
3. Penelitian tidak membahas mengenai reaksi kimia yang terjadi antara dexlite, ethanol, dan *palm oil*.
4. Variasi tekanan injeksi adalah sebesar 190 kg/cm^2, 210 kg/cm^2, dan 220 kg/cm^2 karena keterbatasan alat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah, mampu memberikan alternatif bahan bakar terbaharukan sebagai upaya memenuhi kebutuhan bahan bakar nasional.
2. Bagi Masyarakat, hasil penelitian dapat diaplikasikan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan. Terdapat tiga jenis bahan bakar berdasarkan wujudnya yaitu bahan bakar padat, bahan bakar cair, dan bahan bakar gas. Pada mesin diesel, bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar cair dan bahan bakar gas.

2.1.1 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar solar adalah bahan bakar minyak hasil sulingan dari minyak bumi mentah. Bahan bakar ini berwarna kuning coklat yang jernih, (Pertamina 2005). Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin Diesel dengan putaran tinggi (di atas 1000 rpm),yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih.

Karakteristik yang diperlukan dalam bahan bakar diesel adalah *auto ignition* (kemampuan menyala sendiri), kemudahan mengalir dalam saluran bahan bakar, kemampuan teratomisasi, kemampuan lubrikasi, nilai kalor dan karakteristik lain. Bahan bakar diesel mempunyai sifat-sifat utama diantara lain adalah tidak mempunyai warna, tidak mudah menguap pada suhu normal, mempunyai titik nyala yang tinggi (40°C sampai 100°C), terbakar secara spontan pada temperature 350°C, mempunyai berat jenis sekitar 820-860 kg/m^{3}, mampu menimbulkan panas yang besar (10.500 kcal/kg), dan mempunyai kandungan sulfur yang lebih besar daripada bensin.

Tabel 2.1 Spesifikasi bahan bakar Biosolar PERTAMINA

No	*Properties*	*Limit*	
		Minimal	Maksimal
1	Kandungan Sulfur % wt	-	0.5
2	*Specific Gravity* pada 60/60 ºF	0.82	0.87
3	*Cetane Number*	48	-
4	*Viscosity Kinematic*	1.6	5.8
5	Karbon Residual % wt	-	0.1
6	Kandungan air % vol	-	0.05
7	Kandungan abu % wt	-	0.01
8	*Flash Point* P. M. c. c. ºF	150	-
9	Nilai Kalor	10500	10667

2.1.2 Bahan Bakar Dexlite

Dexlite merupakan varian produk bahan bakar Diesel yang diformulasikan untuk pengguna kendaraan bermesin diesel yang populasinya semakin meningkat sejalan dengan makin ketatnya batasan emisi gas buang. Dexlite memiliki kualitas bahan bakar diatas di Solar dan di bawah Pertamina Dex, Pertamina.

Dexlite memiliki angka setana 51 dengan kandungan sulfur maksimal 1200 ppm atau lebih itnggi dibandingkan dengan bahan bakar Solar dengan angka setana 48 dna kandungan sulfur maksimal 3500 ppm. Adapun, Pertamina Dex yang dikenal sebagai produk bahan bakar diesel terbaik di Indonesia saat ini, memiliki angka setana 53 dengan kandungan sulfur

maksimal 500 ppm. Berikut adalah spesifikasi bahan bakar dexlite hasil uji LEMIGAS

Tabel 2.2 Hasil Uji LEMIGAS Bahan Bakar Dexlite

No	Parameter Uji	Unit	Hasil Uji	Batasan SNI	
			Dexlite	Min	Max
1.	Angka Setana	-	56.7	48	-
2.	Index Setana	-	51.1	45	-
3.	Berat Jenis pada 15ºC	Kg/m^3	845.7	815	860
4.	Viskositas pada 40ºC	Mm^2/s	2.92	2	4.5
5.	Kandungan Sulfur	%m/m	0.078	-	0.3
6.	Titik Nyala	ºC	65	52	-
7.	Titik Tuang	ºC	-3	-	18
8.	Residu Karbon	%m/m	Nihil	-	0.1
9.	Kandungan Air	Mm/kg	159.63	-	500
10.	Kandungan FAME	%v/v	20	-	20
11.	Kandungan Abu	%m/m	0.001	-	0.001
12.	Lubrikasi (HFRR)	Micron	236	-	460

2.1.3 Bahan Bakar Ethanol

Ethanol adalah senyawa rantai tunggal dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O. Ethanol memiliki sifat fisik yang tidak berwarna dan tidak berasa tapi memiliki bau yang khas. Ethanol adalah biofuel dalam bentuk cair yang dapat

diproduksi dari berbagai jenis biomassa seperti gandum, tebu, jagung, singkong, maupun limbah pertanian melalui teknologi biokonversi. Pada tahun 1990 ethanol mulai digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan karena selain memiliki karakteristik yang hampir sama dengan bensin, ethanol juga ramah lingkungan.

Ethanol memiliki nilai angka setana yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel yaitu sekitar 5-8, viskositas yang lebih rendah dibandingkan diesel yaitu 1,16 mm^2/s pada temperatur 40°C, nilai kalor atau *low heating value* ethanol (99,9%) sebesar 37570 kJ/kg dalam Carlo Beatrice dkk. Oleh karena itu, bahan bakar ethanol tidak dapat digunakan sebagai substitusi secara 100% dengan bahan bakar solar. Berikut adalah tabel *properties* bahan bakar ethanol.

Tabel 2.3 *Properties* Bahan Bakar Ethanol (Sumber: Achmad P., 2015 *Effect of Ethanol Percetage for Diesel Engine Performance using Virtual Engine Simulation Tool*

No	*Properties*	*Unit*	Metode	Nilai
1.	Massa Jenis pada 20°C	Kg/m^3	EN ISO 12185	792.8
2.	Viskositas pada 40°C	Mm^2/s	EN ISO 3104	1.16
3.	Angka setana		EN ISO 5165	5-8
4.	*Low Heating Value*	MJ/kg	ASTM D 4868	26.87

2.1.4 *Crude Palm Oil*

Crude Palm Oil (CPO) atau minyak kelapa sawit adalah minyak nabati edible yang didapatkan dari mesocarp buah pohon

kelapa sawit, umumnya dari spesies *Elaeis guneensis* dan sedikit dari spesies *Elaeis oleifera* dan *Attalea maripa*. Minyak sawit secara alami berwarna merah karena kandungan beta-karoten yang tinggi. Minyak sawit kasar (*Crude Palm Oil*) merupakan minyak kelapa sawit mentah yang diperoleh dari hasil ekstraksi atau dari proses pengempaan daging buah kelapa sawit dan belum mengalami pemurnian. (Harold McGee, 2004)

Crude Palm Oil memiliki angka setana yang hampir sama dengan bahan bakar diesel yaitu 46, viskositas pada temperature 40°C yang sangat tinggi hampir sepuluh kali dari nilai viskositas bahan bakar diesel yaitu 40 mm^2/s, nilai kalor sebesar 39,22 MJ/kg, *flash point* 290°C dalam Senthur Prabu dkk. Oleh karena itu, penggunaan *crude palm oil* harus di*blending* terlebih dahulu jika ingin digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Berikut adalah tabel *properties Crude Palm Oil*.

Tabel 2.4 *Properties Crude Palm Oil* (Sumber: Senthur Prabu, 2018 *Effect of Additives on Performance, Combustion, and Emission of Preheated Palm Oil/diesel blends in DI Diesel Engine*

No	*Properties*	*Unit*	Metode	Nilai
1.	Massa Jenis pada 15°C	Kg/m^3	ASTM EN 14213	864
2.	Viskositas pada 40°C	Mm^2/s	ASTM D2217	45
3.	Angka setana		ASTM D4737	46
4.	*Low Heating Value*	MJ/kg	ASTM D4809	39,22
5.	*Flash Point*	^{o}C	ASTM D92	206

2.1.5 Pencampuran Bahan Bakar (*Fuel Blend*)

Untuk mencampur dexlite, ethanol, dan *crude palm oil*, ada dua cara dalam memblending yaitu *emulsion* dan *solution technique*. *Solution technique* dibagi menjadi dua yaitu mencampur minyak dengan minyak yang memiliki karakteristik yang hampir sama contohnya bensin dengan ethanol atau solar dengan biodiesel dapat dilarutkan secara langsung tanpa

separasi. Sedangkan bahan bakar yang karakteristiknya sangat berbeda dilakukan dengan cara memanaskan campuran bahan bakar. Kedua bahan bakar dapat larut tanpa separasi apabila temperatur dipanaskan hingga 50ºC, Zuhdi dkk.

Emulsi adalah campuran antara partikel-partikel suatu zat cair (fase terdispersi) dengan zat lainnya (fase pendispersi). Dalam Rini menjelaskan bahwa emulsi dibagi menjadi 2 yaitu emulsi permanen dan emulsi tidak permanen. Emulsi tidak permanen adalah pengemulsian suatu cair dalam jangka waktu tertentu akan terjadi separasi sedangkan emulsi permanen adalah pengemulsian suatu zat cair yang tidak akan mengalami separasi. Dalam pembuatan suatu emulsi, pemilihan emulgator merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan karena mutu dan kestabilan suatu emulsi banyak dipengaruhi oleh emulgator yang digunakan. Salah satu emulgator yang aktif permukaan atau lebih dikenal dengan surfaktan.

Emulsi merupakan suatu sistem yang tidak stabil. Untuk itu, kita memerlukan suatu zat penstabil yang disebut zat pengemulsi atau emulgator. Tanap adanya emulgator, maka emulsi akan segera pecah dan terpisah menjadi fase terdispersi dan medium pendispersinya yang ringan terapung di atas yang berat. Adanya penambahan emulgator menurunkan energi bebas yang diperlukan untuk pembentukan emulsi menjadi semakin minimal. Artinya emulsi akan menjadi stabil bila dilakukan penambahan emulgator yang berfungsi untuk menurunkan energi bebas pembentukan emulsi semaksimal mungkin. Semakin rendah energi bebas pembentukan emulsi maka emulsi akan semakin mudah terbentuk. Tegangan permukaan menurun karena terjadi adsorpsi oleh emulgator pada permukaan cairan dengan bagian ujung yang polar berada di air dan ujung hidrokarbon pada minyak. Daya kerja emulgator disebabkan oleh bentuk molekulnya yang dapat terikat baik dalam minyak maupun dalam air. Bila emulgator tersebut lebih terikat pada air atau larut dalam zat yang polar

maka akan lebih mudah terjadi emulsi minya dalam air (M/A), dan sebaliknya bila emulgator lebih larut dalam zat yang non polar, seperti minyak, maka akan terjadi emulsi air dalam minya (A/M). Emulgator membungkus butir-butir cairan terdispersi dengan suatu lapisan tipis sehingga butir-butir tersebut tidak dapat bergabung membentuk fase kontinyu. Bagian molekul emulgator yang nonpolar larut dalam lapisan luar butir-butir lemak sedangkan bagian yang polar menghadap ke pelarut air.

2.2 Dasar Teori Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas atau cahaya. Bahan bakar akan terbakar sempurna hanya jika ada pasokan oksigen (O_2) yang cukup. Jumlah oksigen di udara mencapai 20, 9%, Nitrogen (N_2) yang hampir sebanyak 79%, dan sisanya adalah elemen lain.

Nitrogen mempunyai fungsi sebagai pengencer yang menurunkan temperatur yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen dapat bereaksi dengan oksigen terutama pada temperatur tinggi untuk menghasilkan nitrogen oksida (NO_x) yang merupakan senyawa pencemar udara yang beracun. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk karbon monoksida dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2,430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO_2 akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap.

2.2.1 Perhitungan Stoikiometri Kebutuhan Udara

Jika ketersediaan oksigen untuk reaksi oksidasi mencukupi, maka bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara

menyeluruh, yaitu karbon dioksidasi menjadi karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen dioksidasi menjadi uap air (H_2O). Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) dengan udara dituliskan sebagai berikut:

$C_\alpha H_\beta + a\,(O_2 + 3.76\,N_2) \longrightarrow b\,CO_2 + c\,H_2O + d\,N_2$ $C_\alpha H_\beta + a\,(O_2 + 3.76\,N_2) \quad b\,CO_2 + c\,H_2O + d\,N_2$ …….....(2.1)

- Kesetimbangan C : $\alpha = b$
- Kesetimbangan H : $\beta = 2c \longrightarrow$ $c = \beta/2$
- Kesetimbangan O : $2a = 2b + c \longrightarrow$ $a = b + c/2$ $a = \alpha + \beta/4$
- Kesetimbangan N : $2\,(3.76)a = 2d \longrightarrow$ $d = 3.76a$ $d = 3.76\,(\alpha + \beta/4)$

Substitusi persamaan-persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran $C_\alpha H_\beta$ menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$C_\alpha H_\beta + (\alpha + \beta/4)\,(O_2 + 3.76\,N_2) \longrightarrow \alpha\,CO_2 + \beta/2\,H_2O + 3.76\,(\alpha + \beta/4)\,N_2$ ……..(2.2)

Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stokiometri adalah:

$m_{O2} = \frac{m\ atom\ O2}{m\ mol\ C\alpha H\beta}$ x persentase $C_\alpha H_\beta$ (kg/kg bahan bakar) ..…….....(2.6)

Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) adalah sebagai berikut:

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m\ air}{m\ fuel} = \frac{(\sum ni\ Mi)air}{(\sum niMi)fuel} = \frac{\left(\alpha + \beta\frac{1}{4}\right)\text{M } 02 + 3{,}76\left(\alpha + \beta\frac{1}{4}\right)\text{M N2}}{\alpha M\ C + \beta\ M\ H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.3)$$

- Kesetimbangan C : $\alpha = b$
- Kesetimbangan H : $\beta \longrightarrow 2c$
  $c = \beta / 2$
- Kesetimbangan O : $2a = 2b + c \longrightarrow$
  $a = b + c/2$ $a = \alpha + \beta / 4$
- Kesetimbangan N : $2\ (3.76)a = 2d \longrightarrow$
  $d = 3.76a$ $d = 3.76\ (\alpha + \beta / 4)$

Substitusi persamaan-persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran $C_\alpha H_\beta$ menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$C_\alpha H_\beta + (\alpha + \beta / 4)\ (O_2 + 3.76\ N_2) \longrightarrow \alpha\ CO_2 + \beta / 2\ H_2O + 3.76\ (\alpha + \beta / 4)\ N_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.4)$$

Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stokiometri adalah:

$$m_{O2} = \frac{m\ atom\ O2}{m\ mol\ C\alpha H\beta} \text{ x persentase } C_\alpha H_\beta \text{ (kg/kg bahan bakar)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.5)$$

Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) adalah sebagai berikut:

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m\ air}{m\ fuel} = \frac{(\sum ni\ Mi)air}{(\sum niMi)fuel} = \frac{\left(\alpha + \beta\frac{1}{4}\right)\text{M } 02 + 3{,}76\left(\alpha + \beta\frac{1}{4}\right)\text{M N2}}{\alpha M\ C + \beta\ M\ H}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.6)$$

2.2.2 Pembakaran Non-Stoikiometri

Dalam aplikasinya, mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih, Heywood. Hal ini

dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran non-stoikiometri dan selengkapnya persamaan reaksi kimia untuk pembakaran non-stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) dengan udara dituliskan sebagai berikut:

$$C_\alpha H_\beta + \gamma\,(\alpha + \beta/4)\,(O_2 + 3.76\,N_2) \longrightarrow \alpha\,CO_2 + \beta/2\,H_2O + d\,N_2 + e\,CO + f\,O_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.7)$$

a. Pembakaran dengan komposisi campuran stokiometri

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO_2, uap air, dan N_2

b. 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, dan N_2

c. Pembakaran dengan komposisi campuran kaya

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO, CO_2, H_2O, dan N_2. Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan H_2O.

Rasio udara-bahan bakar ideal untuk pembakaran dalam ruang bakar *compression ignition engine* berada pada kisaran $18 < AFR < 70$

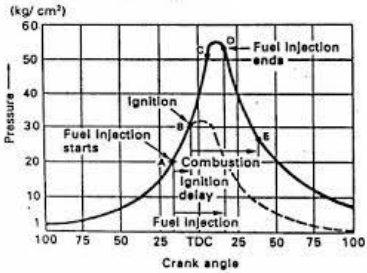
2.3 Dasar Teori Mesin Diesel

Motor diesel bekerja dengan menghisap udara luar murni kemudian dikompresikan sehingga mencapai tekanan dan temperatur yang tinggi. Sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan yang sangat tinggi dalam bentuk butiran-butiran halus dan lembut. Kemudian butiran-butiran lembut bahan bakar tersebut bercampur dengan udara bertemperatur tinggi dalam ruang bakar dan menghasilkan pembakaran.

2.3.1 Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel

Untuk terjadinya pembakaran pada ruang bakar, ada beberapa syarat yang harus terpenuhi, antara lain: adanya campuran yang dapat terbakar, adanya sesuatu yang menyulut terjadinya pembakaran, stabilisasi dan propagasi dari api dalam ruang bakar.

Proses pembakaran pada motor diesel memiliki beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram P-θ seperti pada gambar 2.1 Tahapan pembakarannya yaitu:



Gambar 2.1 Tahap Pembakaran Pada Mesin Diesel

a. Tahap Pertama

Ignition delay period adalah waktu di mana sebagian bahan bakar telah diinjeksikan tetapi belum terbakar. *Ignition delay period* dihitung dari mulai injeksi di mana kurva P-θ terpisah dari pengompresian udara murni. Kelambatan pembakaran adalah fasa persiapan yang pendek. Ditunjukkan oleh titik A-B.

b. Tahap Kedua

Rapid atau *uncontrolled combustion* (dapat digolongkan sebagai *pre-mixed flame*) terjadi setelah pengapian. Pada tahap ini, tekanan naik dengan cepat karena selama periode kelambatan pembakaran *droplet* bahan bakar telah mempunyai waktu untuk menyebar dan mendapatkan udara disekitarnya. Tahap ini dihitung dari titik akhir tahap kelambatan sampai titik tekanan maksimum dalam diagram indicator. Sekitar sepertiga panas dibebaskna selama periode ini.

c. Tahap Ketiga

Controlled combustion. Pada akhir tahap *rapid combustion*, tekanan dan temperature sudah sangat tinggi sehingga *droplet* bahan bakaryang diinjeksikan langsung terbakar ketika memasuki ruang bakar dan kenaikan tekanan selanjutnya dapat dikendalikan dengan cara mekanik murni, yaitu laju penginjeksian. Periode ini diasumsikan berakhir pada temperatur minimum. Panas yang dibebaskan sampai akhir periode ini sekitar 70-80 % dari panas total bahan bakar yang disuplai selama siklus.

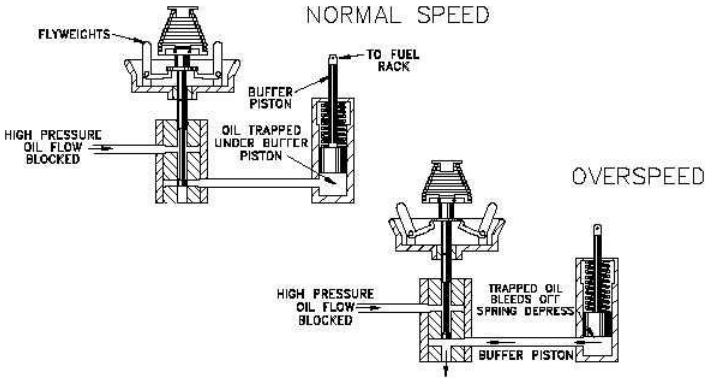
d. Tahap Keempat

Tahap keempat ini tidak terjadi pada semua kasus pembakaran pada motor diesel, *after burning*. Secara teoritis diharapkan proses pembakaran berakhir setelah selesainya tahap ketiga. Namun, karena distribusi partikel bahan bakar kurang baik, pembakaran berlanjut pada sisa langkah ekspansi. Dari itulah nama *after burning* atau tahap keempat dikembangkan. Panas total yang terlibat sampai akhir pembakaran adalah 95-97% sedangkan sisa panas 3-5% keluar sistem *exhaust* sebagai *unburnt fuel*.

2.3.2 Sistem Pemasukan Bahan Bakar

Pada mesin diesel pengaturan jumlah bahan bakar dilakukan oleh *governor*. Sistem pengendalian dengan *governor* digunakan baik pada mesin stasioner maupun mesin otomotif seperti pada mobil dan traktor. Pada mesin modern seperti saat ini, mekanisme *governor* umumnya menggunakan mekanisme mekanis-hidrolis

(*woodward governor*) walaupun terdapat versi *governor* elektrik. Gambar 2.2 menunjukkan cara kerja *governor* yang menggunakan mekanisme mekanis-hidrolis dalam pengendalian putaran mesin yang berlebihan pada mesin diesel. Dalam hal ini, *governor* mengendalikan posisi tuas pengontrol bahan bakar yang dikombinasikan dengan aksi dari piston hidrolis dan gerakan bandul berputar. Posisi dari bandul ditentukan oleh kecepatan putaran dari mesin, jika putaran mesin naik atau turun maka bandul berputar mekar atau menguncup. Gerakan dari bandul ini karena perubahan putaran mesin akan menggerakkan piston kecil (*pilot valve*) pada sistem hidroliknya. Gerakan ini mengatur aliran cairan hidrolis ke piston hidrolis (*piston motor servo*). *Piston motor servo* dihubungkan dengan tuas pengatur bahan bakar (*fuel rack*) dan gerakannya akan menyebabkan penambahan atau pengurangan jatah bahan bakar yang di-*supply*.



Gambar 2.2 Skema Kerja *Governor* Mekanis-Hidrolis

Ada empat tipe pengontrolan mesin menggunakan *governor:*

- Pertama, jika hanya satu kecepatan yang dikontrol maka digunakan tipe *governor* kecepatan tetap atau *constant-speed type governor*.

- Kedua, jika putaran mesin dapat dikendalikan beberapa tingkat secara manual melalui pengaturan dengan alat bantu, maka disebut tipe *governor* kecepatan variabel atau *variable-speed type governor*
- Tipe ketiga ini adalah pengontrolan agar putaran mesin dapat dipertahankan di atas batas minimum atau di bawah batas maksimum, dan disebut *governor* pembatas kecepatan atau *speed limiting type governor*.
- Tipe pengontrolan keempat adalah tipe *governor* yang digunakan untuk membatasi beban mesin, dan disebut tipe *governor* pembatas beban atau *load-limiting type governor*.

2.3.3 Unjuk Kerja Mesin Diesel

Karakteristik operasi dan unjuk kerja dari mesin diesel berhubungan dengan:

1. Daya

Daya Mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran diberikan beban lampu dengan daya 200 – 2000 watt. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif pada generator (*Ne*). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus:

$$Ne = \frac{V \; x \; I \; x \cos\varphi}{\eta generator} \quad \text{(Watt)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.8)$$

Dimana:

Ne : Daya Mesin (Watt)
V : Tegangan Listrik (Volt)
I : Arus Listrik (Ampere)
η_{gen} : Effisiensi mekanisme generator (0,9)
Cos φ : Faktor daya listrik (Cos φ) = 1

2. Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil pembagian daya dalam satu menit dengan putaran mesin (rpm) sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau *ft.lb* (British). Dalam praktiknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terperosok. Momen torsi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Mt = \frac{60000\ x\ Ne}{2\pi n}\ \text{(N.m)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.9)$$

Dimana:

Mt : Torsi (N.m)
Ne : Daya (Watt)
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 mempunyai kecenderungan untuk semakin besar. Semakin besar putaran mesin, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

3. *Brake Mean Effective Pressure* (*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:

$$bmep = \frac{Ne\ x\ Z\ x\ 60}{A\ x\ l\ x\ n\ x\ i}\ \ (N/m^2) \ldots (2.10)$$

Dimana:

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)

4. *Spesific fuel consumption (SFC)*

Spesific fuel consumption (sfc) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 hp selama 1 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 m_{bb} adalah:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{mbb}{s} \text{ (kg)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.11)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

$$\text{Sfc} = 3600 \frac{\dot{m}bb}{Ne} \text{ (Kg / kW.jam)} \ldots\ldots\ldots\ldots (2.12)$$

5. Efisiensi Thermal (η_{th})

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

$$\eta_{th} = \frac{Daya\ efektif\ yang\ dihasilkan}{m\ bahan\ bakar\ x\ LHV\ bahan\ bakar} \text{ x } 100 \ldots (2.13)$$

Dimana Q adalah nilai kalor bawah (*Lower Heating Value, LHV*) atau panas pembakaran bawah bahan bakar [Kcal/kg bahan bakar]. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. LHV dapat dinyatakan dengan rumus empiris (bahan bakar solar) sebagai berikut:

LHV = [16280 + 60(API)] Btu/lb ……..……(2.14)

Dimana:
1 btu/lb = 2,326 kJ/kg
1 kJ/kg = $\frac{1}{4187}$ kkal/kg

API Gravity adalah suatu pernyataan yang menyatakan densitas dari suatu material. *API Gravity* diukur pada temperatur minyak bumi 60°F. Harga *API Gravity* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{API} = \frac{141{,}5}{spesific\ gravity\ pada\ 60\ F} - 131{,}5 \quad \text{……(2.15)}$$

Dimana *specific gravity* untuk bahan bakar mesin diesel adalah 0,84

2.3.4 Emisi Gas Buang

Bahan pencemar (Polutan) yang berasal dari gas buang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

1. Sumber polutan dibedakan menjadi polutan primer dan sekunder. Polutan primer seperti nitrogen oksida (NO_x) dan hidro karbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan polutan sekunder seperti ozon (O_3) dan peroksiasetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia atau oksida.
2. Komposisi kimia, polutan dibedakan menjadi organic dan anorganik. Polutan organik mengandung karbon dan hydrogen, juga beberapa elemen seperti oksigen, nitrogen, sulfur, atau fosfor. Contohnya hidrokarbon, alkohol, ester, dan lain-lain. Polutan anorganik seperti karbon monoksida (CO), karbonat, nitrogen oksida, ozon dan lain-lain.

3. Bahan penyusun

Polutan dibedakan menjadi partikulat atau gas. Partikulat dibagi menjadi padatan dan cairan seperti debu, asap, abu, kabut, dan spray. Partikulat dapat bertahan di atmosfer sedangkan polutan berupa gas tidak bertahan di atmosfer dan bercampur dengan udara bebas.

a. Partikulat

Polutan partikulat yang berasal dari kendaraan bermotor umumnya merupakan fasa padat yang terdispersi dalam udara dan *magnetic* asap. Fasa padatan tersebut berasal dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar dengan udara sehingga terjadi tingkat ketebalan asap yang tinggi. Selain itu, partikulat juga mengandung timbal yang merupakan bahan aditif untuk meningkatkan kinerja pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan. Apabila butir-butir bahan bakar yang terjadi pada penyemprotan ke dalam silinder motor terlalu besar atau apabila butir-butir berkumpul menjadi satu maka akan terjadi dekomposisi yang menyebabkan terbentuknya karbon-karbon padat atau angus. Hal ini disebabkan karena pemanasan udara yang bertemperatur tinggi tetapi penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara yang ada di dalam silinder tidak dapat berlangsung sempurna terutama pada saat-saat di mana terlalu banyak bahan bakar disemprotkan yaitu pada waktu daya motor akan diperbesar misalnya untuk akselerasi maka terjadinya angus itu tidak dapat dihindarkan. Jika angus yang terjadi itu terlalu banyak maka gas buang yang keluar dari gas buang motor akan berwarna hitam.

b. UHC (*Unburned Hidrocarbon*)

Hidrokarbon yang tidak terbakar dapat terbentuk tidak hanya karena campuran udara bahan bakar yang gemuk, tetapi bisa saja pada campuran kurus bila temperatur pembakarannya rendah dan lambat serta bagian dari dinding ruang pembakarannya yang dingin dan agak besar. Motor memancarkan banyak hidrokarbon jika baru saja dihidupkan atau berputar bebas atau pemanasan. Pemanasan

dari udara yang masuk dengan menggunakan gas buang meningkatkan penguapan dari bahan bakar dan mencegah pemancaran hidrokarbon. Jumlah hidrokarbon tertentu selalu ada dalam penguapan bahan bakar ditangki bahan bakar dan dari kebocoran gas melalui celah antara silinder dari torak masuk ke dalam poros engkol yang disebut dengan *blow by gasses* (gas lalu). Pembakaran tidak sempurna paa kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Hal ini pada motor diesel terutama disebabkan oleh campuran lokal udara bahan bakar tidak dapat mencapai batas mampu bakar.

c. Karbon Monoksida (CO)

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO_2) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa, dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bahan bakar (kira-kira 85% dari berat dan sisanya hidrogen) terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi bila campuran udara bahan bakar lebih gemuk daripada campuran stoikiometris dan terjadi selama *idling* pada beban rendah atau pada output maksimum. Karbon monoksida tidak dapat dihilangkan jika campuran udara bahan bakar gemuk, bila campuran kurus karbon monoksida tidak terbentuk.

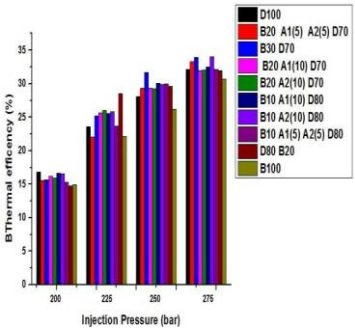
d. Nitrogen Oksida (NO_x)

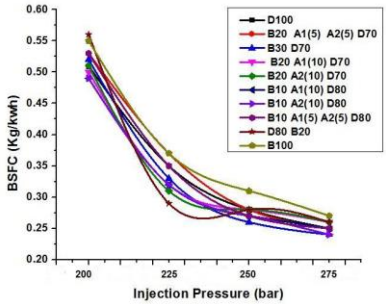
Senyawa nitrogen oksida yang sering menjadi pokok pembahasan dalam masalah polusi udara adalah NO dan NO_2. Kedua senyawa ini terbuang langsung ke udara bebas dari hasil pembakaran bahan bakar. Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Gas NO merupakan merupakan gas yang berbahaya karena mengganggu syaraf pusat. Gas NO terjadi karena adanya reaksi antara ion-ion N_2 dan O_2.

2.4 Penelitian Terdahulu

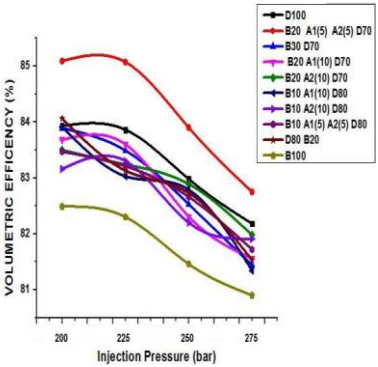
2.4.1 Penelitian oleh G.R.K Sastry dkk. 2015: *Effect of Fuel Injection Pressure, Isobutanol, and Ethanol Addition Performance of Diesel-Biodiesel Fuelled D.I. Diesel Engine*

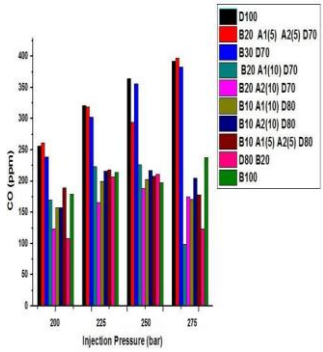
Tekanan injeksi bahan bakar dan penambahan *additive* memiliki peran penting dalam unjuk kerja mesin diesel. Semakin tinggi tekanan injeksi, semakin kecil *droplet* bahan bakar. Hal ini menyebabkan campuran udara – bahan bakar semakin baik dan meningkatkan kesempurnaan pembakaran. Hasil penelitian mesin diesel *Direct Injection* (DI) silinder tunggal dioperasikan pada putaran konstan 1500 RPM dengan perpaduan bahan bakar biodiesel dan diesel dengan penambahan isobutanol dan ethanol sebagai *additive* B10, B20, B30, dan penambahan 10% isobuthanol dan ethanol 10% dioperasikan dengan *load engine* 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan waktu injeksi 27° *before Top Dead Center* (BTDC) dengan setiap tekanan injeksi yang divariasikan dari 200 – 275 bar dengan interval 25 bar pada setiap *engine load*. Hasil penelitian didapatkan *brake thermal efficiency* lebih tinggi pada campuran bahan bakar biodiesel dan diesel dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional. *Brake specific fuel consumption* mengalami peningkatan pada campuran bahan bakar biodiesel dan diesel dengan penambahan *additive* isobuthanol dan ethanol yang menurun dengan peningkatan tekanan injeksi. *Indicated thermal efficiency* pada campuran bahan bakar biodiesel dan diesel dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional. Tekanan silinder meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan injeksi. Emisi CO dan *smoke density* menurun signifikan dengan penggunaan *additive* isobuthanol dan ethanol





Gambar 2.3 BTE vs. *Injection Pressure* **Gambar 2.4** BSFC vs. *Injection Pressure*

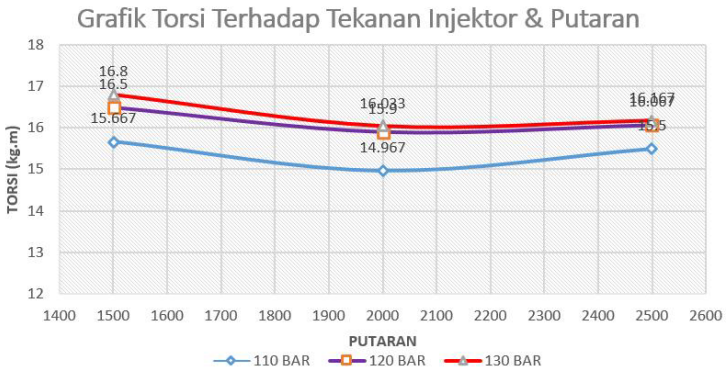




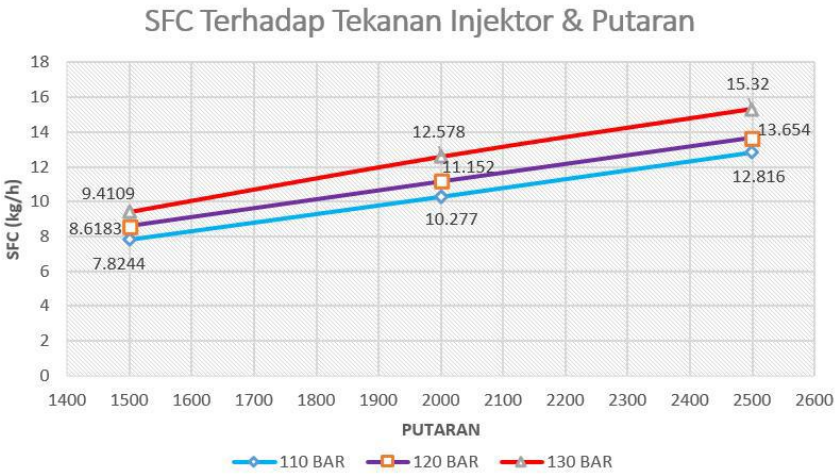
Gambar 2.5 *Volumetric Efficiency* vs. *Injection* **Gambar 2.6** CO vs. *Injection Pressure*

2.4.2 Penelitian oleh Apri Ashari dkk. 2016: Pengaruh Variasi Tekanan Injektor dan Putaran Terhadap Performa dan Gas Buang Pada Motor Diesel

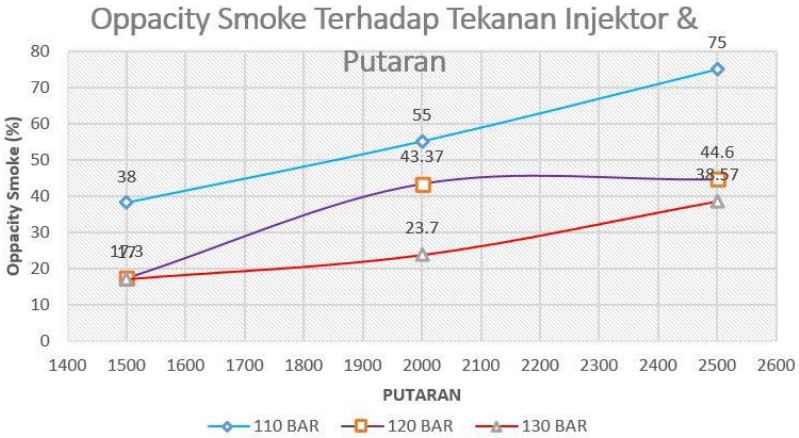
Penelitian ini dilakukan untuk mencari pengaruh dari variasi tekanan injeksi dan putaran terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang mesin diesel dengan bahan bakar Biodiesel yang berasal dari Pertamina. Penelitian dilakukan pada sebuah mesin diesel Isuzu Panther 2.3 L dengan variasi tekanan injeksi 110, 120, dan 130 bar dengan kecepatan putaran 1500 – 3000 RPM interval setiap 500 RPM. Hasil penelitian didapatkan bahwa pada tekanan 130 bar pada putaran 2500 RPM menghasilkan performa *engine* yang paling baik. Hal tersebut terjadi karena pada peningkatan tekanan injeksi akan menghasilkan *droplet* bahan bakar yang lebih kecil sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih baik. *Smoke opacity* tertinggi terjadi pada tekanan injeksi 110 bar pada 2500 RPM. Hal tersebut terjadi karena pada tekanan 100 bar *droplet* bahan bakar lebih besar sehingga menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna.



Gambar 2.7 Torsi yang Dihasilkan Tekanan Injeksi yang divariasikan



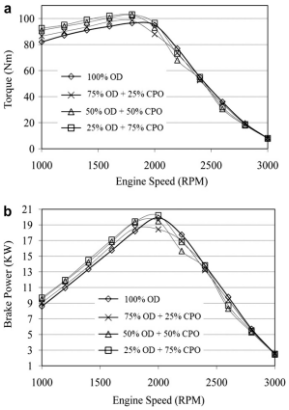
Gambar 2.8 *SFC* yang Dihasilkan Tekanan Injeksi yang divariasikan



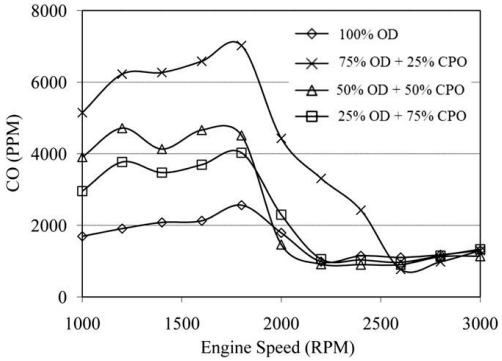
Gambar 2.9 *Smoke Opacity* yang Dihasilkan Tekanan Injeksi yang Divariasikan

2.4.3 Penelitian oleh T.F. Yusaf dkk. 2011: *Crude Palm Oil Fuel for Diesel-Engine: Experimental and ANN Simulation Approaches*

Pada penelitian ini dilakukan percobaan untuk mengetahui unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar campuran antara bahan bakar diesel/HSD dan *palm oil* (*dual fuel*). Hasil penelitian dari pencampuran *palm oil* dengan pemanasan awal sebesar 25%, 50%, dan 75% terhadap bahan bakar diesel digunakan sebagai bahan bakar pada sebuah motor diesel injeksi langsung silinder tunggal dengan kecepatan *engine* diturunkan tiap 200 rpm dari 3000 rpm sampai 1000 rpm. Dari penelitian tersebut, penambahan persentase *palm oil* pada *lower speed engine* (kurang dari 1800 rpm) dapat mengurangi konsumsi bahan bakar. Selain itu, persentase *palm oil* dapat meningkatkan *brake power* dan torsi meskipun memiliki nilai kalornya lebih rendah dibandingkan dengan diesel.



Gambar 2.10 Torsi dan B*rake Power* Terhadap Kecepatan Putaran



Gambar 2.11 Emisi CO Terhadap Kecepatan Putaran

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Pengujian dilakukan secara eksperimental pada diesel *engine constant speed*. Pengujian dilakukan pada mesin sebagai alat uji dengan poros utama yang telah terkopel langsung dengan *electrical generator* sebagai *electrical dynamometer*. Pengujian dilakukan di Workshop Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi Gedung Teknik Mesin ITS

3.2 Peratan Eksperimen

Selama melakukan eksperimen ini, digunakan alat-alat uji dan alat-alat ukur sebagai berikut;

3.2.1 Alat Uji

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

1. Mesin diesel dengan spesifikasi:

- Merk : Yanmar
- Model : TF 55 R
- Kerja mesin : 4 langkah
- Sistem pembakaran : *Direct Injection*
- Jumlah silinder : 1 silinder
- Saat pengabutan : 17° sebelum TMA
- Diameter x panjang langkah : 75 x 80 (mm)
- Volume silinder : 353 (cc)
- Daya kontinu : 4,5/2200 (hp/rpm)
- Daya maksimum : 5,5/2200 (hp/rpm)
- Perbandingan kompresi : 17,9:1
- Pompa bahan bakar : Tipe Bosch
- Tekanan Injektor : 200 kg/cm^2
- Sistem pelumasan : Pelumas paksa
- Kapasitas minyak pelumas : 1,8 liter
- Kapasitas tangki bahan bakar : 7,1 liter
- Jenis minyak pelumas : SAE 40 CC/CD

- Sistem Pendingin : Radiator

Dimensi mesin

- Panjang : 607,5 (mm)
- Lebar : 311,5 (mm)
- Tinggi : 469,0 (mm)

2. Generator listrik/*electrical dynamometer* dengan spesifikasi:

- Merk : Noqiwa
- Model : ST-3
- Frekuensi : 50 (Hz)
- RPM : 1500
- *Voltage* : 220 (V)
- *Phase* : 1
- *Base* : 3 (kW)
- *Ev volt* : 42 (V)
- *Ex current* : 2 (A)

3. Beban Listrik

Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 10 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 200 Watt. Lampu-lampu tersebut disusun secara paralel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/kontak untuk pengaturan beban bahan bakar yang akan diuji (Dexlite-Etanol-*Palm Oil*).

4. Shim Set Merk Yanmar

Shim atau bisa juga disebut dengan *adjusting washer* digunakan untuk mengatur tekanan penginjeksian bahan bakar yang melalui injektor. Penulis melakukan variasi tekanan penginjeksian bahan bakar yang melalui injektor ini dengan melakukan penggantian shim / *adjusting washer* dengan ketebalan yang berbeda-beda.

3.2.2 Alat Ukur

Adapun alat ukut yang digunakan dalam pengambilan data percobaan adalah sebagai berikut:

1. Pipet Volumetrik

   Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar *dexlite* yang dikonsumsi oleh mesin diesel.

2. *Stopwatch*

   Alat ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan mesin diesel untuk mengkonsumsi bahan bakar *dexlite.*

3. Amperemeter dan Voltmeter

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

4. Tachometer digital

   Alat ini digunakan untuk mengukur putaran *engine.*

5. Gas *Analyzer*

6. Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar gas emisi dihasilkan oleh mesin diesel. Gas *Analyzer* yang digunakan adalah STAR GAS 898.

7. *Thermocouple, thermo selesctor,* dan *display*

   Thermocouple terpasang langsung pada *engine* sebagai sensor thermal lalu pembacaan temperatur ditampilkan melalui *thermo selesctor* dan *display*

3.3 Sistematika Penelitian

3.3.1 Tahap-tahap Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan perumusan masalah.

   2. Studi literatur, yang bertujuan untuk mendapatkan berbagai informasi dan data yang berkaitan dengan objek penelitian

   3. Mempersiapkan alat uji, meliputi;

   a. Membuat kerangka dudukan *engine* dan generator.

b. Memasang *engine* dan generator pada kerangka dudukan.
c. Memasang *belt* penghubung *engine* dan generator.
d. Melakukan Tune-Up pada *Engine*, seperti pemeriksaan baut, sistem pemasukan bahan bakar, air pendingin, oli mesin, saringan udara, saluran *exhaust* dan penyetelan klep.
e. Menghubungkan generator ke *electric dynamometer*
f. Mengoperasikan *engine* untuk mengetahui *engine* berfungsi dengan baik dan normal.
4. Mempersiapkan alat ukur, meliputi;
a. Memastikan setiap peralatan (voltmeter, tachometer, thermometer, dan stopwatch) memiliki *power supply* (baterai kuning) yang cukup.
b. Mengatur skala alat ukur sesuai kebutuhan.
c. Memasang kabel-kabel *thermocouple* pada tempat yang akan diukur temperaturnya, lalu diinstali pada *thermo selector* dan *display*.
d. Memasang *clampmeter* (voltmeter) pada bagian *input electric dynamometer*.
5. Mempersiapkan bahan bakar (pada point 3.4)
6. Uji *properties* bahan bakar (pada point 3.4)
7. Melakukan pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang *engine* diesel (pada point 3.5)
8. Pengolahan data, yaitu dengan melakukan perhitungan data hasil pengujian pada langkah 7, yang meliputi daya, torsi, BMEP, SFC, efisiensi thermal, dan AFR.
9. Uji *properties* bahan bakar uji, pengujian dilakukan di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi. Bahan bakar akan diuji bebeberapa *properties*, meliputi massa jenis, viskositas, angka setana, dan nilai kalor.

3.4 Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji *Properties*

Pada eksperimen ini digunakan campuran bahan bakar Dexlite, ethanol, dan *crude palm*. Dalam eksperimen ini digunakan

bahan bakar Dexlite yang diproduksi oleh PT. Pertamina Indonesia dengan spesifikasi:

Tabel 3.1 Spesifikasi Dexlite

No	Parameter Uji	Unit	Hasil Uji	Batasan SNI	
			Dexlite	Min	Max
1.	Angka Setana	-	56.7	48	-
2.	Index Setana	-	51.1	45	-
3.	Massa Jenis pada 15°C	Kg/m^3	845.7	815	670
4.	Viskositas pada 40°C	Mm^2/s	2.92	2	4.5
5.	Kandungan Sulfur	%m/m	0.078	-	0.3
6.	Titik Nyala	^{o}C	65	52	-
7.	Titik Tuang	^{o}C	-3	-	18
8.	Residu Karbon	%m/m	Nihil	-	0.1
9.	Kandungan Air	Mm/kg	159.63	-	500
10.	Kandungan FAME	%v/v	20	-	20
11.	Kandungan Abu	%m/m	0.001	-	0.001
12.	Lubrikasi (HFRR)	Micron	236	-	460

Sedangkan untuk Ethanol digunakan *Fuel Grade* Ethanol 99,6% (*Unhydros Ethanol*). Berikut adalah spesifikasi dari ethanol yang akan digunakan:

Tabel 3.2 Spesifikasi Ethanol

No.	Parameter	Unit	Nilai
1.	Massa Jenis pada 20ºC	Kg/m^3	788
2.	Angka Setana	-	5-8
3.	Viskositas pada 40ºC	Mm^2/s	1.2
4.	*Lower Heating Value*	MJ/kg	26.8
5.	*Spesific Heat Capacity*	J/Kg^0C	2100
6.	*Oxygen, % weight*	%	34.8
7.	*Latent heat of vaporization*	Kj/kg	840

3.4.1 Tahap-Tahap Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji *Properties*

Adapun tahapan dalam mempersiapkan bahan bakar uji adalah sebagai berikut:

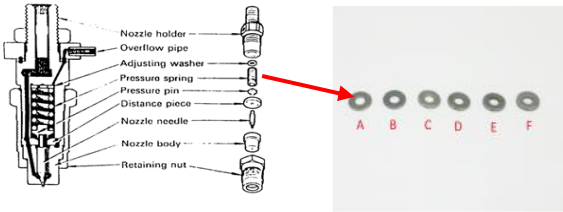
1. Mempersiapkan alat yang akan digunakan, meliputi gelas flask, gelas beaker, elemenyer, dan *test tube*.
2. Mempersiapkan 100 ml bahan bakar yang akan dicampurkan yaitu campuran Dexlite, 10% Ethanol, dan 5% *Crude Palm Oil*, Dexlite, 15% Ethanol, dan 5% *Crude Palm Oil*, Dexlite, 10% Ethanol, dan 7,5% *Crude Palm Oil*. Dexlite, 15% Ethanol, dan 7,5% *Crude Palm Oil*. Dexlite, 10% Ethanol, dan 10 % *Crude Palm Oil*. Dexlite, 15% Ethanol, dan 10% *Crude Palm Oil* Masing-masing campuran disediakan pada 3 gelas flask.
3. Kocok gelas flask secukupnya sampai menyampur dengan rata.
4. Pindahkan campuran Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* ke dalam *test tube*.
5. Amati perubahan campuran bahan bakar tersebut terkait tingkat separasi yang terjadi.
6. Dokumentasikan waktu kapan campuran mulai mengalami separasi

7. Campuran bahan bakar dengan tingkat separasi yang paling kecil dan bertahan paling alam akan digunakan sebagai bahan bakar uji.
8. Uji *properties* bahan bakar uji. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi. Bahan bakar akan diuji beberapa *properties*, meliputi massa jenis, viskositas, dan *Cetane Index*.

3.4.2 Pengaturan Tekanan Injeksi

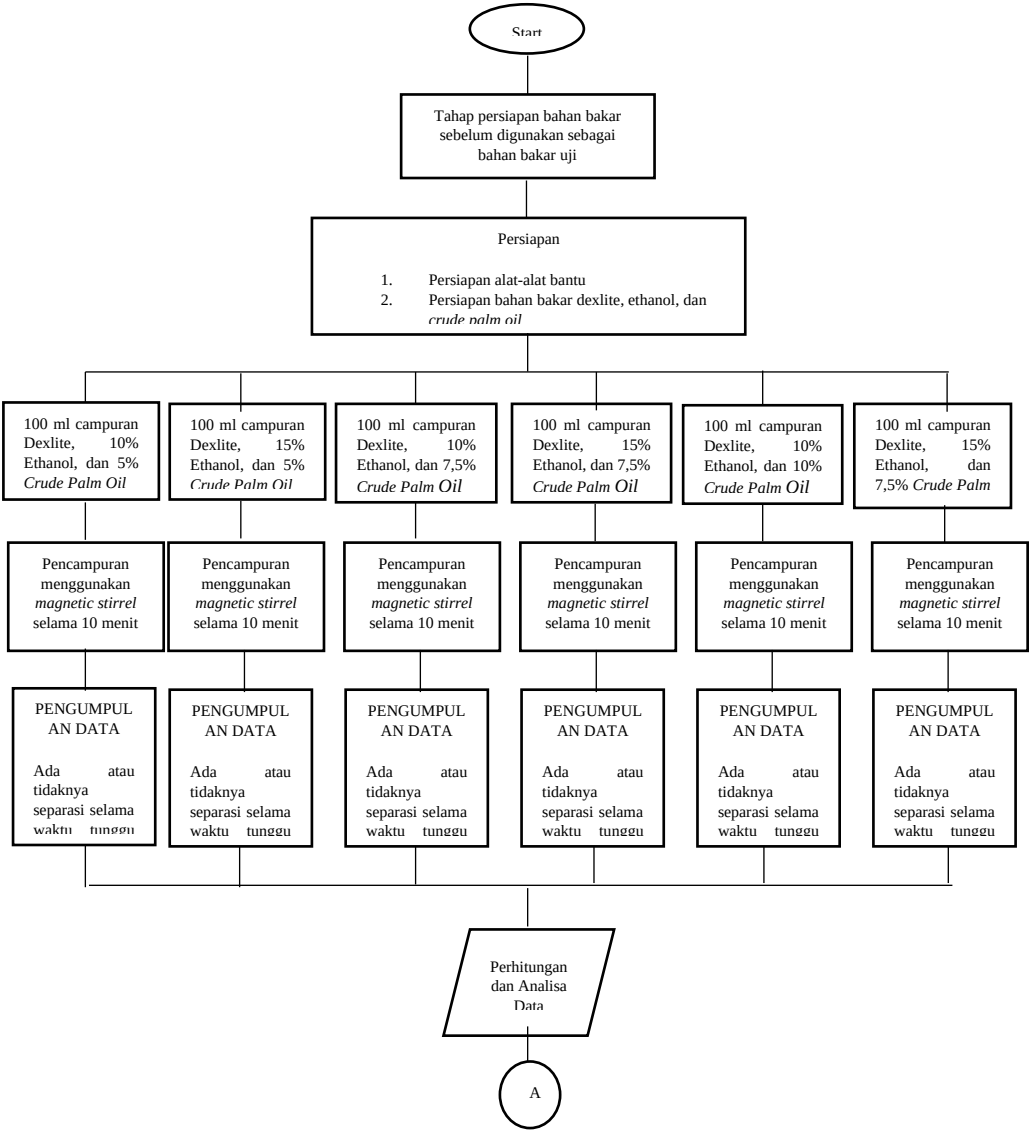
Dalam pengaturan tekanan injeksi ini diperlukan persiapan sebagai berikut:

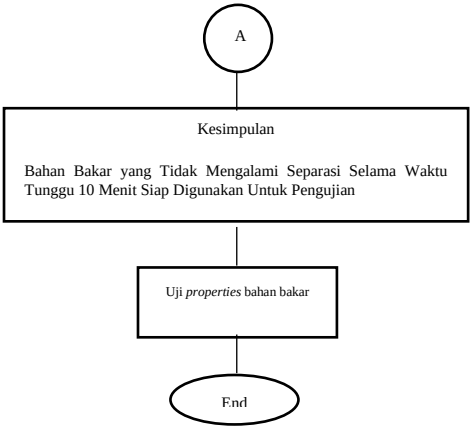
1. Melepas injektor dari mesin diesel.
2. Membongkar injektor dengan hati-hati. Usahakan agar bagian dari injektor tetap utuh.
3. Ganti shim injektor dengan ketebalan tertentu yang terdapat pada shim set yang sudah ada.
4. Ukur ketebalan shim atau *adjusting washe*r dengan jangka sorong.
5. Uji tekanan dari injektor dengan menggunakan injektor tester. Usahakan agar bahan bakar tidak bocor dari saluran pipa injeksi agar lebih pengujian lebih akurat.
6. Catat tekanan injektor yang terukur pada *pressure gage* sesuai dengan ketebalan yang telah diukur di awal.



Gambar 3.1 Shim Set Injektor Yanmar TF 55R

3.4.3 Flowchart Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend) dan Uji Properties





3.5 Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi

Dalam eksperimen ini dilakukan pembagian kelompok. Pembagian kelompok adalah sebagai berikut:

Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang, bahan bakar Dexlite dengan variasi penambahan Ethanol dan *Crude Palm Oil* pada tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.

1. Pengujian Kontrol 1, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan bahan bakar Dexlite murni D0 dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.
2. Pengujian Kontrol 2, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (85%), Ethanol (10%), dan *Crude Palm Oil* (5%) dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.
3. Pengujian Kontrol 3, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (80%), Ethanol (15%), dan *Crude Palm Oil* (5%) dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.
4. Pengujian Kontrol 4, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (82,5%), Ethanol (10%), dan *Crude Palm Oil* (7,5%) dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.

5. Pengujian Kontrol 5, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (77,5%), Ethanol (15%), dan *Crude Palm Oil* (7,5%) dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.
6. Pengujian Kontrol 6, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (80%), Ethanol (10%), dan *Crude Palm Oil* (10%) dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.
7. Pengujian Kontrol 7, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (75%), Ethanol (15%), dan *Crude Palm Oil* (10%) dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 200 kg/cm^2.

Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang, bahan bakar Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* terbaik pada pengujian kontrol dengan variasi tekanan injeksi (*Injection Pressure*).

1. Pengujian Kontrol 1, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar hasil pengujian kontrol terbaik dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 190 kg/cm^2.
2. Pengujian Kontrol 2, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar hasil pengujian kontrol terbaik dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 210 kg/cm^2.
3. Pengujian Kontrol 2, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar hasil pengujian kontrol terbaik dengan tekanan injeksi (*Injection Pressure*) standart 220 kg/cm^2.

Berikut merupakan matrik rancangan pengujian;

Tabel 3.3 Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Kontrol

Parameter Input				Parameter Output	
Konstan	Bervariasi			Diukur	Dihitung
	Persentase Ethanol dalam campuran	Persentase *Crude Palm Oil* dalam campuran	Beban Listrik	• Arus Listrik (Ampere meter) • Tegangan (Volt) • Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml (s) • Temperatur gas buang (°C) • Temperatur air pendingin (°C) • Temperatur *engine* (°C) • Temperatur oli (°C) • *Smoke Opacity* (%v)	• Daya • Torsi • BMEP • SFC • Efisiensi *Thermal*
Tipe generator set mesin Putaran mesin diesel 2000 rpm Volume campuran bahan bakar (Dexlite, Ethanol, *crude palm oil*, Tekanan injeksi 200 kg/cm^2	0% (Pengujian Kontrol 1)	0% (Pengujian Kontrol 1)	200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		
	10% (Pengujian Kontrol 2)	5% (Pengujian Kontrol 2)	200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		
	15% (Pengujian Kontrol 3)	5% (Pengujian Kontrol 3)	200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		
	10% (Pengujian Kontrol 4)	7,5% (Pengujian Kontrol 4)	200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		
	15% (Pengujian Kontrol 5)	7,5% (Pengujian Kontrol 5)	200 W hingga 2000		

			W dengan interval 200 W		
	10% (Pengujian Kontrol 6)	10% (Pengujian Kontrol 6)	200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		
	15% (Pengujian Kontrol 7)	10% (Pengujian Kontrol 7)	200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		

Tabel 3.4 Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Uji

Parameter Input			Parameter Output	
Kontan	Bervariasi		Diukur	Dihitung
	Injection Pressure	Beban Listrik		
Tipe generator set mesin diesel Putaran mesin diesel 2000 rpm Volume campuran	190 kg/cm^2	200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W	Arus Listrik (Amperemeter) Tegangan (Volt) Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml (s) Temperatur gas buang (ºC)	Daya Torsi BMEP SFC Efisiensi *Thermal*
	210 kg/cm^2			
	220 kg/cm^2	200 W hingga 2000 W dengan		

bahan bakar (Dexlite, Ethanol, *crude palm oil*) Persentase Ethanol dan *crude palm oil* terbaik dari pengujian kontrol bahan bakar		interval 200 W	Temperatur air pendingin (ºC) Temperatur *engine* (ºC) Temperatur oli (ºC) *Smoke Opacity* (%v)	

Selanjutnya dicari data-data pengujian setiap kelompok sebagai berikut:

1. Arus Listrik (Ampere)
2. Tegangan (Volt)
3. Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml
4. Temperatur gas buang (ºC)
5. Temperatur air pendingin (ºC)
6. Temperatur *engine*(ºC)
7. Temperatur oli (ºC)
8. Emisi *smoke opacity*

Lalu data-data yang didapatkan akan dituangkan pada tabel data dibawah ini:

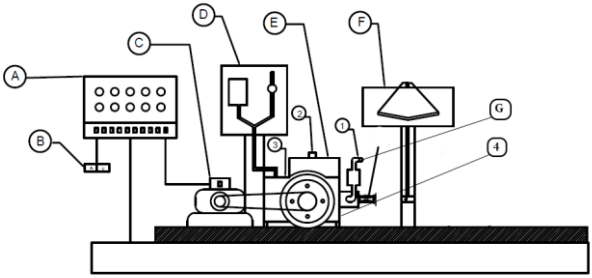
Tabel 3.5 Tabel Pengambilan Data

Beban (Watt)	RPM	Generator		Bahan Bakar		Temp. Air Pendingin	Temp. *engine*	Temp. Gas Buang	Temp. Oli
No		Arus (A)	Voltase (V)	Volume (ml)	Waktu(s)				
	2000								

Smoke Tester
Smoke Opacity(%vol)

3.5.1 Skema Alat

Berikut ini adalah skema penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 3.2 Skema Peralatan Generator Set.

Keterangan

A. Lampu pembebanan
B. Amperemeter dan Voltmeter
C. Generator
D. Gelas ukur
E. Radiator
F. Manometer V
G. *Probe* Stargas Analyser
1. *Thermocouple* gas buang
2. *Thermocouple* pendingin
3. *Thermocouple engine*
4. *Thermocouple* oli

3.5.2 Tahap-Tahap Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi

Secara garis besar dalam pengujian ini adalah untuk melihat unjuk kerja dan emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel yang menggunakan campuran bahan bakar Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* terhadap variasi tekanan injeksi (*Injection Pressure*)

A. Tahap Persiapan

Hal-hal yang diperlukan dalam persiapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

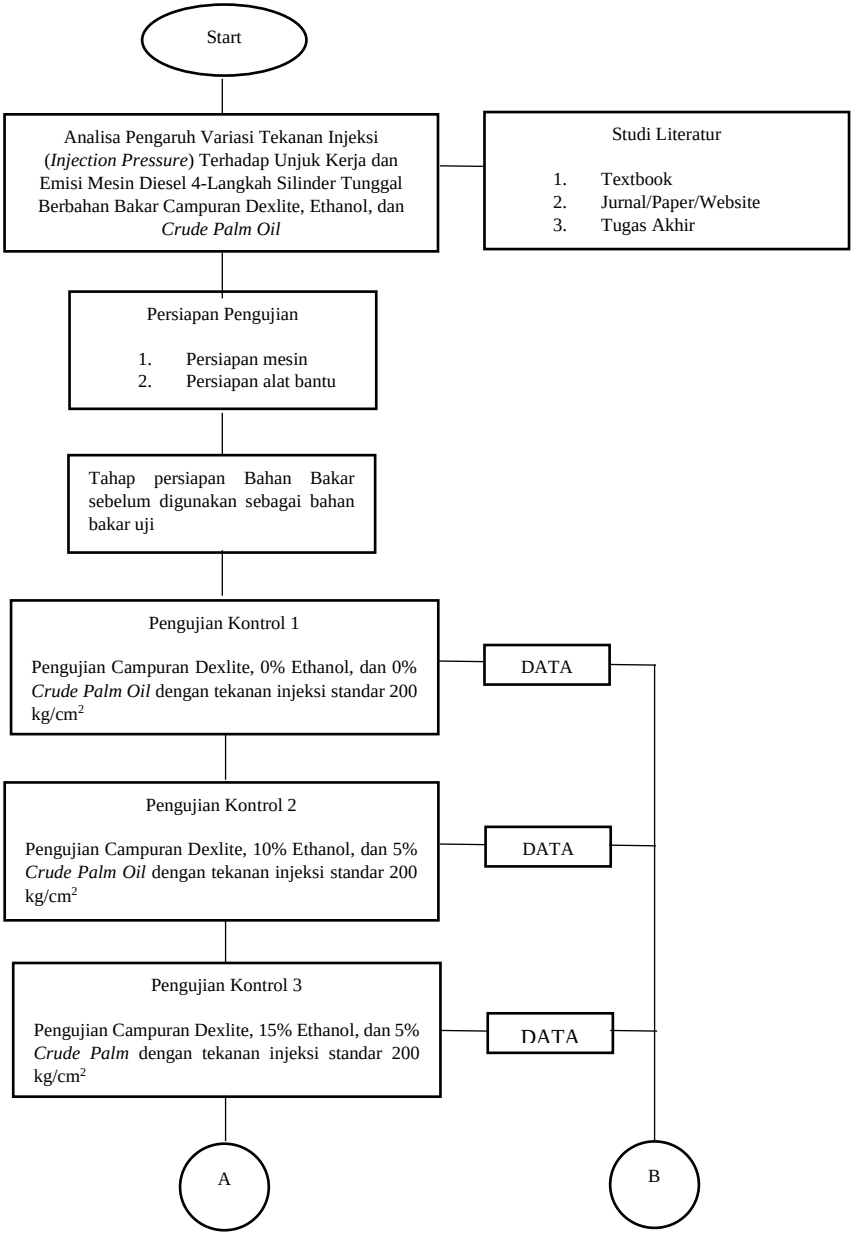
1. Memeriksa kondisi kesiapan mesin yang meliputi kondisi fisik mesin, pelumas, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, dan sistem udara masuk.
2. Memeriksa kondisi sistem pembebanan, sistem kelistrikan, dan sambungan-sambungan listrik yang ada,
3. Memeriksa kondisi Stargas Analyzer.
4. Memeriksa kesiapan alat-alat ukut
5. Mempersiapkan alat tulis dan tabel untuk pengambilan data.

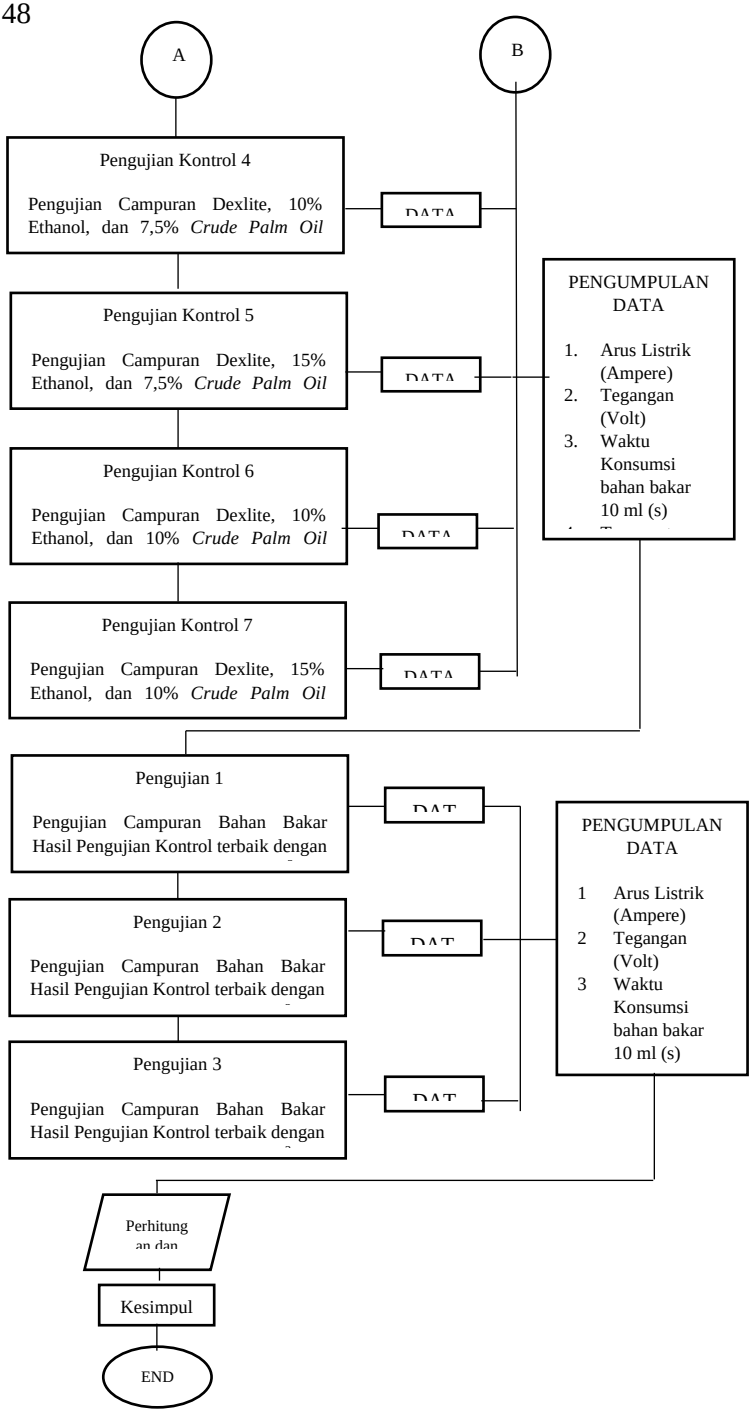
B. Pengujian unjuk kerja dan emisi

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

1. Menghidupkan mesin diesel.
2. Melakukan pemanasan mesin diesel selama ± 20 menit hingga temperatur mesin mencapai temperatur kondisi operasi.
3. Mengatur pembebanan pada mesin diesel mulai 200 Watt sampai dengan 2000 Watt dengan interval kenaikan setiap 200 Watt dengan tetap menjaga putaran mesin sebesar 2000 RPM setiap pembebanan.
4. Mencatat data-data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban, seperti:
a. Waktu konsumsi bahan bakar Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* setiap 10 ml.
b. Temperatur oli, cairan pendingin, gas buang, dan *engine*.
c. Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
d. Kadar emisi *smoke opacity*.
5. Pengambilan data berdasarkan bahan bakar dan variasi tekanan injeksi (*Injection Pressure*) yang pembagian kelompok uji-nya sudah ditentukan pada **point 3.5**
6. Setelah pengambilan data selesai dilakukan, maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol.
7. Mesin dibiarkan dalam kondisi tanpa beban selama ± 5 menit.
8. Mesin dimatikan dan ditunggu kembali dingin.

3.5.3 Flowchart Percobaan




A
B
Pengujian Kontrol 4
Pengujian Campuran Dexlite, 10% Ethanol, dan 7,5% *Crude Palm Oil*
DATA
Pengujian Kontrol 5
Pengujian Campuran Dexlite, 15% Ethanol, dan 7,5% *Crude Palm Oil*
DATA
Pengujian Kontrol 6
Pengujian Campuran Dexlite, 10% Ethanol, dan 10% *Crude Palm Oil*
DATA
Pengujian Kontrol 7
Pengujian Campuran Dexlite, 15% Ethanol, dan 10% *Crude Palm Oil*
DATA
PENGUMPULAN DATA
1. Arus Listrik (Ampere)
2. Tegangan (Volt)
3. Waktu Konsumsi bahan bakar 10 ml (s)
Pengujian 1
Pengujian Campuran Bahan Bakar Hasil Pengujian Kontrol terbaik dengan
Pengujian 2
Pengujian Campuran Bahan Bakar Hasil Pengujian Kontrol terbaik dengan
Pengujian 3
Pengujian Campuran Bahan Bakar Hasil Pengujian Kontrol terbaik dengan
PENGUMPULAN DATA
1 Arus Listrik (Ampere)
2 Tegangan (Volt)
3 Waktu Konsumsi bahan bakar 10 ml (s)
Perhitung an dan
Kesimpul
END

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut dengan proses-proses perhitungan, data pendukung, dan pembahasan dari hasil yang didapatkan. Adapun hasil akhir dari penelitian ini adalah unjuk kerja mesin yang meliputi torsi, *BMEP*, *BSFC*, efisiensi termal, dan temperature kerja pada *engine*, air pendingin, oli, dan *exhaust gas*. Serta analisa emisi gas buang yang berupa *Smoke Opacity*.

4.1 Hasil Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan *Uji Properties*

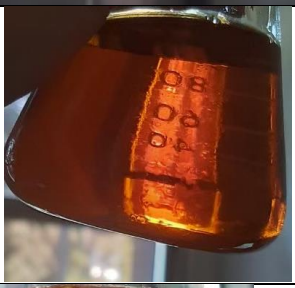
Persiapan bahan bakar adalah proses mempersiapkan bahan bakar sehingga siap untuk digunakan sebagai bahan bakar *engine* Diesel. Proses tersebut terdiri dari pencampuran (*blending*) antara Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* dengan persentase tertentu dengan menggunakan *magnetic stirrer* 1500 rpm.

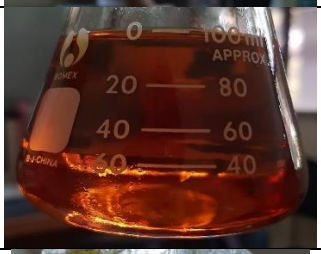
4.1.1 Hasil Pencampuran Bahan Bakar (*Fuel Blending*)

Dari proses pencampuran (*blending*) Dexlite, Ethanol, dan *Crude Palm Oil* didapatkan dokumentasi sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil *Blending* Campuran Bahan Bakar

No.	Campuran Bahan Bakar	Hasil Dokumentasi	Analisa Visual
1	85% Dexlite 5% *Crude Palm Oil*, 10%		Tidak terjadi separasi setelah

	Etanol (D85C5E10)		waktu tunggu 10 menit
2	82,5% Dexlite 7,5% *Crude Palm Oil*, 10% Etanol (D82,5C7,5E10)		Tidak terjadi separasi setelah waktu tunggu 10 menit
3	80% Dexlite 10% *Crude Palm Oil*, 10% Etanol (D80C10E10)		Tidak terjadi separasi setelah waktu tunggu 10 menit

4	80% Dexlite 5% *Crude Palm Oil*, 15% Etanol (D805C5E15)		Tidak terjadi separasi setelah waktu tunggu 10 menit
5	77,5% Dexlite 7,5% *Crude Palm Oil*, 15% Etanol (D77,55C7,5E 15)		Tidak terjadi separasi setelah waktu tunggu 10 menit
6.	75% Dexlite 10% *Crude Palm Oil*, 15% Etanol (D755C10E15)		Tidak terjadi separasi setelah waktu tunggu 10 menit

Dari hasil pencampuran (*blending*) bahan bakar diatas dengan menggunakan *magnetic stirrer* 1500 rpm selama 10 menit dan waktu tunggu 10 menit didapatkan hasil tidak terjadi separasi pada semua campuran bahan bakar. Berdasarkan hasil pengamatan visual, untuk mengetahui stabilitas campuran bahan bakar adalah dengan parameter tidak adanya garis pemisah antara fase pendipersi dan terdispersi. Campuran bahan bakar dikatakan stabil ketika campuran bahan bakar

tersebut idak mengalami *creaming*, sedimentasi, flokulasi aggregasi, dan koalesensi.

Pencampuran Dexlite dan Etanol akan menyebabkan separasi karena memiliki sifat yang berbeda sehingga menyebabkan terjadinya tegangan permukaan. Dexlite sebagai pendispersi dan etanol sebagai terdispersi membutuhkan zat aditif yang berguna untuk mencegah separasi. Pada penelitian ini, *Crude Palm Oil* dapat digunakan sebagai zat aditif untuk menjaga stabilitas campuran bahan bakar karena bersifat *amphiphile* dimana senyawa kimianya memiliki dua sifat yaitu *hydrophilik* (dapat berikatan dengan air) dan *lipophilik* (dapat berikatan dengan lemak/minyak) sehingga tegangan permukaan dapat diminimalisir. *Crude Palm Oil* yang bersifat *hydrophilik* akan mengikat Etanol yang memiliki kandungan air. Sedangkan *Crude Palm Oil* yang bersifat *lipophilik* akan mengikat Dexlite yang bersifat minyak sehingga kedua campuran tersebut tidak mengalami fase separasi. Kondisi tersebut membuat tegangan permukaan keduanya dapat diminimalisir dan terbentuk fase baru dimana globul Etanol dikelilingi oleh Dexlite. Berdasarkan hasil tersebut, *Crude Palm Oil* dapat digunakan untuk mengurangi tegangan permukaan antara campuran Dexlite dan Etanol serta dapat menjaga stabilitas campuran bahan bakar.

4.1.2 Data *Properties* Bahan Bakar

Berdasarkan perhitungan teoritis bahan bakar terhadap beberapa parameter *properties* dari bahan bakar diantaranya, *density*, *kinematic viscosity*, *cetane number*, *lower heating value*, *oxygen content*, dan *sulphur content* didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data *Properties* Bahan Bakar

Parameter	Dexlite	*Crude Palm Oil*	Ethanol	D85C5E10	D82.5C7.5E10	D80C10E10	D80C5E15	D77.5C7.5E15	D75C10E15
Density @20°C (g/cm^2)	0.815	0.86	0.78	0.81375	0.814875	0.816	0.812	0.813125	0.81425
Kinematic Viscosity @40°C (mm^2/s)	2.92	40.55	1.2	4.6295	5.57025	6.511	4.5435	5.48425	6.425
Cetane Number	51	49	5	46.3	46.25	46.2	44	43.95	43.9
LHV (MJ/kg)	43.932	40.14	26.8	42.0292	41.9344	41.8396	41.1726	41.0778	40.983
Sulphur Content(ppm)	1200	0	00	1020	990	960	960	930	900
Oxygent Content (%*weight*)	0	11.26	34.8	4.043	4.3245	4.606	5.783	6.0645	6.346

Properties bahan bakar didapatkan pada sumber:

1) *Properties* Dexlite berdasarkan PT. Pertamina

2) *Properties* Ethanol berdasarkan Achmad Praptijanto dkk. yang berjudul *Effect of Ethanol Percentage for Diesel Engine Performance Using Virtual Engine Simulation Tool*.

3) *Properties Crude Palm Oil* berdasarkan Senthur Prabu dkk yang berjudul *Effect of Additives on Performance, Combustion and Emission Behavior of Preheated Palm Oil/Diesel Blends in DI Diesel Engine*

4.2 Contoh Perhitungan Unjuk Kerja

Perhitungan dibawah ini adalah untuk bahan bakar D80C10E10 dengan *injection pressure* standar 200 kg/cm^2. Perhitungan dilakukan pada pembebanan lampu 1000 Watt dengan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Percobaan Bahan Bakar D80C10E10 *Injection Pressure* 200 kg/cm^2

Beban (Watt)	RPM	Generator		Bahan Bakar	
		Arus (A)	Voltase(V)	Volume (ml)	Waktu (s)
1200	2000	3.7	226	10	50

4.2.1 Daya

Daya Mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan oleh generator. Untuk pengukuran diberikan beban lampu dengan daya 200 – 2000 watt. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif pada generator (*Ne*). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus:

$$Ne = \frac{V \; x \; I \; x \cos\varphi}{\eta generator} \quad \text{(Watt)}$$

Dimana:
Voltase : 226 V
Arus : 3.7 A
Cos φ : 1
$\eta generator$: 0.9

Maka:
Ne = $\frac{226\ x\ 3.7\ x\ 1}{0.9}$
Ne = 929.11 Watt

Dari perhitungan didapatkan daya yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D80C10E10 dengan *injection pressure* standar 200 kg/cm^2 pada pembebanan 1200 Watt adalah 929.11 Watt.

4.2.2 Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil pembagian daya dalam satu menit dengan putaran mesin (rpm) sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau *ft.lb* (British). Dalam praktiknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terperosok. Momen torsi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Mt $= \frac{60000\ x\ Ne}{2\pi n}$ (N.m)

Dimana:

Ne : 0.92911 KW

N : 2000 rev/min

Maka:

Mt = $\frac{60000\ x\ 0.92911}{2\ x\ 3.14\ x\ 2000}$

Mt = 4.44 Nm

Dari perhitungan didapatkan torsi yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D80C10E10 dengan *injection pressure* standar 200 kg/cm^2 pada pembebanan 1200 Watt adalah 4.44 Nm.

4.2.3 Brake Mean Effective Pressure (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:

bmep $= \frac{Ne\ x\ Z\ x\ 60000}{A\ x\ l\ x\ n\ x\ i}$ (N/m^2)

Dimana:

Ne : 929.11Watt

A : 0.0044 m^2

L : 0.008 m

I : 1

N : 2000 rpm

Z : 2 (mesin 4 langkah)

Maka:

bmep $= \frac{929.11\ x\ 2\ x\ 60000}{0.0044\ x\ 0.008\ x\ 2000\ x\ 1}$ (N/m^2)

bmep = 158371.2 N/m^2

bmep = 158.3712 kPa

Dari perhitungan didapatkan BMEP yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D80C10E10 dengan *injection pressure* standar 200 kg/cm^2 pada pembebanan 1200 Watt adalah 158.3712 kPa.

4.2.4 Spesific Fuel Consumption (SFC)

Spesific fuel consumption (sfc) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 hp selama 1 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 m_{bb} adalah:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{mbb}{s} \text{ (kg)}$$

$$m_{bb} = \rho_{bb} \times v_{bb} \text{ (kg)}$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}bb}{Ne} \text{ (Kg / kW.jam)}$$

Dimana:

ρ_{bb} = 816 kg/m^3
v_{bb} = 10^{-5} m^3
s = 50 s
Ne = 0.92911 KW

Maka:

m_{bb} = 816 x 0.00001 kg
m_{bb} = 0.00816 kg

$$\dot{m}_{bb} = \frac{0.00816}{50} \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0.000163 \text{ kg/s}$$

$$Sfc = 3600 \frac{0.000163}{0.92911} \text{ (Kg / kW.jam)}$$

$$Sfc = 0.632 \text{ (Kg / kW.jam)}$$

Dari perhitungan didapatkan *specific fuel consumption* yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D80C10E10 dengan *injection pressure* standar 200 kg/cm^2 pada pembebanan 1200 Watt adalah 0.632 (Kg / kW.jam).

4.2.5 Efisiensi Termal (η_{th})

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

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{\dot{m}\ bahan\ bakar\ x\ LHV\ bahan\ bakar} \text{ x } 100\%$$

Dimana:

Ne = 0.92911 KW

$\dot{m}_{bb}$ = 0.000163 kg/s

LHV_{bb} = 41839.6 KJ/kg

Maka:

$$\eta_{th} = \frac{0.92911}{0.000163\ \ x\ 41829.6} \text{ x } 100\%$$

η_{th} = 13.60692 %

Dari perhitungan didapatkan efisiensi termal yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D80C10E10 dengan *injection pressure* standar 200 kg/cm^2 pada pembebanan 1200 Watt adalah 13.60692 %.

4.3 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan Persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* pada Tekanan Injeksi (*Injection Pressure*) Standar 200 kg/cm^2

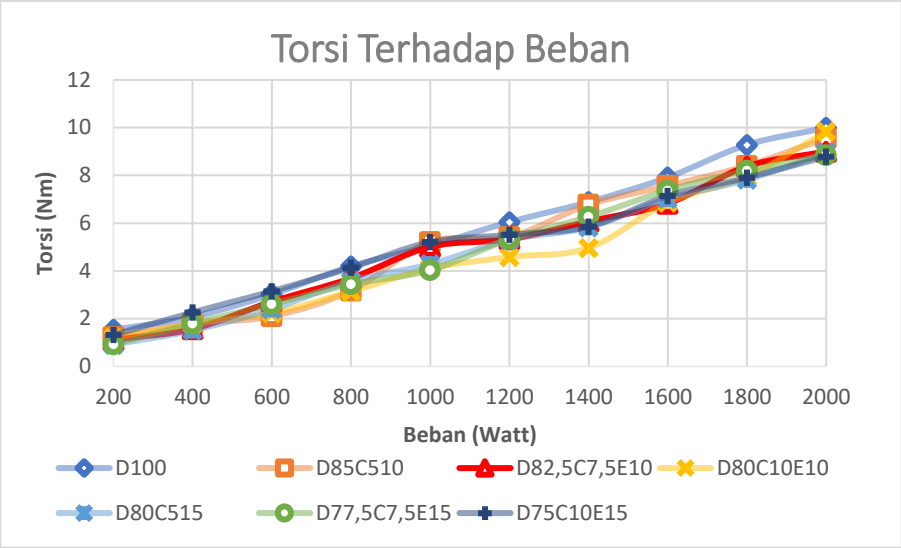
Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang menggunakan bahan bakar Dexlite dengan variasi penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* pada tekanan injeksi (*injection pressure*) 200 kg/cm^2. Parameter unjuk kerja meliputi torsi, *brake mean effecticve pressure*, efisiensi termal, dan *specific fuel consumption* dihitung dari parameter observasi dan ditunjukkan dalam bentuk grafik. Parameter lain seperti temperatur *exhaust*, temperature *engine*,

temperatur *coolant*, temperature pelumas, dan emisi gas buang berupa *smoke opacity* ditunjukkan dalam bentuk grafik dari nilai yang terukur.

Fenomena ini berhubungan dengan voltase (V) dan arus (A) yang dihasilkan oleh generator yang dikopel pada *engine*. Penambahan Etanol dan *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar Dexlite menurunkan daya yang dihasilkan oleh *engine* karena seiring dengan penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* menurunkan nilai *Lower Heating Value* (LHV) seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.2 Selain nilai *Lower Heating Value* (LHV) yang lebih rendah, penambahan *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar Dexlite menaikkan nilai viskositas bahan bakar yang tinggi sehingga atomisasi bahan bakar semakin buruk. Hal tersebut mengakibatkan pembakaran yang terjadi tidak sempurna.

4.3.1 Torsi

Torsi dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik Torsi Terhadap Beban

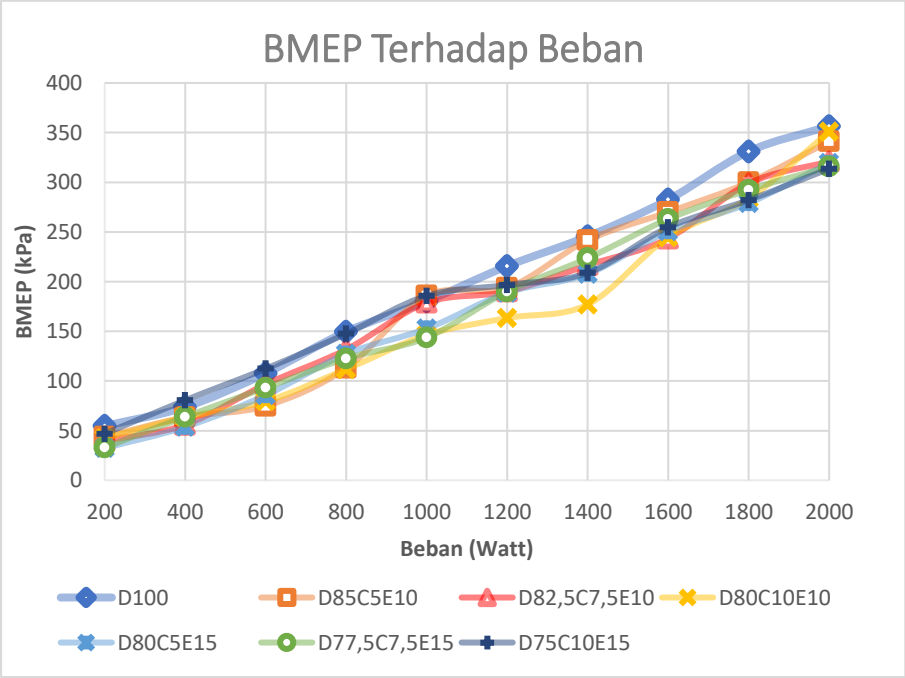
Dari gambar 4.1, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi dari mesin berguna untuk mengatasi beban yang diberikan ke poros mesin sehingga torsi akan meingkat seiring dengan penambahan beban pada *engine*.

Trendline dari grafik pada gambar 4.1 terlihat bahwa torsi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Torsi maksimum terjadi pada beban 2000 Watt dengan bahan bakar Dexlite yaitu menghasilkan torsi sebesar 9,9 Nm. Bahan bakar dengan campuran 75% Dexlite, 15% Etanol, 10% *Crude Palm Oil* memiliki torsi maksimum dibandingkan campuran bahan bakar lainnya dengan nilai 8,42% lebih rendah dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Grafik torsi yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban memiliki karakteristik yang sama dengan grafik daya dihasilkan oleh *engine* terhadap beban yaitu nilai torsi meningkat seiring dengan penambahan beban pada *engine*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa besarnya nilai torsi berbanding lurus terhadap nilai daya yang dihasilkan oleh *engine*.

4.3.2 *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP)

Brake Mean Effective Pressure dari campuran bahan bakar ditunjukkan oleh gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik BMEP Terhadap Beban

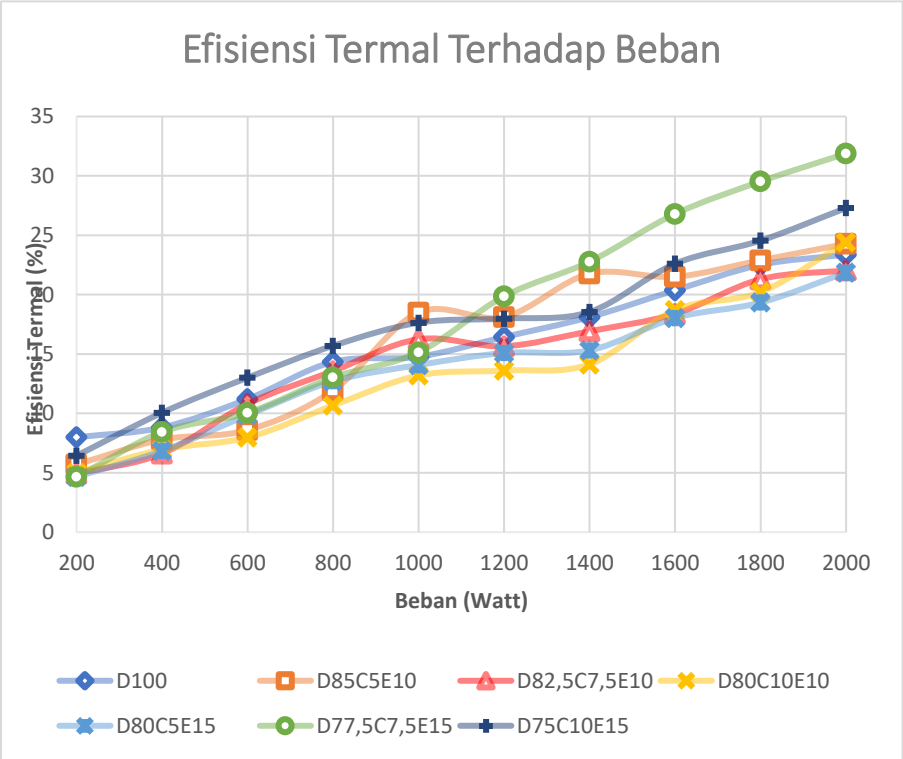
Dari gambar 4.2, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan *brake mean effective pressure* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Brake mean effective pressure* didefinisikan dengan tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang langkah kerja piston. Besarnya tekanan yang dialami oleh piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Jika diambil tekanan berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut merupakan tekanan efektif rata-rata piston atau *brake mean effective pressure.*

Trendline dari grafik pada gambar 4.2 terlihat bahwa *brake mean effective pressure* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. *Brake mean effective pressure* maksimum terjadi pada beban 2000 Watt dengan bahan bakar Dexlite yaitu menghasilkan *brake mean effective pressure* sebesar 3565.5303 kPa. Bahan bakar dengan campuran 75% Dexlite, 15% Etanol, 10% *Crude Palm Oil* memiliki *brake mean effective pressure* maksimum dibandingkan campuran bahan bakar lainnya dengan nilai 8,42% lebih rendah dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Grafik *brake mean effective pressure* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban memiliki karakteristik yang sama dengan grafik daya dihasilkan oleh *engine* terhadap beban yaitu nilai *brake mean effective pressure* meningkat seiring dengan penambahan beban pada *engine*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa besarnya nilai *brake mean effective pressure* berbanding lurus terhadap nilai daya yang dihasilkan oleh *engine*.

4.3.3 Efisiensi Termal

Efisiensi termal dari campuran bahan bakar ditunjukkan oleh gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Beban

Dari gambar 4.3, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan efisiensi termal yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh *engine*.

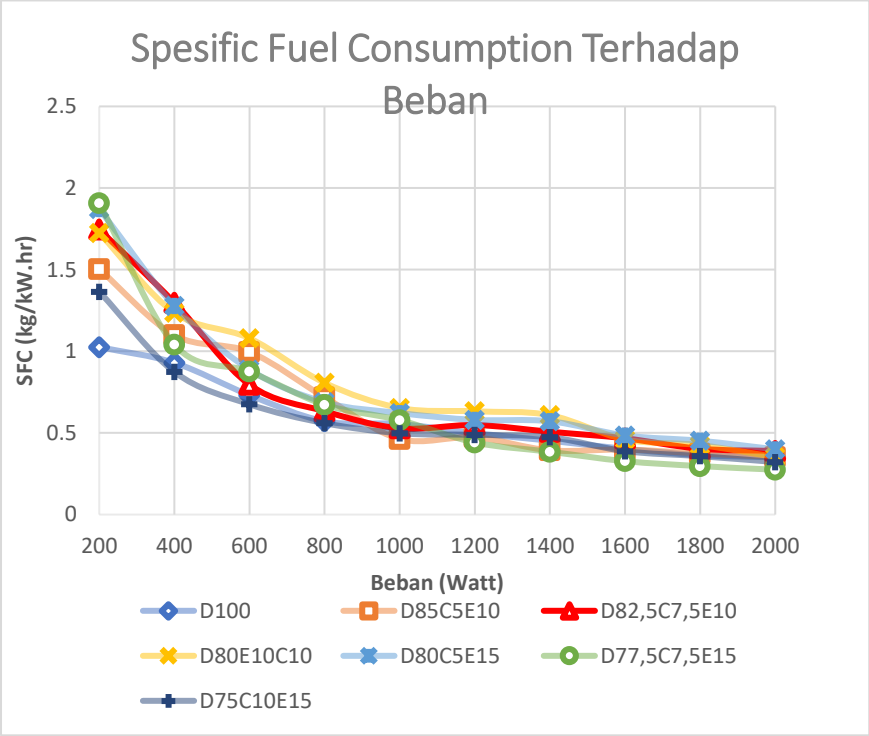
Trendline dari grafik pada gambar 4.3 terlihat bahwa efisiensi termal seluruh campuran bahan bakar cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Terlihat bahwa efisiensi termal tertinggi

terdapat pada penggunaan bahan bakar campuran 77,5% Dexlite, 7,5% *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol sebesar 31.88% pada beban 2000 Watt. Kenaikan rata-rata penggunaan bahan bakar campuran 77,5% Dexlite, 7,5% *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol dibandingkan 100% Dexlite adalah 15,36%.

Secara umum, penambahan persentase *Crude Palm Oil* dan Etanol dapat menurunkan rata-rata efisiensi termal karena seiring dengan penambahan persentase *Crude Palm Oil* menaikkan nilai viskositas campuran bahan bakar sehingga atomisasi bahan bakar semakin buruk. Hal tersebut mengakibatkan pembakaran yang terjadi tidak sempurna. Penambahan Etanol dan *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar Dexlite menurunkan efisiensi termal yang dihasilkan oleh *engine* karena seiring dengan penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* menurunkan nilai *Lower Heating Value* (LHV) seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.2 *Lower Heating Value* (LHV) yang rendah menyebabkan energi yang dikonversi menjadi energi mekanik semakin sedikit.

4.3.4 *Spesific Fuel Consumption* (SFC)

Spesific fuel consumption dari campuran bahan bakar ditunjukkan oleh gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik *Spesific fuel consumption* Terhadap Beban

Dari gambar 4.4, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan *spesific fuel consumption* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Spesific fuel consumption* adalah jumlah bahan bakar dalam kg yang digunakan untuk menghasilkan 1 KW daya pada waktu 1 jam.

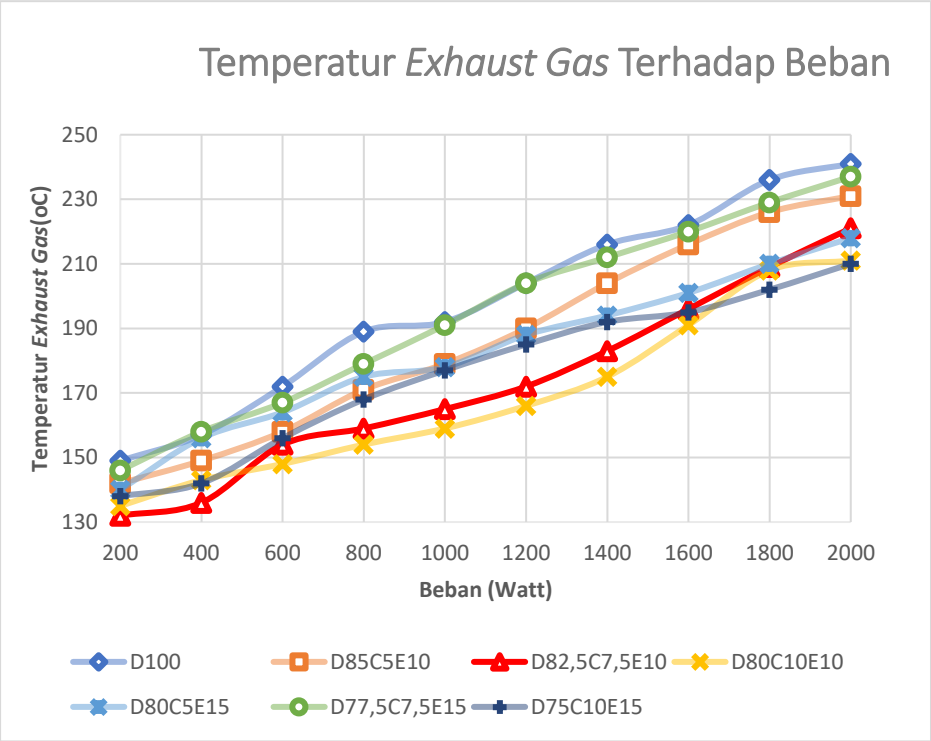
Trendline dari grafik pada gambar 4.4 terlihat bahwa *spesific fuel consumption* seluruh campuran bahan bakar cenderung menurun seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan

kepada *engine*. Terlihat bahwa *spesific fuel consumption* rata-rata tertinggi terdapat pada penggunaan bahan bakar campuran 80% Dexlite, 10% *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol sebesar 0,79 kg/Kw.hr. Kenaikan rata-rata penggunaan bahan bakar campuran campuran 80% Dexlite, 10% *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol dibandingkan 100% Dexlite adalah 35,66%.

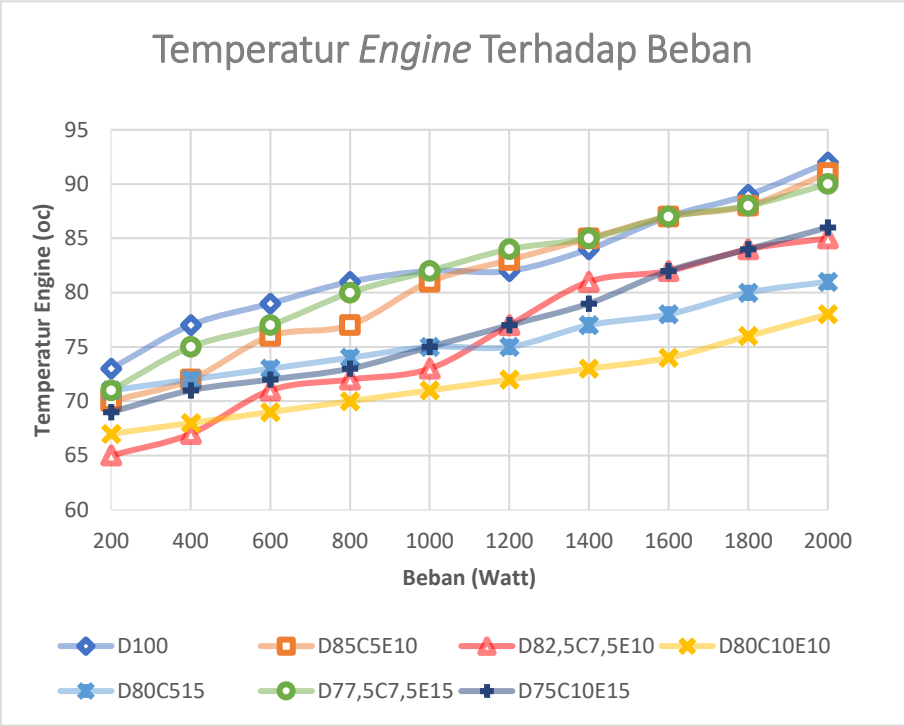
Secara umum, penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar meningkatkan *spesific fuel consumption*. Hal tersebut dapat terjadi karena pada penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar menurunkan nilai *lower heating value* (LHV) dari masing masing campuran bahan bakar sehingga diperlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan daya 1 kW.

4.3.5 Temperatur *Exhaust, Engine, Coolant,* dan Pelumas

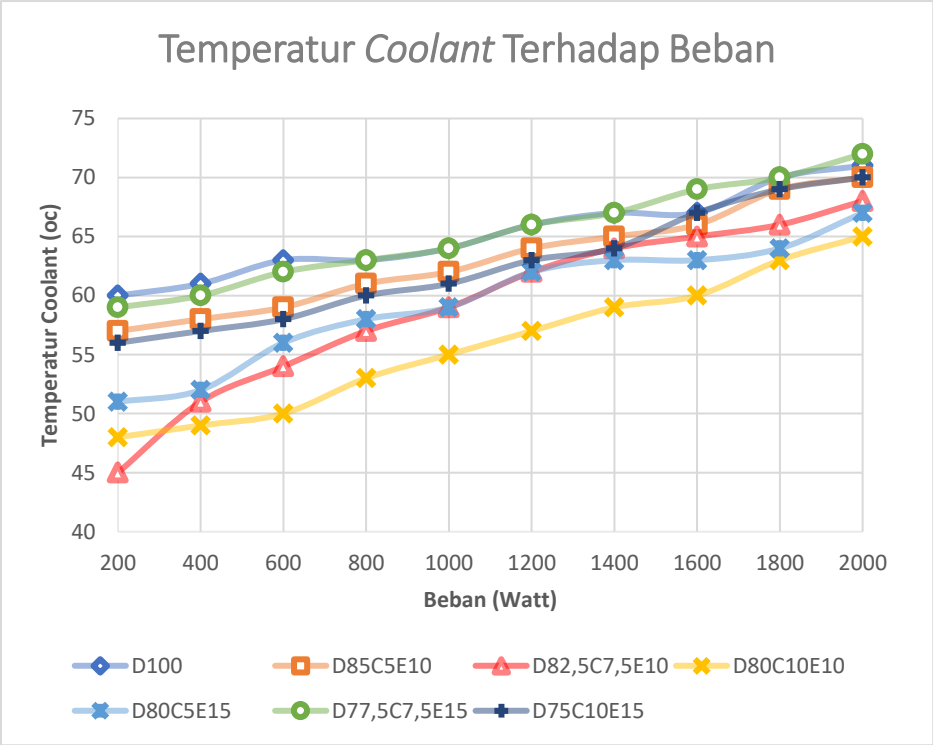
Temperatur yang didapatkan pada *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8.



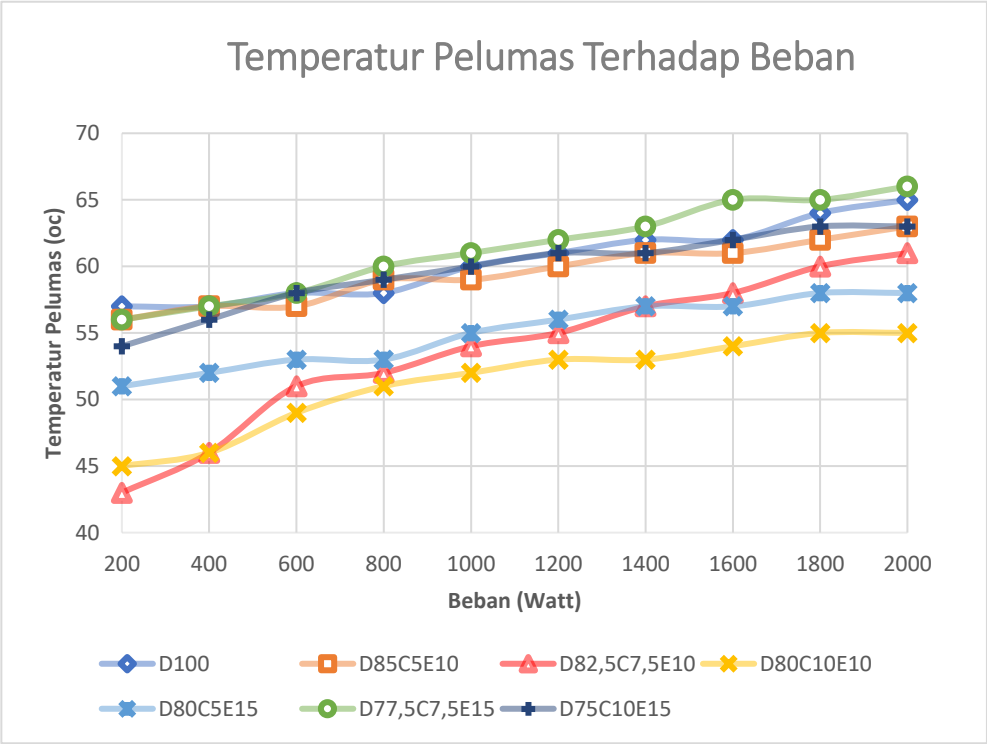
Gambar 4.5 Grafik Temperatur *Exhaust Gas* Terhadap Beban



Gambar 4.6 Grafik Temperatur *Engine* Terhadap Beban



Gambar 4.7 Grafik Temperatur *Coolant* Terhadap Beban



Gambar 4.8 Grafik Temperatur Pelumas Terhadap Beban

Dari gambar 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperature yang didapatkan pada *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *exhaust gas* merupakan pembacaan temperatur pada knalpot. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine*. Temperatur *coolant* merupakan pembacaan temperatur pada air radiator *engine*. Temperatur pelumas merupakan pembacaan temperatur pada oli di *crankcase engine*.

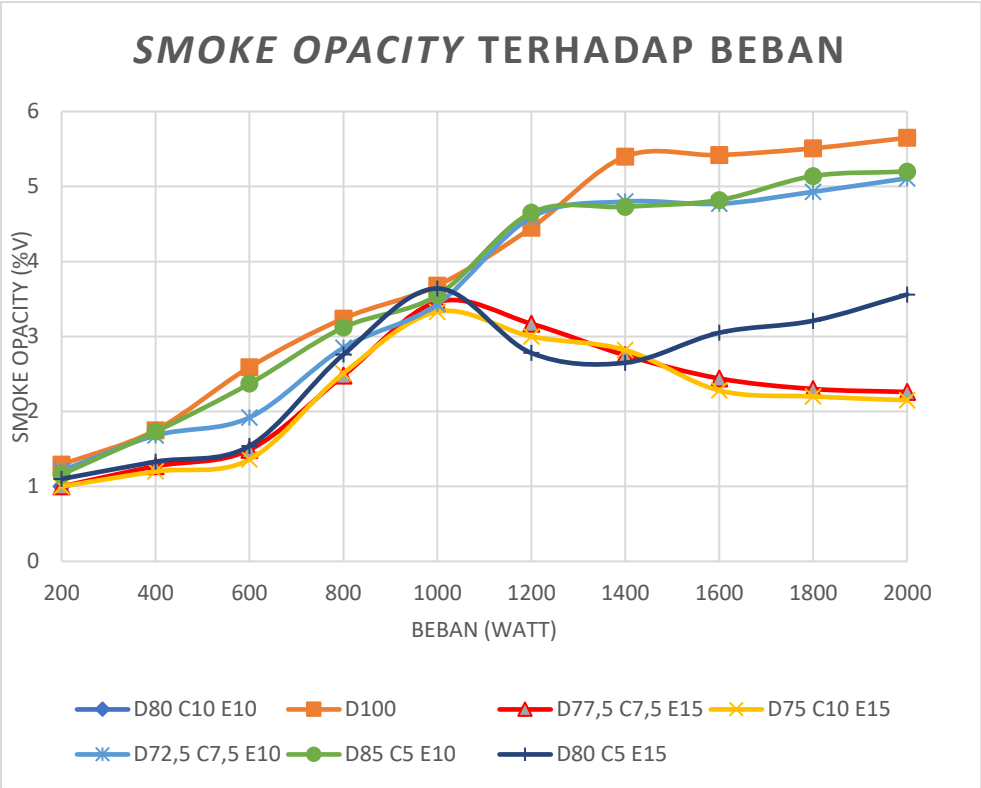
Terlihat pada grafik untuk semua jenis campuran bahan bakar, temperature pada *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas cenderung meningkat seiring dengan penambahan beban pada *engine*. Temperatur tertinggi terjadi pada bahan bakar 100% Dexlite (D100) untuk semua hasil pembacaan pada temperatur *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas. Temperatur terendah terjadi pada bahan bakar 80% Dexlite, 10% Etanol, dan 10% *Crude Palm Oil* untuk semua hasil pembacaan pada temperatur *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas.

Pada proses pembakaran, energi panas yang dihasilkan tidak sepenuhnya dikonversikan menjadi energi gerak yang diterima piston. Sebagian energi panas yang tidak diteruskan ke piston ini terkonduksi ke semua bagian *engine*, termasuk komponen radiator, *crankcase* oli dan gas hasil pembakaran sehingga temperatur hasil pembacaan meningkat.

Penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* ke dalam campuran bahan bakar akan menurunkan temperatur. Hal ini disebabkan karena nilai *Latent Heat of Evaporation* yang tinggi sehingga energi kalor yang dikonduksikan ke semua bagian komponen *engine* akan menjadi lebih rendah.

4.3.6 *Smoke Opacity*

Smoke Opacity yang dihasilkan oleh hasil pembakaran dari campuran bahan bakar yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik *Smoke Opacity* Terhadap Beban

Dari gambar 4.9 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Smoke Opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran semua jenis bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran karbon yang tercampur ke dalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa *trendline* dari semua jenis bahan bakar cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Ketebalan asap yang dihasilkan oleh *exhaust gas* pada beban 2000 Watt oleh bahan bakar 100% Dexlite (D100) paling tinggi dibandingkan semua jenis campuran yaitu sebesar 3,89 %v. Sedangkan rata-rata *smoke opacity* terendah dihasilkan pada campuran bahan bakar 75% Dexlite, 15% Etanol, dan 10% *Crude Palm Oil* sebesar 2,18 %v. Rata-rata penurunan campuran bahan bakar 75% Dexlite, 15% Etanol, dan 10% *Crude Palm Oil* dibandingkan 100 % Dexlite adalah 43,94%.

Penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* ke dalam campuran bahan bakar akan menurunkan kepekatan asap yang dihasilkan oleh *exhaust gas*. Penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* ke dalam campuran bahan bakar akan meningkatkan *oxygen content* sehingga dapat mengoksidasi bahan bakar lebih baik yang mengakibatkan pembakaran yang terjadi lebih sempurna sehingga *smoke opacity* yang dihasilkan jauh lebih kecil.

4.3.8 Pemilihan Bahan Bakar Uji dengan Parameter Efisiensi Termal dan Gas Buang

Pada pengujian campuran bahan bakar Dexlite dengan variasi penambahan persentase Etanol dan *Crude Palm Oil* didapatkan penambahan Etanol dan *Crude Palm Oil* pada persentase tertentu dapat meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan *smoke opacity*.

Tabel 4.4 Matrik Rata-Rata Efisiensi Termal dan *Smoke Opacity*

Bahan Bakar	**Rata-Rata Efisiensi Termal (%)**	**Rata-Rata *Smoke Opacity(%*v)**
D100	15.7899	3.898
D85C5E10	16.106639	3.647
D82,5C7,5E10	14.64540017	3.529
D80C10E10	**13.4862164**	**3.528**
D80C5E15	13.776793	2.562
D77,5C7,5E15	**18.21626164**	**2.262**
D75C10E15	17.3806237	2.185

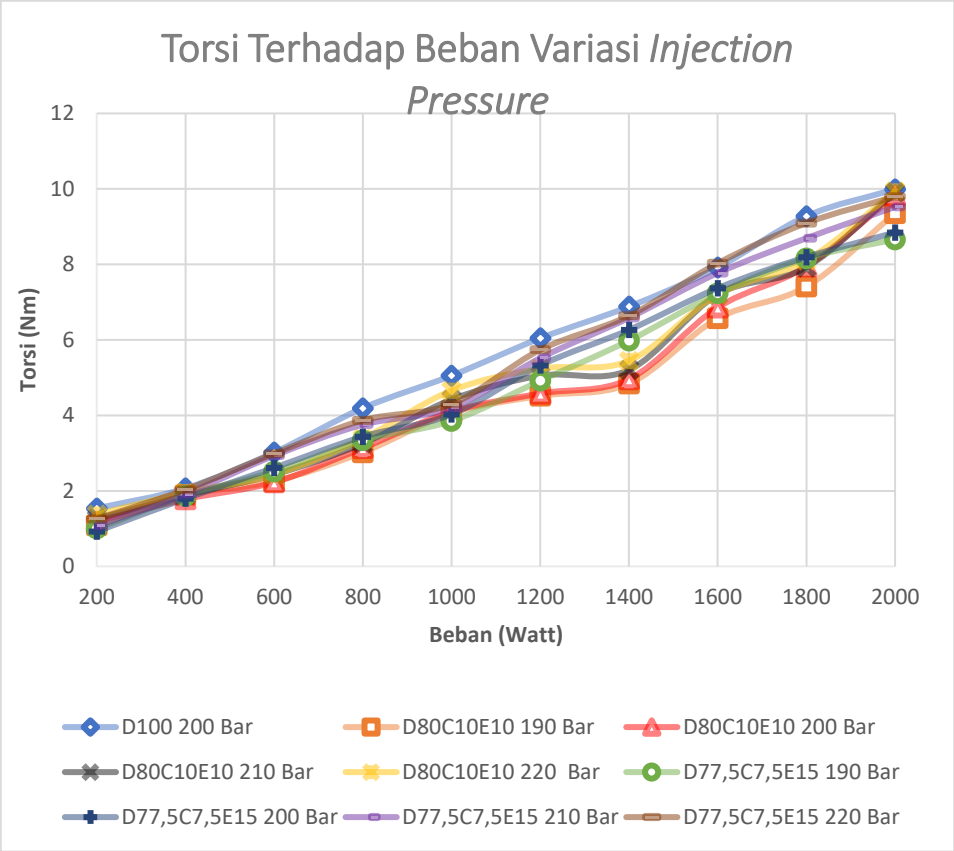
Secara khusus, pemilihan campuran bahan bakar yang akan digunakan dalam pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang dengan variasi tekanan injeksi (*injection timing*) adalah dengan memperhatikan hasil dari pengujian unjuk kerja yang berupa efisiensi termal pada pengujian control. Dari table 4.4 terlihat bahwa campuran bahan bakar yang memiliki rata-rata efisiensi termal tertinggi adalah 77,5 % Dexite, 7,5 % *Crude Palm Oil*, dan 15 % Etanol (D77,5C7,5E15) yaitu sebesar 18.21%. Sedangkan campuran bahan bakar yang memiliki rata-rata efisiensi termal terendah adalah 80 % Dexite, 10 % *Crude Palm Oil*, dan 10 % Etanol (D80C10E10) sehingga campuran bahan bakar D77,5C7,5E15 dan D80C10E10 dipilih untuk mengetahui seberapa besar peningkatan unjuk kerja dengan variasi tekanan injeksi.

4.4 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar 80 % Dexite, 10 % *Crude Palm Oil*, dan 10 % Etanol (D80C10E10) dengan Variasi Tekanan Injeksi (*Injection Pressure*)

Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang ini menggunakan campuran bahan bakar 80 % Dexite, 10 % *Crude Palm Oil*, dan 10 % Etanol (D80C10E10) dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*) standar 200 kg/cm^2, 190 kg/cm^2, 210 kg/cm^2, dan 220 kg/cm^2. Parameter unjuk kerja meliputi torsi, *brake mean effecticve pressure*, efisiensi termal, dan *specific fuel consumption* dihitung dari parameter observasi dan ditunjukkan dalam bentuk grafik. Parameter lain seperti temperatur *exhaust*, temperature *engine*, temperatur *coolant*, temperature pelumas, dan emisi gas buang berupa *smoke opacity* ditunjukkan dalam bentuk grafik dari nilai yang terukur.

4.4.1 Torsi

Torsi yang dihasilkan oleh *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*) ditunjukkan oleh gambar 4.10



Gambar 4.10 Grafik Torsi Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*

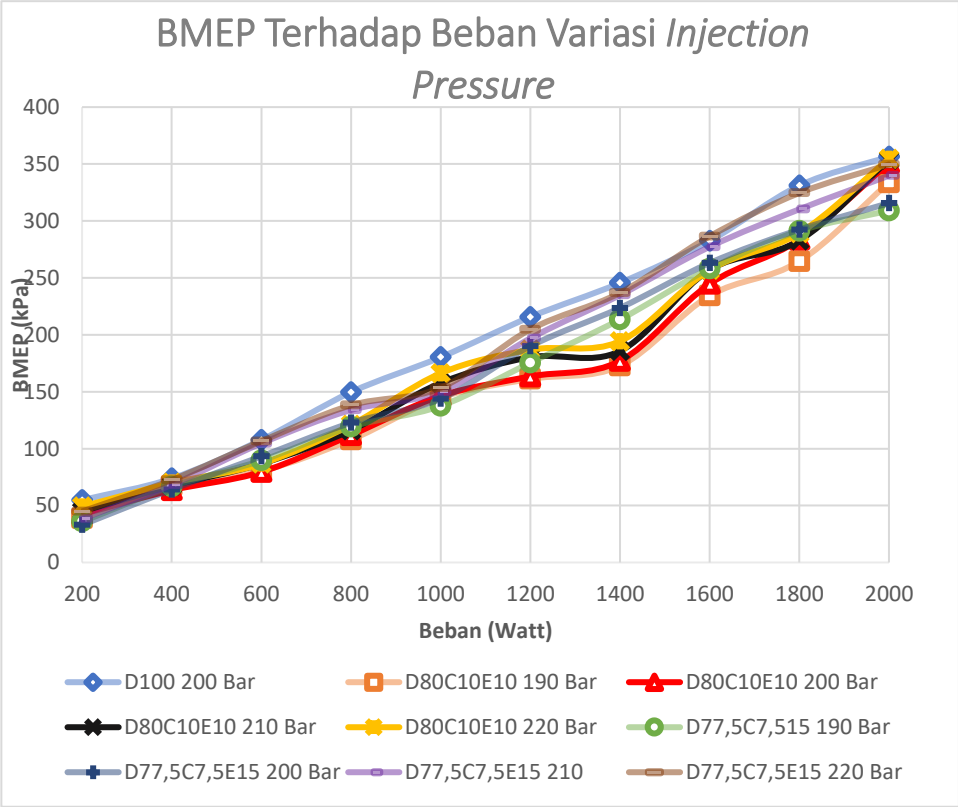
Dari gambar 4.10, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi dari mesin berguna untuk mengatasi beban yang diberikan ke poros mesin sehingga torsi akan meingkat seiring dengan penambahan beban pada *engine*.

Trendline dari grafik pada gambar 4.10 terlihat bahwa torsi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine* pada setiap variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). Torsi maksimum terjadi pada beban 2000 Watt dengan bahan bakar Dexlite dengan tekanan injeksi 200 kg/cm^2 yaitu menghasilkan torsi sebesar 9,9 Nm. Bahan bakar dengan campuran 77,5% Dexlite, 15% Etanol, 7,5% *Crude Palm Oil* pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 memiliki rata-rata torsi maksimum dibandingkan campuran bahan bakar lainnya dengan nilai 4% lebih rendah dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Fenomena di atas terjadi karena semakin tinggi tekanan injeksi bahan bakar, maka torsi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Peningkatan tekanan injeksi mengakibatkan atomisasi bahan bakar semakin baik dan pembakaran yang terjadi lebih sempurna sehingga daya efektif yang dihasilkan mesin semakin tinggi yang berakibat pada tingginya nilai torsi yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada semua campuran bahan bakar rata-rata torsi tertinggi dihasilkan pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 210 kg/cm^2, 200 kg/cm^2, dan 190 kg/cm^2. Kenaikan rata-rata torsi yang dihasilkan bahan bakar campuran D80C10E10 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210 kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 6,7%, 4,14%, dan -3,44%. Sedangkan kenaikan rata-rata torsi yang dihasilkan bahan bakar campuran D77,5C7,5E15 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210 kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 10,12%, 6,48%, dan -2,6%.

4.4.2 *Brake Mean Effective Pressure*

Brake Mean Effective Pressure (BMEP) yang dihasilkan oleh *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*) ditunjukkan oleh gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik BMEP Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*

Dari gambar 4.11, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan *brake mean effective pressure* (BMEP) yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi

tekanan injeksi (*injection pressure*). *Brake mean effective pressure* didefinisikan dengan tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang langkah kerja piston. Besarnya tekanan yang dialami oleh piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Jika diambil tekanan berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut merupakan tekanan efektif rata-rata piston atau *brake mean effective pressure*

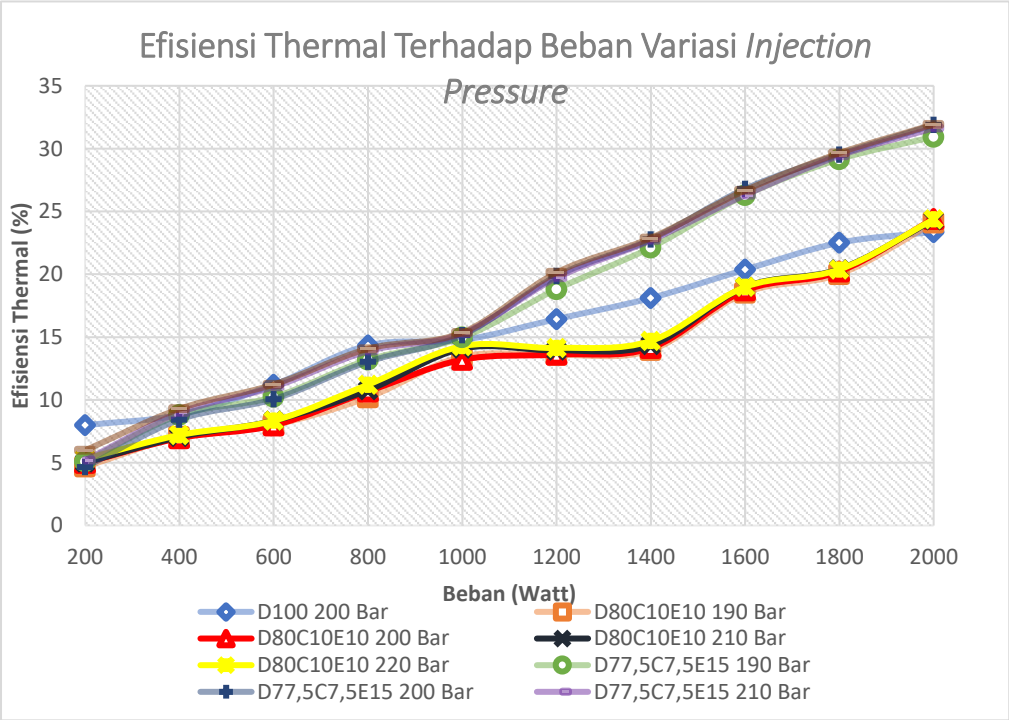
Trendline dari grafik pada gambar 4.11 terlihat bahwa *brake mean effective pressure* (BMEP) cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine* pada setiap variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). *Brake mean effective pressure* (BMEP) maksimum terjadi pada beban 2000 Watt dengan bahan bakar Dexlite dengan tekanan injeksi 200 kg/cm^2 yaitu menghasilkan torsi sebesar 356553 Pa. Bahan bakar dengan campuran 77,5% Dexlite, 15% Etanol, 7,5% *Crude Palm Oil* pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 memiliki rata-rata *brake mean effective pressure* maksimum dibandingkan campuran bahan bakar lainnya dengan nilai 4% lebih rendah dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Fenomena di atas terjadi karena semakin tinggi tekanan injeksi bahan bakar, maka *brake mean effective pressure* (BMEP) yang dihasilkan juga semakin tinggi. Peningkatan tekanan injeksi mengakibatkan atomisasi bahan bakar semakin baik dan pembakaran yang terjadi lebih sempurna sehingga daya efektif yang dihasilkan mesin semakin tinggi yang berakibat pada tingginya nilai *brake mean effective pressure* yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada semua campuran bahan bakar rata-rata *brake mean effective pressure* (BMEP) tertinggi dihasilkan pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 210 kg/cm^2, 200 kg/cm^2, dan 190 kg/cm^2. Kenaikan rata-rata *brake mean effective pressure* (BMEP) yang dihasilkan bahan bakar campuran D80C10E10 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210 kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 6,7%, 4,14%, dan -3,44%. Sedangkan

kenaikan rata-rata *brake mean effective pressure* (BMEP) yang dihasilkan bahan bakar campuran D77,5C7,5E15 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210 kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 10,12%, 6,48%, dan -2,6%.

4.4.3 Efisiensi Termal

Efisiensi Termal yang dihasilkan oleh *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*) ditunjukkan oleh gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*

Dari gambar 4.12, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan efisiensi termal yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh *engine*.

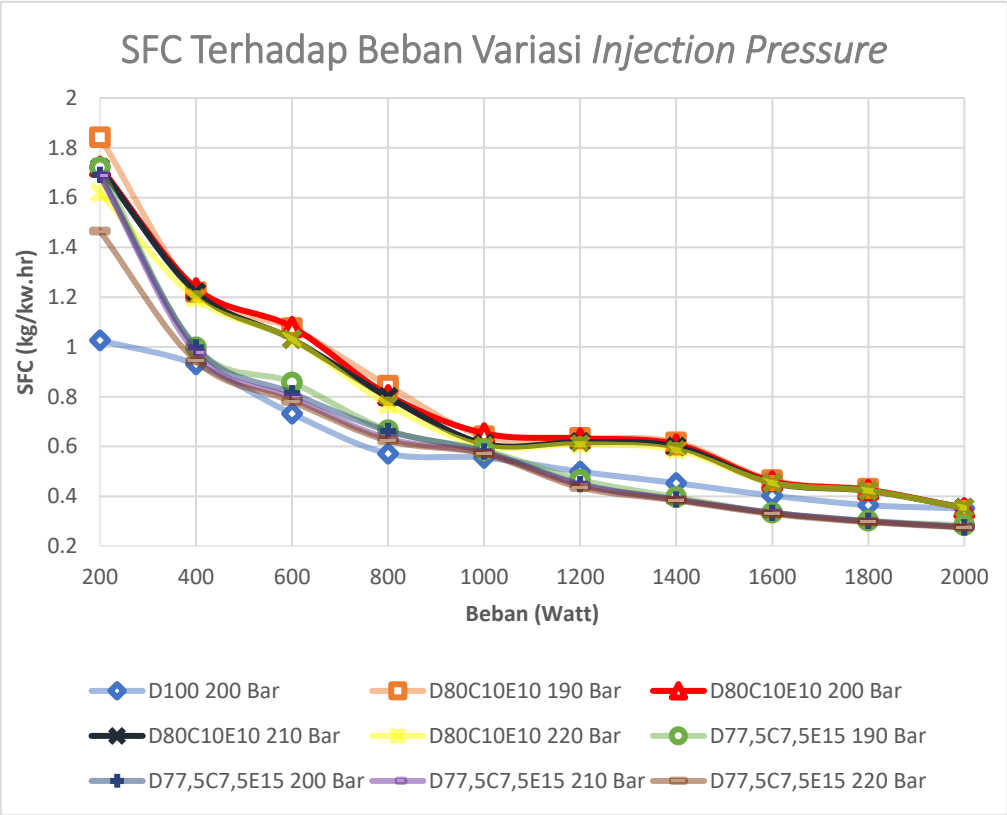
Trendline dari grafik pada gambar 4.12 terlihat bahwa efisiensi termal cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine* pada setiap variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). Torsi maksimum terjadi pada beban 2000 Watt dengan bahan bakar dengan campuran 77,5% Dexlite, 15% Etanol, 7,5% *Crude Palm Oil* pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 sebesar 18,71%. Kenaikan rata-rata penggunaan bahan bakar campuran 77,5% Dexlite, 7,5% *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 dibandingkan 100% Dexlite pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 adalah 18,55%.

Fenomena di atas terjadi karena semakin tinggi tekanan injeksi bahan bakar, maka efisiensi termal yang dihasilkan juga semakin tinggi. Peningkatan tekanan injeksi mengakibatkan atomisasi bahan bakar semakin baik dan pembakaran yang terjadi lebih sempurna sehingga daya efektif yang dihasilkan mesin semakin tinggi yang berakibat pada tingginya nilai efisiensi termal yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada semua campuran bahan bakar rata-rata efisiensi termal tertinggi dihasilkan pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 210 kg/cm^2, 200 kg/cm^2, dan 190 kg/cm^2. Kenaikan rata-rata efisiensi termal yang dihasilkan bahan bakar campuran D80C10E10 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210 kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 3%, 1,78%, dan -1,01%. Sedangkan kenaikan rata-rata efisiensi termal yang dihasilkan bahan bakar campuran D77,5C7,5E15 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210

kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 2,76%, 1,06%, dan -1,42%.

4.4.4 Spesific Fuel Consumption

Spesific Fuel Consumption (SFC) yang dihasilkan oleh *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*) ditunjukkan oleh gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik SFC Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*

Dari gambar 4.13, dapat dilihat bahwa grafik yang menunjukkan *spesific fuel consumption* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap pencampuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). *Spesific fuel consumption* adalah jumlah bahan bakar dalam kg yang digunakan untuk menghasilkan 1 KW daya pada waktu 1 jam.

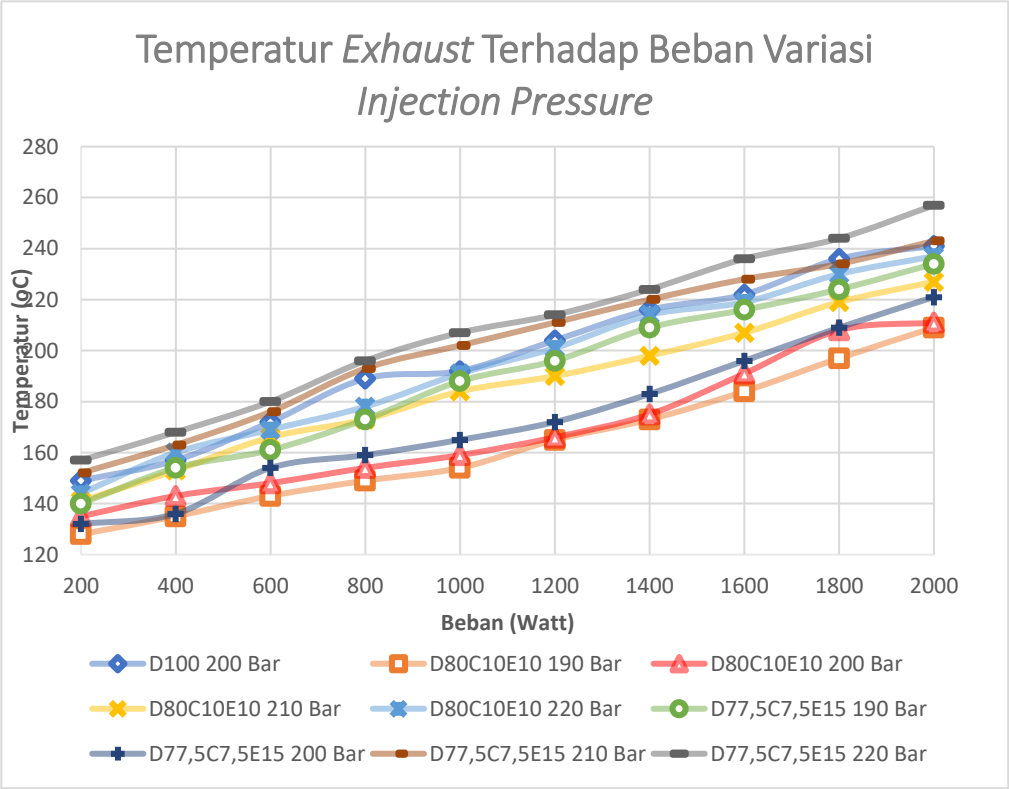
Trendline dari grafik pada gambar 4.13 terlihat bahwa *spesific fuel consumption* seluruh campuran bahan bakar cenderung menurun seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). Terlihat bahwa *spesific fuel consumption* rata-rata tertinggi terdapat pada penggunaan bahan bakar campuran 80% Dexlite, 10% *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol pada tekanan injeksi 190 kg/cm^2 sebesar 0,81 kg/Kw.hr. Kenaikan rata-rata penggunaan bahan bakar campuran campuran 80% Dexlite, 10% *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol dibandingkan 100% Dexlite adalah 38,12%.

Fenomena di atas terjadi karena semakin tinggi tekanan injeksi bahan bakar, maka *specific fuel consumption* yang dihasilkan juga semakin turun. Hal ini dikarenakan bahan bakar yang disemprotkan memiliki butiran yang lebih halus seiring dengan kenaikan tekanan injeksi bahan bakar yang mengakibatkan pembakaran dalam ruang bakar menjadi lebih sempurna. Hal ini dapat dilihat pada semua campuran bahan bakar rata-rata *specific fuel consumption* terendah dihasilkan pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2. Penurunan rata-rata *specific fuel consumption* yang dihasilkan bahan bakar campuran D80C10E10 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210 kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 4,28%, 1,93%, dan -1,81%. Sedangkan kenaikan rata-rata *specific fuel consumption* yang dihasilkan bahan bakar campuran D77,5C7,5E15 pada variasi tekanan injeksi 220 kg/cm^2, 210

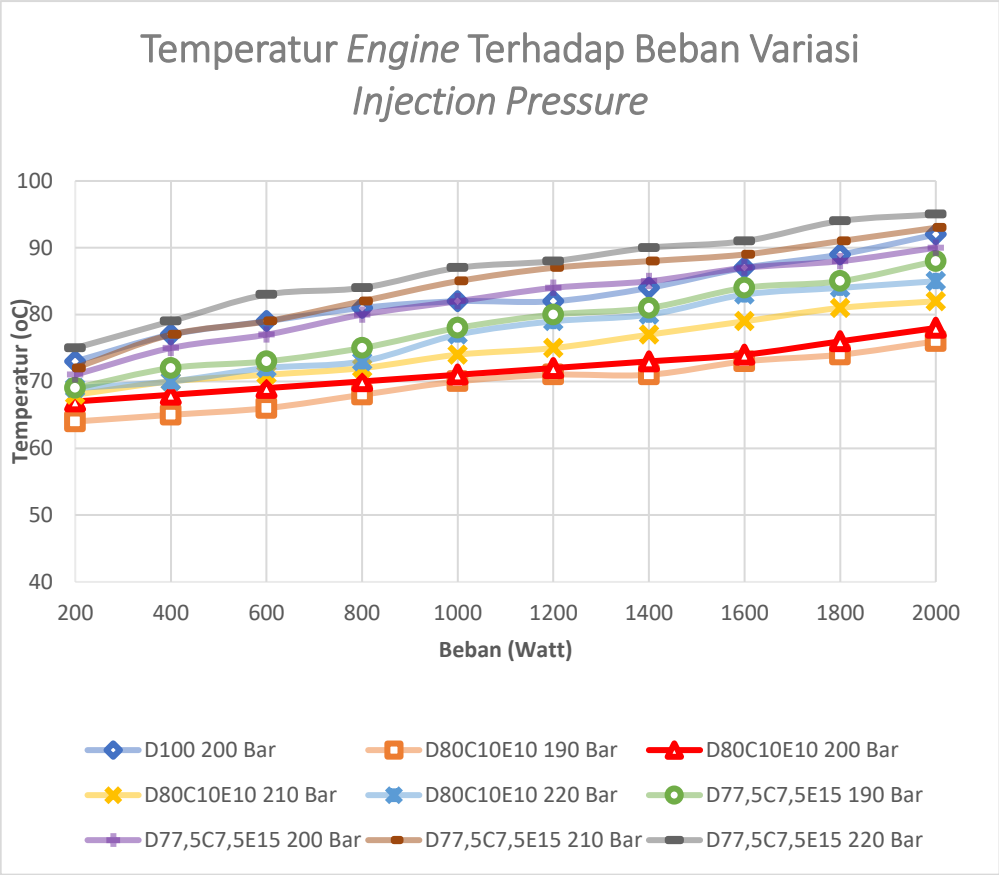
kg/cm^2 dan 190 kg/cm^2 dibandingkan pada tekanan injeksi 200 kg/cm^2 berturut-turut adalah 6,02%, 1,34%, dan -1,74%.

4.4.5 Temperatur *Exhaust*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas

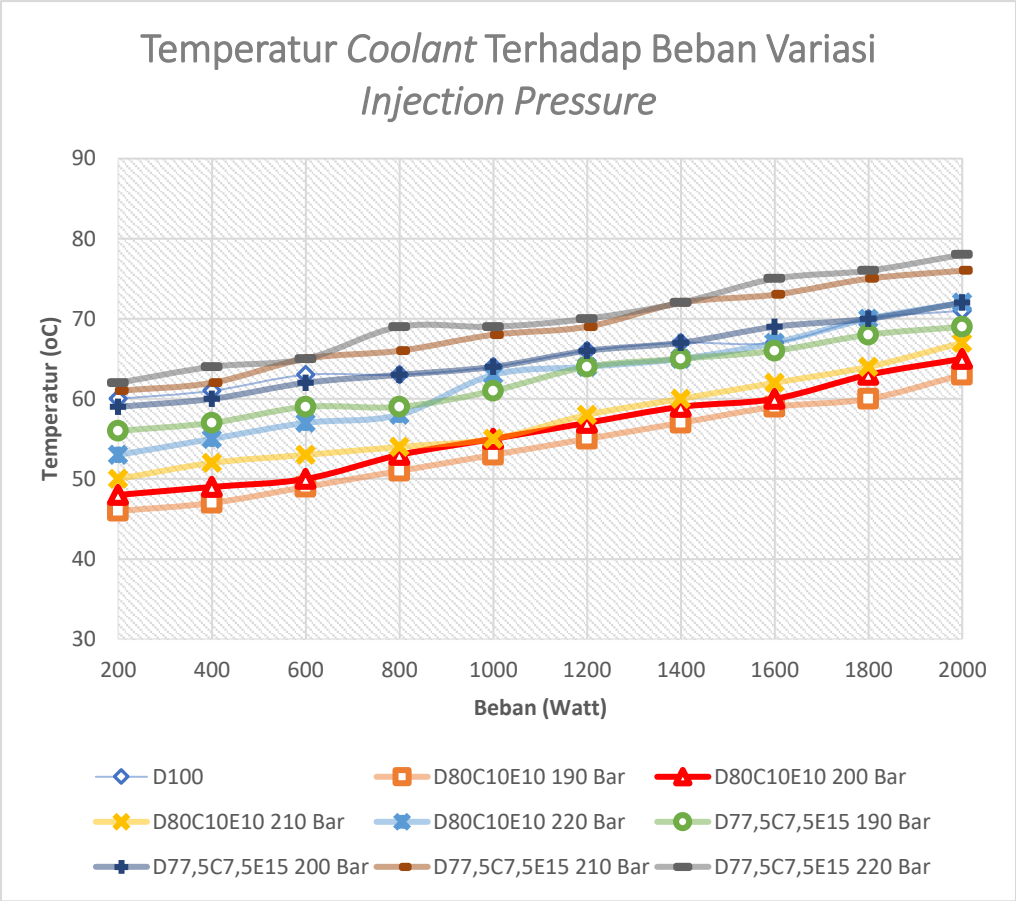
Temperatur yang didapatkan pada *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas dari hasil pengujian campuran bahan bakar dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*) ditunjukkan pada gambar 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.17



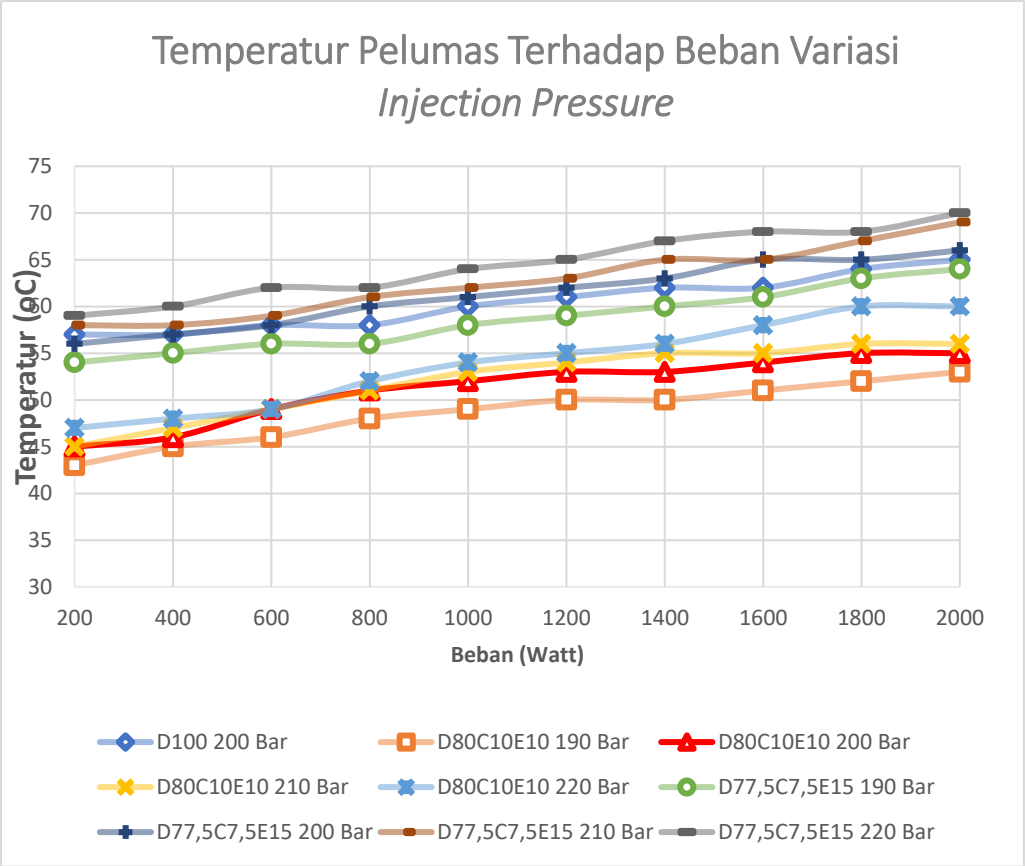
Gambar 4.14 Grafik Temperatur *Exhaust Gas* Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*



Gambar 4.15 Grafik Temperatur *Engine* Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*



Gambar 4.16 Grafik Temperatur *Coolant* Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*



Gambar 4.17 Grafik Temperatur Pelumas Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*

Dari gambar 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.17 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperature yang didapatkan pada *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *exhaust gas* merupakan pembacaan temperatur pada knalpot. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder

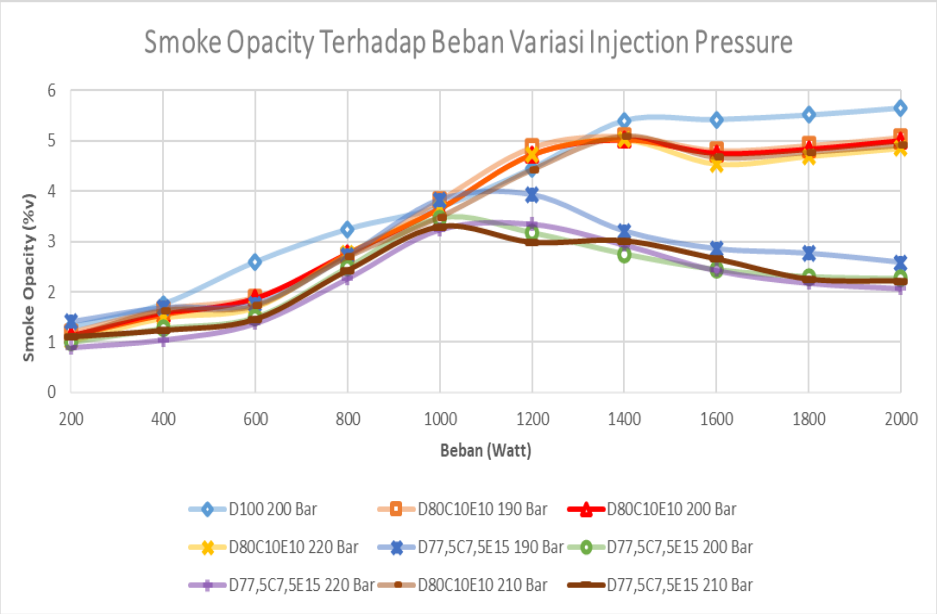
engine. Temperatur *coolant* merupakan pembacaan temperatur pada air radiator *engine*. Temperatur pelumas merupakan pembacaan temperatur pada oli di *crankcase engine*.

Terlihat pada grafik untuk semua jenis campuran bahan bakar, temperature pada *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas cenderung meningkat seiring dengan penambahan beban pada *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). Temperatur tertinggi terjadi pada bahan bakar 77,5% Dexlite, 15% Etanol, dan 7,5% *Crude Palm Oil* (D77,5C7,5E15) pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 untuk semua hasil pembacaan pada temperatur *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas. Temperatur terendah terjadi pada bahan bakar 80% Dexlite, 10% Etanol, dan 10% *Crude Palm Oil* pada tekanan injeksi 190 kg/cm^2 untuk semua hasil pembacaan pada temperatur *Exhaust Gas*, *Engine*, *Coolant*, dan Pelumas.

Secara umum, peningkatan tekanan injeksi pada setiap campuran bahan bakar menghasilkan temperatur yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena adanya pembakaran yang lebih baik dan efisien sehingga menghasilkan panas yang lebih besar. Hal tersebut dapat divalidasikan oleh hasil efisiensi termal yang meningkat seiring dengan peningkatan tekanan injeksi.

4.4.6 *Smoke Opacity*

Smoke Opacity yang dihasilkan oleh *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*) ditunjukkan oleh gambar 4.18



Gambar 4.18 Grafik *Smoke Opacity* Terhadap Beban Variasi *Injection Pressure*

Dari gambar 4.18 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Smoke Opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran semua jenis bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi tekanan injeksi (*injection pressure*). *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran karbon yang tercampur ke dalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa *trendline* dari semua jenis bahan bakar cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Ketebalan asap yang dihasilkan oleh *exhaust gas* pada beban 2000 Watt oleh bahan bakar 100% Dexlite (D100) dengan tekanan injeksi 200 kg/cm^2 paling tinggi dibandingkan semua jenis campuran yaitu sebesar 5,65 %v. Sedangkan rata-rata *smoke opacity* terendah dihasilkan pada campuran bahan bakar 77,5% Dexlite, 15% Etanol, dan 7,5% *Crude Palm Oil*(D77,5C7,5E15) pada tekanan injeksi 220 kg/cm^2 sebesar 2,181 %v. Rata-rata penurunan campuran bahan bakar 75% Dexlite, 15% Etanol, dan 10% *Crude Palm Oil* dibandingkan 100 % Dexlite adalah 78,72%

Secara umum, peningkatan tekanan injeksi pada setiap campuran bahan bakar menghasilkan *smoke opacity* yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena adanya pembakaran yang lebih baik dan efisien sehingga menghasilkan panas yang lebih besar. Akibatnya, dengan pembakaran yang lebih sempurna ini, *smoke opacity* yang dihasilkan lebih sedikit. Hal tersebut dapat divalidasikan oleh hasil efisiensi termal yang meningkat seiring dengan peningkatan tekanan injeksi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5. 1 Kesimpulan

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

1. Rata-rata torsi, dan bmep pada D80C10E10 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami kenaikan sebesar 6,71%.
2. Rata-rata *bsfc* pada D80C10E10 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami penurunan sebesar 4,28%
3. Rata-rata Efisiensi Termal pada D80C10E10 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami kenaikan sebesar 3%
4. Rata-rata *smoke opacity* pada D80C10E10 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami penurunan sebesar 2,43%.
5. Rata-rata torsi, dan bmep pada D77,5C7,5E15 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami kenaikan sebesar 10,12%
6. Rata-rata *bsfc* pada D77,5C7,5E15 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami penurunan sebesar 6,03%
7. Rata-rata Efisiensi Termal pada D77,5C7,5E15 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami kenaikan sebesar 2,76%
8. Rata-rata *smoke opacity* pada D77,5C7,5E15 dengan tekanan injeksi 220 kg/cm^2 terhadap kondisi standar mengalami penurunan sebesar 3,58%.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis setelah melakukan penelitian antara lain adalah:

1. Mesin yang digunakan untuk penelitian harus dicek dan dilakukan perawatan rutin sebelum digunakan untuk penelitian agar dapat bekerja dengan baik.
2. Bahan bakar Etanol segera digunakan agar *properties* bahan bakar tidak berubah.
3. Pengadaan alat uji *properties* bahan bakar pada Laboratorium agar dapat diketahui secara pasti nilai *properties* bahan bakar.
4. Peralatan yang digunakan selama penelitian harus dikembalikan dalam keadaan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Ashari, Apri. Wahab, Abdullah. Marlina, Ena. 2016. *Pengaruh Variasi Tekanan Injektor dan Putaran Terhadap Performa dan Gas Buang Pada Motor Diesel*. Universitas Islam Malang, Malang.

Hafizul, Muhammad. Haziq, Muhammad. 2018. *Effect of Injection Pressure, Injection Duration, and Injection Frequency on Direct Injectior's Mass Flow Rate for CNG Fuel.* Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.

Harold McGee. 2004. *On Food And Cooking: The Science And Lore of The Kitchen*. ISBN 978-0-684-80001-1.

Heywood, J. B. 1988. *Internal Combustion Engine*. Mc Graw Hill, London

https://www.pertamina.com/industrialfuel/id/products-services/fuel-product/ diakses pada 10 Desember 2019

https://www.pertamina.com/media/c43086b0-a3c0-4e2b-a6ea-694598e712bc/energia%2016-18%20APRIL%202016%20ok.pdf diakses pada 10 Desember 2019

Kawano, D. Sungkono. 2014. *Motor Bakar Torak (Diesel)*. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.

Lyle, M. Pickett. Siebers L. Dennis. 2004. *Soot in Diesel Fuel Jets: Effects of Ambient Temperature, Ambient Density, and Injection Pressure*. Sandia National Laboratories, USA.

Praptijanto, Ahmad. Muharam, Aam. Nur, Arifin. Putrasari, Yanuadri. 2014 *Effect of Ethanol Percentage for Diesel Engine Performance Using Virtual Engine Simulation Tool. 2nd Internationl Conference on Sustainable Energy Engineering and Application* , ICSEEA 2014.

Rini,D.M.2012.“Emulsi”http:/scribd.com/doc/77536590/EmulsiAdalah-Campuran-Antara-Partikel.

Rizkal, Achmad. Sudarmanta, Bambang. 2016. *Karakterisasi Unjuk Kerja Diesel Engine Generator Set Sistem Dual Fuel Solar-Syngas Hasil Gasifikasi Briket Municipal Solid Waste (MSW) Secara Langsung*. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.

Sastry, G.R.K. Deb, Madhujit. 2015. *Effect of Fuel Injection Pressure, Isobutanol, and Ethanol Addition Performance of Diesel-Biodiesel Fuelled D.I. Diesel Engine*. NIT Agartala, India.

Senthur, Prabu. Asokan, M.A. Prathiba. Ahmed, Shakkeel. Puthean, George. 2018. *Effect of Additives on Performance, Combustion and Emission Behavior of Preheated Palm Oil/Diesel Blends in DI Diesel Engine.* School of Mechanical Engineering, India.

Yusaf, T.F. Yousif, B.F. Elawad,M.M. 2011. *Crude Palm Oil Fuel for Diesel-Engine: Experimental and ANN Simulation Approaches*. University of Queensland, Australia.

Zuhdi, M.F.A. 2003 *Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Pada Motor Diesel.* Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Energi, Surabaya.

BIOGRAFI PENULIS

Irsyad Aufa Barraq lahir di Kediri pada tanggal 09 Juni 1998. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis memulai belajar di SDIT Al-Fath Pare, SMPN 2 Pare, SMAN 2 Kediri, hingga ke jenjang sarjana di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016 dengan NRP 021116410000136.

Penulis mengambil Bidang Studi Konversi Energi di Laboratorium Pembakaran Sistem Energi. Penulis aktif berkegiatan dalam bidang akademik diantaranya menjadi asisten praktikum mata kuliah Mekanika Fluida 2 dan Perpindahan Panas dan menjadi grader mata kuliah Statika dan Termodinamika.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi di Organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Tenologi Sepuluh Nopember sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar pada tahun 2018-2019. Penulis berharap selama menjalani proses perkuliahan dapat menyeimbangkan antara kemampuan akademik serta *soft skill*. Penulis dapat dihubungi melalui *email* irsyadaufa16@gmail.com

“Our Greatest Pride Is When We Can Bounce Back After We Fall”

Confucius