

**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* DAN PENAMBAHAN  
BIODIESEL *RICINUS COMMUNIS* TERHADAP EMISI GAS BUANG  
MESIN DIESEL**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ANDHIKA NURDIANTONO**

**NIM. 145060207111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2018**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* DAN PENAMBAHAN  
BIODIESEL *RICINUS COMMUNIS* TERHADAP EMISI GAS  
BUANG MESIN DIESEL**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**



**ANDHIKA NURDIANTONO**  
NIM. 145060207111002

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 16 Juli 2018:

**DOSEN PEMBIMBING I**

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP. 19740930 200012 1 001

**DOSEN PEMBIMBING II**

Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.  
NIP. 19831023 201504 2 002

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1**



Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP. 19740930 200012 1 001



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis di kutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, Juli 2018

Mahasiswa,

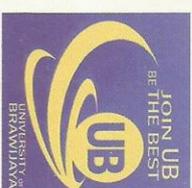


Andhika Nurdiantono  
NIM. 145060207111002

# TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 093/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**ANDHIKA NURDIANTONO**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH TEMPERATUR PREHEATING DAN PENAMBAHAN BIODESEL RICINUS  
COMMUNIS TERHADAP EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **16 JUL 2018**

Ketua Program Studi SI Teknik Mesin

**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
NIP. 19740930 200012 1 001



Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Djatrot B. Darmadi, MT., Ph.D**  
NIP. 19670518 199412 1 001



**JUDUL SKRIPSI:**  
**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* DAN PENAMBAHAN  
BIODIESEL *RICINUS COMMUNIS* TERHADAP EMISI GAS BUANG  
MESIN DIESEL**

Nama Mahasiswa : Andhika Nurdiantono  
NIM : 145060207111002  
Program Studi : Teknik Mesin  
Konsentrasi : Teknik Konversi Energi

**KOMISI PEMBIMBING**

Dosen pembimbing I : Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
Dosen pembimbing II : Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen penguji I : Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.  
Dosen penguji II : Ir. Erwin Sulistyono, MT.  
Dosen penguji III : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

Tanggal ujian : 04 Juli 2018  
SK ujian : 1337/UN10.F07/SK/2018





*Karya Ilmiah ini Saya Tunjukkan Kepada:  
Ibunda dan Ayahanda tercinta*

*Serta  
Untuk Bangsa Indonesia Yang Lebih Baik*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pengaruh Temperatur Preheating dan Penambahan Biodiesel *Ricinus communis* Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Diesel**”. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Selama proses penulisan dan penyelesaian skripsi ini, penulis banyak memperoleh bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dan dukungan yang didapat tidak mungkin skripsi ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis dengan tulus hati ingin menyampaikan terima kasih kepada:

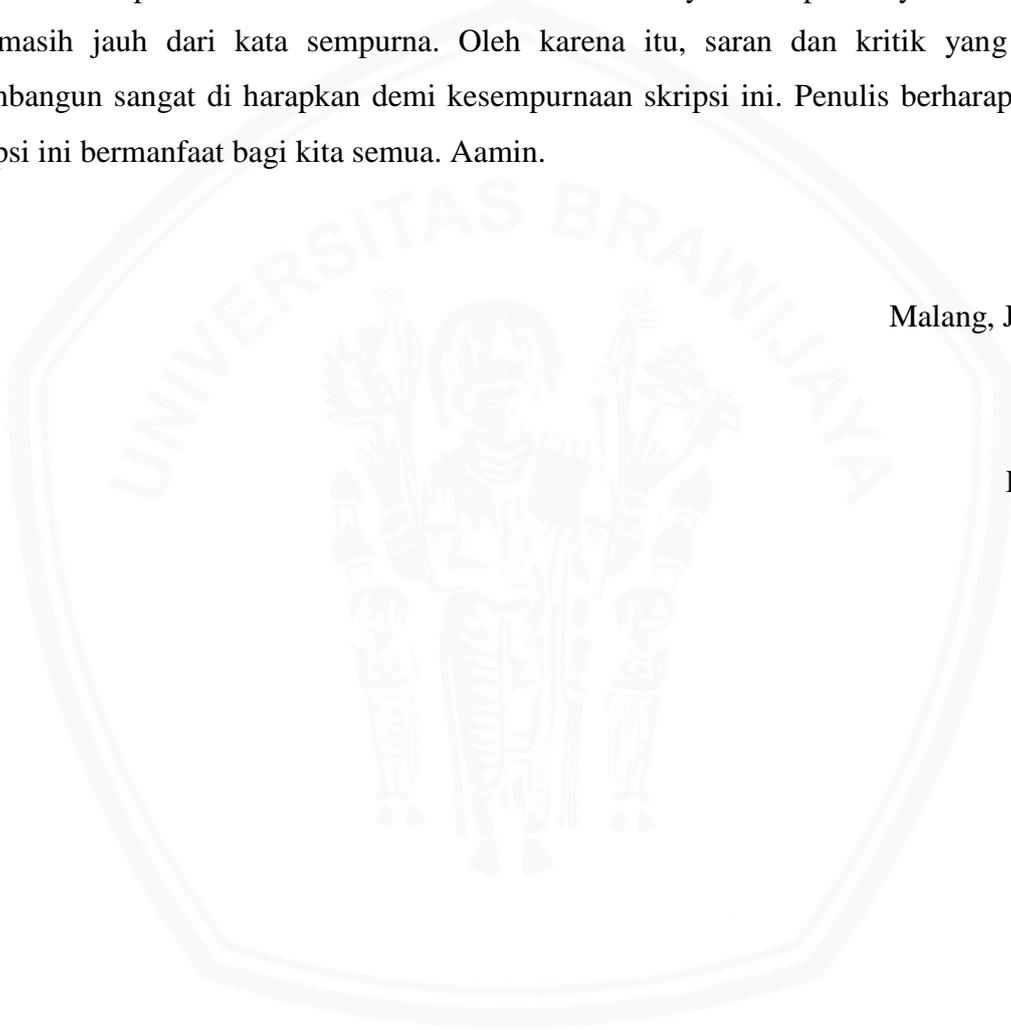
1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I penulis atas waktu, ilmu, dan bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II penulis atas waktu, saran, dan motivasinya dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Seluruh Tenaga Kependidikan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah melancarkan proses administrasi dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Eko Slamet M. selaku Laboran Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya atas bantuannya selama pengambilan data untuk penelitian ini.
7. Kedua orang tua serta adik penulis yang telah memberikan do’a dan dukungan baik moril maupun materiil yang tiada hentinya untuk penulis.
8. Saudara Dana, Viki, Ikram dan Utsman yang telah menjadi teman kelompok dan tempat bertukar pikiran selama penyelesaian skripsi ini.
9. Teman-teman angkatan 2014 MAFIA yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan motivasi dan bantuannya selama penyelesaian skripsi ini.
10. Teman-teman seperjuangan di Tim Apatte 62 Brawijaya yang telah menjadi keluarga kedua penulis atas dukungan dan bantuannya selama penyelesaian skripsi.

11. Gap E-Access Luqman, Davin, Amir, Ira, dan Putri sebagai teman dan sahabat yang telah menjadi teman untuk melepaskan seluruh penat dalam pengerjaan skripsi.
12. Seluruh Asisten dan Laboran Laboratorium Motor Bakar yang telah banyak memberikan bantuan dalam menyusun skripsi ini.
13. Berbagai pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga amal, bantuan, bimbingan dan doa yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat di harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Aamin.

Malang, Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Mesin Diesel .....	6
2.2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah .....	6
2.2.2 Siklus Termodinamika Mesin Diesel .....	9
2.3 Proses Pembakaran pada Mesin Diesel .....	10
2.4 Karakteristik Semprotan Bahan Bakar .....	12
2.5 Emisi Gas Buang Diesel .....	13
2.5.1 Karbon Monoksida .....	13
2.5.2 Hidrokarbon .....	14
2.5.3 <i>Particulate Matter</i> .....	14
2.5.4 <i>Nitrogen</i> Oksida .....	15
2.6 Bahan Bakar Diesel beserta Karakteristiknya .....	15
2.7 Biodiesel .....	18
2.7.1 Definisi Biodiesel .....	18
2.7.2 Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel .....	18
2.7.3 Bahan Bakar Campuran Biodiesel-Solar .....	19
2.7.4 Karakteristik Biodiesel .....	19

2.8 Biodiesel <i>Castor Oil</i> .....	22
2.8.1 <i>Castor Oil</i> .....	22
2.8.2 Karakteristik Biodiesel <i>Castor Oil</i> .....	22
2.8.3 Penggunaan Biodiesel <i>Castor Oil</i> .....	22
2.9 <i>Preheating</i> pada Biodiesel .....	23
2.10 Campuran Biodiesel dan Solar .....	24
2.11 Pengaruh Viskositas Bahan Bakar terhadap Proses Atomisasi	
Bahan Bakar .....	25
2.12 Pengaruh Atomisasi Bahan Bakar terhadap Emisi Gas Buang .....	25
2.13 Hipotesis .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>27</b>
3.1 Metode Penelitian .....	27
3.2 Variabel Penelitian .....	27
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.4 Instalasi Penelitian .....	28
3.5 <i>Preheating</i> Bahan Bakar .....	32
3.6 Proses Pencampuran Bahan Bakar .....	33
3.7 Prosedur Pengambilan Data .....	33
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	34
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	<b>37</b>
4.1 Data Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Bakar .....	37
4.2 Pembahasan .....	38
4.2.1 Pengaruh <i>Preheating</i> dan Penambahan Biodiesel Terhadap	
Emisi CO .....	38
4.2.2 Pengaruh <i>Preheating</i> dan Penambahan Biodiesel Terhadap	
Emisi CO <sub>2</sub> .....	41
4.2.3 Pengaruh <i>Preheating</i> dan Penambahan Biodiesel Terhadap	
Emisi HC .....	43
4.3 Perbandingan Seluruh Bahan Bakar dan Perlakuannya Terhadap	
Kandungan Emisi Gas Buang .....	46

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran.....	49

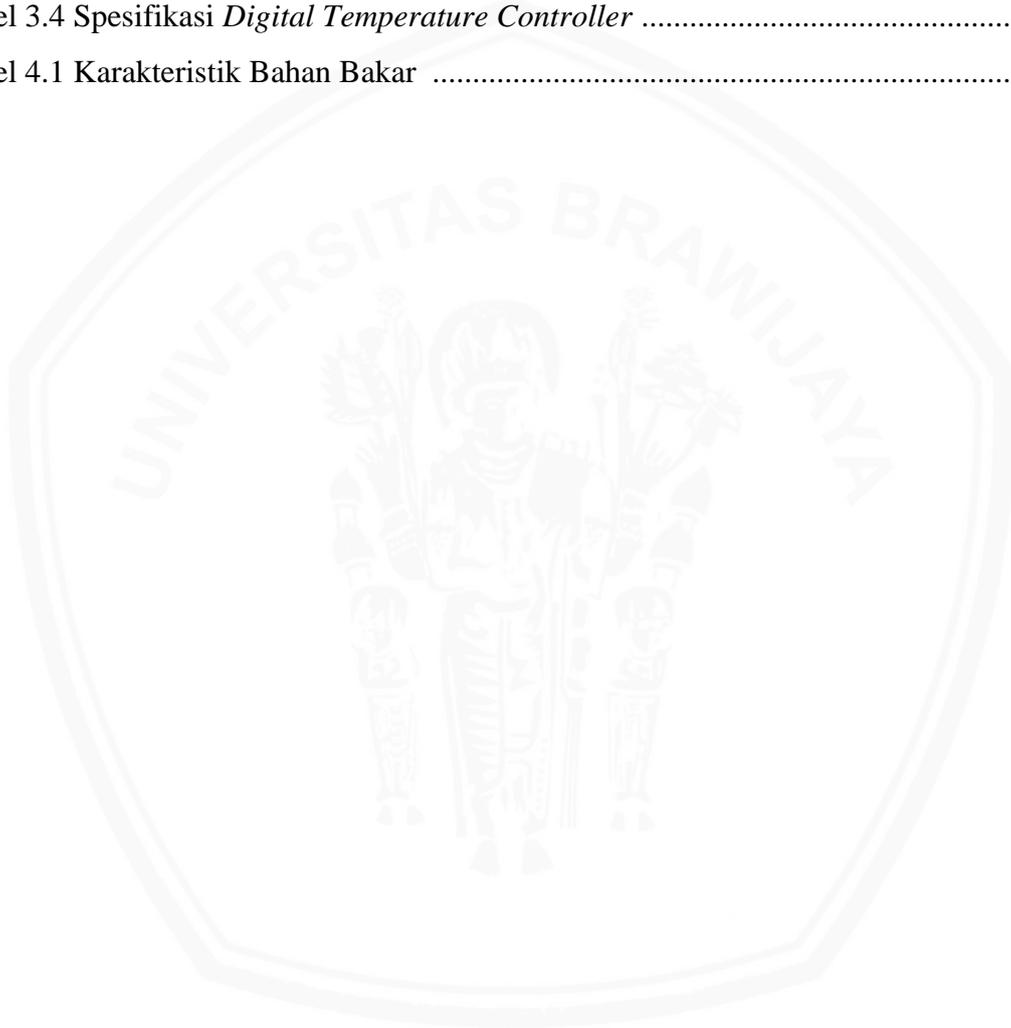
**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Indonesia.....	16
Tabel 2.2	Standar Biodiesel Indonesia .....	21
Tabel 3.1	Spesifikasi Mesin Diesel .....	30
Tabel 3.2	Spesifikasi Stargas <i>Gas Analyzer</i> .....	30
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Tachometer</i> .....	31
Tabel 3.4	Spesifikasi <i>Digital Temperature Controller</i> .....	33
Tabel 4.1	Karakteristik Bahan Bakar .....	37



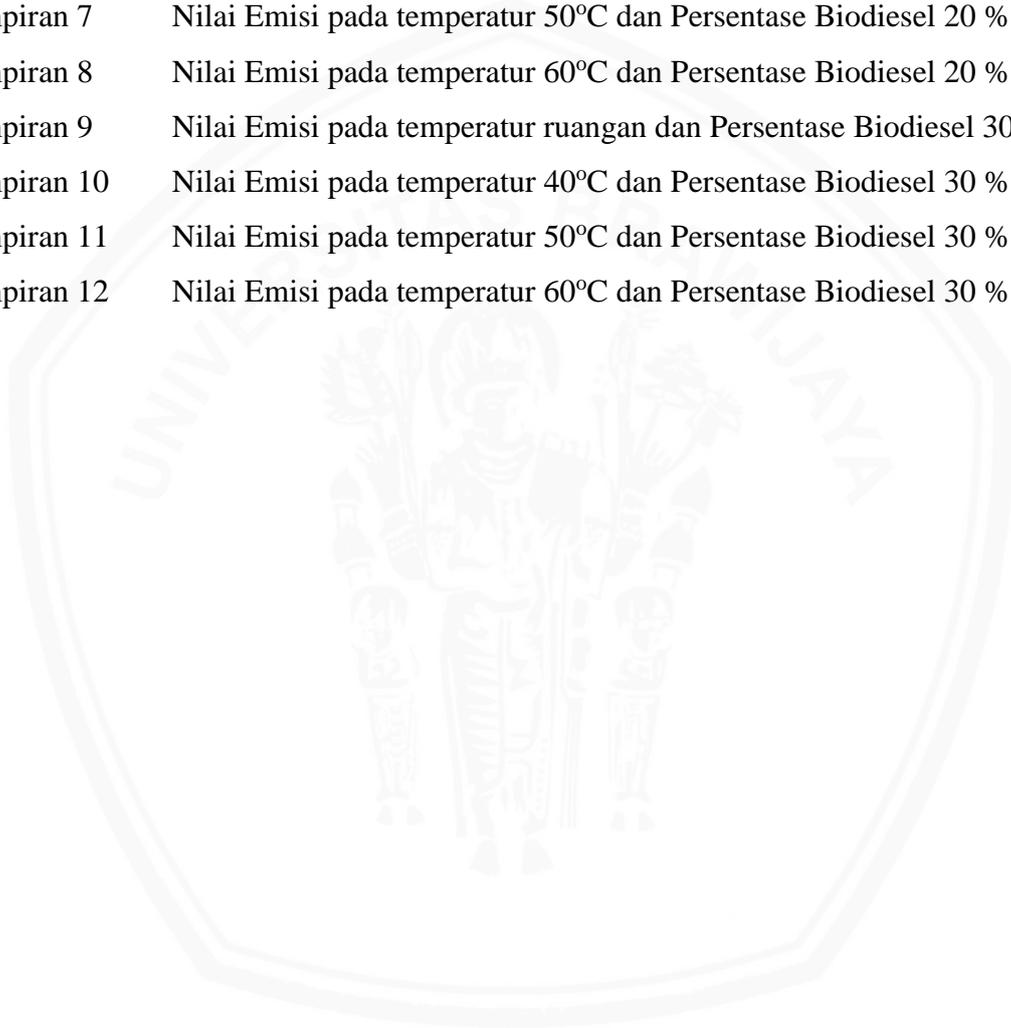
## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Mesin diesel .....	6
Gambar 2.2	Mesin diesel 4 langkah .....	7
Gambar 2.3	Proses mesin diesel 4 langkah .....	8
Gambar 2.4	Diagram P-v dan T-s siklus <i>dual</i> .....	9
Gambar 2.5	Siklus aktual mesin diesel 4 langkah .....	10
Gambar 2.6	Zona campuran bahan bakar dan udara di sekitar injektor .....	10
Gambar 2.7	Proses pembakaran pada mesin diesel .....	11
Gambar 2.8	Karakteristik semprotan bahan bakar .....	12
Gambar 2.9	Komposisi gas buang diesel .....	13
Gambar 2.10	Karakteristik teknis biodiesel .....	18
Gambar 2.11	Kandungan kimia dan <i>higher heating value</i> biodiesel .....	20
Gambar 2.12	Karakteristik <i>castor oil</i> biodiesel .....	22
Gambar 2.13	Hubungan temperatur terhadap viskositas kinematik <i>castor oil</i> biodiesel .....	24
Gambar 2.14	Karakteristik campuran biodiesel-solar .....	24
Gambar 3.1	Diesel <i>engine test bench bench</i> .....	28
Gambar 3.2	Skema instalasi <i>diesel engine test bench</i> .....	29
Gambar 3.3	Mesin diesel yanmar 170n.....	29
Gambar 3.4	Stargas <i>gas analyzer</i> .....	30
Gambar 3.5	<i>Tachometer</i> .....	31
Gambar 3.6	Skema pemanasan bahan bakar .....	32
Gambar 3.7	<i>Digital temperature controller</i> .....	32
Gambar 3.8	(a) B10, (b) B20, (c) B30 .....	33
Gambar 3.9	Diagram alir penelitian .....	35
Gambar 4.1	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B10 dan temperatur <i>preheating</i> terhadap emisi CO .....	38
Gambar 4.2	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B20 dan temperatur <i>preheating</i> terhadap emisi CO .....	39
Gambar 4.3	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B30 dan temperatur <i>preheating</i> terhadap emisi CO .....	39

Gambar 4.4	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B10 dan temperatur <i>preheating</i> terhadap emisi CO <sub>2</sub> .....	41
Gambar 4.5	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B20 dan temperatur <i>preheating</i> terhadap emisi CO <sub>2</sub> .....	41
Gambar 4.6	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B30 dan temperature <i>preheating</i> terhadap emisi CO <sub>2</sub> .....	42
Gambar 4.7	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B10 dan temperatur <i>preheating</i> terhadap emisi HC .....	43
Gambar 4.8	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B20 dan temperatur <i>preheating</i> terhadap emisi HC .....	43
Gambar 4.9	Grafik pengaruh penambahan biodiesel B30 dan temperature <i>preheating</i> terhadap emisi HC .....	44
Gambar 4.10	Grafik perbandingan seluruh bahan bakar dan perlakuannya terhadap kandungan CO pada gas buang .....	46
Gambar 4.11	Grafik perbandingan seluruh bahan bakar dan perlakuannya terhadap kandungan CO <sub>2</sub> pada gas buang .....	46
Gambar 4.12	Grafik perbandingan seluruh bahan bakar dan perlakuannya terhadap kandungan HC pada gas buang .....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Nilai Emisi pada temperatur ruangan dan Persentase Biodiesel 10 %
Lampiran 2	Nilai Emisi pada temperatur 40°C dan Persentase Biodiesel 10 %
Lampiran 3	Nilai Emisi pada temperatur 50°C dan Persentase Biodiesel 10 %
Lampiran 4	Nilai Emisi pada temperatur 60°C dan Persentase Biodiesel 10 %
Lampiran 5	Nilai Emisi pada temperatur ruangan dan Persentase Biodiesel 20 %
Lampiran 6	Nilai Emisi pada temperatur 40°C dan Persentase Biodiesel 20 %
Lampiran 7	Nilai Emisi pada temperatur 50°C dan Persentase Biodiesel 20 %
Lampiran 8	Nilai Emisi pada temperatur 60°C dan Persentase Biodiesel 20 %
Lampiran 9	Nilai Emisi pada temperatur ruangan dan Persentase Biodiesel 30 %
Lampiran 10	Nilai Emisi pada temperatur 40°C dan Persentase Biodiesel 30 %
Lampiran 11	Nilai Emisi pada temperatur 50°C dan Persentase Biodiesel 30 %
Lampiran 12	Nilai Emisi pada temperatur 60°C dan Persentase Biodiesel 30 %



## RINGKASAN

**Andhika Nurdiantono**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Temperatur Preheating dan Penambahan Biodiesel Ricinus communis terhadap Emisi Gas Buang Mesin Diesel*, Dosen Pembimbing: Mega Nur Sasongko, Nafisah Arina Hidayati.

Pemanasan global merupakan salah satu fenomena yang dapat memberikan ancaman bagi lingkungan. Pemanasan global terjadi karena adanya efek rumah kaca yang disebabkan oleh gas rumah kaca. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu penyumbang terbesar dari gas rumah kaca. Penggunaan kendaraan bermotor menjadi salah satu penyumbang terbesar gas CO<sub>2</sub>, Untuk itu penggunaan mesin diesel menjadi salah satu solusi karena lebih sedikit menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dibanding mesin bensin, tetapi mesin diesel merupakan mesin pembakaran dalam yang juga menghasilkan emisi berupa CO dan HC. Penggunaan biodiesel menjadi salah satu cara untuk mengurangi emisi tersebut. Tetapi penggunaan biodiesel dapat mengganggu proses pembakaran karena viskositas dari biodiesel yang tinggi, untuk itu perlu dilakukan sebuah perlakuan agar karakteristik biodiesel dapat menyerupai solar biasa. Tujuan penelitian ini digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur *preheating* dan penambahan biodiesel *Ricinus communis* pada bahan bakar solar terhadap emisi gas buang mesin diesel.

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur *preheating* bahan bakar sebesar 40°C; 50°C; dan 60°C. *Preheating* dengan cara memanaskan bahan bakar pada wadah aluminium yang dialiri arus listrik. *Preheating* dilakukan tepat sebelum pompa injeksi untuk meminimalisir kerugian panas. Untuk setiap variasi temperatur *preheating*, menggunakan bahan bakar solar yang ditambahkan dengan biodiesel *Ricinus communis* sebesar 10%, 20% dan 30% dari volume solar.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa campuran 10% dan 20% tanpa perlakuan dapat menurunkan emisi CO dan HC. Dengan dilakukan pemanasan hingga 60°C pada campuran 10%, 20%, dan 30% menurunkan emisi CO dan HC. Sementara untuk CO<sub>2</sub> yang dihasilkan lebih tinggi pada penambahan biodiesel karena pembakaran semakin sempurna.

Kata kunci : Biodiesel, *Castor Oil*, *Preheating*, Emisi Gas Buang

## SUMMARY

**Andhika Nurdiantono**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018, *The Effects of Preheating and Ricinus communis Biodiesel addition on Exhaust Gas Emission of Diesel Engine*, Academic Supervisor: Mega Nur Sasongko, Nafisah Arina Hidayati.

Global warming is one of the phenomenon that can threat the environments. Global warming is caused by greenhouse effect form greenhouse gases. Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) has the biggest portion in greenhouse gases. Motor Vehicles have major role in emitting CO<sub>2</sub>. Diesel engine using is become more popular solution for this problem because it emits lower CO<sub>2</sub> than gasoline engine. But diesel engine is internal combustion engine that emits HC and CO which is dangerous for human. The using of biodiesel is become one of the solutions for reducing CO and HC emission. Although can reduce emission, higher viscosity of biodiesel can cause incomplete combustion inside the cylinder. For that reason, biodiesel must be treated so its characteristic close to the diesel fuel. The purpose of this research is to know the effect of preheating temperature and Ricinus communis biodiesel addition on exhaust gas emission of diesel engine.

This research was conducted by varying preheating temperature of fuel by 40°C; 50°C; and 60°C. Fuels are heated in an aluminium container which is conducted by electricity. Preheating is done just before injection pump so the heat loss can be minimized. Each variation of preheating temperature, using diesel fuel added with Ricinus communis biodiesel of 10%, 20% and 30% volume of the diesel fuel.

The result shows that 10% and 20% mixture without treatment can reduce CO and HC emission. Preheating up to 60°C on 10%, 20%, and 30% mixture can reduce CO and HC emission. CO<sub>2</sub> shown higher than diesel fuel due to complete combustion.

**Keywords:** Biodiesel, Castor Oil, Preheating, Exhaust Gas Emission.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil berkontribusi besar menghasilkan *greenhouse gases* seperti karbon dioksida, metana, nitrogen oksida, dan gas terflorinasi (HFC, PFC, dan SF<sub>6</sub>). Gas CO<sub>2</sub> yang menjadi salah satu penyumbang pemanasan global terbesar banyak dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar kendaraan. Saat ini mesin diesel banyak digunakan pada kendaraan bermotor karena memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan mesin bensin, karena itu konsumsi bahan bakar dapat menjadi lebih rendah (Resitoglu, 2014). Selain itu mesin diesel juga menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih sedikit dibandingkan mesin bensin, dengan begitu penggunaan mesin diesel mampu menurunkan tingkat *greenhouse effect* di udara. Emisi gas buang lain yang dihasilkan mesin diesel selain CO<sub>2</sub> antara lain CO, HC, NO<sub>x</sub>, dan *Particulate Matter* (PM) dengan kadar yang cukup tinggi (Resitoglu, 2014). Emisi gas buang tersebut memang tidak memberi dampak yang terlalu besar terhadap pemanasan global, namun dapat menyebabkan masalah bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan *biofuel* khususnya biodiesel untuk mesin diesel.

Penggunaan biodiesel menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi masalah emisi gas buang dari mesin diesel. Biodiesel merupakan *oxygenated fuel* yang dapat membuat pembakaran menjadi lebih efisien. Selain itu, dengan angka cetana yang lebih tinggi dan tanpa kandungan sulfur sehingga menghasilkan gas buang lebih bersih (M. Das, 2017). Biodiesel merupakan metil ester atau etil ester yang berasal dari asam lemak alami seperti minyak nabati yang memiliki *fuel properties* yang hampir sama dengan solar. Minyak nabati yang digunakan sebagai biodiesel antara lain *Jatropha oil*, *Castor oil*, *Karanja oil*, dan *Tobacco seed oil* yang merupakan minyak nabati non-konsumsi. *Castor oil* atau minyak jarak kepyar (*Ricinus communis L.*) menjadi salah satu minyak nabati yang dapat digunakan sebagai biodiesel dimana minyak ini diperoleh dari proses ekstraksi biji jarak kepyar. Jarak kepyar mengandung hingga 80-90% asam lemak dalam bentuk asam ricinoleic yang dapat menghasilkan satu per tiga bagian minyak ketika diekstraksi (Gokdogan, 2015). Tetapi biodiesel *castor oil* memiliki massa jenis dan viskositas yang lebih tinggi dan dapat mengganggu proses pembakaran pada mesin diesel sehingga meningkatkan emisi gas buang.

(Ozcanli, 2015). Dengan kondisi tersebut, maka penggunaan biodiesel *castor oil* harus dilakukan dengan perlakuan tertentu agar memiliki viskositas yang mendekati solar biasa dan tidak mengganggu pembakaran pada mesin diesel.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui apakah *castor oil* dapat digunakan secara langsung tanpa modifikasi pada mesin diesel. Kandungan CO<sub>2</sub> dan HC pada gas buang semakin menurun pada peningkatan persentase biodiesel untuk campuran solar-biodiesel *castor oil* tetapi berkebalikan dengan kandungan CO dan NO<sub>x</sub> pada campuran B0, B5, B10, B15, dan B20 (A. Rahimi, 2015). Campuran 40% volume biodiesel *castor oil* dengan 60% volume solar dapat menghasilkan biodiesel dengan viskositas seperti solar pada umumnya. Selain itu, pemanasan hingga temperatur 80°C pada campuran biodiesel-solar dapat menghasilkan viskositas yang sama dengan solar biasa (Gokdogan, 2015). Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dapat diketahui bahwa penggunaan campuran biodiesel *castor oil*-solar pada mesin mesin diesel dapat menurunkan emisi. Selain itu pemanasan campuran biodiesel *castor oil*-solar juga dapat menurunkan tingkat viskositas. Penurunan viskositas karena pemanasan campuran biodiesel *castor oil*-solar seharusnya dapat menurunkan tingkat emisi lebih baik lagi pada mesin diesel karena atomisasi bahan bakar lebih sempurna sehingga pembakaran semakin sempurna (Mustaffa, 2014).

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, campuran biodiesel *castor oil*-solar dan pemanasan awal (*preheating*) campuran biodiesel dapat menurunkan viskositas biodiesel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur *preheating* biodiesel-solar terhadap emisi gas buang mesin diesel. Penelitian ini dilakukan dengan memanaskan campuran biodiesel *castor oil*-solar B10, B20, dan B30 pada temperatur 40, 50, dan 60°C sehingga diharapkan viskositas biodiesel sama dengan solar biasa dengan tingkat emisi yang lebih rendah. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat mengembangkan potensi penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar mesin diesel dengan tingkat emisi gas buang yang lebih rendah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari aspek latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana pengaruh temperatur *preheating* dan penambahan biodiesel *Ricinus Communis* terhadap emisi gas buang mesin diesel.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, peneliti memberi batasan permasalahan yang akan diteliti, tujuannya agar penelitian dapat lebih mudah dijalankan dan ruang lingkup penelitian keluar dari topik permasalahan. Batasan permasalahan tersebut antara lain:

1. Tidak menganalisis pembuatan biodiesel *castor oil*
2. Mesin diesel yang digunakan tidak dimodifikasi
3. Campuran bahan bakar dianggap homogen

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan mula campuran biodiesel jarak kepyar dengan solar terhadap emisi gas buang mesin diesel.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yang diperoleh antara lain:

1. Memberikan solusi terhadap masalah pencemaran udara yang dihasilkan dari mesin diesel.
2. Sebagai literatur untuk pengembangan biodiesel selanjutnya.
3. Memberikan informasi tentang pengaruh penggunaan biodiesel terhadap emisi gas buang mesin diesel.
4. Sebagai wujud sosialisasi bagi masyarakat tentang prospek penggunaan biodiesel di masa yang akan datang.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Ozcanli (2012) meneliti tentang pengaruh penggunaan biodiesel *castor oil* terhadap emisi gas buang mesin diesel CO, CO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angka cetana dan titik tuang biodiesel *castor oil* lebih baik dari solar biasa, tetapi memiliki nilai kalor (*lower heating value*) yang lebih rendah dan nilai viskositas dan densitas yang lebih tinggi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan solar murni, biodiesel 5% (B5), biodiesel 10% (B10), biodiesel 25% (B25), biodiesel 50% (B50) dan biodiesel 100% (B100). Penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan CO dan CO<sub>2</sub> turun 16.92% dan 17.20% pada B50, sementara itu pada B25 turun menjadi 12.82% dan 14.10% dibandingkan dengan solar biasa. Sementara itu untuk kandungan NO<sub>x</sub> sedikit lebih tinggi dibandingkan diesel biasa dan kandungannya terus meningkat seiring dengan bertambahnya persentase biodiesel. Peneliti menyimpulkan bahwa biodiesel *castor oil* dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel tanpa modifikasi.

Augustine (2012) menginvestigasi bagaimana pengaruh temperatur *preheating* bahan bakar biodiesel biji kapas terhadap emisi gas buang pada mesin diesel. *Preheating* diperlukan sebagai cara untuk menurunkan viskositas biodiesel sehingga mendekati viskositas solar biasa. Viskositas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap pembentukan *droplet*, atomisasi, penguapan, dan proses pencampuran antara bahan bakar dengan udara. Penelitian ini dilakukan dengan memanaskan bahan bakar sebelum masuk ke injektor dengan temperatur 40, 60, 80, dan 100°C. Hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan viskositas yang signifikan dan mendekati viskositas solar biasa, emisi CO lebih rendah 34% dibandingkan solar biasa pada temperatur *preheating* 80°C, emisi HC lebih rendah 16% dibandingkan solar biasa pada temperatur *preheating* 80°C, emisi NO<sub>x</sub> lebih tinggi 11 % dibandingkan solar biasa pada temperatur *preheating* 80°C, dan kepekatan asap berkurang dari 80 HSU menjadi 76 HSU pada temperatur pemanasan 80°C. Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel biji kapas.

## 2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel adalah mesin pembakaran dalam yang menggunakan tekanan untuk membakar (*compression ignition*) campuran bahan bakar dan udara berbeda dengan mesin otto atau mesin bensin yang menggunakan percikan api untuk memnakar campuran bahan bakar dan udara. Pada mesin *compression ignition* udara ditekan hingga temperatur di atas temperatur *autoigniton* dari bahan bakar, setelah itu bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar, karena temperatur di dalam ruang bakar lebih tinggi dari temperatur *autoigniton*, bahan bakar akan langsung terbakar. Oleh karena itu mesin diesel tidak membutuhkan busi seperti pada mesin bensin.

Pada mesin bensin campuran udara bahan bakar dikompresi secara bersamaan sehingga rawan terjadi detonasi (*knocking*), sedangkan pada mesin diesel hanya udara yang dikompresi sehingga rasio kompresi dapat lebih tinggi. Mesin diesel saat ini umumnya bekerja pada rasio kompresi 12 sampai 24 (Cengel, 2015).

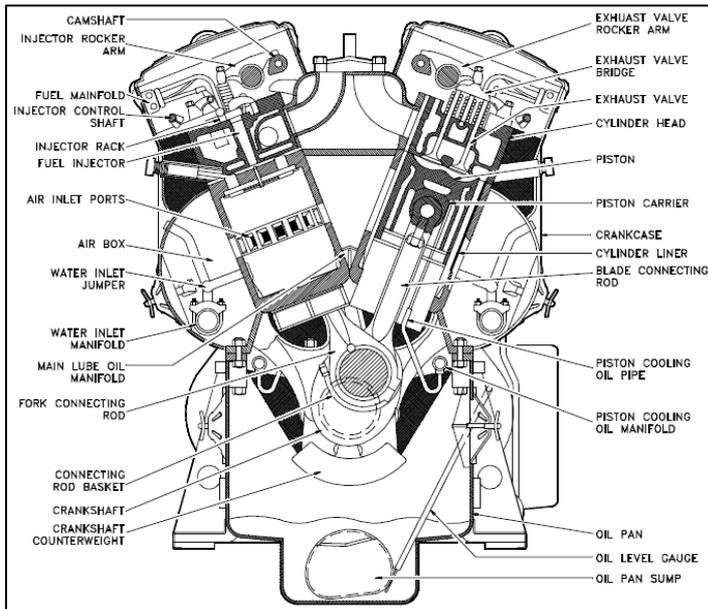


Gambar 2.1 Mesin diesel

Sumber: Woodyard (2009, p.xxvi)

### 2.2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin diesel terbagi ke dalam dua kategori, yaitu dua langkah dan empat langkah. Pada mesin diesel 4 langkah, mesin membutuhkan 4 langkah piston yaitu isap, kompresi, tenaga, dan buang untuk menyelesaikan satu siklus. Karena itu mesin empat langkah membutuhkan 2 putaran poros engkol atau  $720^\circ$  untuk menyelesaikan satu siklus.



Gambar 2.2 Mesin diesel 4 langkah  
Sumber: US Department of Energy (1993, p.5)

Langkah-langkah siklus pada mesin diesel 4 langkah akan dijelaskan sebagai berikut: Sebagai contoh, mesin diesel yang digunakan memiliki diameter silinder 3.5 inci dan panjang langkah 4 inci dengan rasio kompresi 16:1.

1. Langkah Isap (*Intake*)

Ketika piston bergerak dan mendekati sudut  $28^\circ$  sebelum titik mati atas (TMA), katup isap mulai terbuka. Langkah isap dimulai ketika katup buang masih terbuka, aliran gas buang menghasilkan kondisi tekanan vakum yang membantu udara segar untuk masuk ke dalam silinder. Piston terus bergerak melewati TMA ketika udara segar masuk dan gas buang keluar, pada sudut sekitar  $12^\circ$  setelah TMA katup buang mulai tertutup dan pada  $23^\circ$  setelah TMA katup buang tertutup sepenuhnya.

2. Langkah Tekan (*Compression*)

Pada sudut  $35^\circ$  setelah titik mati bawah (TMB) katup isap mulai tertutup dan pada sudut  $43^\circ$  setelah TMB katup isap tertutup sepenuhnya, kondisi udara pada ruang bakar ada pada tekanan atmosfer 14.7 psi (tidak lagi terjadi vakum). Piston terus bergerak ke atas menuju TMA dan ketika piston hampir menempuh jarak panjang langkahnya, temperatur dalam silinder naik hingga mencapai 1280 F dan tekanan 742 psi dan menghasilkan 7125 lbf gaya tekan pada kondisi ideal. Secara aktual tekanan yang terjadi dalam ruang bakar hanya sampai 690 psi karena terjadinya kerugian yang utamanya terjadi karena adanya kerugian panas dari dinding silinder.

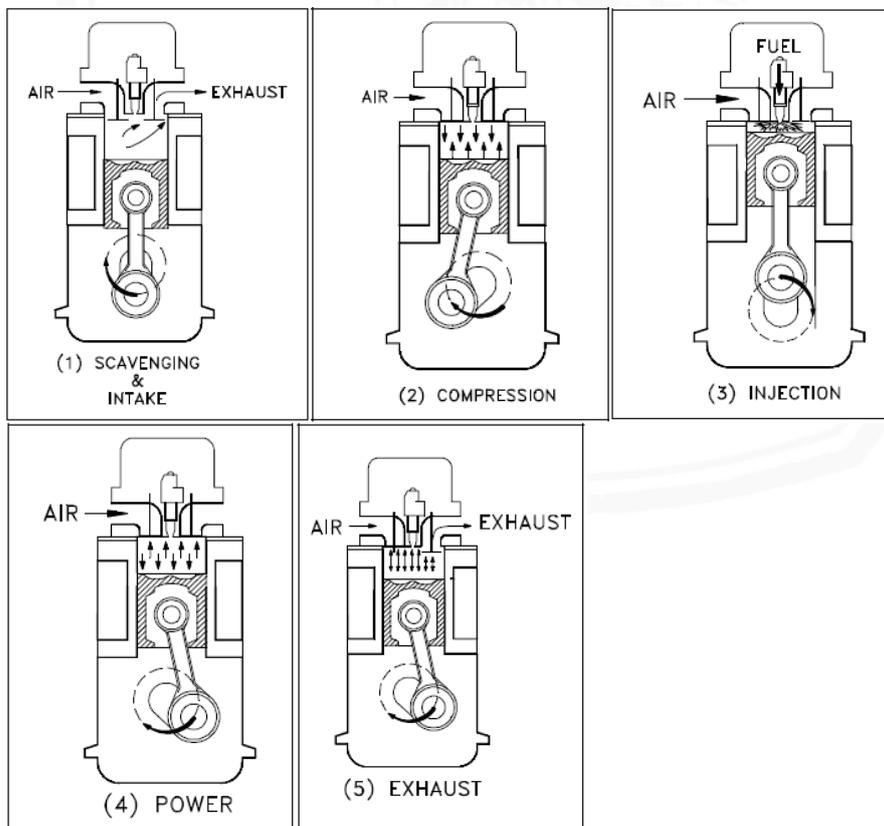
Bahan bakar dalam bentuk cair disemprotkan pada ruang bakar ketika proses ini masih berlangsung, udara panas hasil kompresi dalam ruang bakar akan membantu bahan bakar untuk mencapai kondisi uap agar dapat terbakar. Penyemprotan bahan bakar dimulai  $28^\circ$  sebelum TMA dan berakhir pada  $3^\circ$  setelah TMB.

### 3. Langkah Kerja (*Power*)

Setelah bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder, bahan bakar mulai terbakar dan menghasilkan panas. Setelah piston melewati TMA, panas dari proses pembakaran bahan bakar menyebabkan kenaikan tekanan dan temperatur dalam ruang bakar. Karena adanya tekanan yang tinggi, piston tertekan ke bawah dan menambah gaya pada poros engkol untuk menghasilkan langkah kerja.

### 4. Langkah Buang (*Exhaust*)

Ketika piston mendekati  $48^\circ$  sebelum TMB, katup buang mulai terbuka dan gas buang mulai keluar dari ruang bakar. Setelah melewati TMB piston bergerak ke atas dan mencapai kecepatan maksimum pada sudut  $63^\circ$  sebelum TMA, setelah itu piston melambat dan pada  $28^\circ$  sebelum TMA katup isap mulai terbuka untuk memasukkan udara segar kembali.



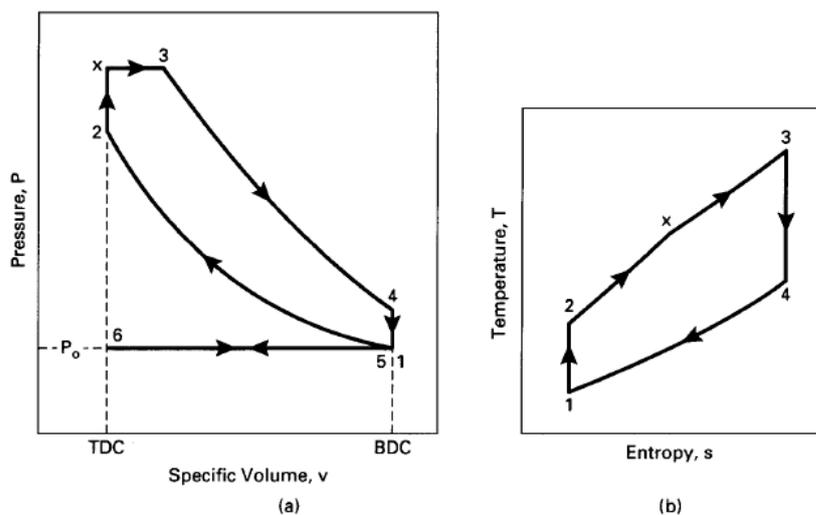
Gambar 2.3 Proses mesin diesel 4 langkah

Sumber: US Department of Energy (1993, p.22-25)

## 2.2.2 Siklus Termodinamika Mesin Diesel

Siklus termodinamika digunakan untuk menganalisis proses yang terjadi pada mesin baik perpindahan kalor, kerja yang dihasilkan, perubahan volume, perubahan temperatur, maupun perubahan entropi yang terjadi pada sistem. Siklus termodinamika adalah suatu pendekatan dimana semua proses dari dalam sistem disamakan nilainya dengan kalor.

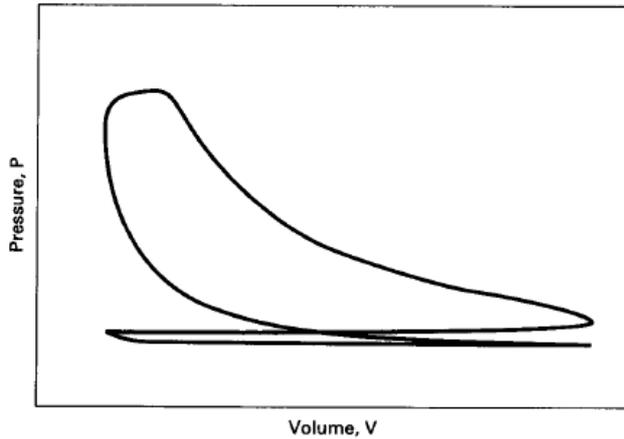
Mesin diesel modern berkecepatan tinggi, bahan bakar diinjeksikan ke ruang bakar lebih cepat dibandingkan mesin diesel terdahulu. Bahan bakar mulai terbakar di akhir langkah kompresi sehingga sebagian proses pembakaran terjadi secara volume tetap. Penginjeksian bahan bakar terus berlanjut hingga piston mencapai TMA dan proses pembakaran terus berlangsung pada tekanan tinggi hingga memasuki langkah kerja. Oleh karena itu, seluruh proses pembakaran dapat dimodelkan lebih baik melalui proses volume konstan dan tekanan konstan. Siklus ideal dari konsep ini disebut dengan *dual cycle* (Pulkrabek, 1997).



Gambar 2.4 Diagram P-v dan T-s Siklus *Dual*  
Sumber: Pulkrabek (1997, p.96)

Langkah siklus ini terdiri dari:

1. Langkah (6-1) proses masuknya udara ke dalam ruang bakar
2. Langkah (1-2) proses kompresi udara di dalam ruang bakar secara isentropik
3. Langkah (2-3) proses pemasukan kalor tekanan konstan (2-x) dan volume konstan (x-3)
4. Langkah (3-4) proses ekspansi gas hasil pembakaran secara isentropik
5. Langkah (4-5) proses pelepasan kalor dari gas hasil pembakaran secara volume konstan
6. Langkah (5-6) proses keluarnya gas buang ke atmosfer

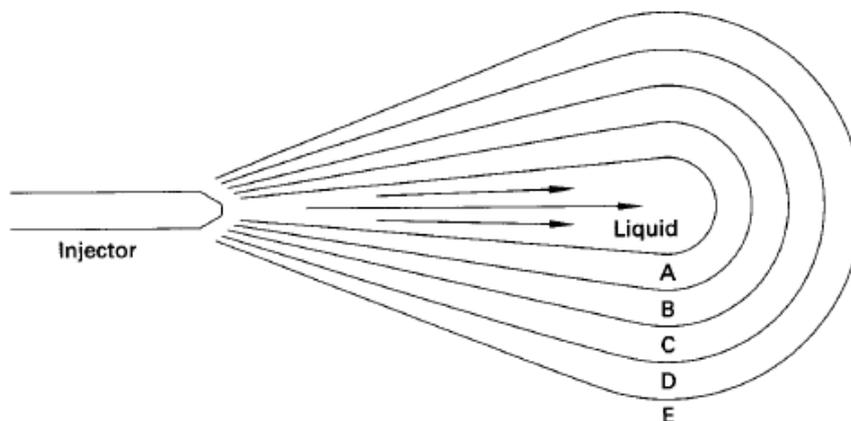


Gambar 2.5 Siklus aktual mesin diesel 4 langkah  
Sumber: Pulkrabek (1997, p.95)

### 2.3 Proses Pembakaran pada Mesin Diesel

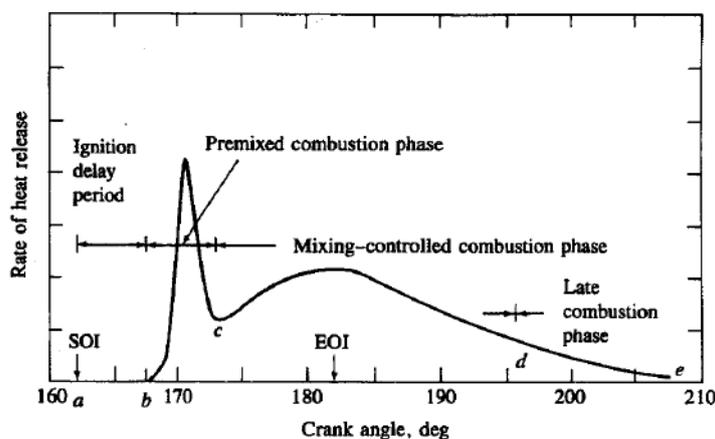
Setelah proses penginjeksian, bahan bakar melewati beberapa proses untuk dapat terbakar dengan seharusnya.

1. *Atomization*. Bahan bakar pecah menjadi butiran yang kecil. Semakin kecil ukuran butiran yang dihasilkan oleh injektor, proses ini semakin cepat dan efisien.
2. *Vaporization*. Butiran kecil dari bahan bakar menguap. Penguapan berlangsung sangat cepat karena temperatur udara hasil proses kompresi sangat tinggi.
3. *Mixing*. Setelah proses penguapan, bahan bakar harus bercampur dengan udara untuk membentuk campuran udara dan bahan bakar pada perbandingan tertentu agar dapat terbakar. Campuran terbentuk karena kecepatan yang tinggi dari bahan bakar bertemu dengan pusaran udara pada silinder. Gambar 2.6 menunjukkan distribusi perbandingan campuran yang terbentuk disekitar *nozzle injector*.



Gambar. 2.6 Zona campuran bahan bakar dan udara di sekitar injektor  
Sumber: Pulkrabek (1997, p.252)

Gambar 2.6 menunjukkan zona perbandingan campuran bahan bakar dan udara di sekitar injektor. Bagian inti yang memiliki fase cair dikelilingi oleh bahan bakar yang menguap. Pada zona (A) campuran bahan bakar dan udara sangat kaya sehingga tidak terbakar, pada zona (B) campuran kaya bahan bakar dan udara dapat terbakar, pada zona (C) campuran bahan bakar dan udara stoikiometri, pada zona (D) campuran miskin bahan bakar dan udara dapat terbakar, dan pada zona (E) campuran bahan bakar dan udara sangat miskin sehingga tidak terbakar. Setelah bahan bakar tercampur dengan udara, proses pembakaran terjadi. Gambar 2.7 menunjukkan proses pembakaran pada mesin diesel.



Gambar 2.7 Proses pembakaran pada mesin diesel  
Sumber: Heywood (1988, p.506)

1. Tahap *ignition delay* (a-b)  
Periode antara dimulainya penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar dan dimulainya pembakaran.
2. Tahap *rapid combustion* atau *premixed* (b-c)  
Campuran bahan bakar dan udara mulai terbakar dan terjadi kenaikan tekanan dalam silinder secara cepat yang diakibatkan oleh pembakaran yang sangat cepat.
3. Tahap *mixing-controlled combustion phase* (c-d)  
Pada tahap ini penginjeksian bahan bakar masih berlangsung tetapi kecepatan pembakaran tidak secepat tahap *rapid combustion* sehingga kenaikan tekanan dalam silinder tidak terlalu cepat. Proses ini melewati puncak maksimum tekanan dalam silinder.

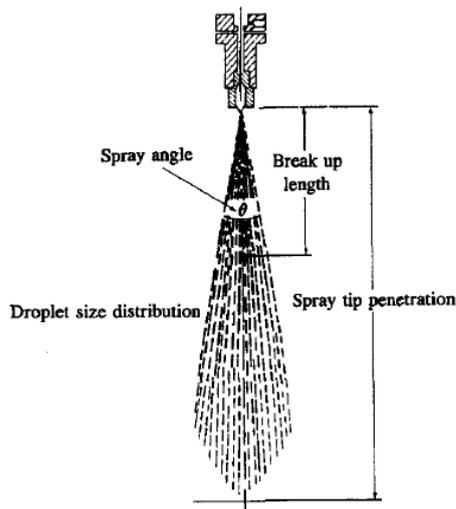
#### 4. Tahap *tail of combustion* (d-e)

Pada tahap ini penginjeksian bahan bakar telah selesai tetapi pembakaran masih berlangsung untuk membakar sisa-sisa bahan bakar yang belum terbakar. Kecepatan pembakaran sudah sangat rendah dan tahap ini berlangsung pada langkah ekspansi.

### 2.4 Karakteristik Semprotan Bahan Bakar

Karakteristik semprotan bahan bakar dipengaruhi oleh properties fisik bahan bakar berupa densitas, viskositas dan tegangan permukaan. Untuk semprotan pada ruang terbuka (*ambient atmospheric pressure*), semakin tinggi properties fisik bahan bakar akan menghasilkan penetrasi semprotan yang semakin panjang. Sedangkan kenaikan tekanan dan suhu ambient menyebabkan fase cairan semprotan menjadi lebih pendek dan tipis. Hal ini disebabkan oleh kenaikan momentum dan perpindahan panas droplet ke udara *ambient* (Priyanto, 2015).

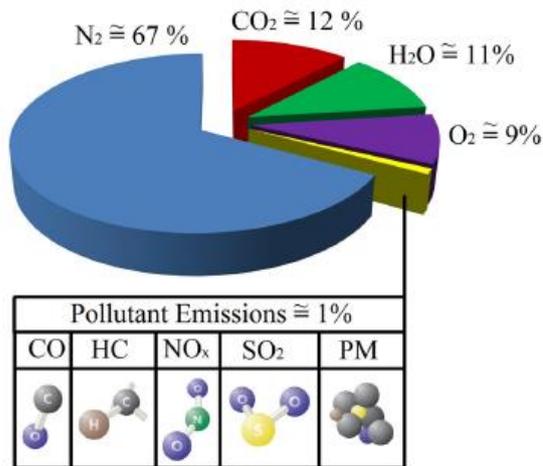
Karakteristik semprotan bahan bakar (*spray tip penetration, spray cone angle, and atomization*) mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses pencampuran bahan bakar-udara di ruang bakar. Karakteristik semprotan bahan bakar solar sebagai acuan menghasilkan penguapan dan pembakaran yang paling baik sehingga karakteristik semprotan biodiesel diinginkan menyerupai bahan bakar solar.



Gambar 2.8 Karakteristik semprotan bahan bakar  
Sumber: Heywood (1988, p.522)

## 2.5 Emisi Gas Buang Diesel

Kandungan hidrogen dan karbon pada solar seperti kebanyakan bahan bakar pada umumnya. Pada kesetimbangan termodinamika yang ideal, pembakaran sempurna hanya akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O pada ruang bakar. Tetapi banyak faktor lain yang membuat gas buang pembakaran menghasilkan senyawa lain, senyawa lain tersebut adalah senyawa yang berbahaya seperti CO, HC, NO<sub>x</sub>, dan PM.



Gambar 2.9 Komposisi gas buang diesel  
Sumber: Resitoglu et al. (2014)

### 2.5.1 Karbon Monoksida

Karbon Monoksida (CO) berasal dari pembakaran tidak sempurna dimana proses oksidasi tidak berlangsung sebagaimana mestinya. Konsentrasi CO bergantung pada campuran bahan bakar dan udara dan konsentrasi terbesar terjadi pada saat faktor udara berlebih ( $\lambda$ ) kurang dari satu yang berarti campuran kaya. Hal ini dapat terjadi khususnya ketika mesin dipaksa untuk berakselerasi secara cepat dimana mesin membutuhkan campuran kaya. Pada campuran kaya, semua karbon (C) pada solar tidak dapat berubah menjadi CO<sub>2</sub> sehingga CO terbentuk. Pembakaran mesin diesel menggunakan campuran miskin dengan rasio udara/bahan bakar yang tinggi ( $\lambda > 1$ ), karena itu pembentukan CO sangat minimal pada mesin disel. Tetapi karena mesin diesel menyemprotkan bahan bakra secara langsung ke ruang bakar, ukuran *droplet* dari bahan bakar menjadi sangat berpengaruh pada proses pembakaran. Ketika *droplet* terlalu besar CO akan mudah terbentuk.

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berbau dan berwarna. Pada manusia jika CO terhirup dan masuk ke dalam peredaran darah akan mudah berikatan dengan

hemoglobin, sehingga kadar oksigen yang dapat diangkut dara menurun dan hal ini dapat menyebabkan sesak nafas, pusing, dan kehilangan kesadaran.

### 2.5.2 Hidrokarbon

Emisi hidrokarbon (HC) terbagi menjadi dua yaitu bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas mentah serta bahan bakar yang terpecah karena reaksi panas dan berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang.

Emisi hidrokarbon (HC) terbentuk dari bahan bakar yang tidak terbakar yang terjadi karena temperatur yang tidak mencukupi pada dinding ruang bakar. Pada titik ini, temperatur campuran udara-bahan bakar jauh lebih rendah dibandingkan dibagian pusat ruang bakar. Penyebab lain adalah adanya *overlap* pada katup sehingga campuran bahan bakar-udara keluar melalui katup buang.

Emisi HC memiliki efek yang berbahaya bagi lingkungan maupun manusia. Emisi HC dan emisi lainnya dapat menyebabkan pembentukan ozon pada permukaan bumi. Emisi HC dapat menyebabkan iritasi pernapasan dan dapat menyebabkan kanker.

### 2.5.3 Particulate Matter

Emisi Partikulat (PM) pada gas buang berasal dari proses pembakaran. Kebanyakan PM berasal dari pembakaran yang tidak sempurna dari hidrokarbon pada bahan bakar dan oli pelumas. Kandungan dari PM pada mesin diesel adalah 41% karbon, 7% bahan bakar yang tidak terbakar, 25% pelumas yang tidak terbakar, 14% sulfur dan air, 13% abu dan komponen lainnya.

Emisi PM pada mesin diesel biasanya berbentuk bola dengan diametere 15-40 nm, dan lebih dari 90% emisi PM lebih kecil dari 1  $\mu\text{m}$  pada diameternya. Pembentukan emisi PM bergantung pada banyak faktor seperti proses pembakaran dan ekspansi, kualitas bahan bakar (kandungan sulfur dan abu, dan temperatur pembakaran). Emisi PM pada mesin diesel lebih tinggi enam hingga sepuluh kali lipat dibandingkan dengan mesin bensin. Emisi PM pada mesin diesel dapat dibagi menjadi tiga komponen: *soot* (jelaga), *soluble organic fraction* (SOF), dan *inorganic fraction* (IF). Lebih dari 50% dari total emisi PM adalah *soot* atau jelaga yang ditandai dengan asap hitam pada gas buang.

Emisi PM dapat menyebabkan gangguan pada manusia seperti asma, kanker paru-paru, dan gangguan kardiovaskular lainnya. Selain itu juga emisi PM juga berkontribusi pada polusi udara, air, dan tanah.

#### 2.5.4 Nitrogen Oksida

Mesin diesel menggunakan udara panas terkompresi untuk memantik bahan bakar. Udara yang sebagian besar terdiri dari oksigen dan nitrogen, dimasukkan ke dalam ruang bakar. Kemudian udara tersebut dikompresikan, setelah itu bahan bakar diinjeksikan tepat sebelum piston mencapai titik mati atas. Bahan bakar terbakar, dan panas dilepaskan. Normalnya pada proses ini nitrogen pada udara tidak bereaksi dengan oksigen di dalam ruang bakar dan dibuang dalam bentuk yang sama. Tetapi ketika temperatur tinggi di atas 1600°C pada ruang bakar menyebabkan nitrogen bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>). terbentuknya emisi NO<sub>x</sub> disebabkan karena temperatur pembakaran dan kandungan oksigen pada pembakaran.

Banyaknya NO<sub>x</sub> yang dihasilkan dari proses pembakaran adakah fungsi temperatur maksimum pada ruang bakar dan konsentrasi oksigen. Banyak dari NO<sub>x</sub> yang terbentuk terjadi pada awal pembakaran ketika piston masih berada sebelum TMA, ataupun pada saat temperatur api pada puncaknya. Semakin meningkatnya temperatur pembakaran, NO<sub>x</sub> yang dihasilkan akan semakin banyak hingga 3 kali lipat setiap kenaikan 100°C.

Emisi NO<sub>x</sub> dari kendaraan sangat berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Emisi NO<sub>x</sub> berkontribusi pada menghasilkan keasaman, pembentukan ozon, dan pembentukan kabut. Di atmosfer, emisi NO<sub>x</sub> bereaksi dengan emisi lainnya dan menghasilkan *tropospheric ozone*. NO dan NO<sub>2</sub> dikenal sebagai racun, tetapi NO<sub>2</sub> memiliki tingkat toksisitas lima kali lebih tinggi dibandingkan dengan NO. NO<sub>2</sub> dapat menyebabkan iritasi pada paru-paru dan menurunkan kekebalan pernapasan. Emisi NO<sub>x</sub> dapat menyebabkan hujan asam yang dapat mempengaruhi ekosistem. NO<sub>2</sub> dan nitrat pada udara dapat menyebabkan kabut yang dapat mempengaruhi jarak pandang.

#### 2.6 Bahan Bakar Diesel beserta Karakteristiknya

Bahan bakar mesin diesel sebagian besar terdiri dari senyawa hidrokarbon dan senyawa non-hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang dijumpai dalam bahan bakar diesel antara lain paraffin, naftalen, olefin, dan aromatik. Sedangkan senyawa non-hidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur non-logam, yaitu sulfur, nitrogen dan oksigen, serta unsur logam seperti vanadium, nikel, dan besi. Bahan bakar diesel lebih berat dibanding bensin. Dengan kata lain, lebih banyak mengandung atom karbon dalam rantai yang lebih panjang. Bahan bakar diesel secara khas dinyatakan dengan C<sub>14</sub>H<sub>30</sub>. Karena lebih berat, bahan bakar diesel jauh lebih stabil dibanding bensin dan menguap pada temperatur yang jauh lebih

tinggi. Akibatnya, bahan bakar diesel memerlukan temperatur yang jauh lebih tinggi untuk menguap (Kristanto, 2015).

Karakteristik umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar diesel antara lain viskositas, angka cetana, berat jenis, nilai kalor pembakaran, volatilitas, kadar residu karbon, kadar air dan sedimen, indeks diesel, titik embun, dan kadar sulfur (Kristanto, 2015). Karakteristik inilah yang dijadikan standar untuk penggunaan minyak diesel, standar minyak diesel Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1  
Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Indonesia

No.	Karakteristik	Batasan		Satuan
		Min	Max	
1	Bilangan Cetana			
	Angka Setana atau	48	-	-
	Indeks Setana	45	-	-
2	Berat Jenis @ 15°C	815	860	kg/m <sup>3</sup>
3	Viskositas @ 40°C	2.0	4.5	mm <sup>2</sup> /s
4	Kandungan Sulfur	-	0,35	%m/m
5	Distilasi 90% volume penguapan		370	
6	Titik Nyala	52	-	°C
7	Titik Tuang	-	18	°C
8	Residu Karbon	-	0.1	%m/m
9	Kandungan Air	-	500	mg/kg
10	Biological Growth	-	-	-
11	Kandungan FAME	-	-	%v/v
12	Kandungan methanol dan etanol	-	-	-
13	Korosi Lempeng Tembaga	-	Kelas 1	Merit
14	Kandungan Abu	-	0.01	%m/m
15	Kandungan Sedimen	-	0.01	%m/m
16	Bilangan Asam Kuat	-	0	mg KOH/g
17	Bilangan Asam Total	-	0.6	mg KOH/g
18	Partikulat	-	10	mg/l
19	Lubrisitas	-	460	mikron
20	Penampilan Visual	Jernih dan Terang		-
21	Warna	1.0		No. ASTM

Sumber: PT. Pertamina (2007)

### 1. Angka Cetana

Angka cetana menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menyala sendiri (*auto ignition*). Angka cetana yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah, begitu pula sebaliknya. Penggunaan bahan bakar mesin diesel yang mempunyai angka cetana tinggi dapat mencegah terjadinya *knocking* karena begitu diinjeksikan ke dalam ruang bakar, bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi.

Angka cetana normalnya berkisar antara 40-60. Jika angka cetana bahan bakar rendah maka *ignition delay* akan terlalu panjang. Ketika hal ini terjadi, bahan bakar yang diinjeksikan akan lebih banyak dari yang diinginkan, sehingga terjadi kenaikan tekanan yang sangat cepat pada awal pembakaran. Hal ini akan menyebabkan efisiensi termal yang rendah dan mesin menjadi kasar. Sebaliknya apabila angka cetana terlalu tinggi, pembakaran akan mulai terlalu cepat pada siklus. Tekanan akan naik sebelum TMA, dan kerja yang dibutuhkan lebih besar pada langkah kompresi (Pulkrabek, 1997).

## 2. Viskositas

Viskositas adalah tahanan aliran yang dimiliki fluida dalam pipa kaliper terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Pengabutan bahan bakar sangat bergantung pada viskositas, tekanan injeksi serta ukuran lubang injektor. Viskositas yang lebih tinggi akan menghasilkan *droplet* pengabutan bahan bakar yang lebih besar dengan momentum tinggi dan memiliki kecenderungan untuk bertumbukan dengan dinding silinder yang relatif lebih dingin. Hal ini menyebabkan pemadaman nyala api dan meningkatkan deposit serta emisi mesin.

Bahan bakar dengan viskositas yang lebih rendah menghasilkan pengabutan yang lebih halus dan tidak dapat masuk jauh lebih ke dalam silinder pembakaran sehingga terbentuk zona bahan bakar kaya yang menyebabkan terbentuknya jelaga. Pada umumnya bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat mudah mengalir dan teratomisasi. Hal ini karena putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula (Kristanto, 2015).

## 3. Massa Jenis

Massa jenis adalah massa dalam volume tertentu yang ukur dalam satuan  $\text{kg/m}^3$  pada temperatur  $15^\circ\text{C}$ . Massa jenis solar meningkat dengan bertambahnya kandungan karbon. Nilai kalor volumetrik juga akan meningkat dengan bertambahnya karbon, hal ini mengindikasikan bahwa meningkatnya massa jenis akan meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar. Dengan adanya hal tersebut, energi yang dimasukkan ke dalam ruang bakar juga akan meningkat. Meningkatnya massa jenis dengan daya mesin yang sama juga akan menurunkan konsumsi bahan bakar. Menurunkan massa jenis juga dapat mengakibatkan meningkatnya konsumsi bahan bakar dan menurunkan emisi partikulat dengan daya yang kemungkinan besar menurun. Standar untuk massa jenis mesin diesel adalah  $820\text{-}860 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4. Titik Nyala

Titik nyala atau *flash point* pada bahan bakar cair merupakan temperatur terendah pada tekanan normal yang ketika diberi penyalaan dari luar akan terjadi pembakaran. *Flash point* adalah parameter keselamatan dan tidak terlalu berpengaruh pada mesin pembakaran. Nilai minimum flash point untuk solar adalah 55°C.

## 2.7 Biodiesel

### 2.7.1 Definisi Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar yang memiliki karakteristik yang sama dengan solar dan diturunkan dari sumber biologis. Biodiesel merupakan *oxygenated fuel* berbasis ester dari sumber biologis terbarukan. Secara kimiawi, biodiesel merupakan monoalkil ester dari rantai panjang asam lemak. Biodiesel biasanya diproduksi melalui reaksi minyak nabati atau hewani dengan methanol atau etanol dengan katalis untuk memisahkan etil ester (biodiesel) dan gliserin.

Tabel 2.2  
Karakteristik teknis biodiesel

Common name	Biodiesel
Common chemical name	Fatty acid (m)ethyl ester
Common formula range	C <sub>14</sub> -C <sub>24</sub> methyl esters or C <sub>15-25</sub> H <sub>28-48</sub> O <sub>2</sub>
Kinematic viscosity range (mm <sup>2</sup> /s, at 313 K)	3.3-5.2
Density range (kg/m <sup>3</sup> , at 288 K)	860-894
Boiling point range (K)	>475
Flash point range (K)	430-455
Distillation range (K)	470-600
Vapor Pressure (mmHg, at 295 K)	<5
Solubility in Water	Insoluble in water
Physical appearance	Light to dark yellow, clear liquid
Odor	Light musty/soapy odor
Biodegradability	More biodegradable than petro diesel
Reactivity	Stable

Sumber: Demirbas (2008, p.114)

### 2.7.2 Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel

Kelebihan biodiesel sebagai bahan bakar mesin diesel adalah:

1. Terbarukan
2. Efisiensi pembakaran yang lebih tinggi
3. Kandungan sulfur yang lebih rendah
4. Angka cetana yang lebih tinggi
5. Mudah terurai secara alami

6. Dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak berbasis minyak mentah

Kekurangan utama dari penggunaan biodiesel adalah viskositas yang lebih tinggi, kandungan energi yang lebih rendah, cloud point dan pour point yang lebih tinggi, emisi  $\text{NO}_x$  yang lebih tinggi, daya mesin menurun. Kekurangan secara teknis dari biodiesel adalah mudah mengental pada suhu rendah, mengurangi kepadatan energi, dan degradasi ketika disimpan dalam waktu yang lama.

Biodiesel mempunyai potensi yang signifikan untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada mesin dengan penyalaan tekanan. Biofuel tidak mengandung racun, dapat terurai di alam, dan bebas kandungan sulfur dan zat karsinogenik karena didapatkan dari alam. Biodiesel adalah produk dari tumbuhan dan mengandung oksigen pada molekulnya, hal ini membuat biodiesel menghasilkan pembakaran yang lebih bersih dari solar biasa.

### 2.7.3 Bahan Bakar Campuran Biodiesel-Solar

Biodiesel dapat digunakan secara murni atau dengan dicampurkan ke dalam solar. Sistem penamaan untuk campuran biodiesel-solar diawali dengan huruf B yang kemudian diikuti dengan angka yang menunjukkan persentase kandungan biodiesel, untuk biodiesel murni disebut dengan B100. Campuran biodiesel 20% dengan 80% dapat dipakai secara umum pada mesin diesel tanpa modifikasi khusus. Biodiesel murni (B100) dapat digunakan pada mesin diesel dengan modifikasi agar tidak terjadi penurunan performa mesin. (Ozcanli et. al, 2015).

Fungsi dari penambahan biodiesel ke dalam solar adalah untuk meningkatkan lubrikasi di ruang bakar dan untuk menurunkan emisi gas buang. Sementara itu untuk penggunaan biodiesel 100% ditujukan untuk menggantikan solar biasa kedepannya.

### 2.7.4 Karakteristik Biodiesel

Biodiesel dikarakterisasi berdasarkan viskositas, massa jenis, angka cetana, titik tuang dan endapan, range distilasi, flash point, kadar abu, kadar sulfur, residu karbon, kadar asam, dan nilai kalor (HHV).

1. Viskositas, massa jenis, dan *flash point*

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting pada biodiesel karena berpengaruh terhadap kerja dari sistem injeksi, secara khusus pada temperatur rendah viskositas bahan bakara meningkat dan mempengaruhi fluiditas dari bahan bakar. Viskositas yang tinggi menyebabkan atomisasi bahan bakar menjadi lebih buruk. Semakin rendah

viskositas dari biodiesel proses pembentukan *droplet* dan atomisasi bahan bakar akan semakin mudah.

Nilai *flash point* dari minyak nabati metil ester lebih rendah dari minyak nabati biasa. Kenaikan massa jenis dapat meningkatkan viskositas.

## 2. Angka Cetana, *Cloud Point*, dan *Pour Point*

Angka cetana dari biodiesel biasanya lebih tinggi dari solar biasa. Rantai karbon asam lemak yang lebih panjang dan molekul yang lebih jenuh menyebabkan angka cetan lebih tinggi. Angka cetana biodiesel yang berasal dari lemak hewani lebih tinggi dari minyak nabati.

Dua parameter penting untuk keadaan temperatur rendah pada bahan bakar adalah *cloud point* dan *pour point*. *Cloud point* adalah temperatur dimana edapan mulai terlihat ketika suhu bahan bakar menurun. *Pour point* adalah temperatur terendah bahan bakar bisa mengalir. Biodiesel memiliki nilai *cloud point* dan *pour point* yang lebih tinggi dibandingkan solar biasa.

## 3. Efisiensi Pembakaran Biodiesel

Kandungan oksigen pada bahan bakar meningkatkan efisiensi pembakaran karena adanya peningkatan homogenitas dari oksigen dengan bahan bakar selama proses pembakaran. Oleh karena itu efisiensi pembakaran biodiesel lebih tinggi dari solar biasa.

Nilai kalor (*Higher Heating Value*) dari biodiesel cenderung tinggi. Nilai HHV biodiesel berkisar antara 39-41 MJ/kg, sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan bensin (46 MJ/kg) dan solar (43 MJ/kg) tetapi lebih tinggi dari batu bara (32-37 MJ/kg). Perbandingan kandungan kimia dan HHV dari biodiesel dan solar dapat dilihat pada Gambar 2.11.

Chemical property	Biodiesel (methyl ester)	D2 fuel
Ash (wt.%)	0.002–0.036	0.006–0.010
Sulfur (wt.%)	0.006–0.020	0.020–0.050
Nitrogen (wt.%)	0.002–0.007	0.0001–0.003
Aromatics (vol.%)	0	28–38
Iodine number	65–156	0
HHV (MJ/kg)	39.2–40.6	45.1–45.6

Gambar 2.11 Kandungan kimia dan *higher heating value* biodiesel

Sumber: Demirbas (2008:146)

Standar untuk karakteristik biodiesel yang beredar di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3  
Standar Biodiesel Indonesia

No.	Karakteristik	Batasan		Satuan
		Min	Max	
1	Masa jenis @ 40°C	850	890	kg/m <sup>3</sup>
2	Viskositas Kinematik @ 40°C	2.3	6.0	mm <sup>2</sup> /s
3	Angka Setana	51	-	-
4	Titik Nyala	100	-	°C
5	Titik Kabut	-	18	°C
6	Korosi Lempeng Tembaga	Nomor 1		
	Residu Karbon			
7	- dalam percontoh asli, atau	-	0.05	% massa
	- dalam 10% ampas distilasi	-	0.3	
8	Air dan Sedimen	-	0.05	% volume
9	Temperatur Distilasi 90%	-	360	°C
10	Abu Tersulfatkan	-	0.02	% massa
11	Belerang	-	50	mg/kg
12	Fosfor	-	4	mg/kg
13	Angka Asam	-	0.5	mg KOH/g
14	Gliserol Bebas	-	0.02	% massa
15	Gliserol Total	-	0.24	% massa
16	Kadar ester metil	96.5	-	% massa
17	Angka Iodium	-	115	% massa
	Kestabilan oksidasi			
18	Periode induksi metode rancimat		480	menit
	Atau periode induksi metode petro oksidasi		36	
19	Monogliserida	-	0.8	% massa

Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI 7182 (2015)

## 2.8 Biodiesel *Castor Oil*

### 2.8.1 *Castor Oil*

Minyak Jarak Kepyar (*Castor oil*) adalah salah satu minyak non konsumsi yang dapat dijadikan biodiesel. *Castor oil* didapat dari biji minyak jarak kepyar (*Ricinus communis L.*) yang dapat tumbuh di berbagai temperatur di dunia. *Castor oil* mengandung 80-90% asam ricinoleic (12-hydroxy-9-cisooctadecenoic acid), dimana nilai ini sangat tinggi dibanding minyak nabati lainnya (Shrirame, 2011).

### 2.8.2 Karakteristik *Castor oil* Biodiesel

Tabel 2.6  
Karakteristik *castor oil* biodiesel

Properties	D	B5	B10	B25	B50	COME
Density (gram/cm <sup>3</sup> )	0,829	0,833	0,837	0,846	0,869	0,92
LHV (kcal/kg)	10,790	10,770	10,612	10,426	9,915	0,983
Cetane Number	54	57,3	61,8	65,5	70,9	80,2
Pour Point (°C)	-18,1	-18,8	-20	-23,4	-26,6	-30
Viscosity (cSt)	2,4	2,6	2,9	3,9	7,1	11,5
Sulphur Content (wt%)	0,2348	0,2279	0,177	0,1336	0,1063	0
Copper strip corrosion	1B	1B	1B	1B	1B	1B

Sumber: Ozcanli et al. (2014)

Berdasarkan Gambar 2.12, angka cetana dari biodiesel *castor oil* (*Castor oil Methyl Ester*) lebih tinggi dibandingkan dengan solar biasa. Hal ini menjadikan COME dapat berfungsi sebagai *ignition improver* pada mesin diesel, dengan angka cetana yang tinggi maka waktu *ignition delay* akan berkurang. *Pour point* dari COME juga lebih tinggi dibandingkan solar biasa, hal ini menjadikan COME dapat beroperasi pada temperatur yang lebih rendah dibanding solar biasa.

Tetapi biodiesel *castor oil* ini juga memiliki kekurangan pada nilai kalor (LHV), viskositas, dan massa jenis. Ketiga nilai tersebut lebih rendah dibandingkan diesel biasa dan dapat mengganggu performa dari mesin diesel itu sendiri (Ozcanli, 2015).

### 2.8.3 Penggunaan Biodiesel *Castor Oil*

Biodiesel *castor oil* dapat dicampur dengan solar hingga 40% untuk memenuhi standar EN 590 untuk solar tanpa melakukan modifikasi apapun pada mesin (Canoira, 2010). Penggunaan biodiesel *castor oil* dan campurannya dengan mesin diesel tanpa modifikasi telah diteliti oleh Ozcanli et al 2015. Kendala dari penggunaan B100 dan B50 pada mesin diesel adalah viskositasnya dan massa jenisnya yang terlalu tinggi sehingga tidak memenuhi

standar spesifikasi solar biasa. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *castor oil* biodiesel dan campurannya dapat menurunkan tingkat emisi CO dan CO<sub>2</sub>, sementara untuk emisi NO<sub>x</sub> meningkat. Penggunaan campuran *castor oil* biodiesel 25% pada solar menghasilkan emisi gas buang paling baik untuk digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi.

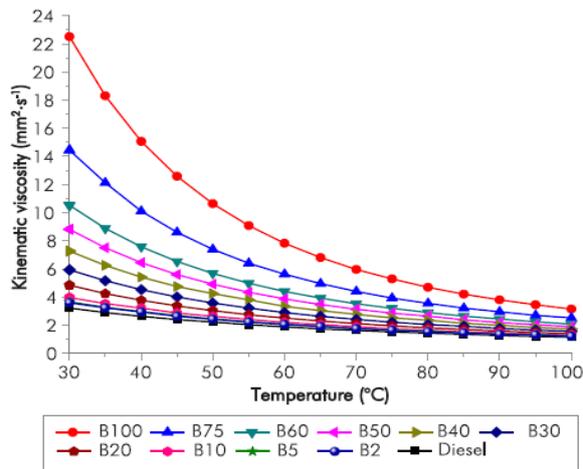
## 2.9 Preheating pada Biodiesel

Viskositas yang tinggi dari biodiesel dapat mempengaruhi pembentukan *droplet* dan atomisasi bahan bakar. Penggunaan biodiesel dan campurannya membuat pembentukan *droplet* dan atomisasi bahan bakar menjadi buruk. Penguapan dan pencampuran dari bahan bakar-udara juga akan terganggu karena viskositas yang lebih tinggi

Ada beberapa cara untuk menurunkan viskositas, contohnya: pemanasan atau pirolisis, pencampuran, mikro-emulsifikasi, dan transesterifikasi. Viskositas akan menurun secara bertahap ketika temperatur preheating meningkat. Pemanasan juga akan menyelesaikan masalah dari proses injeksi bahan bakar karena dapat mengurangi diameter dari *droplet* bahan bakar yang disebabkan oleh tegangan permukaan dan viskositas. Dengan viskositas yang turun juga akan menghasilkan pembentukan semprotan dan proses pembakaran yang lebih baik (Mustaffa, 2012).

Gokdogan et al. (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap viskositas kinematik dari *castor oil* biodiesel. Hasil penelitian tersebut menunjukkan semakin tinggi temperatur, viskositas kinematik akan menurun. Penelitian tersebut membandingkan B100 *castor oil* biodiesel dengan solar dan juga campurannya. Temperatur diambil dari 30-100 °C, hasilnya viskositas kinematik akan turun seiring dengan bertambahnya temperatur.

Tetapi perlu diingat temperatur bahan bakar yang terlalu panas juga akan merugikan karena akan merusak sebagian sistem dari pompa tekanan tinggi, terutama seal dari karet yang rentan terhadap suhu tinggi. Selain itu Penurunan viskositas juga dapat mengakibatkan turunnya sifat pelumasan bahan bakar (Priyanto, 2015) . Hal itu terjadi karena mesin diesel biasanya dijalankan dengan bahan bakar yang dipasok pada suhu kamar. Pemanasan yang sesuai akan memberikan viskositas rendah mirip dengan diesel fuel, tetapi tidak begitu tinggi sehingga tidak merusak sistem injeksi.



Gambar 2.13 Hubungan temperatur terhadap viskositas kinematik *castor oil* biodiesel  
Sumber: Gokdogan et al. (2015)

## 2.10 Campuran Biodiesel dan Solar

Gokdogan et al. (2014) juga melakukan penelitian tentang pencampuran *castor oil* biodiesel dengan solar. Campuran mulai dari B2, B5, B10, B20, B30, B40, B50, B60, B75, B100. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pencampuran biodiesel dengan solar biasa dapat menurunkan viskositas. Campuran sampai pada B40 (40% biodiesel, 60% solar) mendekati standar spesifikasi solar biasa tanpa dilakukan pemanasan.

Fuel Properties	Density at 15°C, kg·m <sup>-3</sup>	Kinematic viscosity at 40°C, mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	Flash point, °C	Water Content, mg·kg <sup>-1</sup>	Calorific value, MJ·kg <sup>-1</sup>	pH	Copper strip corrosion (3h at 50°C)
<b>Fuels</b>							
CO	964.37	241.465	205	1117.9	38.031	5.5	1a
B100	932.40	15.069	182	1067.7	38.600	7	1a
B75	902.11	10.113	81	908.88	40.538	6.5	1a
B60	883.32	7.580	71	843.54	41.725	6.5	1a
B50	873.97	6.449	69	712.04	42.157	6.5	1a
B40	862.12	5.413	66	695.68	43.712	6	1a
B30	851.71	4.528	64	421.63	44.366	6	1a
B20	839.62	3.772	62	219.32	45.177	5.5	1a
B10	828.88	3.213	61	188.09	46.480	5.5	1a
B5	823.45	2.960	60	95.067	47.025	5	1a
B2	822.43	2.937	59	61.928	47.101	5	1a
Diesel	820.23	2.627	58	22.916	47.445	5	1a

Gambar 2.14 Karakteristik campuran biodiesel-solar  
Sumber: Gokdogan et al. (2015)

### 2.11 Pengaruh Viskositas Bahan Bakar terhadap Proses Atomisasi Bahan Bakar

Atomisasi adalah proses terbentuknya butiran kecil bahan bakar yang berkecepatan tinggi. Atomisasi yang baik membuat pembakaran menjadi lebih baik pada mesin injeksi langsung, dimana hal ini akan mempengaruhi emisi dan efisiensi (C.E Ejim, 2007).

Bahan bakar dimasukkan ke dalam ruang bakar melalui *nozzle* dengan perbedaan tekanan yang sangat tinggi. Tekanan injeksi biasanya sebesar 200 sampai 1700 atm. Perbedaan tekanan yang tinggi sepanjang injektor dibutuhkan agar bahan bakar cair yang diinjeksikan masuk ke dalam ruang bakar dengan kecepatan yang tinggi sehingga bahan bakar teratomisasi menjadi bentuk droplet kecil yang berguna agar penguapan bahan bakar semakin cepat (Heywood, 1987).

Viskositas yang tinggi dapat mempengaruhi kecepatan alir pada *nozzle* injektor yang. Nilai viskositas yang tinggi juga menyebabkan bilangan Reynolds semakin tinggi. Dua hal tersebut menyebabkan terjadinya penundaan pembentukan butiran dan meningkatkan ukuran dari butir pada semprotan bahan bakar. Pada viskositas yang sangat tinggi, semprotan dapat berubah menjadi tetesan yang besar. Hal ini akan membuat pembentukan butir yang halus sulit terjadi (Lefebvre, 2017).

Penurunan viskositas pada biodiesel akan membuat bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar dapat membentuk butiran-butiran yang lebih halus, penetrasi semprotan yang lebih pendek, dan sudut semprotan yang lebih besar (Priyanto, 2015). Dengan terbentuknya butiran yang lebih halus, penguapan bahan bakar akan semakin cepat karena area yang terkena panas dari ruang bakar semakin besar. Penguapan bahan bakar menjadikan fasenya sama dengan udara sehingga didapatkan campuran yang berfase sama (homogen) antara bahan bakar dengan udara.

### 2.12 Pengaruh Atomisasi Bahan Bakar terhadap Emisi Gas Buang

Pembentukan droplet dari atomisasi yang kurang baik akan menghasilkan pembentukan endapan karbon yang lebih tinggi, hal ini terjadi karena bahan bakar sulit menguap sehingga sulit untuk bercampur dengan udara di dalam ruang bakar (H. K. Suh, 2016). Bahan bakar yang tidak tercampur dengan udara akan menghasilkan emisi hidrokarbon dan membentuk jelaga. Proses atomisasi yang kurang baik akan menghasilkan diameter droplet yang lebih besar (dengan satuan *Sauter Mean Diameter*), berkurangnya nilai SMD pada droplet akan menghasilkan emisi CO, HC, dan NO yang lebih rendah (Jankowski, 2015).

### 2.13 Hipotesis

Penggunaan biodiesel *castor oil* diharapkan dapat menurunkan emisi karena kandungan oksigen dan angka cetana yang lebih tinggi dibanding solar yang dapat membuat pembakaran semakin sempurna. Tetapi biodiesel *castor oil* memiliki viskositas yang lebih tinggi dari biodiesel pada umumnya sehingga proses pembakaran menjadi tidak sempurna dan menghasilkan emisi yang lebih tinggi. Pemanasan dan pencampuran biodiesel dengan solar digunakan untuk menurunkan viskositas dari biodiesel sehingga dapat mendekati viskositas solar biasa. Dengan viskositas yang mendekati solar diharapkan pembakaran dapat berjalan semakin sempurna dan emisi gas buang dapat berkurang.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata. Metode ini digunakan untuk meneliti hubungan sebab akibat antar variabel suatu proses seperti kejadian sebenarnya. Metode ini memusatkan kepada satu atau lebih variabel proses tertentu. Variabel lain harus dikontrol sehingga hanya variabel penelitian yang memberikan pengaruh terhadap perubahan proses yang terjadi. Pengujian dilakukan secara langsung untuk melihat pengaruh temperatur pemanasan dan variasi campuran biodiesel *castor oil-solar* terhadap emisi gas buang mesin diesel.

### 3.2 Variabel Penelitian

Jenis-jenis variabel yang digunakan pada penelitian ini:

#### 1. Variabel bebas (*Independent Variabel*)

Variabel bebas merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi penelitian hal ini meliputi faktor-faktor yang diukur dan divariasi oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati antara lain:

- a. Campuran biodiesel-solar sebanyak: B0 (0% biodiesel, 100% solar); B10 (10% biodiesel, 90% solar), B20 (20% biodiesel, 80% solar), B30 (30% biodiesel, 70% solar)
- b. Variasi Temperatur pemanasan bahan bakar 40, 50, dan 60°C

#### 2. Variabel terikat (*Dependent Variabel*)

Variabel terikat merupakan hasil dari variabel bebas. Variabel terikat memiliki hasil yang berbeda-beda tergantung oleh manipulasi variabel bebasnya. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu:

- a. Kadar CO
- b. Kadar CO<sub>2</sub>
- c. Kadar HC

#### 3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang dibuat konstan sehingga hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat tidak terpengaruh faktor-faktor yang tidak teliti. Berikut adalah variabel terkontrol yang digunakan pada penelitian ini.

- a. Kondisi *engine* stabil (*stationary*)
- b. *Timing injection* pada keadaan standar
- c. Temperatur bahan bakar konstan selama pengambilan data
- d. Putaran mesin 1600 rpm sampai 2400 rpm dengan interval 200 rpm
- e. Rasio kompresi mesin standar

### 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : April 2018 – selesai

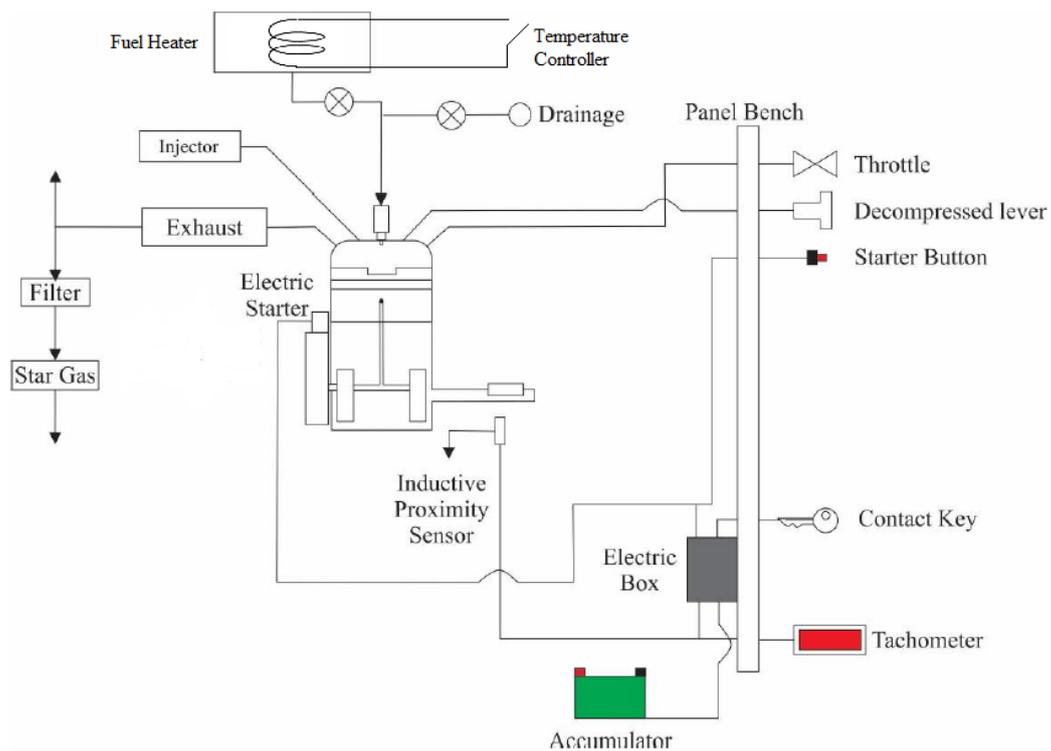
Tempat : Laboratorium Motor Bakar dan Laboratorium Riset Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

### 3.4 Instalasi Penelitian



*Gambar 3.1 Diesel engine test bench*

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)



Gambar 3.2 Skema instalasi *diesel engine test bench*

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

Gambar 3.2 adalah skema alat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini. Mesin diesel yang digunakan pada penelitian ini adalah Yanmar L70N. Mesin ini memiliki kapasitas 330 cc satu silinder dengan sistem injeksi langsung, berpendingin udara, dan starter elektrik.



Gambar 3.3 Mesin diesel yanmar 170n

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2018)

Tabel 3.1  
Spesifikasi Mesin Diesel

Type	4-stroke Single cylinder
Sistem Pembakaran	Direct injection system
Starting system	Electric motor starter
Volume Silinder	320 cc
Bore x Stroke	78 mm x 67 mm
Perbandingan kompresi	20 : 1
Maximum rpm	3000 rpm
Bahan bakar	Solar/diesel
Pendingin	Forced air cooling with flywheel fan
Lubricating oil/Pelumasan	SAE 15W – 30 or higher
Lubricating oil capacity	1,15 liter
Daya poros	4,9 kW (6,7 HP) / 3000 rpm
Merk	Yanmar, Italy S.p.A.

Sumber: Yanmar

Pada sisi *exhaust* dari mesin dipasang *exhasut gas analyzer* yang digunakan untuk mengukur gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel. *Exhaust gas analyzer* menggunakan Stargas *Gas Analyzer* yang diproduksi oleh Tecnotest, alat ini langsung tersambung dengan pipa gas buang dari mesin. Data yang didapat dari alat ini adalah kadar gas buang CO, CO<sub>2</sub>, dan HC.



Gambar 3.4 Stargas gas analyzer

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2018)

Tabel 3.2  
Spesifikasi stargas gas analyzer

Type	Stargas 898
Merk	Tecnotest
Negara pembuat	Italia
Jangkauan Pengukuran	
CO	0 ÷ 15,000 % vol. (res. 0,001)
CO <sub>2</sub>	0 ÷ 20,00 % vol. (res. 0,01)
HC	0 ÷ 30000 ppm vol. (res. 1)
O <sub>2</sub>	0 ÷ 25,00 % vol. (res. 0,01)
NO <sub>x</sub>	0 ÷ 5000 ppm vol. (res. 1)
Lambda	0,5 ÷ 2,000 (res. 0,001)

*Tachometer* digunakan untuk membaca putaran mesin. *Tachometer* yang digunakan adalah jenis *proximity*. Cara kerja *tachometer* adalah dengan meletakkan magnet pada poros mesin dan kemudian sensor akan membaca putaran ketika sensor bertemu magnet. Putaran mesin dalam rpm dapat dilihat pada *panel bench*.



Gambar 3.5 Layar *tachometer*

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2018)

Tabel 3.3

Spesifikasi *Tachometer*

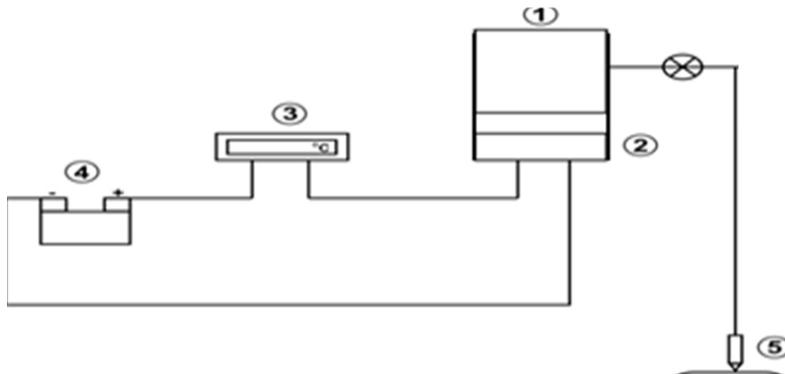
<i>Power Requirement</i>	DC 8-15V / AC 6-18V
<i>Measure range</i>	3,8 ~ 9999 RPM
<i>Error Range</i>	0.1 % (0,5-1,5 RPM)
<i>Clear Zero</i>	<i>Automatic</i>
<i>Clear zero time</i>	<i>About 10s</i>
<i>Refresh Frequency</i>	0,2s (120-1200) RPM, 0,25 (2400-9999) RPM
<i>Response Frequency</i>	100 Hz
<i>Tachometer size</i>	78 x 42 x 13 mm
<i>Hall proximity model</i>	NJK - 5002C
<i>Detected objects</i>	Magnet
<i>Detection range</i>	1 - 10 mm
<i>Sensor size</i>	37 x 12 x 10 mm

*Panel bench* digunakan untuk mengoperasikan mesin diesel. *Panel bench* terdiri dari tuas *throttle* yang digunakan untuk mengoperasikan *governor* pada mesin, tombol *starter* untuk menyalakan mesin, tuas dekompresi untuk mematikan mesin, dan kunci kontak untuk mengaktifkan kelistrikan.

Viskometer, aerometer, dan kalorimeter bom digunakan menguji karakteristik dari bahan bakar campuran biodiesel *castor oil*-solar yang berupa viskositas, densitas, dan nilai kalor. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran dari biodiesel *castor oil* dengan solar. Campuran yang digunakan terdiri dari B10, B20, dan B30.

### 3.5 Preheating Bahan Bakar

*Preheating* dilakukan tepat sebelum bahan bakar masuk ke dalam sistem injeksi pada mesin. Proses ini dilakukan dengan memanaskan bahan bakar dalam wadah tertutup aluminium dengan pemanas berupa kumparan tembaga yang dialiri arus listrik. Arus listrik didapat dari baterai sebesar 24V. Pemanasan dilakukan hingga mencapai temperatur yang telah ditentukan sebelumnya.



Keterangan: (1)Wadah aluminium (2) Kumparan pemanas (3) Kontroler temperatur (4) Baterai (5)Sistem Injeksi

Gambar 3.6 Skema pemanasan bahan bakar

Sumber: Dokumentasi pribadi (2018)

Temperatur pemanas diatur oleh *digital temperatur controller*. Alat ini berfungsi untuk menjaga temperatur agar konstan pada saat pengambilan data. Sensor temperatur pada kontroler temperatur ditempatkan pada wadah pemanas untuk memberikan input kepada *digital temperature controller*. Kontroler ini tersambung dengan kelistrikan pemanas sehingga apabila temperatur sudah mencapai pada titik yang diinginkan, temperatur akan terus dijaga konstan oleh alat ini. Dengan begitu temperatur bahan bakar selama pengambilan data dapat konstan.



Gambar 3.7 Digital temperature controller

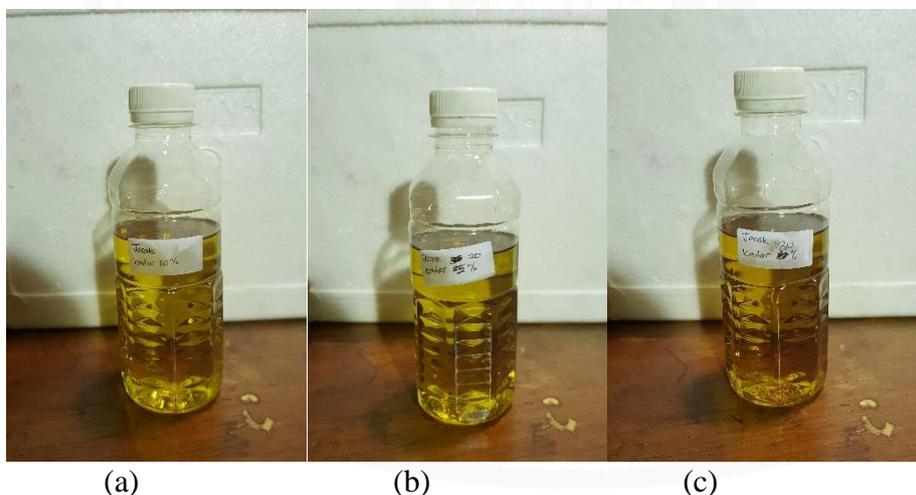
Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2018)

Tabel 3.4  
Spesifikasi *Digital Temperature Controller*

<i>Working Voltage</i>	90-250 V
<i>Rated Current</i>	10 A
<i>Power Consumption</i>	3 W
<i>Measurement Range</i>	-50-110 °C
<i>Measurement Precision</i>	0.1 °C
<i>Measurement Error</i>	0.3 °C
<i>Control Precision</i>	0.1 °C
<i>Item Size</i>	5 cm

### 3.6 Proses Pencampuran Bahan Bakar

Persiapan bahan bakar diawali dengan mencampurkan biodiesel *castor oil* dengan solar dengan persentase volume 10, 20, dan 30% biodiesel. Pertama biodiesel dituang ke dalam gelas ukur dengan volume yang telah dihitung sebelumnya begitu juga dengan solar. Setelah itu tuang biodiesel dan solar ke dalam gelas ukur untuk dilakukan pengadukan hingga tercampur. Kemudian letakkan biodiesel pada wadah tertutup agar tidak ada kotoran yang masuk ke dalam campuran biodiesel-solar. Campuran biodiesel-solar pada penelitian ini tidak mengalami pengendapan setelah didiamkan selama satu minggu yang berarti campuran sudah bercampur dengan baik dan homogen.



Gambar 3.8 (a) B10, (b) B20, (c) B30  
Sumber: Dokumentasi pribadi (2018)

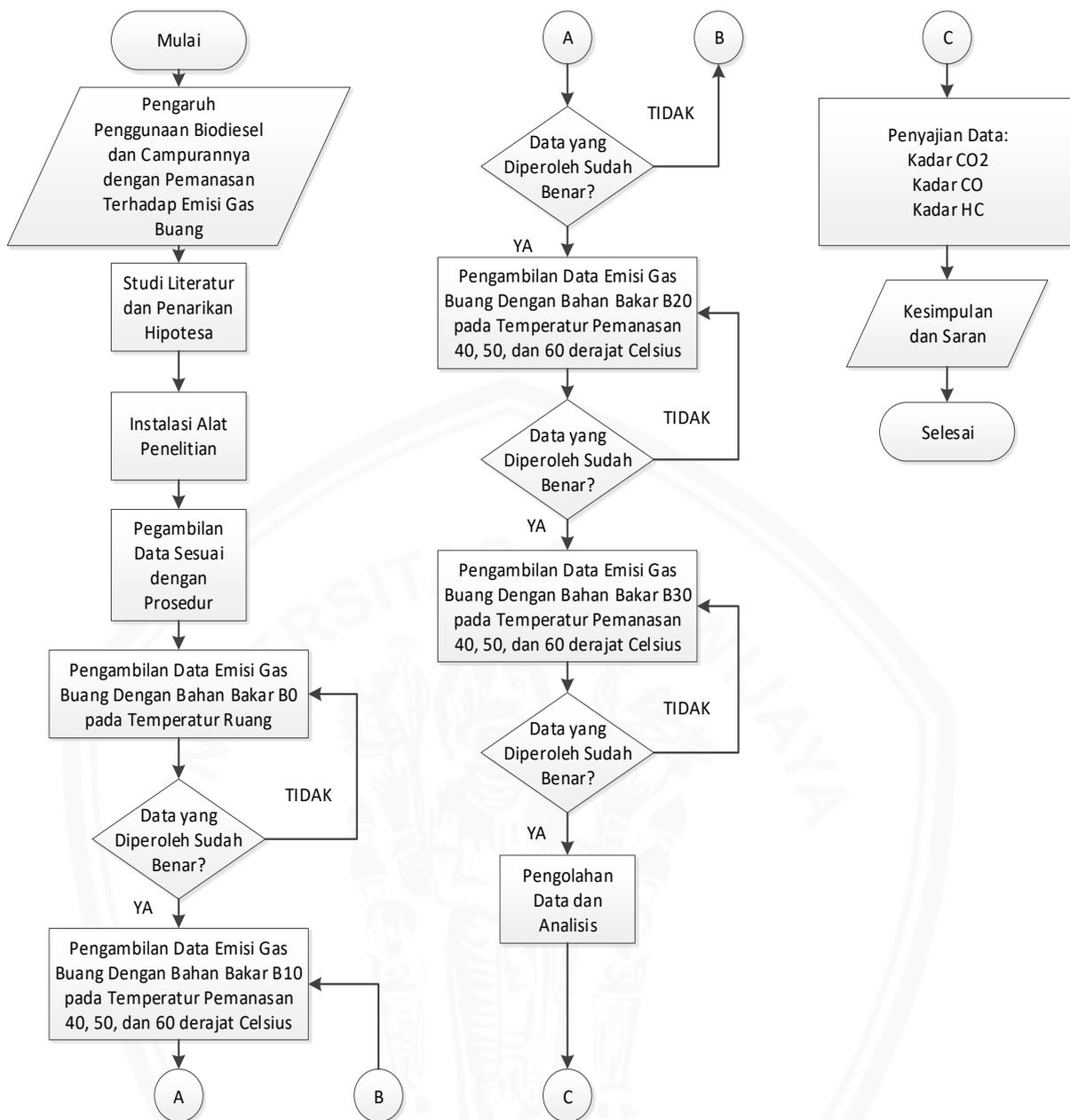
### 3.7 Prosedur Pengambilan Data

1. Siapkan alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data
2. Pastikan seluruh komponen baik mekanik, kelistrikan, dan alat ukur telah terpasang dengan baik

3. Masukkan bahan bakar dengan persentase yang telah ditentukan ke dalam pemanas mula
4. Atur *digital temperature controller* yang telah ditentukan
5. Pastikan temperatur sudah mencapai titik yang ditentukan
6. Mesin dinyalakan sesuai dengan prosedur pada *manual book*
7. Setelah mesin menyala, biarkan beberapa saat agar kondisi *steady* dapat tercapai
8. Atur putaran mesin pada rpm yang ditentukan yaitu 1600-2200 dengan cara mengoperasikan *governor*
9. Sambungkan pipa gas buang dengan *exhaust gas analyser*
10. Melakukan pengambilan data sebanyak tiga kali pada kondisi temperatur yang telah ditentukan
11. Ulangi langkah 4, 5, 8, 9, dan 10
12. Matikan mesin jika pengambilan data telah satu variasi komposisi bahan bakar telah selesai
13. Ulangi langkah 3-12 untuk variasi komposisi bahan bakar lainnya
14. Jika pengambilan data telah selesai biarkan mesin menyala beberapa saat, lalu kemudian dimatikan
15. Kembalikan seluruh alat pada tempatnya dan pastikan sistem kelistrikan sudah tidak aktif

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

*Flowchart* atau diagram alir merupakan sebuah diagram dengan simbol-simbol grafis yang menyatakan aliran algoritma atau proses yang menampilkan langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk kotak, beserta urutannya dengan menghubungkan masing masing langkah tersebut menggunakan tanda panah. *Flowchart* dalam penelitian ini dapat dilihat dari Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Diagram alir penelitian  
 Sumber: Dokumentasi pribadi (2018)



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian Karakteristik Pembakaran

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan bakar yang akan digunakan pada penelitian. Karakteristik bahan bakar menentukan sifat pembakaran pada mesin diesel dan dapat mempengaruhi emisi gas buang yang dihasilkan. Sifat pembakaran pada mesin diesel sangat dipengaruhi oleh proses atomisasi dari bahan bakar. Atomisasi yang baik akan menghasilkan campuran yang lebih homogen sehingga pembakaran dapat berjalan lebih baik. Salah satu karakteristik yang mempengaruhi proses atomisasi bahan bakar adalah viskositas dari bahan bakar tersebut (Lefebvre, 2017). Untuk itu pengujian viskositas dilakukan agar dapat memprediksi sifat pembakaran yang akan terjadi di dalam ruang bakar.

Pengujian dilakukan dengan viskometer dengan cara kerja menghitung waktu yang dibutuhkan fluida untuk mengisi wadah ukur. Semakin cepat waktunya menandakan viskositas yang semakin rendah begitu pula sebaliknya. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan viskositas dari campuran biodiesel-solar dengan solar. Untuk mendapatkan viskositas yang mendekati solar, campuran biodiesel-solar dipanaskan sampai temperatur tertentu. Hasil pengujian karakteristik bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1  
Karakteristik Bahan Bakar

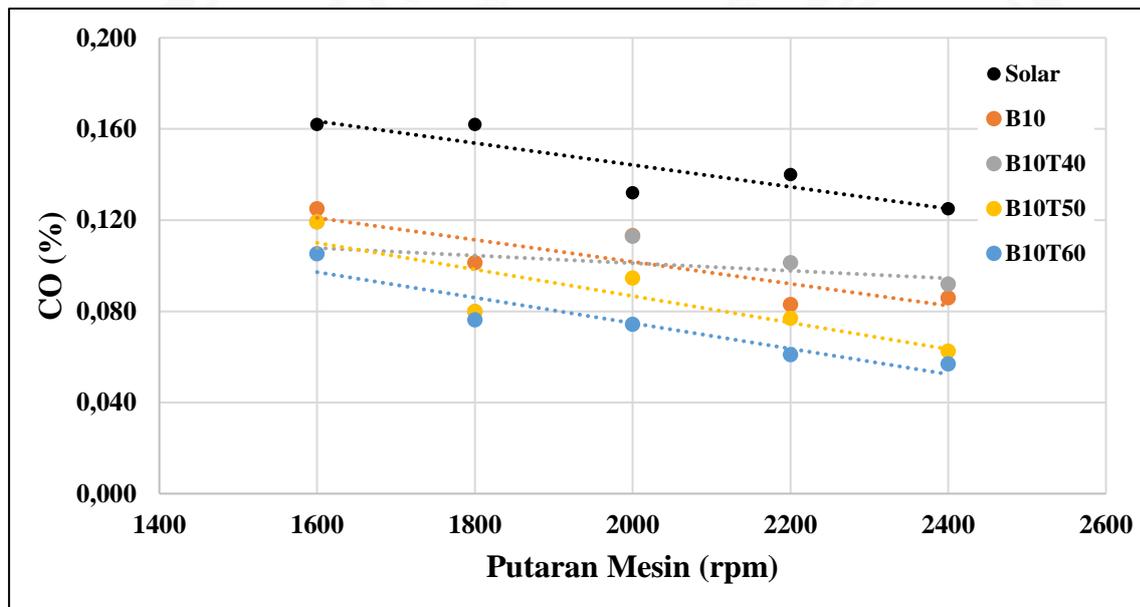
Karakteristik	B30	B20	B10	Solar
Massa Jenis (gram/cm <sup>3</sup> )	0,852	0,843	0,838	0,835
Viskositas Kinematik (cSt)				
Pada Temperatur:				
28	7,4	6,09	4,79	3
40	6,72	5,8	4,57	-
50	6,2	5,4	4,03	-
60	5,72	5	3,97	-
Nilai Kalor (kal/gram)	10258	10306	10400	10742

## 4.2 Pembahasan

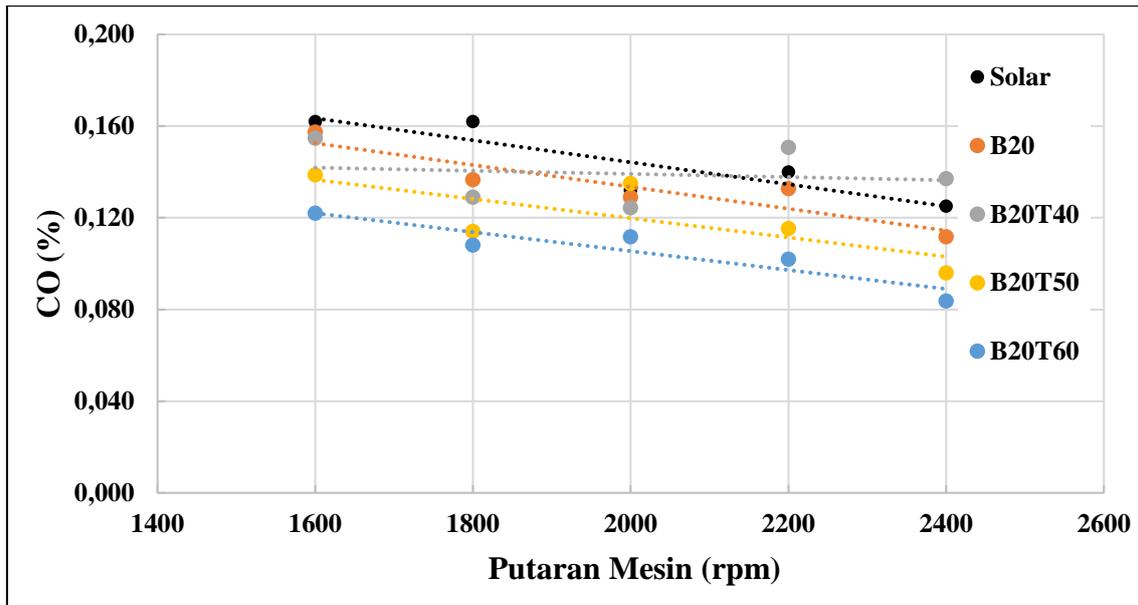
Kandungan hidrogen dan karbon pada solar seperti kebanyakan bahan bakar pada umumnya. Pada kesetimbangan termodinamika yang ideal, pembakaran sempurna hanya akan menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  pada ruang bakar. Tetapi banyak faktor lain yang membuat gas buang pembakaran menghasilkan senyawa lain, senyawa lain tersebut adalah senyawa yang berbahaya seperti CO dan HC.

Emisi CO sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena jika terhirup dapat berikatan dengan hemoglobin (Hb) pada darah dan menghalangi penyerapan oksigen dalam tubuh (Harish, 2016). Emisi HC dapat menyebabkan pembentukan ozon di permukaan bumi dan apabila terhirup manusia dapat menyebabkan iritasi pernapasan (Resitoglu, 2014).

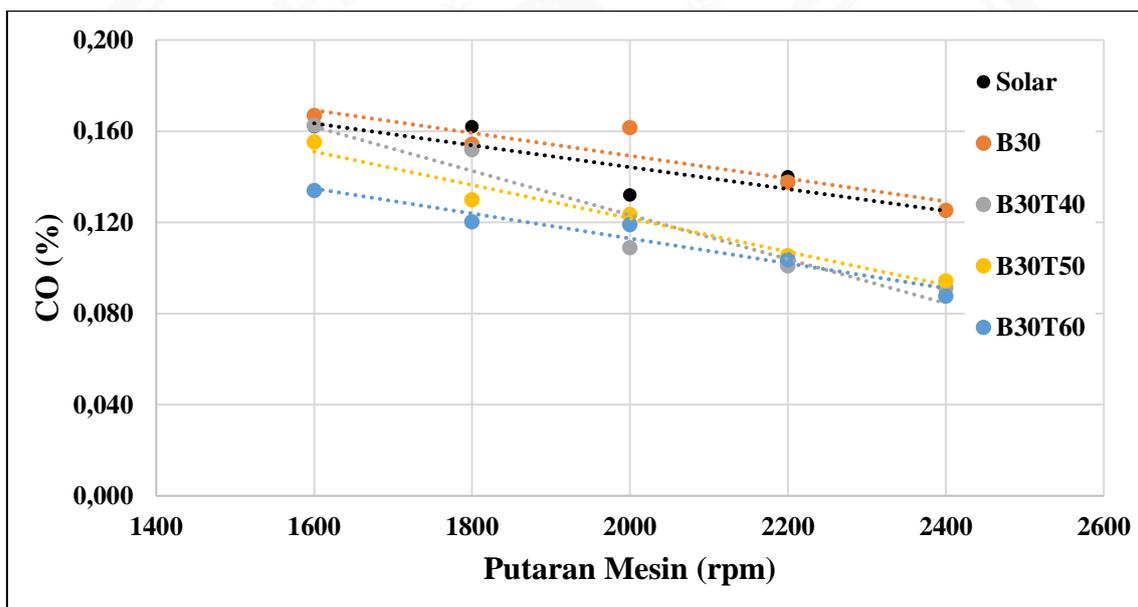
### 4.2.1 Pengaruh *Preheating* dan Penambahan Biodiesel Terhadap Emisi CO



Gambar 4.1 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B10 dan temperatur *preheating* terhadap emisi CO



Gambar 4.2 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B20 dan temperatur *preheating* terhadap emisi CO



Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B30 dan temperatur *preheating* terhadap emisi CO

Gambar 4.1 sampai 4.3 merupakan grafik pengaruh penambahan biodiesel dan temperature *preheating* terhadap emisi CO. Karbon Monoksida (CO) adalah emisi gas buang yang berasal dari atom karbon dalam bahan bakar yang tidak terbakar habis. Emisi CO disebabkan karena kurangnya oksigen pada campuran bahan bakar dan udara (Arifin dan Sukoco, 2009).

Pada gambar 4.1 sampai gambar 4.3 diketahui bahwa nilai CO terus menurun seiring dengan bertambahnya putaran mesin, hal ini dapat terjadi karena temperatur pada ruang

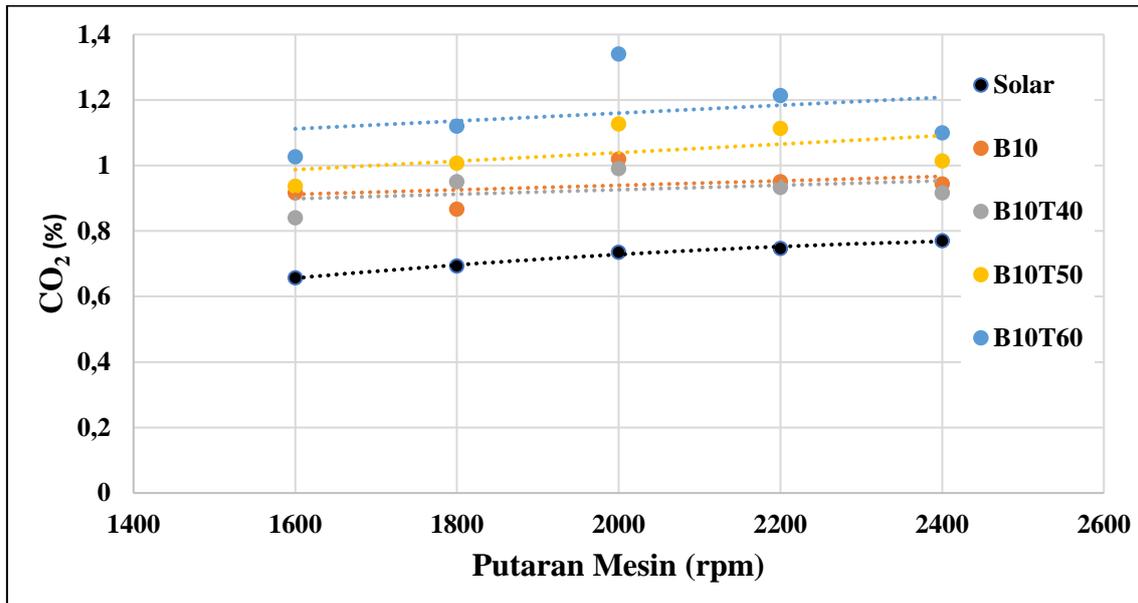
bakar meningkat sehingga bahan bakar akan semakin mudah menguap ketika disemprotkan ke dalam ruang bakar dan terjadi campuran yang homogen pada ruang bakar sehingga terjadi pembakaran yang sempurna.

Seperti yang terlihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2, penambahan biodiesel tanpa adanya perlakuan dapat menurunkan nilai CO. Penurunan ini dapat terjadi karena biodiesel terdiri dari metil ester yang dimana pada ikatannya terdapat oksigen sekitar 11% berat sehingga dapat disebut dengan *oxygenated fuel* (Demirbas, 2008). Dengan adanya kandungan oksigen pada bahan bakar, kandungan oksigen pada campuran bahan bakar dan udara juga meningkat sehingga atom C pada bahan bakar dapat terbakar habis dan menghasilkan CO<sub>2</sub> (Arifin dan Sukoco, 2009). Tetapi hal ini berbanding terbalik pada penambahan biodiesel 30% tanpa perlakuan dimana nilai CO pada gas buang meningkat dibandingkan solar biasa karena penambahan persentase biodiesel dapat meningkatkan viskositas dari bahan bakar (Gokdogan, 2012).

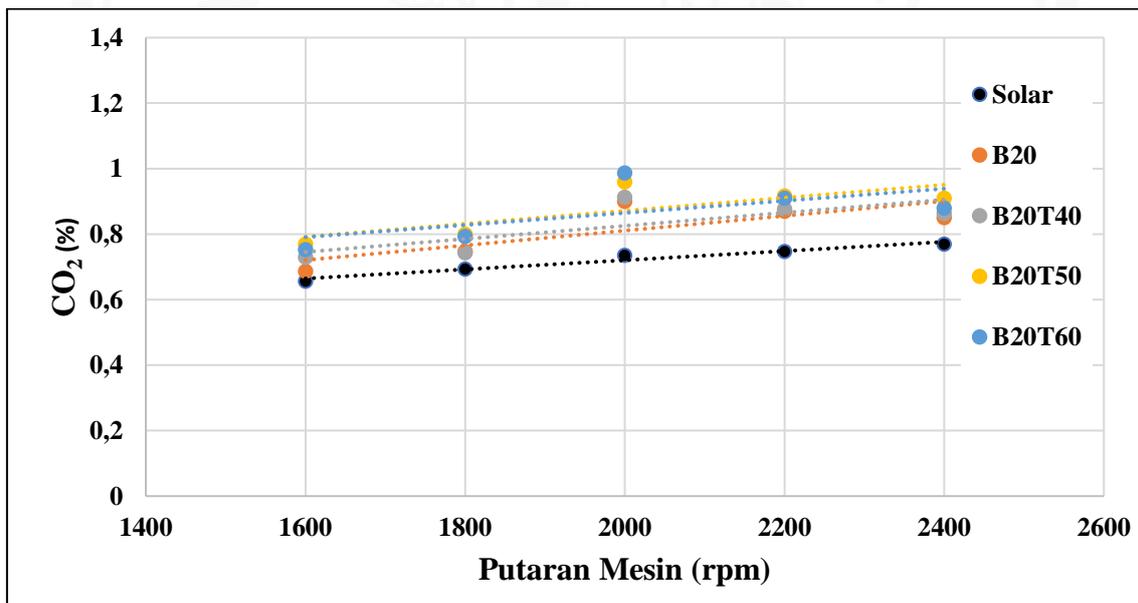
Meningkatnya CO pada emisi gas buang biodiesel B30 tanpa perlakuan dikarenakan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan viskositas solar biasa seperti pada tabel 4.1. Viskositas yang tinggi dapat mengganggu proses atomisasi bahan bakar karena viskositas yang tinggi akan menghasilkan butiran atau droplet bahan bakar yang lebih besar (Jankowski, 2014). Droplet bahan bakar yang besar akan membuat bahan bakar sulit untuk menguap sehingga campuran bahan bakar dan udara tidak homogen (Priyanto, 2015). Campuran bahan bakar dan udara yang tidak homogen akan menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna karena ada sebagian atom C yang tidak terbakar habis. Salah satu perlakuan yang dapat dilakukan untuk menurunkan viskositas adalah dengan cara pemanasan sebelum memasuki ruang bakar (Mustaffa, 2014). Pemanasan akan menurunkan gaya ikatan antar molekul bahan bakar sehingga lebih mudah terdeformasi menjadi butiran yang lebih kecil. Dengan viskositas yang lebih rendah butiran bahan bakar akan lebih halus (Jankowski, 2014). sehingga bahan bakar lebih mudah menguap dan campuran bahan bakar udara dapat semakin homogen.

Penambahan biodiesel tanpa perlakuan pada 10 dan 20 % menurunkan CO 25 dan 2 %, sementara pada 30 % meingkatkan CO 11%. Pemanasan B10, B20, dan B30 pada temperatur 60°C menurunkan CO 40%, 22%, dan 16%.

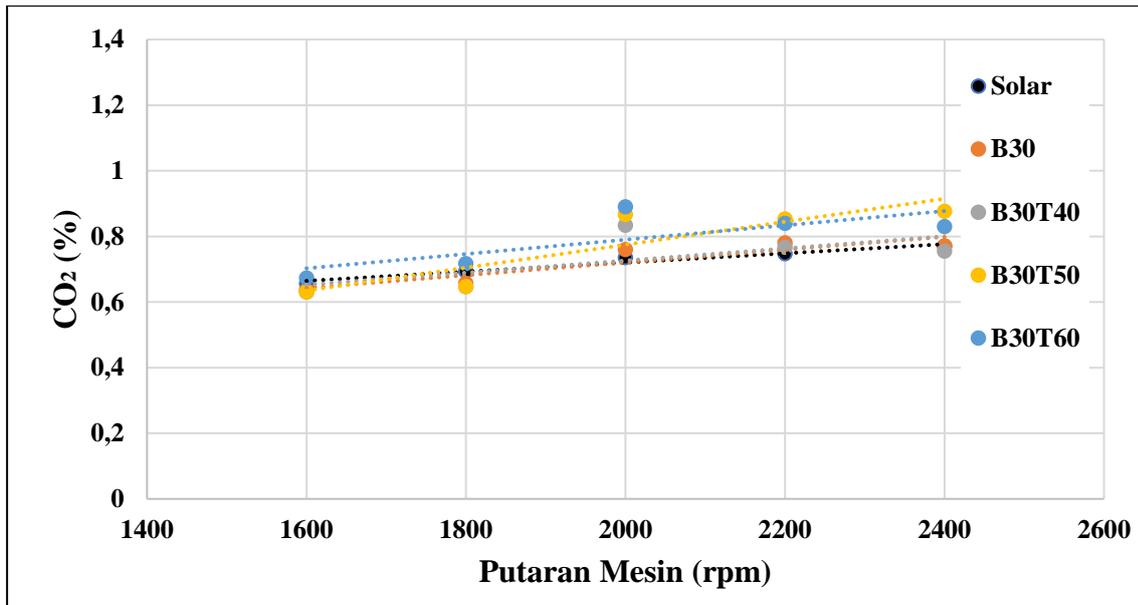
#### 4.2.2 Pengaruh *Preheating* dan Penambahan Biodiesel Terhadap Emisi CO<sub>2</sub>



Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B10 dan temperatur *preheating* terhadap emisi CO<sub>2</sub>



Gambar 4.5 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B20 dan temperatur *preheating* terhadap emisi CO<sub>2</sub>



Gambar 4.6 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B30 dan temperatur *preheating* terhadap emisi CO<sub>2</sub>

Gambar 4.4 sampai gambar 4.6 merupakan grafik pengaruh penambahan biodiesel dan temperature *preheating* terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah gas hasil pembakaran sempurna dari bahan bakar hidrokarbon, CO<sub>2</sub> terbentuk karena atom karbon pada bahan bakar teroksidasi dengan sempurna (Arifin dan Sukoco, 2009). Emisi CO<sub>2</sub> tidak memberikan efek yang signifikan pada manusia, tetapi CO<sub>2</sub> adalah salah satu gas rumah kaca yang dapat menghasilkan efek rumah kaca yang berperan besar dalam terjadinya pemanasan global (Resitoglu, 2014).

Pada gambar 4.4 sampai gambar 4.6 diketahui bahwa nilai CO<sub>2</sub> meningkat seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Hal ini terjadi karena pada dengan meningkatnya putaran mesin temperatur di dalam ruang bakar juga meningkat. Dengan meningkatnya temperatur ruang bakar, pembakaran akan berjalan semakin sempurna sehingga menghasilkan CO<sub>2</sub> yang semakin tinggi

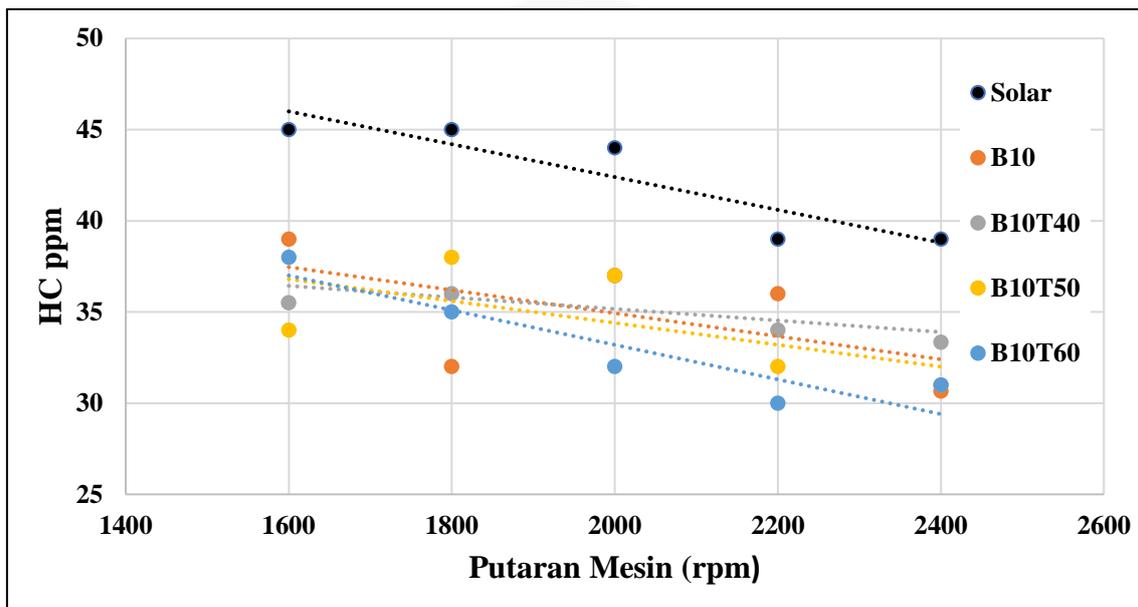
Seperti yang terlihat pada gambar 4.4 hingga gambar 4.6 penambahan biodiesel tanpa adanya perlakuan meningkatkan nilai CO<sub>2</sub> pada gas buang. Hal ini terjadi karena kandungan oksigen pada biodiesel membuat pembakaran semakin sempurna sehingga nilai CO<sub>2</sub> meningkat (Rahimi, 2015). Oleh karena itu nilai CO<sub>2</sub> berbanding terbalik dengan nilai CO dimana ketika atom karbon pada bahan bakar terbakar habis maka akan menghasilkan CO<sub>2</sub> (Arifin dan Sukoco, 2009).

Pada gambar 4.4 hingga 4.6, nilai CO<sub>2</sub> pada gas buang meningkat ketika dilakukan penamansan yang disebabkan karena viskositas dari bahan bakar menurun. Dengan

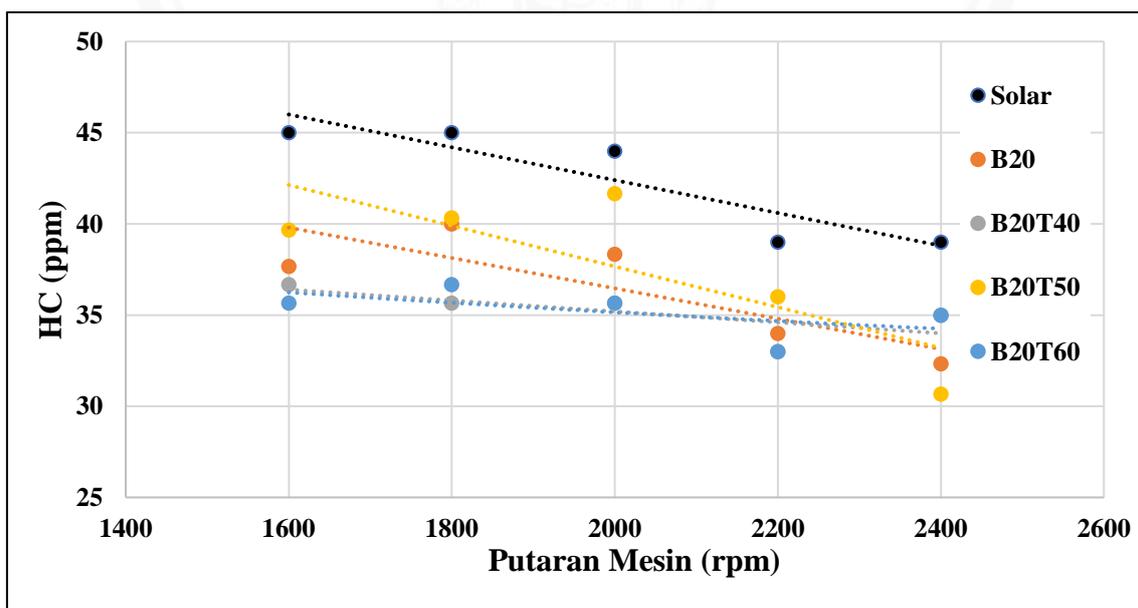
viskositas yang lebih rendah proses atomasi akan semakin baik sehingga pembakaran yang terjadi semakin sempurna sehingga menghasilkan  $\text{CO}_2$  yang lebih banyak.

Penambahan biodiesel tanpa perlakuan pada 10, 20, dan 30 % meningkatkan  $\text{CO}_2$  28%, 17%, dan 10%. Pemanasan B10, B20, dan B30 pada temperatur  $60^\circ\text{C}$  meningkatkan  $\text{CO}_2$  24%, 12%, dan 2%.

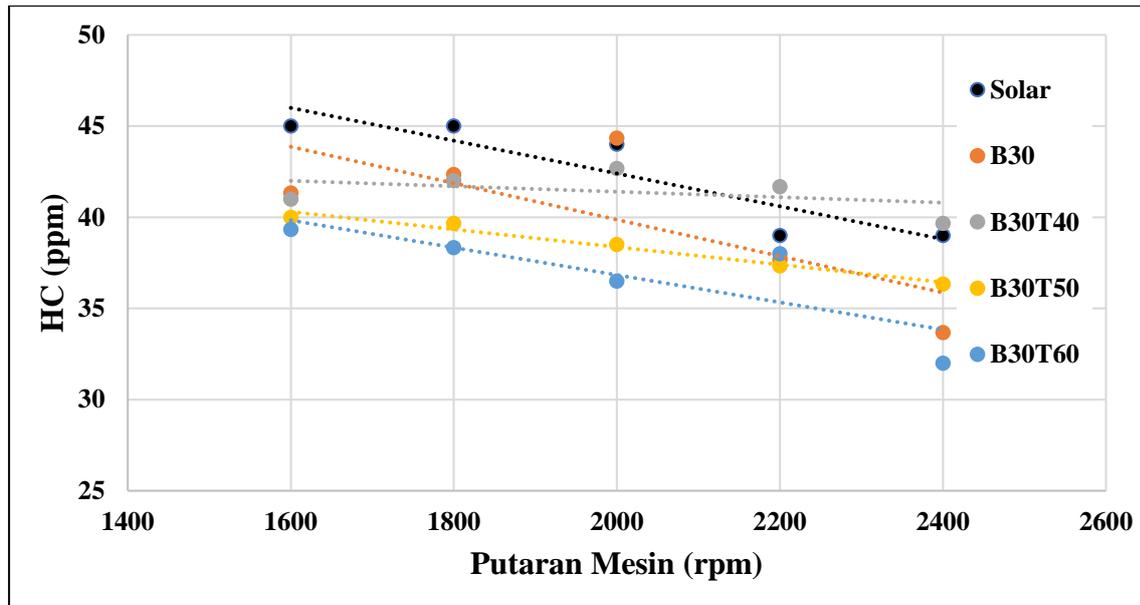
#### 4.2.3 Pengaruh Preheating dan Penambahan Biodiesel Terhadap Emisi HC



Gambar 4.7 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B10 dan temperatur *preheating* terhadap emisi HC



Gambar 4.8 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B20 dan temperatur *preheating* terhadap emisi HC



Gambar 4.9 Grafik pengaruh penambahan biodiesel B30 dan temperatur *preheating* terhadap emisi HC

Gambar 4.7 sampai gambar 4.9 merupakan grafik pengaruh penambahan biodiesel dan temperature *preheating* terhadap emisi HC. Emisi hidrokarbon (HC) berasal dari bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas buang atau karena molekul hidrokarbon pada bahan bakar yang pecah karena panas dan berubah menjadi gugus yang lebih sederhana (Arifin dan Sukoco, 2009). Salah satu penyebab terjadinya emisi HC adalah ketika bahan bakar memasuki zona di dekat silinder dengan temperatur lebih rendah sehingga pembakaran tidak dapat terjadi dengan baik (Arifin dan Sukoco, 2009)..

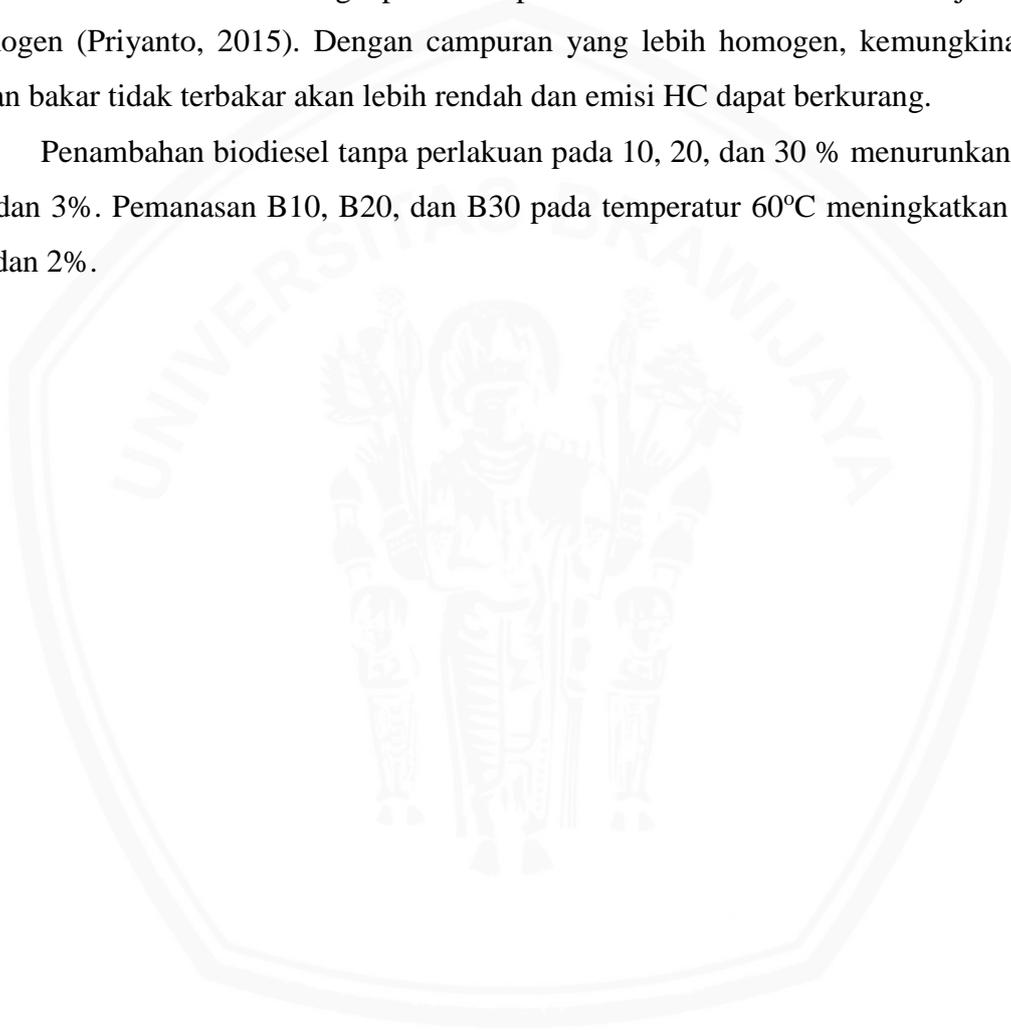
Pada gambar 4.7 sampai gambar 4.9 diketahui bahwa nilai HC menurun seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Hal ini terjadi karena pada putaran rendah temperatur ruang bakar cenderung lebih rendah sehingga bahan bakar lebih sulit untuk menguap dan tidak dapat terbakar dengan sempurna. Sementara itu pada putaran yang lebih tinggi temperatur ruang bakar cenderung lebih tinggi sehingga bahan bakar lebih mudah menguap dan terbakar dengan sempurna.

Seperti yang terlihat pada gambar 4.7 hingga 4.9, penambahan biodiesel tanpa adanya perlakuan dapat menurunkan nilai HC. Penurunan ini terjadi karena biodiesel terdiri dari metil ester yang dimana pada ikatannya terdapat oksigen sekitar 11% berat sehingga dapat disebut dengan *oxygenated fuel* (Demirbas, 2008), sehingga pembakaran terjadi lebih baik dibandingkan solar biasa. Biodiesel juga memiliki angka cetana yang lebih tinggi dibandingkan solar biasa (Gokdogan, 2012). Dengan angka cetana yang lebih tinggi periode

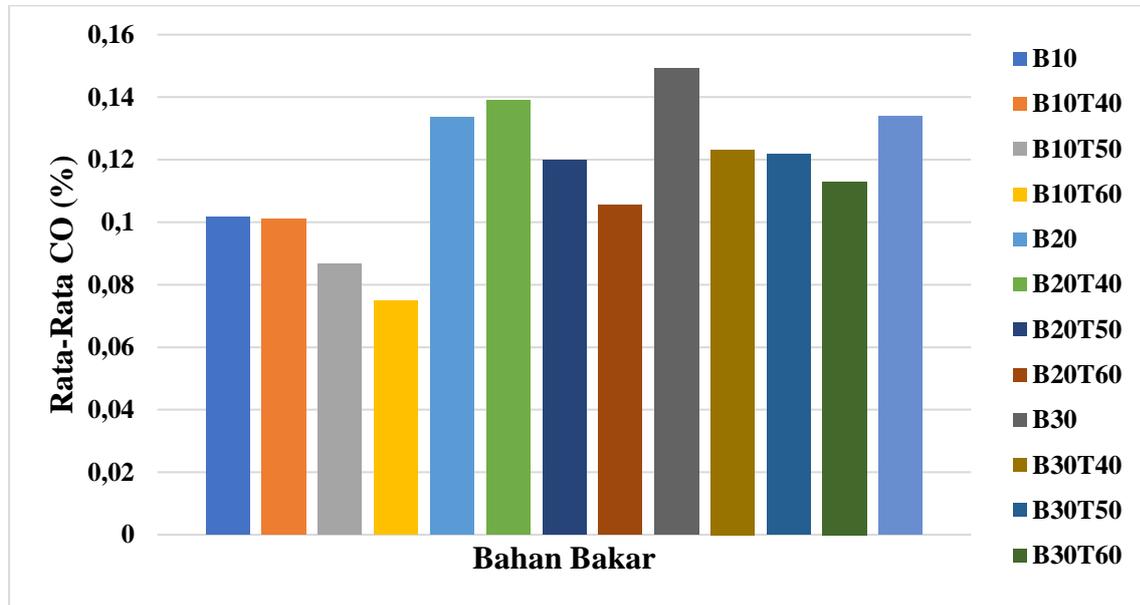
*ignition delay* dapat berkurang, *ignition delay* yang rendah akan menghasilkan pembakaran dengan temperatur yang lebih tinggi sehingga emisi HC dapat berkurang (Heywood, 1987).

*Preheating* bahan bakar juga memberikan penurunan emisi HC pada mesin. Dengan dilakukan *preheating* viskositas bahan bakar akan menurun (Gokdogan, 2012). Viskositas yang lebih rendah akan menghasilkan bentuk semprotan yang lebih pendek, sehingga bahan bakar tidak mencapai zona temperatur yang lebih rendah di dalam ruang bakar dan dapat terjaga pada temperatur yang lebih tinggi sehingga dapat terjadi atomisasi yang baik karena bahan bakar lebih mudah menguap dan campuran bahan bakar dan udara menjadi semakin homogen (Priyanto, 2015). Dengan campuran yang lebih homogen, kemungkinan untuk bahan bakar tidak terbakar akan lebih rendah dan emisi HC dapat berkurang.

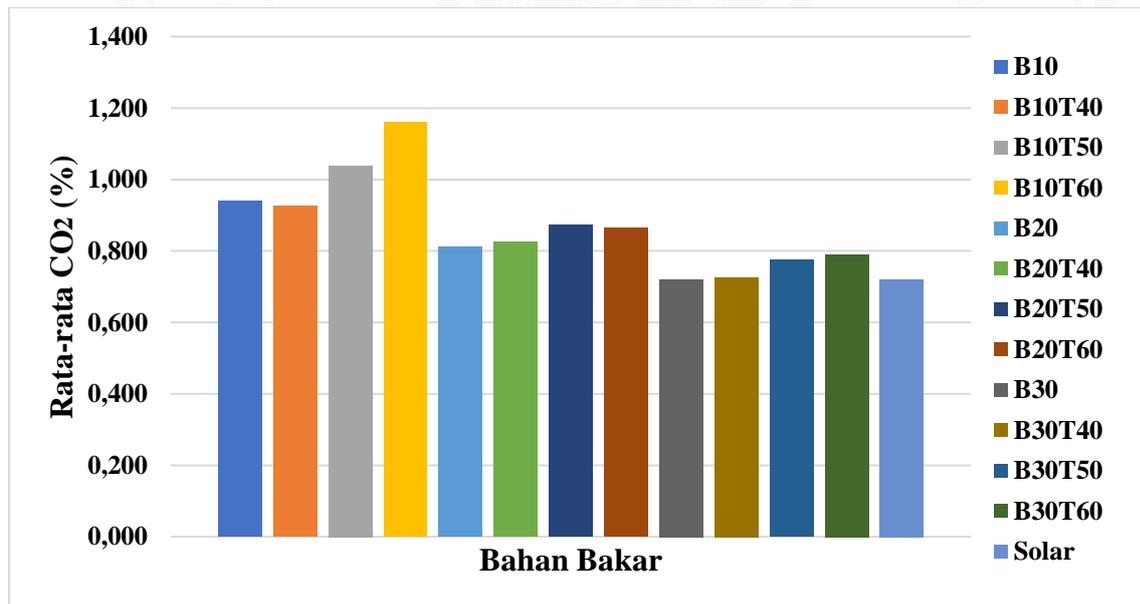
Penambahan biodiesel tanpa perlakuan pada 10, 20, dan 30 % menurunkan HC 17, 15, dan 3%. Pemanasan B10, B20, dan B30 pada temperatur 60°C meningkatkan HC 22, 22, dan 2%.



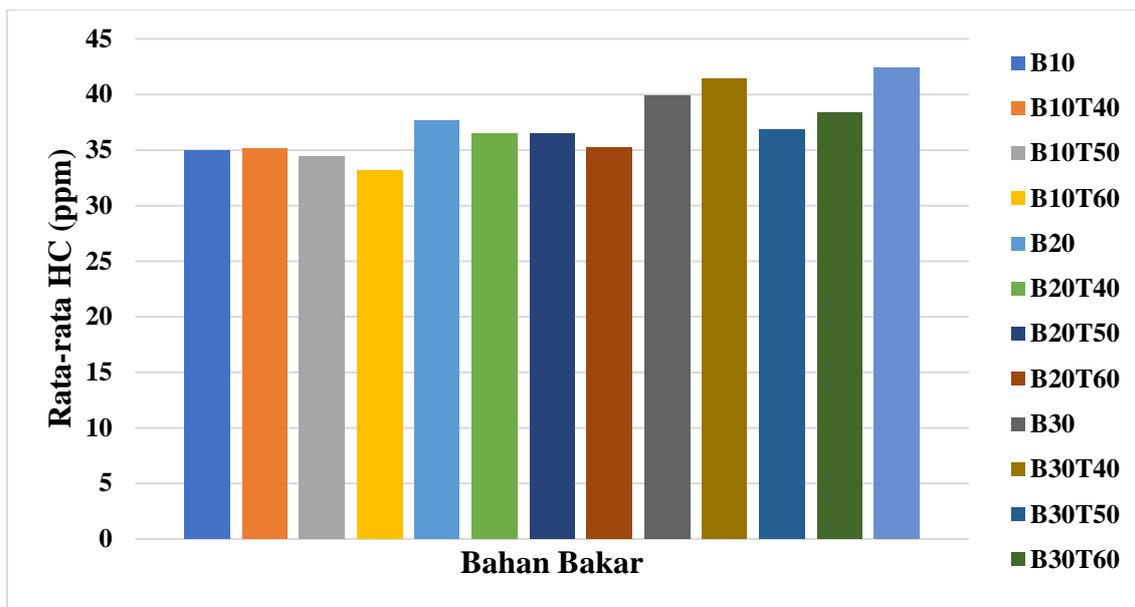
### 4.3 Perbandingan Seluruh Bahan Bakar dan Perlakuannya Terhadap Kandungan Emisi Gas Buang



Gambar 4.10 Grafik perbandingan seluruh bahan bakar dan perlakuannya terhadap kandungan CO pada gas buang



Gambar 4.11 Grafik perbandingan seluruh bahan bakar dan perlakuannya terhadap kandungan CO<sub>2</sub> pada gas buang



Gambar 4.12 Grafik perbandingan seluruh bahan bakar dan perlakuannya terhadap kandungan HC pada gas buang

Gambar 4.10 sampai 4.11 merupakan grafik perbandingan rata-rata emisi gas buang pada setiap bahan bakar. Berdasarkan grafik-grafik di atas secara rata-rata pemanasan dan penambahan biodiesel menghasilkan emisi CO dan HC yang lebih rendah dari solar biasa.

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa penambahan dan pemanasan biodiesel dapat menurunkan emisi CO dengan urutan B30, B20, dan B10 dimana pada B10 didapatkan nilai rata-rata emisi CO terendah. Gambar 4.11 menunjukkan nilai rata-rata CO<sub>2</sub> lebih tinggi dibandingkan solar biasa. Nilai CO<sub>2</sub> dari yang paling tinggi hingga terendah adalah B10, B20, dan B30. Pada Gambar 4.12 emisi HC rata-rata menurun dibandingkan dengan solar biasa dengan urutan B10 yang paling rendah dan diikuti oleh B20, kemudian B30.

Penambahan biodiesel *castor oil* 10% volume (B10) tanpa pemanasan maupun dengan pemanasan menghasilkan emisi CO dan HC terendah dibandingkan dengan B20 dan B30. Tetapi B10 menghasilkan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan B20 dan B30.

Pada penambahan biodiesel *castor oil* 20% volume (B20) tanpa pemanasan maupun dengan pemanasan menghasilkan emisi CO dan HC yang lebih tinggi dibandingkan B10 tetapi masih lebih rendah bila dibandingkan dengan B30. Biodiesel *castor oil* B20 juga menghasilkan CO<sub>2</sub> yang lebih rendah dibandingkan dengan B10 tetapi masih lebih tinggi dibanding B30.

Penambahan biodiesel *castor oil* 30% volume (B30) tanpa pemanasan maupun dengan pemanasan menghasilkan emisi CO dan HC paling tinggi dibandingkan dengan B10 dan B20. Tetapi B30 menghasilkan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan B10 dan B20.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan B10 tanpa pemanasan dapat menghasilkan emisi gas buang paling baik dibandingkan dengan B20 dan B30 karena B10 menghasilkan emisi CO dan HC lebih rendah dibandingkan dengan B20 dan B30. Hal ini terjadi karena karakteristik bahan bakar (viskositas) pada B10 paling dekat dengan solar biasa namun dengan kandungan oksigen pada rantai hidrokarbonnya sehingga pembakaran semakin sempurna dan menghasilkan emisi CO dan HC yang lebih rendah.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Penambahan biodiesel *castor oil* sebanyak 10% dan 20% volume tanpa perlakuan dapat menurunkan emisi gas buang CO dibanding solar biasa. Sebaliknya pada penambahan biodiesel *castor oil* 30% volume meningkatkan gas buang CO dibandingkan solar biasa.
2. Pemanasan biodiesel *castor oil* B10, B20, dan B30 dapat menurunkan emisi gas buang CO dibanding solar biasa.
3. Penambahan biodiesel *castor oil* sebanyak 10%, 20%, dan 30% volume tanpa perlakuan dapat menurunkan emisi gas buang HC dibanding solar biasa.
4. Pemanasan biodiesel *castor oil* B10, B20, dan B30 dapat menurunkan emisi gas buang CO dibanding solar biasa.
5. Pemanasan dan penambahan biodiesel *castor oil* menghasilkan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan solar biasa.

### 5.2 Saran

1. Lebih memperhatikan proses pembuatan biodiesel agar mendapatkan karakteristik yang lebih mendekati solar biasa.
2. Melakukan *preheating* dengan temperatur yang lebih tinggi dan menambahkan biodiesel dengan konsentrasi yang lebih tinggi ke dalam solar agar penurunan emisi lebih signifikan.
3. Menganalisis campuran biodiesel dan solar untuk menjaga homogenitas campuran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z & Sukoco. (2009). *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Augustine, A., Marimuthu, L., & Muthusamy, S. (2012). *Performance and Evaluatin of DI Diesel Engine by Using Preheated Cottonseed Oil Methyl Ester*. *Procedia Engineering* 38 (2012): 779 – 790.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *SNI: 7182:2015 Biodiesel*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Canoira, L., Galean, J.G., Alcantara, R., Lapuerta, M., Garcia-Contreras, R. (2010). *Fatty acid methyl esters (FAMEs) from castor oil: Production process assessment and synergistic effects in its properties*. *Renewable Energy* 35 (2010) 208–217
- Cengel, Yunus A. & Boles, Michael A. (2015) *Thermodynamics: An Engineering Approach Eighth Edition*. New York: McGraw Hill.
- Das, M., Sarkar, M., Datta, A., & Santra, A. K. (2017). *An Experimental Study on The Combustion, Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fuelled with Diesel-Castor Oil Biodiesel Blends*. *Renewable Energy* (119): 174-184.
- Demirbas, A. (2008). *Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*. London: Springer.
- Ejim, C. E., Fleck, B. A., Amirfazli, A. (2006). *Analytical study for atomization of biodiesels and their blends in a typical injector: Surface tension and viscosity effects*. *Fuel* 86 (2007) 1534–1544.
- Gokdogan, O., Eryilmaz, T., & Yesilyurt, M. K. (2015). *Thermophysical Properties of Castor Oil (Ricinus Communis L.) Biodiesel and Its Blends*. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 6(1), 95-128.
- Heywood, J, B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Jankowski, A & Kowalski, M. (2015). *Influence of The Quality of Fuel Atomization on The Emission of Exhaust Gases Toxic Components of Combustion Engines*. *Journal of KONBiN* 4 (36) 2015.
- Jankowski, A & Sandel, A. (2003). *influence of fuel quality on mixture preparation and exhaust emissions from diesel engines with common rail system*. *Journal of KONES Internal Combustion Engines* 2003, vol. 10, 3-4
- Kristanto, P. & Syantoro, F. S. (2015). *Motor Bakar Torak: Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Lefebvre, Arthur H. & McDonell, Vincent G. (2017). *Atomization and Sprays*. Boca Raton: CRC Press.
- Mustaffa, N., Khalid, A., Sies, M. F., Zakaria, H., & Manshoor, B. (2014). *Preheated Biodiesel Derived from Vegetable oil on Performance and Emissions of Diesel Engines: A Review*. *Applied Mechanics and Materials Vols.* 465-466 (2014): 285-290.

- Ozcanli, M., Serin, H., Saribiyik, O. Y., Aydin, K., & Serin, S. (2012). *Performance and Emission Studies of Castor Bean (Ricinus Communis) Oil Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel. Energy Sources, Part A (34): 1808-1814.*
- Priyanto, Dimas & Sudarmata, Bambang. (2015). *Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Pemanasan Bahan Bakar Biodiesel Palm Oil (B100) terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel Sistem Injeksi Langsung Diamond Tipe Di800.* JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 4, No. 2, (2015) ISSN: 2301-9271.
- PT. Pertamina (Persero). (2017). *Material Safety Data Sheet Pertamina Dex.* Jakarta: PT. Pertamina (Persero).
- Pulkrabek, W. W. (1997). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine.* New Jersey: Prentice Hall.
- Rahimi, A., Ghobadian, B., Najafi, G., Jaliliantabar, F., & Mamat, R. (2015). *Performance and emission parameters of single cylinder diesel engine using castor oil bio-diesel blended fuels. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 100 (2015): 1-8.*
- Resitoglu, I. A., Altinsik, K., & Keskin, Ali. (2015). *The Pollutant Emissions from Diesel-Engine Vehicles and Exhaust Aftertreatment Systems. Clean Technology Environment Policy (17): 15-27.*
- Sivasubramanian, Harish. (2018). *Effect of Ignition Delay (ID) on performance, emission and combustion characteristics of 2-Methyl Furan-Unleaded gasoline blends in a MPFI SI engine. Alexandria Engineering Journal (2018) 57: 499-507*
- Sudarmanta, Bambang & Sungkono, Djoko. (2009). *Transesterifikasi Crude Palm Oil dan Uji Karakteristik Semprotan Menggunakan Injektor Motor Diesel.* Surabaya : ITS Surabaya.
- Suh, H. K. & Lee, C. S. (2015). *A review on atomization and exhaust emissions of a biodiesel-fueled compression ignition engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews 58 (2016) 1601–1620.*
- Shrirame, H. Y., Panwar, L. N., Bamniya, B. R. (2011). *Bio Diesel from Castor Oil - A Green Energy Option. Low Carbon Economy, 2011, 2, 1-6.*
- US Department of Energy. (1993). *Diesel Engine Fundamental.* Washington: Department of Energy.
- Woodyard, D. (2009). *Pounders Marine Diesel Engines and Gas Turbines.* Burlington: Elsevier.