

**PENGARUH RASIO KOMPRESI TERHADAP EMISI MOTOR
DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL *CALOPHYLLUM*
*INOPHYLLUM***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



VIKI PRATAMA
NIM. 145060201111012

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH RASIO KOMPRESI TERHADAP EMISI MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL *CALOPHYLLUM* *INNOPHYLLUM*

SKRIPSI TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



VIKI PRATAMA
NIM. 145060201111012

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.
NIK. 201103 820919 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



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

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH RASIO KOMPRESI TERHADAP EMISI MOTOR DIESEL BERBAHAN
BAKAR BIODIESEL *CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*

Nama Mahasiswa : Viki Pratama
NIM : 145060201111012
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

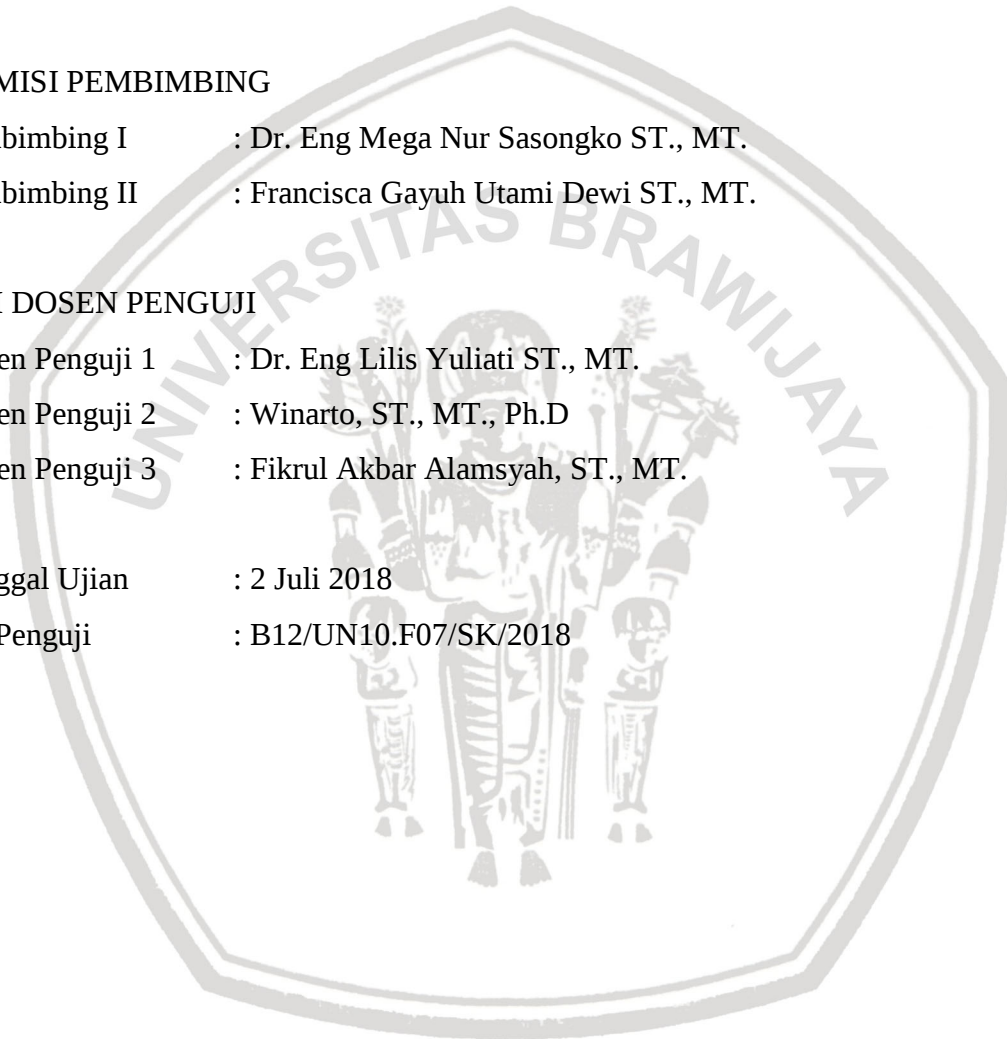
KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng Mega Nur Sasongko ST., MT.
Pembimbing II : Francisca Gayuh Utami Dewi ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng Lilis Yuliati ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Winarto, ST., MT., Ph.D
Dosen Penguji 3 : Fikrul Akbar Alamsyah, ST., MT.

Tanggal Ujian : 2 Juli 2018
SK Penguji : B12/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah 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 dikutip 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 dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 20 Juli 2018

Mahasiswa,



Viki Pratama
NIM. 145060201111012



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 112/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

VIKI PRATAMA

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH RASIO KOMPRESI TERHADAP EMISI MOTOR DIESEL BERBAHAN
BAKAR BIODIESEL CALOPHYLLUM INOPHYLLUM**

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

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D

NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik. Laporan skripsi ini berjudul **“Pengaruh Rasio Kompresi Terhadap Emisi Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel *Calophyllum Inophyllum*”**.

Laporan ini disusun sebagai bentuk dokumentasi dan hasil akhir dari proses perkuliahan yang telah dilaksanakan. Laporan ini juga diajukan sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dalam kurikulum program studi Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Dalam melaksanakan proses penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa tidak akan dapat menyelesaikan semuanya dengan baik tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada banyak pihak di antaranya:

1. Kepada Ibu Suparmi (Alm) sebagai ibu penulis, yang tiada putusnya berdoa sehingga menempuh ilmu hingga sejauh ini.
2. Kepada Bapak Muhari sebagai Bapak Penulis, yang tiada putusnya berdoa dan memberi dukungan moral bagi penulis sehingga menempuh ilmu hingga sejauh ini.
3. Bapak Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi bimbingan serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberi saran dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Eng Eko Siswanto ST., MT, Dr. Eng Denny Widhiyanuriyawan ST., MT, Teguh Widodo ST., M.Eng. Ph.D, Dr. Eng Sofyan Arief Setya Budi ST., M.Eng (Alm) selaku dosen pembimbing Apatte 62 Brawijaya Team.
6. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberi ilmu selama perkuliahan
7. Keluarga Besar Tim APATTE 62 BRAWIJAYA (Mas Adit, Mas Alfian, Mas Arel, Mas Pi i dan mas 2013 yang lain) (Dana, Dhio, Tri, Aong, Harish, Ikram, Lingga, Viki, Andhika, Imam, Obi), Alumni Apatte (2010, 2011, 2012), adek adek APATTE 62 2015 (Wildan, Rachmat, Afrie, Bene, Apep, Syifa, Riandika, Fuadh, Tomo, Fanani, Andre,

- Sugeng, Fitra, Natasha, Isti) dan adek adek 2016 APATTE 62, terimakasih atas dukungan, kerjasama dan doanya.
8. Keluarga Besar Laboratorium Riset FT UB (Aerokreasi, TKG, dan Apatte) terimakasih atas bantuannya.
 9. Sahabat Selow dari awal yang selalu menemani (Harish, Fahrozi, Lingga, Dhio, Ahlal, Imam, Ari, A'ang), Teman teman penjaga riset (Syifa, Ariaz, Rachmat, Afrie, Abdi, Benediktus), Team futsal mesin (fadli, faisal, pradana, Dwik, Marcel), mas mas mesin 2012, 2013 dan adik adik mesin 2015, 2016, Teman teman MAF14 (Tekad ini Satukan Kami, Sampek Mati Tak Belani) Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
 10. Sahabat dari Jaman SMA (Dwi Rumdaine Intan Permatasari, Rizna, Rina, Yuli, Cahya, Dimas).
 11. Sahabat Brontak Family (Anam, Rendy, Sulaiman, Wahyu, Reza, Rifki, Lukman, Jaka)
 12. Seseorang yang sudah menjadi motivator untuk membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membantu perkembangan pembahasan terkait topik laporan ini maupun bagi penulis secara pribadi. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan bagi perkembangan keilmuan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Malang, 2 Juli 2018

Penulis

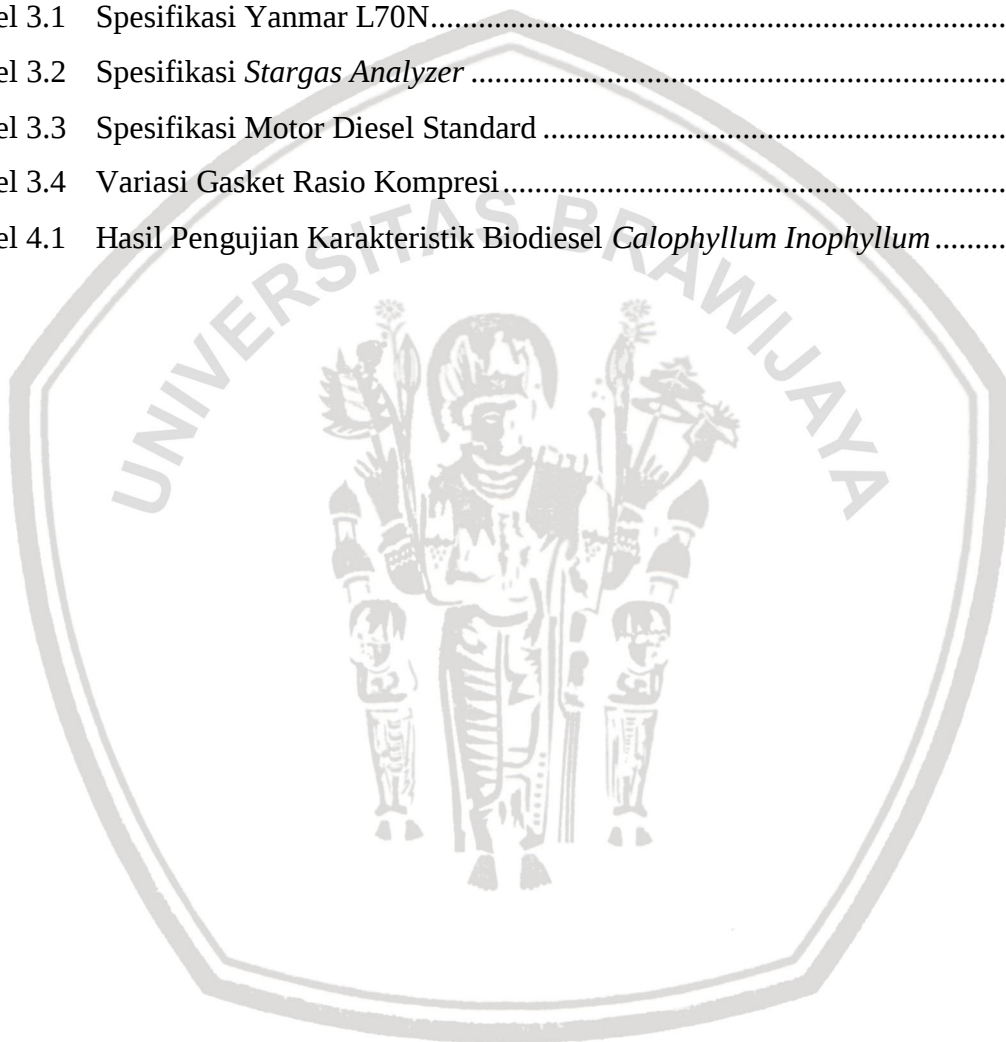
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Motor Diesel	5
2.2.1 Siklus Termodinamika Diesel	5
2.2.2 Mesin Diesel 4 Langkah	7
2.2.3 Pembakaran.....	8
2.3 Bahan Bakar Motor Diesel.....	9
2.3.1 Bahan Bakar dan Karakteristik Solar.....	9
2.3.1.1 Karakteristik Solar.....	10
2.3.1.2 Karakteristik Minyak Solar di Indonesia.....	12
2.3.2 Biodiesel <i>Calophyllum inophyllum</i>	12
2.4 Ruang Bakar	15
2.5 Rasio Kompresi.....	16
2.6 Gas Buang	18
2.7 <i>Stargass Analyzer</i> dan <i>Diesel Smoke Analyzer</i>	20
2.8 Hipotesis.....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Metode Penelitian.....	23
3.2 Variabel Penelitian.....	23

3.3 Waktu dan Pelaksanaan	24
3.4 Instalasi Penelitian <i>Engine</i> Diesel.....	24
3.5 Alat dan Bahan.....	25
3.6 Mengubah Rasio Kompresi	28
3.7 Cara Pencampuran Bahan Bakar	31
3.8 Prosedur Pengambilan	31
3.9 Diagram Alir Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Pembahasan	35
4.1.1 Data Karakteristik Bahan Bakar	35
4.1.2 Pengolahan Data	35
4.2 Pembahasan	36
4.2.1 Grafik Emisi CO pada Semua Rasio Kompresi.....	36
4.2.2 Grafik Emisi CO ₂ pada Semua Rasio Kompresi	38
4.2.3 Grafik Emisi HC pada Semua Rasio Kompresi.....	41
4.2.4 Grafik Opasitas Emisi pada Semua Rasio Kompresi.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Spesifikasi Solar di Indonesia.....	12
Tabel 2.2	Kandungan <i>Calophyllum inophyllum</i>	13
Tabel 2.3	Perbandingan Biodiesel <i>Calophyllum inophyllum</i> dengan SNI 04-7182-2006	14
Tabel 3.1	Spesifikasi Yanmar L70N.....	24
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Stargas Analyzer</i>	27
Tabel 3.3	Spesifikasi Motor Diesel Standard	28
Tabel 3.4	Variasi Gasket Rasio Kompresi.....	30
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Karakteristik Biodiesel <i>Calophyllum Inophyllum</i>	35



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perbedaan Mesin Diesel dan Mesin Otto.....	6
Gambar 2.2	Siklus Termodinamika Diesel.....	6
Gambar 2.3	Skema Motor Diesel 4 Langkah	7
Gambar 2.4	Ilustrasi Pembakaran.....	8
Gambar 2.5	Proses Pembakaran Sempurna.....	9
Gambar 2.6	Nosel Injektor dan Beberapa Jenis Ruang Bakar Injeksi Langsung.....	15
Gambar 2.7	Nosel Injektor dan Beberapa Jenis Ruang Bakar Injeksi tak Langsung	16
Gambar 2.8	Geometri Torak dan Silinder	17
Gambar 2.9	Presentase Kandungan Emisi Pada Mesin Diesel.....	19
Gambar 3.1	Skematik <i>Engine Test Bench</i>	24
Gambar 3.2	Diesel Yanmar L70N.....	26
Gambar 3.3	<i>Stargas Analyzer 898</i>	27
Gambar 3.4	<i>Proximity</i>	27
Gambar 3.5	Gasket Kompresi	28
Gambar 3.6	<i>Diesel Smoke Analyzer</i>	28
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 4.1	Grafik Emisi CO terhadap Putaran Mesin pada Semua Rasio Kompresi.....	36
Gambar 4.2	Grafik Emisi CO ₂ terhadap Putaran Mesin pada Semua Rasio Kompresi ...	38
Gambar 4.3	Grafik Emisi HC terhadap Putaran Mesin pada Semua Rasio Kompresi.....	41
Gambar 4.4	Grafik Opasitas Emisi terhadap Putaran Mesin pada Semua Rasio Kompresi	44

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Hasil Pengujian Rasio Kompresi 15,5 Tabel Kandungan Emisi Bahan Bakar Solar dan B10
Lampiran 2	Data Hasil Pengujian Rasio Kompresi 15,5 Tabel Kandungan Emisi Bahan Bakar B20 dan B30
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian Rasio Kompresi 17,5 Tabel Kandungan Emisi Bahan Bakar Solar dan B10
Lampiran 4	Data Hasil Pengujian Rasio Kompresi 17,5 Tabel Kandungan Emisi Bahan Bakar B20 dan B30
Lampiran 5	Data Hasil Pengujian Rasio Kompresi 19,5 Tabel Kandungan Emisi Bahan Bakar Solar dan B10
Lampiran 6	Data Hasil Pengujian Rasio Kompresi 19,5 Tabel Kandungan Emisi Bahan Bakar B20 dan B30
Lampiran 7	Data Properties Aktual Biodiesel <i>Calophyllum Inophyllum</i>

Viki Pratama, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Rasio Kompresi terhadap Emisi Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Calophyllum Inophyllum*, Dosen Pembimbing: Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST., MT and Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

Ringkasan

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi populasi manusia di dunia ini. *Kebutuhan* energi di dunia ini semakin meningkat, khususnya pada bidang transportasi sehingga tidak seimbang antara produksi bahan bakar dengan pemakaiannya yang menyebabkan kelangkaan bahan bakar. Selain itu terdapat masalah pada pencemaran udara akibat tingginya pemakaian kendaraan bermotor. Berdasarkan masalah tersebut saya sebagai mahasiswa melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisa *emisi* mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar campuran biodiesel *calophyllum inophyllum* dan solar.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak sayur atau lemak hewan. *Calophyllum inophyllum* atau biasa dikenal dengan tanaman nyamplung merupakan salah satu tumbuhan non konsumtif yang tumbuh di daerah pesisir pantai dan cukup subur di wilayah pesisir Indonesia. Tumbuhan ini dimanfaatkan bijinya yang nanti di peras kandungan minyaknya. Setelah itu akan diproses menjadi biodiesel melalui tiga tahap yaitu degumming, esterifikasi dan transesterifikasi.

Biodiesel yang dihasilkan memiliki kelemahan antara lain memiliki viskositas yang lebih tinggi dari solar. Sehingga pada pengaplikasiannya perlu dicampurkan dengan solar. Serta dilakukan peningkatan rasio kompresi untuk mereduksi dampak dari kelemahan biodiesel tersebut. Biodiesel akan dicampurkan dengan solar menggunakan persentase volume. Persentase biodiesel yang digunakan yaitu 10%, 20%, dan 30%. Sedangkan variasi rasio kompresi yang digunakan yaitu 15,5; 17,5; dan 19,5. Mesin Diesel yang digunakan yaitu Yanmar L70N buatan Italia yang memiliki satu silinder.

Penelitian mendapatkan hasil bahwa semakin bertambahnya kandungan biodiesel pada solar serta naiknya rasio kompresi pada engine diesel dapat menurunkan kandungan emisi CO dan HC serta opasitas pada emisi mesin diesel. Sedangkan kandungan CO₂ mengalami peningkatan ini menjadi indikasi bahwa semakin sempurna pembakaran pada ruang bakar. Hal ini dikarenakan pada biodiesel *calophyllum inophyllum* memiliki jumlah O₂ terikat (bonded oxygen) yang terkandung di dalamnya. Sehingga selain O₂ dari udara, O₂ terikat ini akan turut serta dalam proses pembakaran campuran bahan bakar sehingga pembakaran lebih baik. Sedangkan kenaikan rasio kompresi dapat berdampak pada kenaikan tekanan pada ruang bakar. Hal ini menyebabkan suhu ruang bakar semakin meningkat sehingga dapat memperbaiki kualitas dari pembakaran tersebut.

Kata Kunci : Biodiesel, *Calophyllum Inophyllum*, Degumming, Esterifikasi, Transesterifikasi, Bonded Oxygen.

Viki Pratama, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 2018, *The Influence of Compression Ratio on The Emission of Diesel Engine with Biodiesel Calophyllum Inophyllum*, Academic Supervisor : Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST., MT and Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

Summary

Energy is one of the most important needs for the human population in the world. The demand for energy in the world is increasing, especially in the field of transportation which causing the production of the fuel with the use of it not balancea and causing scarcity of fuel. In addition there are problems with the air pollution due to the high usage of motor vehicles. Based on the problems above, as a student, I'm doing a research that aims to analyze diesel engine emissions by using mixed biodiesel made of *calophyllum inophyllum* and diesel.

Biodiesel is a fuel consisting of a mixture of mono alkyl esters of a long chain of fatty acids, it is used as an alternative fuel for diesel engines and made from renewable sources such as vegetable oils or animal fats. *Calophyllum inophyllum* or commonly known as 'nyamplung' plant is one of the non-consumptive plants that grow in the coastal area and is quite fertile in coastal areas of Indonesia. This plant's seeds is exploited by squeezing the oil content. After that it will be processed into biodiesel through three stages of process which are degumming, esterification and transesterification.

The resulting biodiesel has the disadvantages of having a higher viscosity than diesel. So on the application it need to be mixed with diesel. And also increased the compression ratio to reduce the impact of biodiesel weakness. Biodiesel will be mixed with diesel using volume percentage. Percentage of biodiesel used is 10%, 20%, and 30%. While the variation of the compression ratio used is 15.5; 17.5; and 19.5. Diesel engine used is Yanmar L70N which is made in Italy and has one cylinder.

Research has found that by increasing the biodiesel content in diesel as well as increasing the compression ratio in diesel engines can reduce CO and HC emissions and opacity in diesel engine emissions. While the CO₂ content has increased this to be an indication that the combustion in the combustion chamber is more perfect. This is caused by the biodiesel, *calophyllum innophyllum* has the amount of O₂ bonded (bonded oxygen) contained in it. So aside from O₂ from the air, this bound O₂ will participate in the combustion process of the fuel mixture so that the combustion is better. While the increase in compression ratio can affect the increase in pressure on the combustion chamber. This causes the temperature of the combustion chamber to increase so that it can improve the quality of the burning.

Keyword : Biodiesel, *Calophyllum Inophyllum*, Degumming, Esterifikasi, Transesterifikasi, Bonded Oxygen.

Viki Pratama, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Rasio Kompresi terhadap Emisi Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Calophyllum Inophyllum*, Dosen Pembimbing: Mega Nur Sasongko, and Francisca Gayuh Utami Dewi.

Ringkasan

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi populasi manusia di dunia ini. Kebutuhan energi di dunia ini semakin meningkat, khususnya pada bidang transportasi sehingga tidak seimbang antara produksi bahan bakar dengan pemakaiannya yang menyebabkan kelangkaan bahan bakar. Selain itu terdapat masalah pada pencemaran udara akibat tingginya pemakaian kendaraan bermotor. Berdasarkan masalah tersebut saya sebagai mahasiswa melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisa emisi mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar campuran biodiesel *calophyllum inophyllum* dan solar. Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak sayur atau lemak hewan. *Calophyllum inophyllum* atau biasa dikenal dengan tanaman nyamplung merupakan salah satu tumbuhan non konsumtif yang tumbuh di daerah pesisir pantai dan cukup subur di wilayah pesisir Indonesia. Tumbuhan ini dimanfaatkan bijinya yang nanti di peras kandungan minyaknya. Setelah itu akan diproses menjadi biodiesel melalui tiga tahap yaitu degumming, esterifikasi dan transesterifikasi. Biodiesel yang dihasilkan memiliki kelemahan antara lain memiliki viskositas yang lebih tinggi dari solar.

Sehingga pada pengaplikasiannya perlu dicampurkan dengan solar. Serta dilakukan peningkatan rasio kompresi untuk mereduksi dampak dari kelemahan biodiesel tersebut. Biodiesel akan dicampurkan dengan solar menggunakan persentase volume. Persentase biodiesel yang digunakan yaitu 10%, 20%, dan 30%. Sedangkan variasi rasio kompresi yang digunakan yaitu 15,5; 17,5; dan 19,5. Mesin Diesel yang digunakan yaitu Yanmar L70N buatan Italia yang memiliki satu silinder.

Penelitian mendapatkan hasil bahwa semakin bertambahnya kandungan biodiesel pada solar serta naiknya rasio kompresi pada engine diesel dapat menurunkan kandungan emisi CO dan HC serta opasitas pada emisi mesin diesel. Sedangkan kandungan CO₂ mengalami peningkatan ini menjadi indikasi bahwa semakin sempurna pembakaran pada ruang bakar. Hal ini dikarenakan pada biodiesel *calophyllum inophyllum* memiliki jumlah O₂ terikat (bonded oxygen) yang terkandung di dalamnya. Sehingga selain O₂ dari udara, O₂ terikat ini akan turut serta dalam proses pembakaran campuran bahan bakar sehingga pembakaran lebih baik. Sedangkan kenaikan rasio kompresi dapat berdampak pada kenaikan tekanan pada ruang bakar. Hal ini menyebabkan suhu ruang bakar semakin meningkat sehingga dapat memperbaiki kualitas dari pembakaran tersebut.

Kata Kunci : Biodiesel, *Calophyllum Inophyllum*, Degumming, Esterifikasi, Transesterifikasi, Bonded Oxygen.

Viki Pratama, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, June 2018, *The Influence of Compression Ratio on The Emission of Diesel Engine with Biodiesel Calophyllum Inophyllum*, Academic Supervisor : Mega Nur Sasongko and Francisca Gayuh Utami Dewi

Summary

Energy is one of the most important needs for the human population in the world. The demand for energy in the world is increasing, especially in the field of transportation which causing the production of the fuel with the use of it not balancea and causing scarcity of fuel. In addition there are problems with the air pollution due to the high usage of motor vehicles. Based on the problems above, as a student, I'm doing a research that aims to analyze diesel engine emissions by using mixed biodiesel made of calophyllum inophyllum and diesel. Biodiesel is a fuel consisting of a mixture of mono alkyl esters of a long chain of fatty acids, it is used as an alternative fuel for diesel engines and made from renewable sources such as vegetable oils or animal fats. Calophyllum inophyllum or commonly known as 'nyamplung' plant is one of the non-consumptive plants that grow in the coastal area and is quite fertile in coastal areas of Indonesia. This plant's seeds is exploited by squeezing the oil content. After that it will be processed into biodiesel through three stages of process which are degumming, esterification and transesterification. The resulting biodiesel has the disadvantages of having a higher viscosity than diesel.

So on the application it need to be mixed with diesel. And also increased the compression ratio to reduce the impact of biodiesel weakness. Biodiesel will be mixed with diesel using volume percentage. Percentage of biodiesel used is 10%, 20%, and 30%. While the variation of the compression ratio used is 15.5; 17.5; and 19.5. Diesel engine used is Yanmar L70N which is made in Italy and has one cylinder.

Research has found that by increasing the biodiesel content in diesel as well as increasing the compression ratio in diesel engines can reduce CO and HC emissions and opacity in diesel engine emissions. While the CO₂ content has increased this to be an indication that the combustion in the combustion chamber is more perfect. This is caused by the biodiesel, calophyllum innophyllum has the amount of O₂ bonded (bonded oxygen) contained in it. So aside from O₂ from the air, this bound O₂ will participate in the combustion process of the fuel mixture so that the combustion is better. While the increase in compression ratio can affect the increase in pressure on the combustion chamber. This causes the temperature of the combustion chamber to increase so that it can improve the quality of the burning.

Keyword : Biodiesel, Calophyllum Inophyllum, Degumming, Esterifikasi, Transesterifikasi, Bonded Oxygen.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi populasi manusia di dunia ini. Kebutuhan energi di dunia ini semakin meningkat, khususnya pada bidang transportasi. Berikut merupakan data yang dilansir Badan Pusat Statistik yaitu pada tahun 2015 ke tahun 2016 terjadi kenaikan jumlah kendaraan bermotor dari 121.349.185 ke 129.281.079. Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan kendaraan bermotor tiap tahunnya meningkat sebesar 6.53%. Hal ini menyebabkan permintaan akan kebutuhan Bahan Bakar Minyak (BBM) semakin tinggi sedangkan BBM merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Dengan demikian masalah ini akan menjadi sebuah bom waktu apabila dibiarkan. Masalah ini dapat mendorong kita sebagai mahasiswa untuk berinovasi dalam hal teknologi guna melestarikan bahan bakar minyak. Menurut data yang dilansir SKK MIGAS jumlah produksi minyak di Indonesia mengalami penurunan dari tahun 2006-2015 sedangkan jumlah konsumsi bahan bakar minyak semakin meningkat. Pada hal itu terdapat suatu fenomena yang bertolak belakang dan berakibat buruk bagi perkembangan bangsa ini oleh sebab itu apabila tidak ada tindakan berlanjut maka bukan tidak mungkin negara kita akan mengalami krisis energi sehingga stabilitas negara akan sangat terganggu.

Mesin diesel merupakan mesin yang bekerja dengan prinsip kerja kompresi dan juga memiliki efisiensi yang paling tinggi dibandingkan *internal combustion engine* yang lain. Bahan bakar yang digunakan oleh mesin diesel adalah solar. Solar berasal dari olahan minyak mentah dari perut bumi yang berasal dari fosil sehingga merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui. Mesin diesel banyak dipakai di kehidupan sehari-hari antara lain mobil, traktor, genset. Semakin maraknya penggunaan mesin diesel maka dapat menimbulkan kelangkaan bagi bahan bakar tersebut. Dalam hal ini kita perlu energi alternatif agar hal itu bisa dihindarkan. Selain kelangkaan masalah yang lain yaitu meningkatnya suhu permukaan bumi. Kejadian tersebut disebabkan oleh meningkatnya emisi gas hasil pembakaran pada bahan bakar fosil. Solar sendiri menghasilkan gas buang yang mengandung nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2) yang tinggi. Solusi dari problem tersebut adalah menemukan sebuah bahan bakar alternatif yang berasal dari tumbuhan dan ramah lingkungan.

Pada pembuatan bahan bakar alternatif banyak hal yang perlu diperhatikan. Antara lain yaitu struktur kimia pada tumbuhan yang akan dijadikan *biodiesel*. Selain itu *biodiesel* yang akan digunakan juga harus memiliki karakteristik yang hampir menyerupai solar. Karakteristik yang dimaksud antara lain *flash point*, *cetane number*, *viskositas*, massa jenis.

Tanaman nyamplung yang memiliki nama latin *calophyllum inophyllum* merupakan salah satu tanaman *mangrove* yang banyak tumbuh di seluruh wilayah indonesia terutama di daerah pesisir pantai. Tanaman ini memiliki keunggulan dapat dipanen sepanjang tahun dan juga regenerasi yang mudah sebab tanaman ini dapat tumbuh bebas tanpa perawatan yang sulit. Biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) memiliki kandungan minyak sebesar 60,1% dari beratnya. Dengan kandungan minyak sebesar ini maka biji nyamplung memiliki potensi yang besar bila digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (Fatih Ridho Muhhamad; 2014). Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan campuran biodiesel *C.Inophyllum* dan bahan bakar solar (B10, B20, B30 dan B50) memenuhi standar biodiesel ASTM. Selain itu, telah ditemukan bahwa B10 memberikan peningkatan yang baik dalam kinerja mesin dengan lebih tinggi BTE (*Brake thermal efficiency*) dari hasil pengujian performa mesin. Di sisi lain, ada peningkatan ekonomis bahan bakar dengan BSFC (*Brake specific fuel consumption*) dan EGT (*Exhaust gas temperature*) lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel (Misbakhuddin, 2017).

Namun ada kelemahan dalam penggunaan *Calophyllum inophyllum* tersebut yaitu saat penyulutan akan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan waktu penyulutan pada solar dan kerosin. Hal ini dikarenakan nilai kalor yang dimiliki *Calophyllum Inophyllum* lebih rendah daripada solar. Meskipun demikian, kebutuhan kalor dari minyak *Calophyllum inophyllum* lebih rendah daripada kompor yang menggunakan solar (Puspitahati, 2011)

Rasio kompresi mengacu pada volume atau jumlah campuran udara dan bahan bakar yang dapat ditampung silinder mesin pada saat kosong (pada ukuran ruang terbesar) dibandingkan dengan volume saat silinder ditekan oleh piston dan memiliki ukuran ruang terkecil. Sehingga apabila kompresi dinaikan maka volume silinder semakin sempit dan menyebabkan tekanan meningkat sehingga suhu di dalam ruang bakar lebih tinggi. Dikarenakan karakteristik biodiesel yang memiliki viskositas diatas bahan bakar diesel pada umumnya maka diperlukan kompresi yang lebih tinggi dari kondisi standard.

Penelitian ini menggunakan mesin diesel yanmar LN 70. Mesin ini biasanya dipakai untuk *genset* yang dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Pada kondisi standard kompresi pada mesin ini 19,5 : 1. Dalam penentuan kompresi yang digunakan harus menyesuaikan

dengan karakteristik campuran bahan bakar biodiesel dan solar tersebut. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja serta emisi pada mesin diesel itu sendiri. Maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio kompresi terhadap emisi pada mesin diesel.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dibahas sebelumnya rumusan masalahnya yaitu bagaimana pengaruh rasio kompresi terhadap campuran biodiesel minyak nyamplung ditambah solar terhadap emisi pada mesin diesel yanmar L70N.

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang digunakan agar penelitian ini lebih akurat dan data yang dihasilkan tidak terjadi penyimpangan sebagai berikut.

1. Pengujian dilaksanakan pada suhu ruangan.
2. Losses yang terdapat pada saluran bahan bakar dan sistem transmisi diabaikan.
3. Bahan bakar yang digunakan produk dari perusahaan yang sama..
4. Sistem beroperasi saat kondisi *steady state*.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan biodiesel *calophyllum inophyllum* pada solar terhadap emisi mesin diesel.
2. Untuk mengetahui pengaruh rasio kompresi pada emisi *engine* diesel berbahan bakar campuran biodiesel *calophyllum inophyllum* dan solar.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat menginformasikan kepada masyarakat bahwa terdapat bahan bakar alternatif berasal dari tumbuhan yang non konsumtif dan menghasilkan emisi yang lebih baik daripada bahan bakar fosil.
2. Dapat menginformasikan emisi yang terbaik pada persentase biodiesel dan solar yang paling optimal.
3. Dapat dihasilkan sebuah data tentang rasio kompresi yang sesuai pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar campuran biodiesel *calophyllum inophyllum* dan solar.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Eko Wahyu (2014) melakukan penelitian tentang Studi Komparasi Emisi Gas Buang Bahan Bakar Solar dan Biodiesel dari *Crude Oil* Nyamplung Pada Mesin Diesel Nissan D22. Dia melakukan penelitian dengan variasi campuran solar dan biodiesel yang digunakan antara lain B5, B7, B10, B12,5, B15. Uji prestasi mesin dilakukan pada putaran 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa bertambahnya kadar presentase biodiesel minyak nyamplung mengakibatkan menurunnya persentase CO dan CO₂ gas buang yang dihasilkan namun meningkatnya kadar O₂ pada gas buang. Hal ini terjadi seiring bertambahnya putaran yang bekerja pada mesin diesel Nissan D22.

Pada penelitian Ashok (2017). Dia melakukan penelitian dengan mencampurkan biodiesel dan solar. Hasil dari penelitiannya yaitu penambahan biodiesel pada campuran dapat menekan kandungan CO dan HC pada emisi mesin diesel serta menurunkan opasitas emisi akan tetapi dapat meningkatkan kadar NO_x pada emisi mesin diesel

2.2 Motor Diesel

Motor diesel ditemukan oleh seorang ilmuwan Prancis bernama Rudolf Christian Karl Diesel di tahun 1880. Pada awalnya Diesel mengharapkan terciptanya sebuah mesin yang dapat bekerja dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batubara. Pada tahun 1900 dia mempertunjukkan hal tersebut dengan bahan bakar biodiesel minyak kacang.

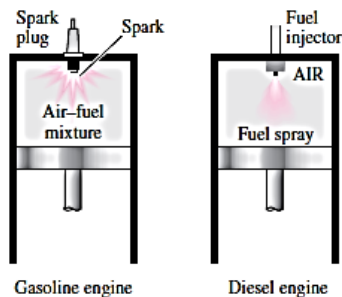
Motor diesel disebut juga dengan *compression ignition engine*. Dalam hal ini berarti motor diesel merupakan salah satu jenis *internal combustion engine* yang menggunakan tekanan tinggi untuk membakar bahan bakar yang dimasukkan ke ruang bakar.

2.2.1 Siklus Termodinamika Diesel

Siklus termodinamika adalah serangkaian proses termodinamika yang menggambarkan transfer panas dan kerja dalam berbagai keadaan (temperatur tekanan, dan keadaan lainnya) yang disederhanakan.

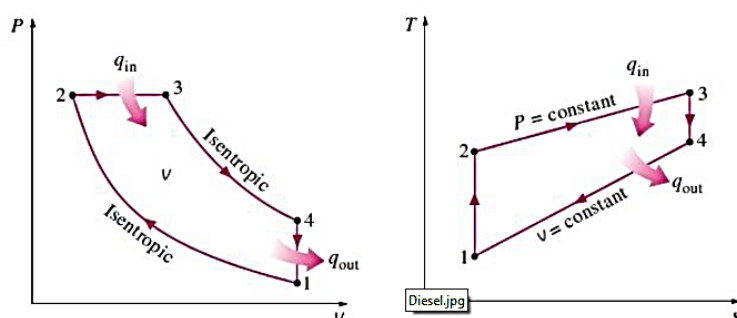
Siklus termodinamika diesel adalah siklus ideal untuk mesin reciprocating CI. Pada mesin penyalan busi (juga dikenal sebagai mesin bensin), campuran bahan bakar udara dikompresi ke suhu di bawah suhu autoignisi bahan bakar, dan proses pembakaran dimulai

dengan menembaki busi. Di mesin CI (juga dikenal sebagai mesin diesel), udara dikompres ke suhu yang berada di atas suhu autoignisi dari bahan bakar, dan pembakaran mulai kontak saat bahan bakar disuntikkan udara panas ini. Karenanya, busi dan karburator diganti dengan bahan bakar injektor pada mesin diesel (Thermodynamics, Cengel, 1994:464).



Gambar 2.1 Perbedaan mesin diesel dan mesin otto
Sumber: Thermodynamics, Cengel (1994:464)

Proses injeksi bahan bakar di mesin diesel dimulai saat piston mendekati TDC dan berlanjut selama bagian pertama dari serangan daya. Oleh karena itu, proses pembakaran di mesin ini berlangsung di atas interval yang lebih panjang. Karena durasi yang lebih lama ini, proses pembakaran di siklus Diesel yang ideal didekati sebagai penambahan panas tekanan konstan proses. Sebenarnya, inilah satu-satunya proses dimana Otto dan Diesel siklus berbeda Tiga proses yang tersisa sama untuk kedua ideal siklus. Artinya, proses 1-2 adalah kompresi secara isentropik, 2-3 proses memasukkan kalor secara isobarik, 3-4 ekspansi secara isentropik, dan 4-1 adalah pembuangan kalor pada volume konstan (Thermodynamics, Cengel, 1994:464). Siklus dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Siklus Termodinamika Diesel
Sumber: Thermodynamics, Cengel (1994:464)

2.2.2 Mesin Diesel 4 Langkah

Motor diesel 4 langkah bekerja bila melakukan empat kali gerakan (dua kali putaran engkol) menghasilkan satu kali kerja. Secara skematis prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Langkah Isap

Pada langkah ini katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara mengalir ke dalam silinder.

2. Langkah Kompresi

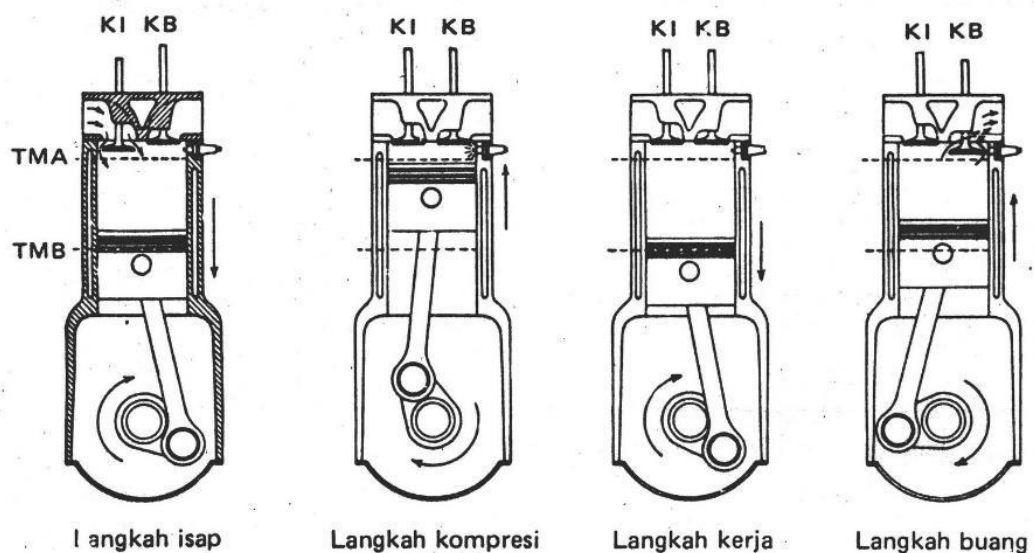
Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari titik TMB ke TMA menekan udara yang ada dalam silinder. 5° setelah mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan.

3. Langkah Ekspansi

Karena injeksi bahan bakar kedalam silinder yang bertemperatur tinggi, bahan bakar terbakar dan berekspansi menekan piston untuk melakukan kerja sampai piston mencapai TMB. Kedua katup tertutup pada langkah ini.

4. Langkah Buang

Ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Ketika piston bergerak menuju TMA sisa pembakaran terbuang keluar ruang bakar. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Skema dari langkah gerakan piston di dalam silinder pada motor bakar 4 langkah ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema motor diesel 4 langkah
Sumber: Arismunandar (2002:8)

2.2.3 Pembakaran

Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen yang kemudian membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan panas dan cahaya dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008).

Pada motor diesel minyak bakar yang disemprotkan ke dalam silinder berbentuk butir-butir cairan yang halus. Oleh karena udara di dalam silinder pada saat tersebut sudah bertemperatur dan bertekanan tinggi maka butir-butir tersebut akan menguap. Penguapan butir bahan bakar tersebut dimulai dari bagian permukaan luarnya, yaitu bagian yang terpanas. Uap bahan bakar yang terjadi itu selanjutnya bercampur dengan udara yang ada di sekitarnya. Proses penguapan itu berlangsung terus selama temperatur sekitarnya mencukupi. Jadi proses penguapan juga terjadi secara berangsur-angsur. Demikian juga dengan proses pencampurannya dengan udara. Maka pada suatu saat dimana terjadi campuran bahan bakar udara yang sebaik-baiknya, proses penyalaan bahan bakar dapat berlangsung dengan sebaik-baiknya. Sedangkan proses pembakaran di dalam silinder juga terjadi secara berangsur-angsur dimana proses pembakaran awal terjadi pada temperatur yang relatif lebih rendah dan laju pembakarannya pun akan bertambah cepat, hal itu disebabkan karena pembakaran berikutnya berlangsung pada temperatur tinggi (Arismunandar, 1996:12).

Secara umum syarat terjadinya pembakaran ada 3 yaitu bahan bakar, oksigen, dan energi aktivasi. Secara umum proses pembakaran terjadi ketika memenuhi ketiga unsur tersebut. jika terdapat salah satu dari ketiga unsur tersebut hilang maka pembakaran tidak akan terjadi atau api tidak akan muncul.



Gambar 2.4 Ilustrasi Pembakaran

Sumber : Wardana (2008, p.3)

Udara atmosfer berisi sekitar 21% volume oksigen (O_2). Sisanya yang 79% terdiri dari gas-gas lain yang sebagian besar adalah nitrogen (N_2). Jadi kita dapat menganggap udara terdiri dari oksigen 21% dan nitrogen 79%. Kerapatan udara atmosfer sedikit banyak berpengaruh pada proses pembakaran karena kerapatan udara dipengaruhi suhu dan ketinggian lokasi suatu tempat di atas permukaan laut. Berarti udara yang masuk ke mesin di lokasi berbeda dapat memiliki jumlah oksigen yang sangat berbeda.



Gambar 2.5 Proses Pembakaran Sempurna

Sumber: Kristanto (2015)

2.3 Bahan Bakar Motor Diesel

Bahan bakar adalah suatu materi yang akan diubah menjadi energi oleh reaksi eksotermal pada proses pembakaran. Kandungan utama dalam bahan bakar adalah karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan kandungan minoritas bahan bakar adalah nitrogen (N), Sulphur (S), oksigen (O_2), karbondioksida (CO_2), dan air (H_2O) (Wardana, 2008).

Bahan bakar diesel lebih berat dibanding bahan bakar bensin. Dengan kata lain, lebih banyak mengandung atom karbon dalam rantai yang lebih panjang. Secara teknis, bensin secara khas dinyatakan dengan C_8H_{18} sedang bahan bakar diesel secara khas dinyatakan dengan $C_{14}H_{30}$. 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 menyala (Kristanto, 2015).

2.3.1 Bahan Bakar dan Karakteristik Solar

Minyak solar adalah suatu produk destilasi minyak bumi yang khusus digunakan untuk bahan bakar mesin Compression Ignition (udara yang dikompresi menimbulkan tekanan dan panas yang tinggi sehingga membakar solar yang disemprotkan Injector) dan di Indonesia minyak solar ditetapkan dalam peraturan Dirjend Migas No. 002/P/DM/MIGAS/2007.

Minyak solar berasal dari Gas Oil, yang merupakan fraksi minyak bumi dengan kisaran titik didih antara 2500°C sampai 3500°C yang disebut juga middle destilat. Komposisinya terdiri dari senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang ditemukan dalam minyak solar seperti parafinik, naftenik, olefin dan aromatik. Sedangkan untuk senyawa non-hidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur-unsur non-logam, yaitu sulfur, nitrogen, dan oksigen serta unsur logam seperti vanadium, nikel, dan besi.

2.3.1.1 Karakteristik Solar

Menurut Kristanto (2015) karakteristik umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar diesel antara lain viskositas, angka cetana, berat jenis, nilai kalor pembakaran, volalitas, kadar residu karbon, kadar air dan sedimen, indeks diesel, titik embun dan kadar sulfur.

Syarat umum yang harus dimiliki oleh minyak solar adalah harus dapat menyala dan terbakar sesuai kondisi ruang bakar. Minyak solar sebagai bahan bakar memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh sifat-sifat seperti *Cetana Number* (CN), nilai panas, densitas, viskositas kinematik, dan titik nyala api.

1. Angka Cetana

Angka cetana menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menyala sendiri. Skala untuk angka cetana biasanya menggunakan referensi berupa campuran antara normal cetana ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) dengan *alpha methyl naphthalene* ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{CH}_3$) atau dengan *heptamethylnonane* ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$). Normal cetana memiliki angka cetana 100, *alpha methyl naphthalene* memiliki angka cetana 0, dan *heptamethylnonane* memiliki angka cetana 15. Angka cetana suatu bahan bakar biasanya didefinisikan sebagai persentase volume dari normal cetana dengan campuran tersebut.

Angka cetana yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah, dan sebaliknya angka cetana rendah menunjukkan bahan bakar baru dapat menyala pada temperatur yang relatif tinggi. Penggunaan angka cetana yang tinggi dapat mencegah terjadinya *knocking* karena begitu bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder pembakaran, maka bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi. Jika angka cetana bahan bakar rendah, penundaan pengapian menjadi terlalu panjang hal ini bisa mengakibatkan efisiensi termal rendah dan motor beroperasi dengan kasar.

Penundaan penyalaan yang panjang dengan angka cetana dibawah 40 menghasilkan campuran bahan bakar-udara yang sangat kaya ketika pengapian terjadi. Hal ini mengakibatkan tingkat asap buangan yang tak dapat diterima (Kristanto,2015).

2. Nilai Panas

Nilai panas bahan bakar dapat diukur dengan menggunakan Bomb kalorimeter dan hasilnya dimasukkan kedalam rumus perhitungan.

$$\text{Nilai Panas} = \frac{8100C + 3400 (H-0/8)}{100} \text{ kkal/kg} \quad (2-1)$$

Nilai H,C, dan O dinyatakan dalam persentasi berat dalam setiap unsur yang terkadang dalam satu kilogram bahan bakar. Hasil perhitungan tersebut merupakan suatu nilai panas kotor (*gross heating value*) suatu bahan bakar dimana termasuk didalamnya panas *laten* dari uap air yang terbentuk pada pembakaran hidrogen dari bahan bakar. Selisih nilai panas kotor dan bersih umumnya berkisar antara 600-700 kkal/kg tergantung besar persentase hidrogen yang ikut terbakar.

3. Density

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat per satuan volume minyak solar dan satuannya yaitu kg/m³. Secara kasar nilai panas suatu bahan bakar dapat diperkirakan dari berat jenis yang bersangkutan.

Berat Jenis pada 15⁰C : 0,85; 0,87; 0,89; 0,91; 0,93

Nilai panas kotor (kkal/kg) : 10900; 10800; 10700; 10600; 10500.

Menurut spesifikasi minyak solar di indonesia mempunyai berat jenis antara 0,820 – 0.870 pada temperatur 600F, dengan demikian dapat diperkirakan mempunyai nilai panas kotor minimal 10800 kkal/kg karena semakin rendah berat jenisnya semakin tinggi nilai panas kotornya dan berdasarkan pengukuran laboratorium minyak solar berat jenisnya 0,8521 dengan panas kotor 10917 kkal/kg. Densitas yang disarankan untuk minyak solar berdasarkan *Masdent Point Refinery* untuk tahun 2000 yaitu 826 – 859 km/m3.

4. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik yaitu salah satu sifat dari cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi juga ketika adanya interaksi antar molekul cairan.

5. Titik Nyala

Titik nyala adalah suhu terendah dari suatu bahan bakar untuk membentuk uap untuk membentuk campuran yang dapat memicu api di udara.

2.3.2.2 Karakteristik Minyak Solar di Indonesia

Pada penelitian ini digunakan bahan bakar solar produk dari PT Pertamina. Solar salah satu bahan bakar mesin diesel yang paling murah namun memiliki karakteristik bahan bakar yang buruk. Salah satunya yaitu solar memiliki angka *cetane* yang rendah dibandingkan produk bahan bakar diesel yang lain. Sehingga angka *cetane* yang lebih tinggi pada biodiesel dapat memperbaiki sifat solar ini.

Tabel 2.1
Spesifikasi Solar di Indonesia

Sifat	Minimal	Maksimal	ASTM	Satuan
<i>Cetane Number</i>	48	-	D 613	-
	45	-	D 4737	-
Titik Nyala	52	-	D 93	⁰ C
Viscosity @40 ⁰ C mm/s	2	4,5	D 455	mm ² /s
Berat Jenis @40 ⁰ C	815	860	D 1298 / D4052	Kg/m ³

Sumber: PT Pertamina

2.3.2 Biodiesel *Calophyllum Inophyllum*

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang dibuat dari minyak sayur, lemak hewan, atau minyak bekas melalui proses transesterifikasi dengan alkohol seperti metanol yang dapat digunakan secara langsung maupun dicampur dengan minyak diesel. Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat berpotensi besar dalam hal minyak nabati sebab berbagai macam minyak dari tumbuhan dapat diolah menjadi biodiesel. Dalam penelitian ini kita memakai biodiesel *calophyllum inophyllum*.

Calophyllum inophyllum adalah salah satu spesies tanaman mangrove dari famili *Calophyllaceae*. Tanaman ini tumbuh di pesisir pantai hampir di seluruh Indonesia, di Pulau Jawa tanaman ini biasa disebut nyamplung, sedangkan di Kalimantan biasa disebut bintangur, dan biasa disebut hatau di Ambon. Ciri-ciri tumbuhan ini antara lain, batang berkayu, bulat dan berwarna cokelat, bentuk daun tunggal, bersilang berhadapan, bulat memanjang atau bulat telur, ujung tumpul, pangkal membulat, tepi rata, pertulangan menyirip, panjang 10-21 cm, lebar 6-11 cm, tangkai 1,5-2,5 cm, mempunyai bunga yang merupakan bunga majemuk, berbentuk tandan, mempunyai buah berbentuk bulat seperti peluru, diameter 2,5-3,5 cm, warna hijau, kering menjadi cokelat, bijinya berbentuk bulat, tebal, keras, warna cokelat, pada intinya terdapat minyak berwarna kuning, mempunyai perakaran tunggang, serta tinggi pohon bisa mencapai 20 meter. Tanaman ini biasa dipanen antara bulan Juli-Desember tiap tahunnya (JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-5).

Calophyllum inophyllum memiliki kandungan lemak tidak jenuh yang lebih tinggi daripada lemak jenuh sehingga memungkinkan untuk dijadikan biodiesel. Berikut merupakan kandungan dari minyak nyamplung.

Tabel 2.2

Kandungan *Calophyllum inophyllum*

No	Jenis Asam Lemak	Presentase (%)
1	Asam lemak jenuh	29,41
	Asam Palmiat (C16:0)	14,31
	Asam Stearat (C18:0)	15,09
2	Asam lemak tidak jenuh	70,32
	Asam Palmitoleat (C16:1)	0,406
	Asam Oleat C18:1)	35,48
	Asam Linoleat (C18:2)	33,87
	Asam Linoleat (C18:3)	0,557

Sumber: Fatih Ridho Muhammad (2014)

Berikut merupakan 3 proses penting dalam pembuatan biodiesel *calophyllum inophyllum*.

1. Degumming

Tahap ini diawali dengan pemanasan minyak nyamplung pada suhu 800 °C kemudian dilanjutkan dengan penambahan asam fosfat sebanyak 0,3% (w/w) minyak nyamplung disertai dengan pengadukan selama 15 menit. Kemudian dilakukan pencucian menggunakan aquades hangat 400 °C serta pemisahan di dalam corong pemisah. Lapisan atas (minyak) kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 105 °C yang bertujuan mengurangi kadar air dalam minyak.

2. Esterifikasi

Tahap ini memiliki tujuan untuk mengkonversi asam lemak bebas (FFA) yang terkandung dalam minyak nyamplung menjadi metil ester dan air. Kadar FFA ini harus diturunkan hingga < 2% agar dapat dilanjutkan ke tahap trans-esterifikasi. Tahap ini dimulai dengan mencampur minyak dengan methanol (ratio mol minyak-metanol 1:40) dan katalis H₂SO₄ sebanyak 13% (v/v) didalam reaktor labu leher satu. Kemudian melakukan pemanasan didalam oven microwave selama 60 menit disertai pengadukan. Setelah melalui proses pemanasan, dilakukan pemisahan antara methanol,minyak dan katalis menggunakan corong pemisah, lapisan atas berupa methanol yang dapat dimurnikan lagi dan lapisan bawah adalah campuran minyak dan metil ester yang selanjutnya dilakukan pencucian dengan aquades hangat. Langkah terakhir adalah

proses pemanasan dalam oven bersuhu 105 °C dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dalam minyak.

3. Transesterifikasi

Trans-esterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol (pada saat ini sebagian besar produksi biodiesel menggunakan methanol dikarenakan lebih ekonomis) menghasilkan metil ester asam lemak atau *Fatty Acids Methyl Esters* (FAME) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping.

Berikut ini merupakan perbandingan karakteristik biodiesel *Calophyllum Innophyllum* dengan SNI 04- 7182-2006.

Tabel 2.3

Perbandingan biodiesel *Calophyllum Innophyllum* dengan SNI 04- 7182-2006.

No	Parameter	Satuan	Metode Uji	Nilai	Biodiesel Nyamplung
1	Massa Jenis pada 40 C	Kg / m ³	ASTM D 1298	850-890	888,6
2	Viskositas Kinematik pada 40 C	mm ² /s	ASTM D 445	2,3-6,0	2,724
3	Bilangan Setana	-	ASTM D 613	Min 51	71,9
4	Titik Nyala (Mangkup Tertutup)	C	ASTM D 93	Min 100	151
5	Titik Kabut	C	ASTM D 2500	Maks 18	38
6	Korosi Kepingan Tembaga (3 jam pada 50 C)	-	ASTM D 130	MAKS 3	1b
7	Residu Karbon Dalam Contoh Asli Dalam 10% Ampas Destilasi	% massa	ASTM D 4350	Maks 0,05 Maks 0,03	-0,434
8	Air Sedimen	% Volume	ASTM D 1796	Maks 0,05	0
9	Suhu Destilasi 90%	C	ASTM D 1160	Maks 360	340
10	Abu tersulfatkan	% massa	ASTM D 874	Maks 0,02	0,026
11	Belarang	ppm-m	ASTM D 1266	Maks 100	16
12	Fosfor	ppm-m mg-	ASTM D 1091	Maks 10	0,223
13	Bilangan Asam	KOH/gr	AOCS Cd 3d-63	Maks 0,8	0,76
14	Gliserol Total	% massa	AOCS Ca 14- 56 SNI 04-7182-	Maks 0,24	0,232
15	Kadar Ester Alkil		2006	Min 96,5	96,99
16	Bilangan Iodium		AOCS Cd 1-25	Maks 115	85

Sumber: Bustomi ,dkk (2009:60)

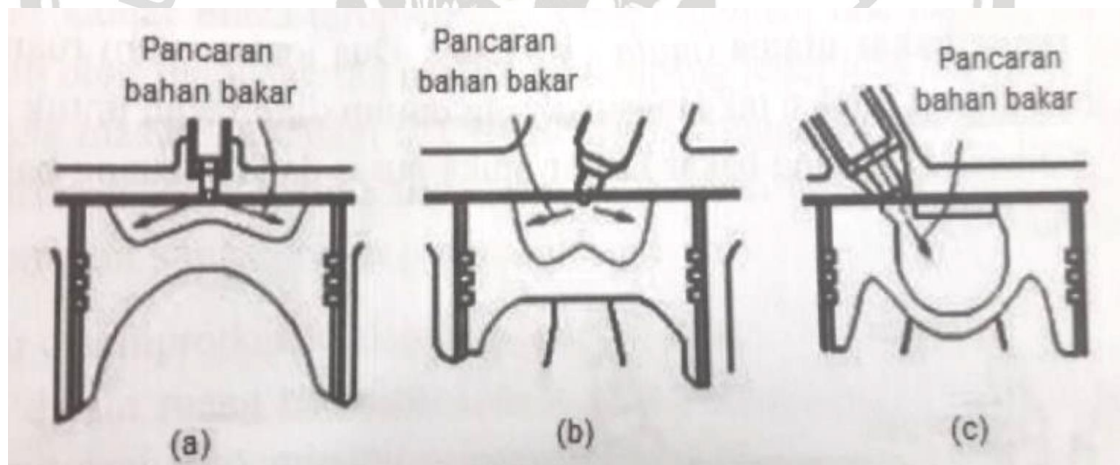
2.4 Ruang Bakar

Ruang bakar adalah area di dalam silinder di mana campuran bahan bakar/udara dimampatkan dan kemudian dinyalakan. Ruang bakar ini dibatasi oleh kepala silinder dan kepala torak dengan posisi torak di TMA pada langkah kompresi. Pada mesin diesel, kepala silinder biasanya datar dan ruang bakar terbentuk di kepala piston, meskipun beberapa mesin diesel memiliki ruang pra-pembakaran di kepala silinder.

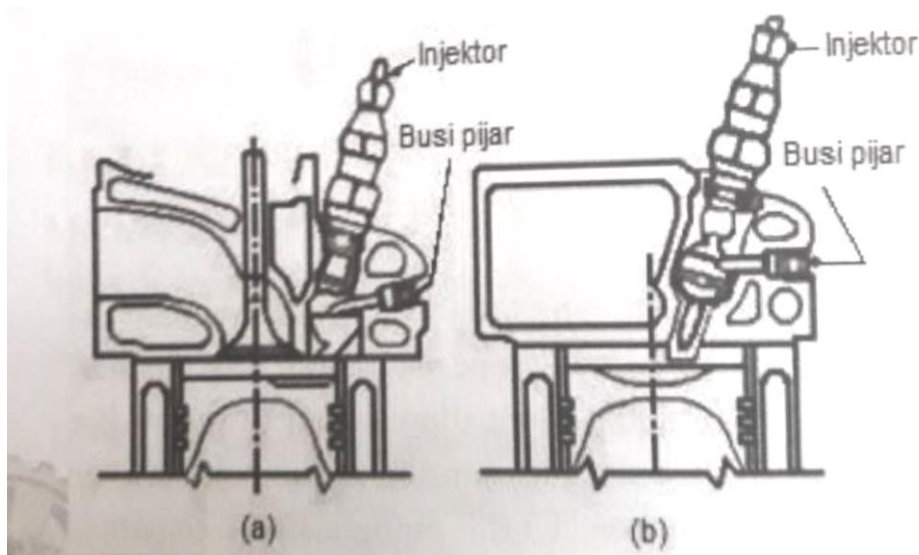
Ruang bakar yang lebih kecil menghasilkan rasio kompresi lebih tinggi dan karenanya akan menghasilkan tenaga lebih besar. Kompresi yang lebih tinggi juga menciptakan suhu yang lebih tinggi.

Berdasarkan kontruksi ruang bakarnya, motor diesel dibedakan menjadi:

1. Motor diesel injeksi langsung (*Direct Injection, DI*) dengan ruang bakar terbuka tunggal, dimana bahan bakar diinjeksikan secara langsung ke dalam ruang bakar.
2. Motor diesel injeksi tak langsung (*Indirect Injection, IDI*), di mana ruang bakar dibagi menjadi dua : ruang bakar utama (yang diposisikan di atas torak) dan ruang bakar kamar muka (*prechamber*) di mana kedua ruang ini dihubungkan melalui nosel dengan satu orifis atau lebih. Bahan bakar diinjeksikan ke ruang bakar kamar muka.



Gambar 2.6 Nosel Injektor dan Beberapa Jenis Ruang Bakar Injeksi Langsung
 Sumber: Kristanto (2015)



Gambar 2.7 Nosel injektor dan beberapa jenis ruang bakar injeksi tak langsung
Sumber: Kristanto (2015)

Pada penelitian ini kami menggunakan mesin diesel injeksi langsung. Terdapat beberapa keuntungan dari injeksi langsung antara lain:

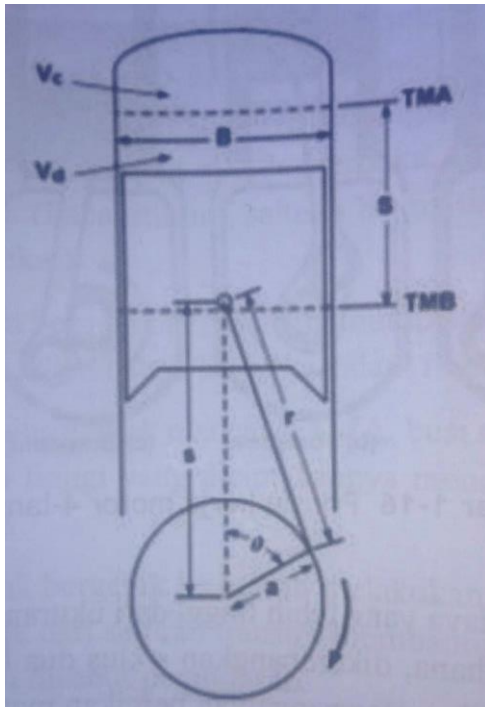
1. start awal lebih mudah karena tidak membutuhkan busi pijar (*glow plug*)
2. Bentuk ruang bakar sederhana
3. Efisiensi termal rendah
4. Konsumsi bahan bakar rendah
5. Cocok untuk diesel yang memiliki daya yang besar

Sedangkan beberapa kerugiannya adalah:

1. Membutuhkan pompa injeksi yang bertekanan tinggi
2. Kualitas bahan bakar harus tinggi
3. Karena harus menginjeksikan bahan bakar ke beberapa arah secara radial, maka dibutuhkanlah tipe nosel berlubang banyak dengan diameter yang kecil, agar bahan bakar memiliki tekanan yang tinggi.
4. Injektor rawan tersumbat.

2.5 Rasio Kompresi

Beberapa parameter penting yang berhubungan dengan geometri motor torak diantaranya adalah diameter silinder (B), radius engkol, panjang langkah (*stroke*) torak, S , yang menyatakan pergerakan torak dari TMA ke TMB dan sebaliknya, volume langkah (VL), yang menyatakan volume yang dipindahkan oleh torak ketika bergerak sepanjang satu langkah dan volume sisa (*clearance volume*), V_c , yang menyatakan volume silinder minimum ketika torak di TMA.



Gambar 2.8 Geometri Torak dan Silinder
Sumber: Kristanto (2015)

Langkah atau volume *displacement*, V_d , atau volume langkah V_L , adalah volume yang dipindahkan oleh torak ketika bergerak dari TMB ke TMA:

$$V_L = V_{TMB} - V_{TMA} \quad (2-2)$$

Sumber: Kristanto (2015)

Untuk satu silinder dinyatakan dengan

$$V_L = \left(\frac{\pi}{4}\right) B^2 S \quad (2-3)$$

Untuk motor dengan N silinder,

$$V_L = N_c \left(\frac{\pi}{4}\right) B^2 S \quad (2-4)$$

Dimana:

B = Diameter silinder (mm)

S = Panjang langkah (mm)

N_C = Jumlah silinder motor

Volume silinder minimum, dimana jika torak berada di TMA maka disebut dengan volume sisa atau volume *clearance*, V_c atau

$$V_c = V_{TMA} \quad (2-5)$$

$$V_{TMB} = V_c + V_L \quad (2-6)$$

Rasio Kompresi yaitu:

$$R_c = \left(\frac{V_{TMB}}{V_{TMA}}\right) = \left(\frac{V_c + V_L}{V_c}\right) \quad (2-7)$$

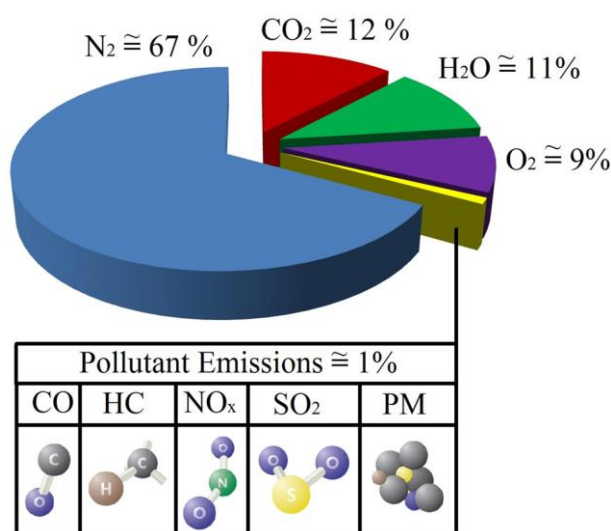
Pada umumnya motor bensin memiliki rasio kompresi antara 8-11 sedangkan pada motor diesel 12-24. Rasio kompresi merupakan suatu perbandingan antara volume titik mati bawah (TMB) dengan volume *clearance* atau volume ruang bakar di atas torak ketika torak berada pada posisi TMA. Sehingga besar kecilnya rasio kompresi dapat diatur pada volume ruang bakar yang ditambahi gasket pada head nya.

Gnanamoorthi (2014) menyatakan modifikasi dari kompresi mesin diesel akan berefek pada *ignition timing*, temperatur dan tekanan pada akhir proses kompresi. Meningkatkan rasio kompresi juga berefek pada naiknya temperatur volume udara masuk dan meningkatkan tekanan pada katup intake.

Menurut kristanto (2015) peningkatan rasio kompresi berpengaruh terhadap peningkatan tekanan pembakaran berdasarkan volume yang dipindahkan dari silinder (*swept volume*) dan berdasarkan pergerakan sudut engkol. Meningkatnya rasio kompresi motor akan meningkatkan tekanan kompresi silinder. Sehubungan dengan ini, tekanan maksimum silinder juga akan meningkat. Tekanan silinder yang lebih tinggi menyebabkan kenaikan temperatur silinder dengan peningkatan rasio kompresi yang sama. Meningkatnya temperatur silinder mengurangi periode penundaan pengapian untuk kecepatan motor yang sudah ditetapkan. Jadi, untuk motor yang berputar pada rentang kecepatan menengah, *ignition timing* semakin mendekat TMA jika rasio kompresi meningkat. Jika rasio kompresi ditingkatkan lebih lanjut, *volume clearance* silinder berkurang. Hal ini mengakibatkan menurunnya efisiensi volumetrik silinder karena lebih sedikit muatan segar yang ditarik kedalam silinder per langkah. Pada saat yang sama akan terdapat penurunan residu gas buang silinder.

2.6 Gas Buang

Kristanto (2015) berpendapat dari setiap proses pembakaran selalu dihasilkan produk pembakaran yang disebut emisi buang. Emisi gas ini mencemari lingkungan dan memberikan kontribusi terhadap pencemaran udara. Empat produk emisi utama motor pembakaran dalam adalah hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO_x) dan partikulat padat. Berikut merupakan persentase emisi yang kemungkinan di keluarkan oleh mesin diesel dapat dilihat pada gambar 2.9. pada gambar itu terlihat bahwa kandungan emisi mesin diesel terbanyak dikeluarkan oleh N₂ karena senyawa ini tidak ikut terbakar berbeda dengan C dan O. Serta N₂ didapat dari udara bebas sebesar lebih kurang 72% N₂ dan 28% O₂. Serta kandungan emisi polutan yang berada pada mesin diesel memiliki persentase terendah yaitu 1 % dari kandungan emisi total.



Gambar 2.9 Persentase Kandungan Emisi pada Mesin Diesel
Sumber: Majewski (2006)

Pada permasalahan gas buang ini terdapat dua macam solusi. Jika kita melihat dari sisi mesin diesel maka diperlukan peningkatan teknologi pada *engine* sehingga dapat mengontrol keluarnya gas buang yang dihasilkan. Jika kita melihat dari sisi bahan bakar maka kita harus memakai bahan bakar yang dapat menghasilkan jelaga seminimal mungkin sehingga resiko akan empat produk emisi tadi semakin sempit

Penelitian yang akan kami lakukan yaitu menguji gas buang dari *engine* diesel Yanmar L70N dengan menggunakan bahan bakar *Calophyllum Innophyllum*. sehingga kita dapat membandingkan banyaknya Hidrokarbon (HC), Karbon monoksida (CO), Karbondioksida (CO₂), dan opasitas emisi mesin diesel.

1. Hidrokarbon (HC)

Merupakan Ikatan kimia dari *Carbon* (C) dan *Hydrogen* (H). Sumber Penyebabnya diantaranya kendaraan bermotor 57%, Penyulingan minyak dan generator power 43% Sumber utamanya adalah gas buang dari kendaraan atau macam-macam alat pembakaran dan lain-lainnya. Seperti *Refinering Oil* (Pengilangan minyak) karena pemakaian pelarut.

Molekul bahan bakar yang tidak berhasil terbakar ketika proses kerja berlangsung dan partikel kecil yang tidak seimbang yang terbentuk dari sebagian bahan bakar. Hidrokarbon yang tidak terbakar dapat terbentuk tidak hanya karena campuran udara bahan bakar yang gemuk, tetapi bisa saja pada campuran kurus bila suhu pembakarannya rendah dan lambat serta bagian dari dinding ruang pembakarannya yang

dingin dan agak besar. Motor memancarkan banyak hidrokarbon jika baru saja dihidupkan atau berputar bebas atau pemanasan. Pemanasan dari udara yang masuk dengan menggunakan gas buang meningkatkan penguapan dari bahan bakar dan mencegah pemancaran hidrokarbon. Jumlah hidrokarbon tertentu selalu ada dalam penguapan bahan bakar ditangki bahan bakar dan dari kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dari torak masuk kedalam poros engkol yang disebut dengan *blow by gasses* (gas lalu). Pembakaran tak sempurna pada kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Hal ini pada motor diesel terutama disebabkan oleh campuran lokal udara bahan bakar tidak dapat mencapai batas mampu bakar.

2. Karbon Monoksida (CO)

Tidak berwarna dan tidak beraroma. Tidak mudah larut dalam air perbandingan berat terhadap udara (1 Atm °C) didalam udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi CO₂ (Karbon Dioksida). Berasal dari kendaraan bermotor 93% Power Generator 7% terutama sumbernya adalah pada kendaraan disaat *idling*.

Terbentuk ketika oksigen yang ada dalam proses pembakaran tidak cukup memadai untuk bereaksi dengan semua senyawa karbon yang akan dikonversi menjadi CO₂ atau bisa juga akibat ketidaksempurnaan dari campuran udara dengan bahan bakar disebabkan siklus dari *engine* yang terlalu pendek. Menurut Kristanto (2015) karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan beracun ketika dihisap. Jika masuk ke paru-paru, CO mampu bereaksi dengan *Haemoglobin* (HB) dalam darah, dan membentuk senyawa yang dapat menghalangi darah menyerap oksigen. CO biasanya dihasilkan ketika oksigen yang tersedia tidak cukup mengubah seluruh karbon menjadi karbondioksida (CO₂).

3. Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida merupakan salah satu kandungan emisi gas buang yang diharapkan dari proses pembakaran. Pada reaksi pembakaran atom C yang lepas ikatannya dari rantai hidrokarbon dapat teroksidasi secara sempurna sehingga menghasilkan CO₂. Semakin tinggi kandungan CO₂ merupakan indikasi dari reaksi pembakaran yang mendekati sempurna.

4. Opasitas

Opasitas salah satu parameter dari emisi kendaraan yang mengukur kepekatan dari gas buang yang dikeluarkan. Sehingga opasitas pada mesin diesel yang rendah merupakan

salah satu indikasi pembakaran yang mendekati sempurna. Alat yang digunakan untuk mengukur opasitas yaitu diesel *smoke analyzer*.

2.7 *Stargas Analyzer* dan *Diesel Smoke Analyzer*

Pembakaran yang sempurna dapat dianalisa dari kandungan gas sisa pembakaran yang dihasilkan oleh suatu motor bakar. Untuk menganalisa gas sisa pembakaran itu dapat kita gunakan alat yang bernama *Stargas Analyzer*. *Stargas Analyzer* merupakan suatu alat instrumentasi yang berfungsi untuk mengukur komposisi gas. Adapun gas yang diukur yaitu CO, CO₂, O₂, HC, putaran motor (rpm), temperatur mesin dan udara berlebih (*excess air*) yang keluar dari saluran gas buang. Alat ini telah dilengkapi dengan mesin printer, sehingga data hasil pengujian dapat langsung dicetak. Selain itu alat ini juga memiliki sistem *autozero* sehingga data pengujian bisa lebih akurat.

Indikasi pembakaran yang mendekati sempurna dapat diukur juga dengan menggunakan *Diesel smoke analyzer*. Dalam pemakaiannya alat ini dibantu dengan kompresor untuk mengalirkan gas buang ke saluran yang mengarah ke alat uji sehingga kepekatan gas buang dapat diukur dalam skala persentase.

2.8 Hipotesis

Semakin meningkatnya rasio kompresi pada motor diesel maka semakin meningkatnya tekanan dan temperatur pembakaran pada ruang bakar sehingga bahan bakar campuran antara solar dan biodiesel *calophyllum innophyllum* dapat terbakar secara sempurna. Sehingga meminimalisir kandungan emisi CO dan HC yang merupakan produk pembakaran yang tidak sempurna. Selain itu semakin tinggi kandungan biodiesel pada campuran bahan bakar dalam rasio kompresi yang sama, akan menurunkan kandungan emisi CO dan HC dan meningkatkan CO₂ yang dihasilkan. Serta opasitas emisinya semakin menurun. Hal ini disebabkan terkandung (*bounded Oksigen*) sehingga ikut bereaksi dan membuat pembakaran semakin sempurna .



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Metode eksperimental merupakan salah satu metode penelitian yang memungkinkan peneliti mengubah variabel pada hal yang diteliti serta mengamati sebab akibat dari variabel tersebut. Pengujiannya dilakukan secara langsung untuk mengetahui pengaruh rasio kompresi terhadap gas buang pada engine diesel yanmar LN70 berbahan bakar campuran biodiesel *calophyllum inophyllum* dan solar.

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:

- Substitusi biodiesel *calophyllum inophyllum* pada solar dengan persentase 10 %, 20 %, dan 30%.
- Variasi Rasio Kompresi 15,5 , 17,5 , dan 19,5.
- Putaran *engine* diesel 1600, 1800, 2000, 2200, dan 2400.

2. Variabel terikat (*Dependent Variabel*)

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

- Kadar CO
- Kadar CO₂
- Kadar HC
- Opasitas

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.

- Timing injection* pada keadaan standard

- 
- UNIVERSITAS
BRAWIJAYA

3.4 Instalasi Penelitian *Engine* diesel

1. *Engine* diesel Yanmar L70N
2. Proximity
3. *Stargas Analyzer*
4. *Diesel Smoke Analyzer*
5. sistem saluran bahan bakar meliputi selang, katup, tabung bahan bakar, dan sebagainya.
6. Kelistrikan dari alat meliputi kontaktor, fuse, kabel, dan sebagainya.

Komponen diatas disusun sedemikian rupa menjadi *engine test bench*. Berikut adalah skematik dari *engine test bench*:



Gambar 3.1 merupakan skematik dari *engine test bench*. Dalam pengambilan data berprinsip dari skema tersebut. Pada penelitian ini kita menggunakan *engine* diesel Yanmar L70N yang memiliki spesifikasi seperti pada tabel 3.1. untuk mengukur putaran pada poros kita menggunakan *proximity sensor*. Cara memakainya dengan menempelkan magnet pada poros engkol yang nantinya akan dibaca oleh sensor dan akan diteruskan sehingga harga putaran akan muncul di display *tachometer*. Alat yang digunakan untuk mengukur *emisi* pada *engine* diesel yaitu *stargas analyzer* yang akan mengukur kandungan gas buang berupa CO, CO₂, HC, O₂, dan lamda secara lengkap spesifikasi alat dapat dilihat pada tabel 3.2. pada pelaksanaannya dilakukan penambahan selang dari saluran *exhaust* ke *stargas analyzer* agar kandungan *emisi* dapat diukur. Setelah dilakukan pengukuran kandungan emisi gas buang dapat diukur pula opasitas emisi mesin diesel menggunakan diesel *smoke analyzer* dengan selang yang berbeda.

Hal Pertama yang dilakukan sebelum pengambilan data yaitu mengisi bahan bakar pada *Fuel tank* (11). Pastikan *voltase accumulator* (6) memenuhi untuk menghidupkan *motor starter* minimal 13,5 Volt yang nantinya dihitung dengan avometer. Kemudian *mode on* pada *contact key* (4) sehingga arus listrik berjalan ke segala indikator dan *proximity sensor* yang dipakai sesuai dengan yang telah diatur dalam *electric box* (7). Kemudian pada penyalan *engine* tekan tombol *starter button* (3) dan tarik *dekompress* (2) serta naikan bukaan *throttle* (1) gar bahan bakar bisa masuk pompa injeksi dan diinjeksikan oleh *injector* ke ruang bakar. Engine (9) telah dinyalakan dan gerakan poros akan diketahui oleh sensor rpm (8) dan informasi putaran dapat dilihat di *tachometer* (5) lalu setting sesuai RPM yang ditentukan dengan mengatur *throttle* (1). Kemudian sambungkan dengan selang pada ujung saluran *exhaust* (12) ke *Stargass analyzer* (13). Gas hasil pembakaran yang masuk ke dalam stargas akan otomatis terdeteksi kandungannya. Ketika angka emisi pada stargas sudah tidak *fluktuatif* tekan tombol *save* dan *print*. Data dari printer merupakan data emisi.

3.5 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan beserta fungsinya yang dilakukan pada penelitian ini.

1. Mesin Diesel Yanmar L70N

Mesin Diesel Yanmar L70N biasanya digunakan untuk generator pembangkit listrik atau genset. Berikut adalah spesifikasi mesin diesel Yanmar L70N.

Tabel 3.1
Spesifikasi Yanmar L70N

Merk	Yanmar, Italy S.p.A.
Model	L70N6 – METMYI
Negara Pembuat	Italy
Siklus	4 Langkah
Sistem Pembakaran	<i>Direct Injection System</i>
<i>Starting system</i>	<i>Dynamo starter</i>
Jumlah Silinder	1
Volume langkah torak total	296 cc
<i>Bore x Stroke</i>	78 mm x 62 mm
Perbandingan Kompresi	19.5
Bahan Bakar	Solar
Pendingin	<i>Forced Air Cooling</i>
<i>Lubricating Oil</i>	<i>SAE 15w - 30 Grade</i>
Daya Poros	4.9 kW / 3600 rpm

Sumber: Manual book Yanmar L70N



Gambar 3.2 Diesel Yanmar L70N

2. Stargas Analyzer

Digunakan untuk mengidentifikasi kandungan yang berada pada gas buang engine diesel. Stargas 898 dengan merek tecknotest buatan italia memiliki spesifikasi seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2
Spesifikasi Stargas Analyzer

CO	0 ÷ 15,000 % Vol (res. 0,001)
CO2	0 ÷ 20,00 % Vol (res. 0,01)
HC	0 ÷ 30000 ppm Vol (res. 1)
O2	0 ÷ 25,00 % Vol (res. 0,01)
Nox	0 ÷ 5000 % Vol (res. 1 - optional)
Lambda	0,5 ÷ 2,000 Vol (res. 0,001)

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya



Gambar 3.3 Stargas Analyzer 898

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3. Proximity

Proximity digunakan untuk menghitung putaran yang berada pada poros diesel. Hal ini bertujuan pada pengambilan data lebih akurat dikarenakan variabel terkontrolnya konstan.



Gambar 3.4 Proximity

4. Gasket

Gasket merupakan pelat kuningan yang bertujuan untuk menaikkan dan menurunkan rasio kompresi pada *engine*.



Gambar 3.5 Gasket Kompresi

5. Smoke Analyzer

Digunakan untuk mengidentifikasi kepekatan asap (opasitas) dari emisi mesin diesel.



Gambar 3.6 Smoke Analyzer

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3.6 Mengubah Rasio Kompresi

Untuk mengubah rasio kompresi yaitu menambah ketebalan dari *head gasket*.

Pertama kita harus mengetahui spesifikasi dari motor diesel pada Tabel 2.4.

Tabel 3.3

Spesifikasi Motor Diesel Standard

Spesifikasi Motor Diesel Standard	
Diameter Piston (<i>Bore</i>)	7,8 cm
Langkah Piston (<i>Stroke</i>)	6,7 cm
Volume Silinder (<i>Displacement</i>)	320 cm ³
Perbandingan Kompresi	19,5 : 1

sumber : Manual book yanmar L70N

Berikut merupakan perhitungan dari volume titik mati atas (TMA) pada kondisi standard.

$$rc = \frac{VL}{V_{TMA}} + 1 \quad (2-7)$$

$$19,5 = \frac{320 \text{ cm}^3}{V_{TMA}} + 1$$

$$18,5 = \frac{320 \text{ cm}^3}{V_{TMA}}$$

$$V_{TMA} = \frac{320 \text{ cm}^3}{18,5}$$

$$V_{TMA} = 17.29 \text{ Cm}^3$$

Untuk mendapatkan tebal gasket untuk rasio kompresi 17.5 maka kembali menggunakan persamaan 2-7 sebagai contoh berikut.

$$17,5 = \frac{320 \text{ cm}^3}{V_{TMA17,5}} + 1 \quad (2-7)$$

$$16,5 = \frac{320 \text{ cm}^3}{V_{TMA17,5}}$$

$$V_{TMA17,5} = 19,39 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{gasket } 17,5} = V_{TMA17,5} - V_{TMA} \quad (2-2)$$

$$V_{\text{gasket } 17,5} = 19.29 - 17,39$$

$$V_{\text{gasket } 17,5} = 2,1 \text{ cm}^3$$

$$2,1 \text{ cm}^3 = \frac{\pi}{4} \times (7,8)^2 \times T_{\text{gasket } 17,5} \quad (2-3)$$

$$T_{\text{gasket } 17,5} = \frac{2,1 \text{ Cm}^3}{\frac{\pi}{4} \times (7,8\text{cm})^2}$$

$$T_{\text{gasket } 17,5} = 0,0439 \text{ cm}$$

$$T_{\text{gasket } 17,5} = 0,5 \text{ mm}$$

Untuk mendapatkan tebal gasket untuk rasio kompresi 15.5 maka kembali menggunakan persamaan 2-7 sebagai contoh berikut.

$$15,5 = \frac{320 \text{ cm}^3}{V_{TMA15,5}} + 1 \quad (2-7)$$

$$14,5 = \frac{320 \text{ cm}^3}{V_{TMA15,5}}$$

$$V_{TMA15,5} = 22.06 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{gasket } 15,5} = V_{\text{TMA}15,5} - V_{\text{TMA}} \quad (2-2)$$

$$V_{\text{gasket } 15,5} = 22.06 - 17.39$$

$$V_{\text{gasket } 15,5} = 4.67 \text{ cm}^3$$

$$4,67 \text{ Cm}^3 = \frac{\pi}{4} \times 7,8 \times T_{\text{gasket } 15,5} \quad (2-3)$$

$$T_{\text{gasket } 15,5} = \frac{4,67 \text{ Cm}^3}{\frac{\pi}{4} \times (7,8\text{cm})^2}$$

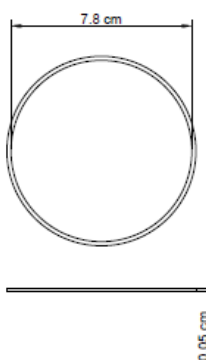
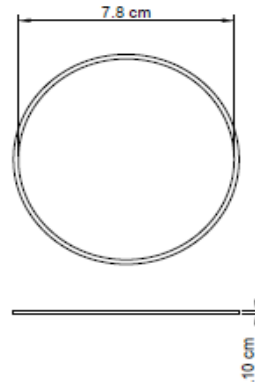
$$T_{\text{gasket } 15,5} = 0,09778 \text{ cm}$$

$$T_{\text{gasket } 15,5} = 0,9778 \text{ mm}$$

$$T_{\text{gasket } 15,5} = 1 \text{ mm}$$

Untuk menentukan ketebalan gasket dapat mencontoh perhitungan diatas. Dimulai dengan penentuan rasio kompresi yang akan digunakan dengan nilai Vruang bakar yang tetap kemudian didapatkan ketebalan gasket yang akan digunakan.

Tabel 3.4
Variasi Gasket Rasio Kompresi

No	Dimensi	Volume Gasket	Rasio Kompresi
1		4,67 ml	15,5
2		2,1 ml	17,5

Sumber: Dokumentasi pribadi (2018)

3.7 Cara Pencampuran Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini yaitu campuran antara biodiesel *calophyllum inophyllum* dan solar. Jenis solar yang digunakan pada penelitian ini yaitu solar yang memiliki *cetane number* 45-48, viskositas 2,0 – 4,5 mm²/s, dan *flash point* 52 °C.

Pencampuran dilakukan sendiri dengan perbandingan volume pada biodiesel *calophyllum inophyllum* dan solar dengan acuan persentase yang telah ditentukan. Setelah dicampur dalam satu gelas ukur yang sama bahan bakar diaduk dan semua proses ini dilakukan pada saat suhu ruangan atau tidak memakai pemanas. Setelah dilakukan pencampuran biodiesel akan kita uji karakteristiknya meliputi nilai kalor, densitas, viskositas kinematik, dan *flash point*. Pengujian akan dilakukan di Laboratorium Motor yang mana hasil ini sebagai dasar dilakukannya pencampuran biodiesel *calophyllum inophyllum* dengan solar.

3.8 Prosedur Pengambilan Data

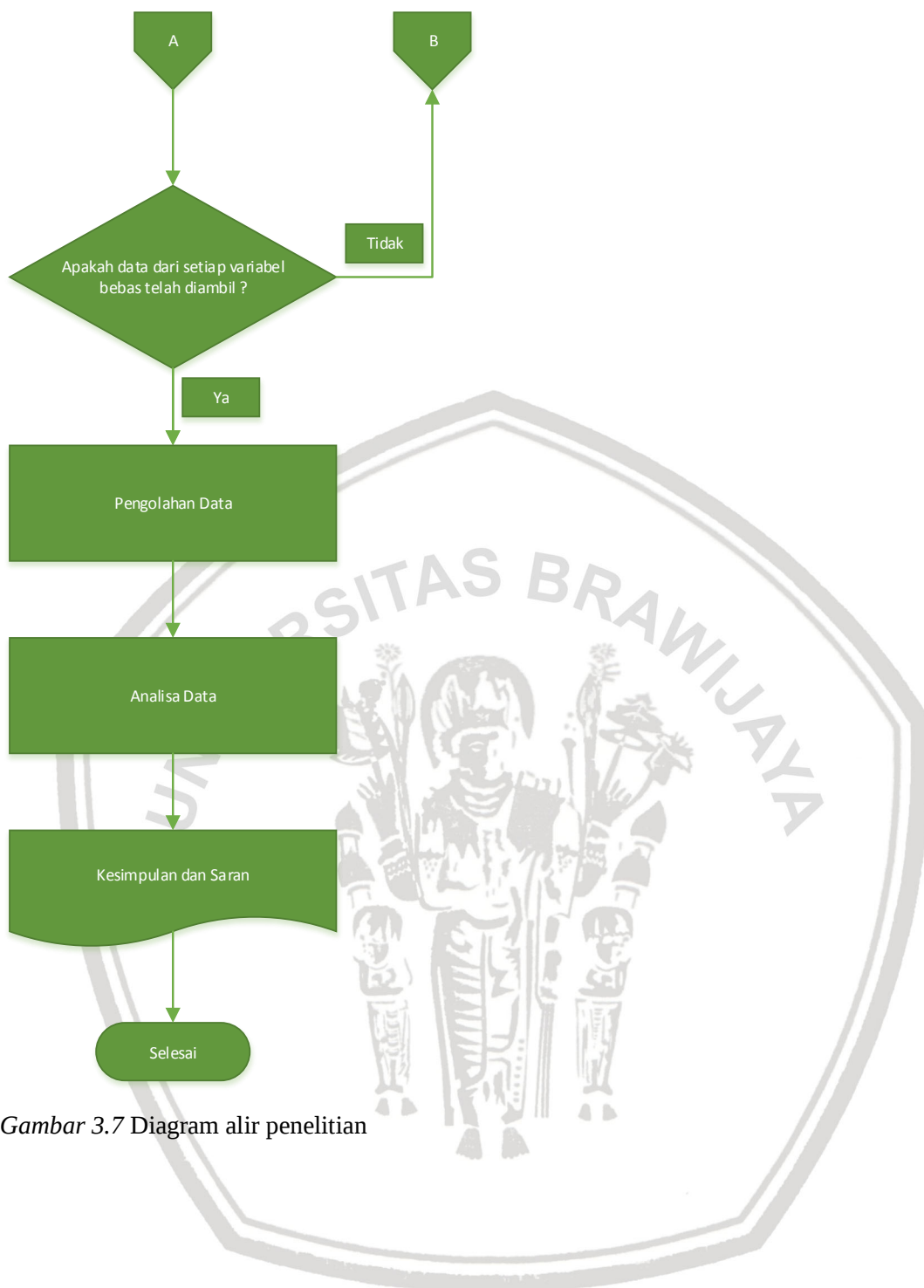
1. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data.
2. Melakukan *setting* pada kompresi pertama yang akan dipakai.
3. Melakukan *setting* standar pada *injection timing* dan setelan katup *exhaust* dan *intake*.
4. Pastikan biuret dan *discharge* tertutup, sedangkan katup pada tangki bahan bakar terbuka, sehingga bahan bakar mengalir ke *bosch pump*.
5. Memasang instalasi kelistrikan dan memastikan arus yang dibutuhkan untuk menghidupkan motor starter sudah mencukupi.
6. Masukkan bahan bakar variasi satu ke dalam selang.
7. Menyalakan kunci kontak pada posisi *on*.
8. Nyalakan *engine*.
9. Setelah menyala biarkan *engine* hidup terus sampai keadaan *steady*.
10. Atur RPM dengan setting pada bukaan *throttle* sesuai dengan RPM yang dibutuhkan yaitu antara 1800-3150.
11. Pengambilan data diulang sebanyak 3 kali.
12. Bahan bakar dikosongkan dan dimasukkan lagi variasi kedua komposisi bahan bakar.
13. Lakukan langkah 8-11.
14. Bahan bakar dikosongkan dan dimasukkan lagi variasi ketiga komposisi bahan bakar.
15. Lakukan langkah 8-11.
16. Selanjutnya ubah rasio kompresi kedua.

17. Lakukan langkah 8-15 kembali.
18. Selanjutnya ubah rasio kompresi ketiga.
19. Lakukan langkah 8-15.
20. Pengambilan data selesai dan semua instalasi kelistrikan dilepas.

3.9 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 3.7.





Gambar 3.7 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan

4.1.1 Data Karakteristik Bahan Bakar

Sebelum digunakan sebagai bahan bakar *engine* diesel Yanmar L70N biodiesel *calophyllum innophyllum* diuji untuk dibandingkan karakteristiknya dengan solar. Sehingga kita dapat mengetahui pengaruh dari karakteristik biodiesel ini. Berikut adalah karakteristik biodiesel *calophyllum innophyllum* pada persentase yang telah ditentukan.

Tabel 4.1

Hasil Pengujian Karakteristik Biodiesel *Calophyllum Inophyllum*

Karakteristik	B100	B30	B20	B10	Satuan
Densitas	0,885	0,843	0,837	0,83	gr/ml
Viskositas kinematik	13,662	12,22	6,45	6,263	cSt (mm ² /s)
Flash point	142,2	86	77,8	75,1	Celcius
Nilai Kalor	9499,319	10193,86	10398,41	10400,08	cal / gram

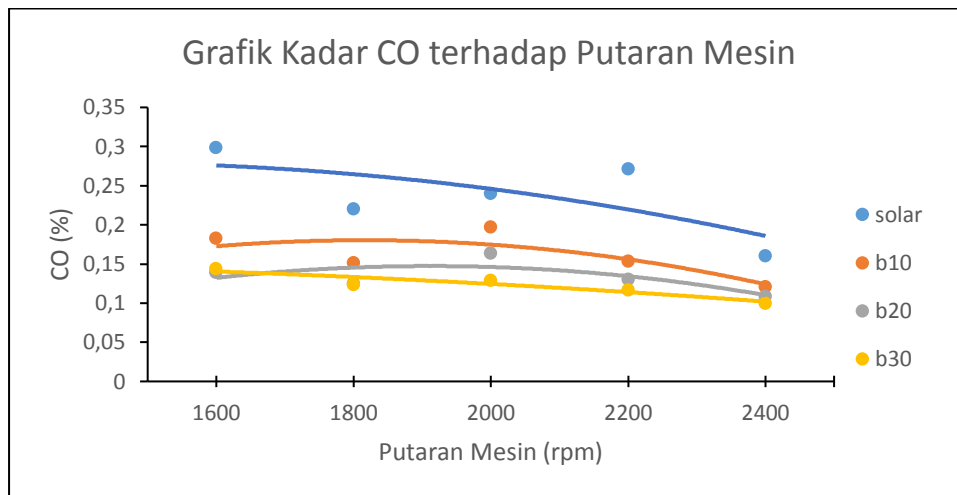
Sumber : Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

4.1.2 Pengolahan Data

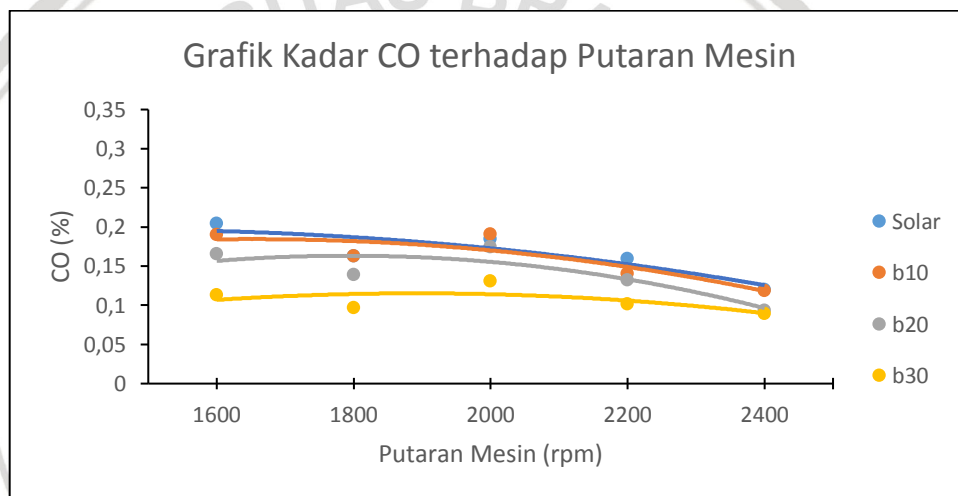
Proses pengambilan data dilakukan sesuai variabel bebas yang ada antara lain persentase bahan bakar dan biodiesel, rasio kompresi, dan putaran. Setelah semua variable bebas telah dikondisikan kemudian kita amati emisi *engine* diesel dengan menggunakan *stargas analyzer* dan *smoke analyzer*. Data yang keluar dari kedua alat ukur tersebut harus dianalisa sesuai dengan dasar teori yang ada.

4.2 Pembahasan

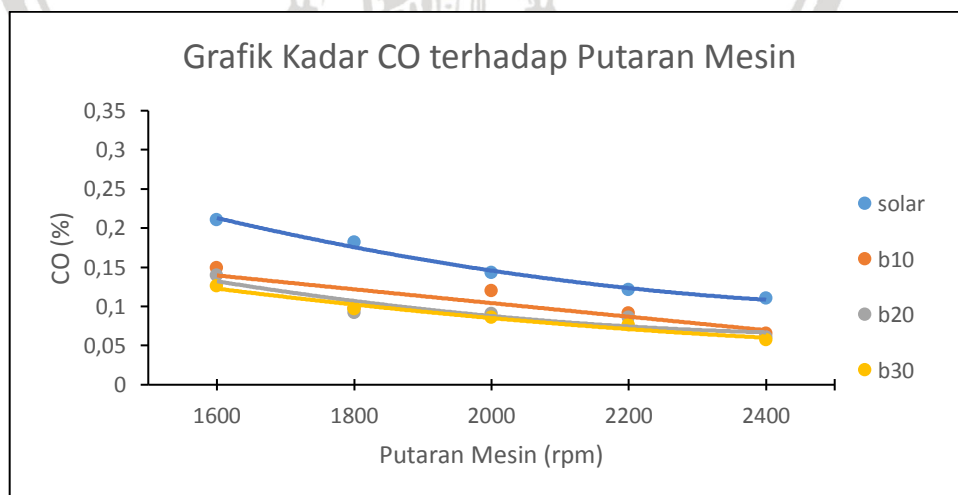
4.2.1 Grafik Emisi CO pada Semua Variasi Rasio Kompresi



a. Rasio Kompresi 15,5



b. Rasio Kompresi 17,5



c. Rasio Kompresi 19,5

Gambar 4.1 Grafik Emisi CO terhadap rpm pada semua rasio kompresi

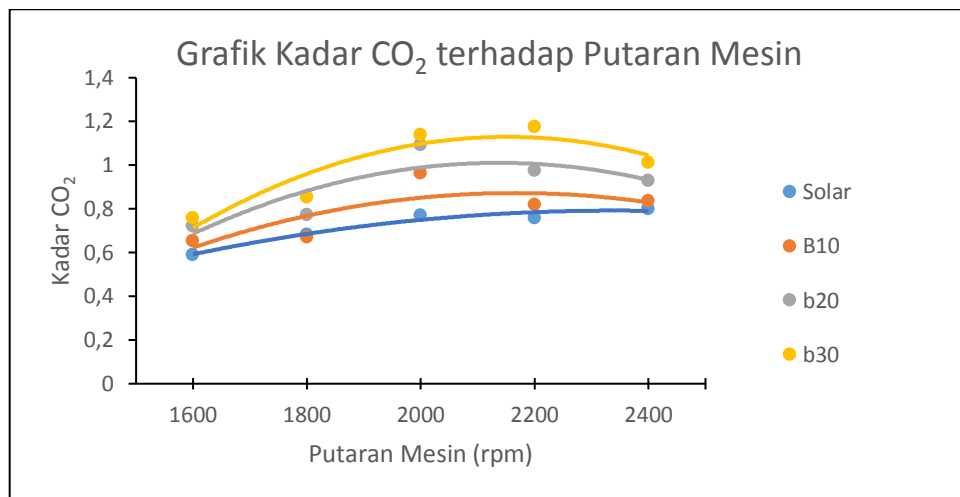
Gambar 4.1 merupakan grafik kandungan emisi CO terhadap putaran mesin pada variasi rasio kompresi 15,5:1; 17,5:1 dan 19,5:1 pada mesin yanmar L70N. CO terbentuk dikarenakan terjadi pembakaran yang tidak sempurna pada ruang bakar, hal ini disebabkan oleh pasokan udara pada ruang bakar kurang hal ini sesuai dengan penelitian B.Ashok dkk (2017). Sehingga O₂ yang dibutuhkan di ruang bakar kurang. Pada grafik terlihat semakin bertambahnya rpm pada rasio kompresi dan bahan bakar yang sama maka semakin menurun kandungan CO pada emisi mesin diesel. semakin tinggi persentase campuran biodiesel pada campuran biodiesel dan solar maka semakin menurun kandungan CO pada emisi mesin diesel. Serta bertambahnya rasio kompresi dapat menurunkan kandungan CO pada emisi mesin diesel.

Pada rasio kompresi yang sama dan pada semua persentase bahan bakar kadar CO semakin menurun seiring meningkatnya putaran mesin. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi putaran maka semakin tinggi juga efisiensi volumetrik yang dihasilkan. Hal ini karena dengan putaran mesin yang tinggi udara yang masuk ke ruang bakar bergerak lebih cepat akibat hisapan piston yang juga bergerak dengan cepat, sehingga udara yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak. Sehingga pada ruang bakar tidak kekurangan O₂ dan menyebabkan pembakaran mendekati sempurna hal ini sesuai dengan penelitian Syarif Sampurno (2010). Oleh sebab itu kadar CO menurun seiring bertambahnya putaran mesin.

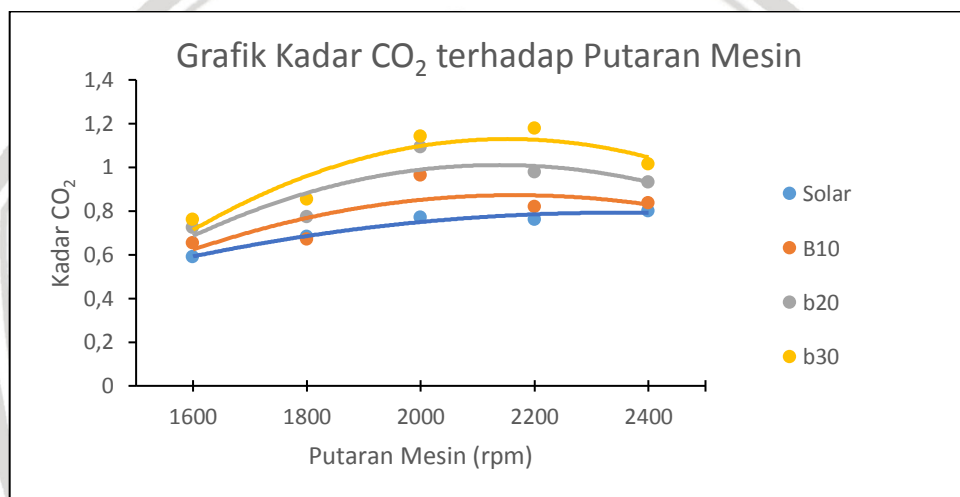
Pada saat terjadi penambahan persentase biodiesel pada solar akan menurunkan kandungan CO pada emisi gas buang hal ini dikarenakan biodiesel *calophyllum innophyllum* memiliki jumlah O₂ terikat (*bonded oxygen*) yang terkandung di dalamnya. Selain O₂ dari udara O₂ terikat ini akan turut serta dalam proses pembakaran campuran bahan bakar sehingga pembakaran lebih baik. Pembakaran lebih baik dikarenakan O₂ terikat pada biodiesel ketika pecah dari metil ester langsung berikatan dengan atom C sehingga membentuk CO₂ dan merupakan kandungan gas buang yang keluar dari pembakaran yang mendekati sempurna hal ini sesuai dengan penelitian Marcus Sumarsono (2008). Sehingga kandungan CO pada emisi mesin diesel menurun.

Semakin meningkatnya rasio kompresi ini juga meningkatkan tekanan pada ruang bakar sehingga suhu pada ruang bakar meningkat sesuai diagram T-S dan P-V pada siklus termodinamika diesel. Sehingga pembakaran yang terjadi semakin baik dan hal itu dapat mereduksi kadar CO pada kandungan emisi mesin diesel. Sebagai contoh yaitu pada kadar emisi CO pada solar pada rasio kompresi 15,5 memiliki kadar CO tertinggi pada 0,299 % , pada rasio kompresi 17,5 tertinggi pada 0,205%, dan pada rasio kompresi 19,5 tertinggi 0,210 % semua itu terjadi pada putaran 1600.

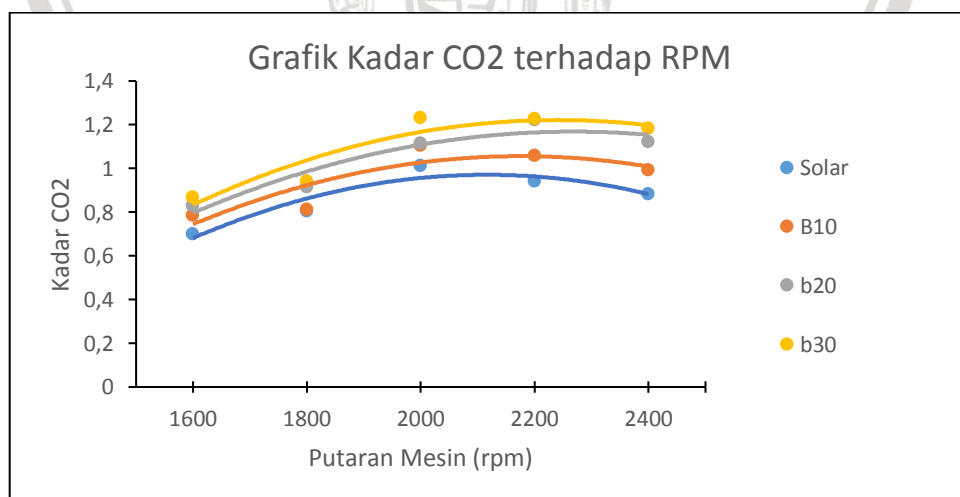
4.2.2 Grafik Emisi CO₂ pada Semua Variasi Rasio Kompresi



a. Rasio Kompresi 15,5



b. Rasio Kompresi 17,5



c. Rasio Kompresi 19,5

Gambar 4.2 Grafik Emisi CO₂ terhadap rpm pada semua rasio kompresi

Gambar 4.2 berisikan grafik pengaruh variasi rasio kompresi pada kandungan CO₂ pada emisi mesin diesel seiring meningkatnya putaran. Indikasi dari baik buruknya pembakaran pada ruang bakar yaitu kandungan karbondioksida pada emisi mesin diesel sehingga semakin tinggi kandungannya maka semakin mendekati sempurna reaksi pembakaran yang terjadi. Hal ini dikarenakan atom C teroksidasi secara sempurna dan membentuk senyawa CO₂. Terlihat pada grafik tersebut bahwa pada rasio kompresi yang sama semakin tinggi persentase biodiesel pada campuran maka semakin tinggi pula kandungan CO₂ pada emisi mesin diesel. Semakin tinggi putaran maka semakin tinggi kandungan CO₂ dan turun setelah titik optimum. Bertambahnya rasio kompresi beriringan dengan bertambahnya kandungan CO₂ pada emisi mesin diesel.

Semakin tinggi putaran semakin tinggi pula kandungan CO₂ kemudian akan turun setelah titik optimum. Titik optimum yang dimaksudkan yaitu dapat dilihat pada rasio kompresi 17,5 terlihat pada B10 dan B20 memiliki titik optimum pada putaran mesin 2000 serta pada B30 memiliki titik optimum pada putaran mesin 2200. Setelah melewati titik optimum kandungan CO₂ pada emisi menurun. Kenaikan disebabkan oleh semakin tinggi putaran maka semakin tinggi juga efisiensi volumetrik yang dihasilkan. Hal ini karena dengan putaran mesin yang tinggi udara yang masuk ke ruang bakar bergerak lebih cepat akibat hisapan piston yang juga bergerak dengan cepat, sehingga udara yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak. Sehingga pada ruang bakar tidak kekurangan O₂ dan menyebabkan pembakaran mendekati sempurna hal ini sesuai dengan penelitian Syarif Sampurno (2010). Sehingga kandungan CO₂ pada ruang bakar meningkat. Setelah titik optimum kandungan CO₂ menurun dikarenakan bukaan katup *intake* dan *exhaust* terlalu cepat sehingga udara yang masuk kurang maksimal dan akibatnya kualitas pembakaran menurun.

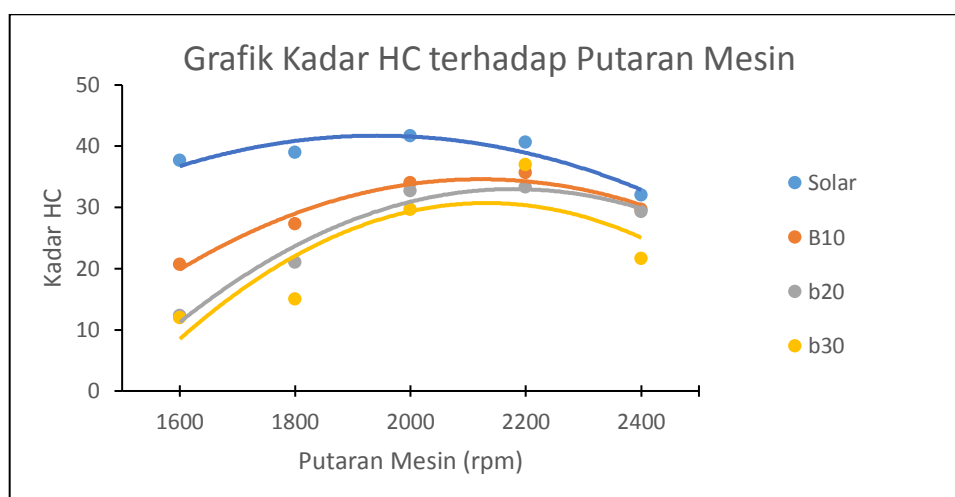
Semakin meningkatnya persentase biodiesel pada rasio kompresi yang sama maka semakin meningkat pula kadar CO₂ pada emisi mesin diesel. Hal ini disebabkan karena biodiesel merupakan bahan bakar yang kaya akan atom oksigen (O) sehingga apabila bahan bakar ini tereaksi secara sempurna maka atom O pada biodiesel dapat mengoksidasi atom C secara sempurna sehingga membentuk atom CO₂. Selain itu semakin banyaknya persentase biodiesel semakin pendek *ignition delay*. Hal itu disebabkan penambahan biodiesel pada solar dapat meningkatkan *cetane number* hal ini sesuai dengan penelitian Hwai Chyuan Ong dkk (2014).

Bertambahnya rasio kompresi mengakibatkan peningkatan kandungan CO₂ pada emisi mesin diesel. Dapat dilihat pada B30 pada rasio kompresi 15,5; 17,5; dan 19,5 berturut-turut yaitu 0,96%, 1,14%, dan 1,23%. Bertambahnya rasio kompresi berakibat pada peningkatan

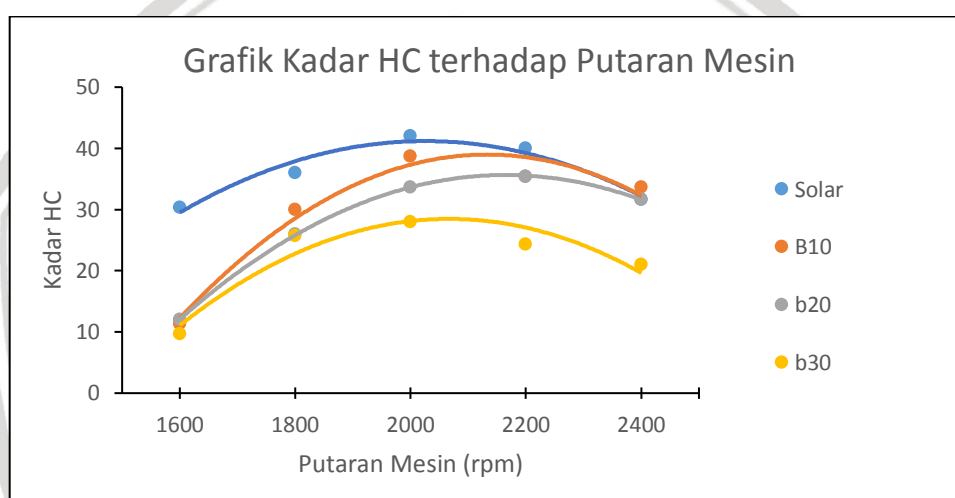
tekanan pada ruang bakar sehingga suhu pada ruang bakar meningkat sesuai diagram T-S dan P-V pada siklus termodinamika diesel. Hal ini akan menjadi salah satu solusi salah satu kekurangan biodiesel. Biodiesel memiliki viskositas yang tinggi yang mengakibatkan permukaan ketegangan tinggi sehingga atomisasi bahan bakar miskin lalu terbentuklah droplet yang besar hal ini menjadikan bahan bakar sulit terbakar sehingga membutuhkan suhu ruang bakar yang tinggi agar dapat terbakar secara sempurna. Sehingga peningkatan rasio kompresi dapat meningkatkan kualitas pembakaran pada *biodiesel*.



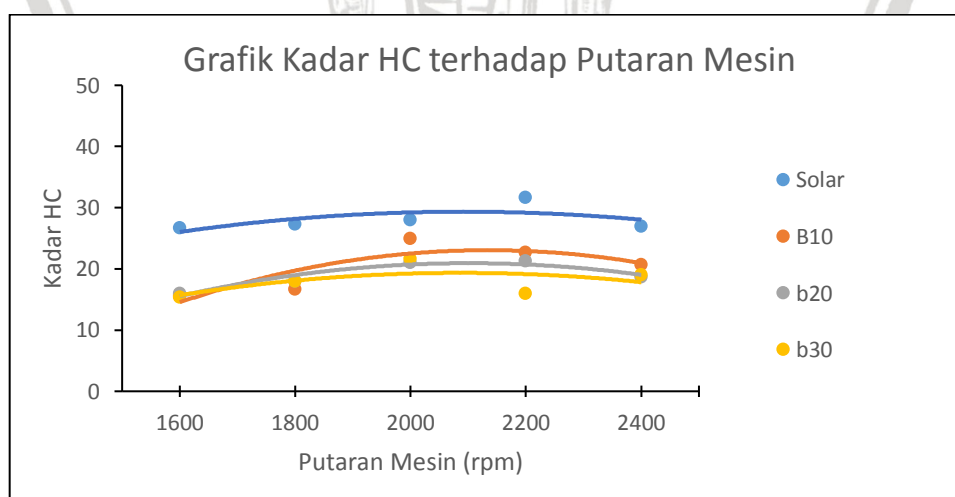
4.2.3 Grafik Emisi HC pada Semua Variasi Rasio Kompresi



a. Rasio Kompresi 15,5



b. Rasio Kompresi 17,5



c. Rasio Kompresi 19,5

Gambar 4.3 Grafik Emisi HC terhadap rpm pada semua rasio kompresi

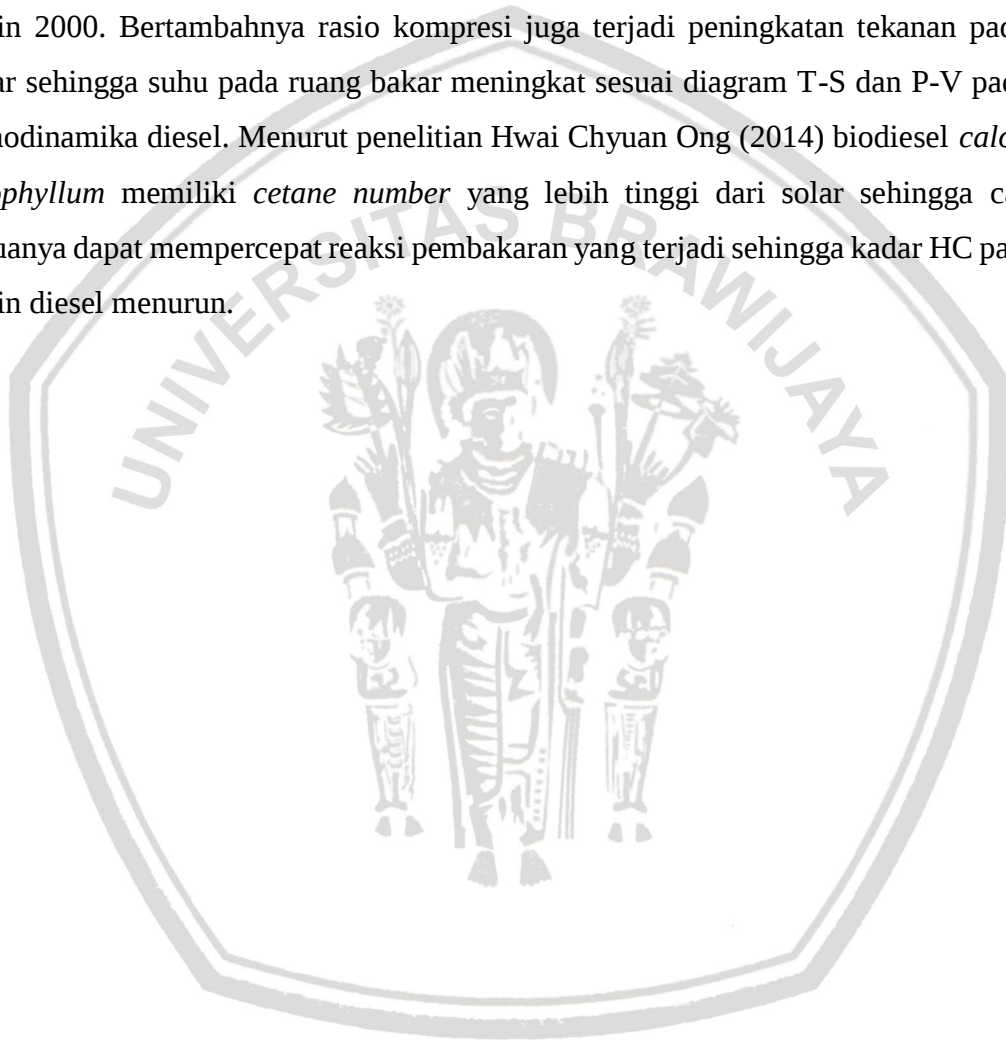
Gambar 4.3 merupakan grafik kandungan emisi HC terhadap rpm pada variasi rasio kompresi 15,5:1; 17,5:1 dan 19,5:1 pada mesin yanmar L70N. HC terbentuk dari pembakaran yang tidak sempurna yang diakibatkan dari kurangnya O_2 pada ruang bakar. Sehingga atom H dan atom C yang tidak berikatan akan menghasilkan senyawa HC. Pada grafik terlihat semakin bertambahnya putaran mesin pada rasio kompresi dan bahan bakar yang sama maka semakin bertambah kandungan HC pada emisi mesin diesel. semakin tinggi persentase campuran biodiesel pada campuran biodiesel dan solar maka semakin menurun kandungan HC pada emisi mesin diesel. Serta bertambahnya rasio kompresi mengakibatkan menurunnya kandungan HC pada emisi mesin diesel.

Pada rasio kompresi yang sama dan pada semua persentase bahan bakar kadar HC semakin meningkat seiring meningkatnya putaran mesin. Hal ini disebabkan bertambahnya putaran mesin selaras dengan bertambahnya bukaan *throttle* pada *injection pump* sehingga semakin bertambahnya putaran mesin maka semakin bertambah juga bahan bakar yang di injeksikan ke dalam ruang bakar namun udara yang masuk ke dalam ruang bakar tetap. Sehingga AFR kaya yang menyebabkan kandungan HC terbentuk pada emisi mesin diesel. Namun kadar HC akan menurun setelah titik optimum sebagai contoh terjadi di rasio kompresi 15,5 pada B10 setelah putaran mesin 2200 kadar HC menurun dari 35,67 menjadi 29,67. Turunya kadar HC pada saat putaran mesin 2200-2400 disebabkan oleh karena dengan putaran mesin yang tinggi udara yang masuk ke ruang bakar bergerak lebih cepat akibat hisapan piston yang juga bergerak dengan cepat, sehingga udara yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak. Sehingga pada ruang bakar tidak kekurangan O_2 dan menyebabkan pembakaran mendekati sempurna hal ini sesuai dengan penelitian Syarif Sampurno (2010). Oleh sebab itu kadar HC menurun seiring bertambahnya putaran mesin.

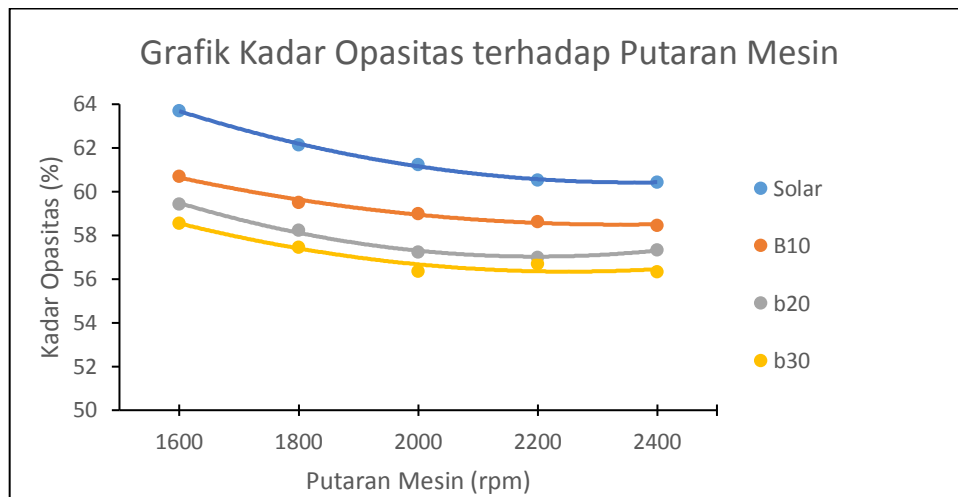
Pada saat terjadi penambahan persentase biodiesel pada solar akan menurunkan kandungan HC pada emisi gas buang hal ini dikarenakan biodiesel *calophyllum innophyllum* memiliki jumlah O_2 terikat (bonded oxygen) yang terkandung di dalamnya. Sehingga hal ini menanggulangi kekurangan O_2 pada saat meningkatnya bukaan *throttle* karena selain O_2 dari udara O_2 terikat ini akan turut serta dalam proses pembakaran campuran bahan bakar sehingga pembakaran lebih baik. Pembakaran lebih baik dikarenakan O_2 terikat pada biodiesel ketika pecah dari metil ester langsung berikatan dengan atom C sehingga membentuk CO_2 dan merupakan kandungan gas buang yang keluar dari pembakaran yang mendekati sempurna hal ini sesuai dengan penelitian Marcus Sumarsono (2008). Sehingga semakin sempurna pembakaran yang terjadi pada ruang bakar dapat menurunkan

kandungan HC pada emisi mesin diesel. Sebab atom C dan H cenderung berikatan menjadi CO_2 dan H_2O daripada HC.

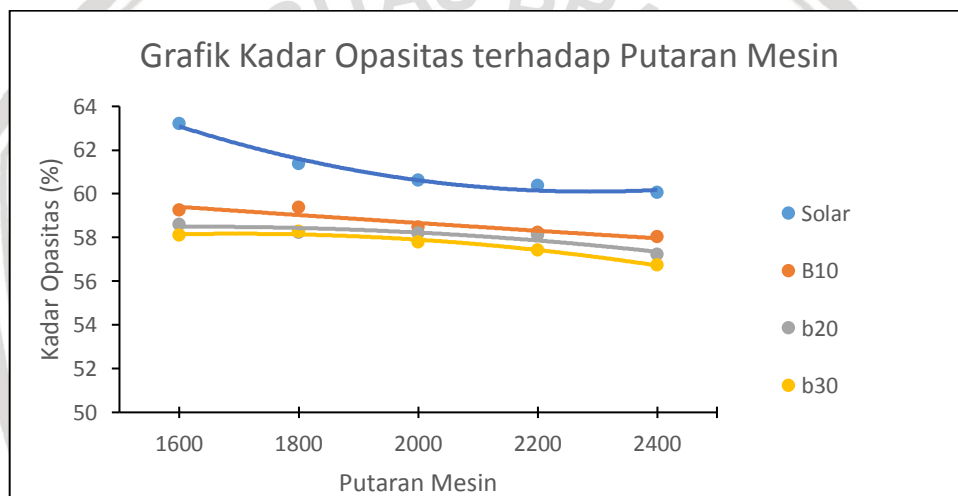
Pada saat terjadi peningkatan rasio kompresi pada ruang bakar maka semakin meningkat pula tekanan pada ruang bakar sehingga suhu pada ruang bakar meningkat hal itu dapat mereduksi kadar HC pada kandungan emisi mesin diesel. Sebagai contoh yaitu pada kadar HC di emisi B30 pada terjadi pada bahan bakar solar pada rasio kompresi 15,5 memiliki kadar HC tertinggi pada 37 ppm pada rpm 2200 , pada rasio kompresi 17,5 tertinggi pada 28 ppm, dan pada rasio kompresi 19,5 tertinggi pada 25 ppm semua data diambil pada putaran mesin 2000. Bertambahnya rasio kompresi juga terjadi peningkatan tekanan pada ruang bakar sehingga suhu pada ruang bakar meningkat sesuai diagram T-S dan P-V pada siklus termodinamika diesel. Menurut penelitian Hwai Chyuan Ong (2014) biodiesel *calophyllum innophyllum* memiliki *cetane number* yang lebih tinggi dari solar sehingga campuran keduanya dapat mempercepat reaksi pembakaran yang terjadi sehingga kadar HC pada emisi mesin diesel menurun.



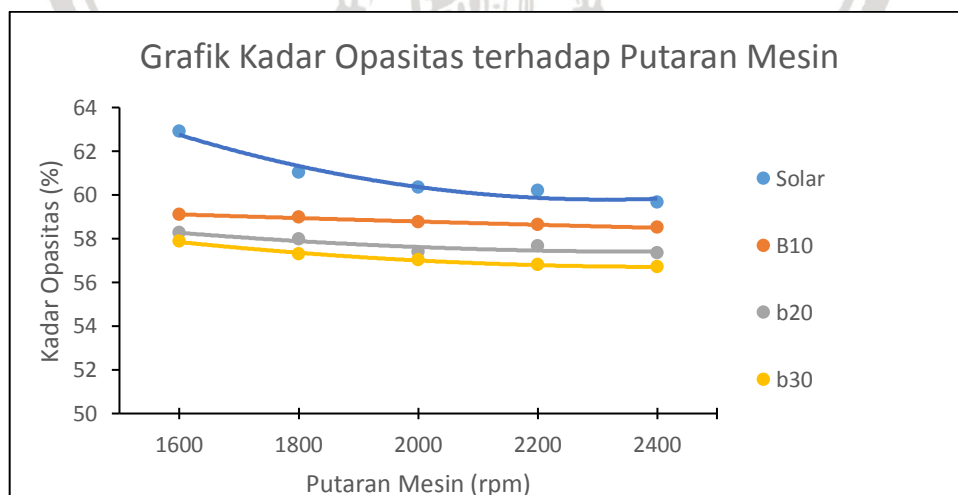
4.2.4 Grafik Opasitas Emisi pada Semua Variasi Rasio Kompresi



a. Rasio Kompresi 15,5



b. Rasio Kompresi 17,5



c. Rasio Kompresi 19,5

Gambar 4.4 Grafik Opasitas terhadap rpm pada semua rasio kompresi

Gambar 4.4 merupakan grafik opasitas emisi terhadap rpm pada variasi rasio kompresi 15,5:1; 17,5:1 dan 19,5:1 pada mesin yanmar L70N. Opasitas merupakan indikator dari jelaga pada emisi yang dikeluarkan oleh saluran exhaust. Pada grafik terlihat semakin bertambahnya putaran mesin pada rasio kompresi dan bahan bakar yang sama maka semakin menurun opasitas pada emisi mesin diesel. semakin tinggi persentase campuran biodiesel pada campuran biodiesel dan solar maka semakin menurun opasitas emisi mesin diesel. Serta bertambahnya rasio kompresi berdampak pada menurunnya opasitas pada emisi mesin diesel.

Pada rasio kompresi yang sama dan pada semua persentase bahan bakar opasitas pada emisi mesin diesel semakin menurun seiring meningkatnya rpm. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi juga efisiensi volumetrik yang dihasilkan. Hal ini karena dengan putaran mesin yang tinggi udara yang masuk ke ruang bakar bergerak lebih cepat akibat hisapan piston yang juga bergerak dengan cepat, sehingga udara yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak. Sehingga pada ruang bakar tidak kekurangan O_2 dan menyebabkan pembakaran mendekati sempurna hal ini sesuai dengan penelitian Syarif Sampurno (2010). Sehingga pembakaran lebih sempurna dan opasitas dari emisi mesin diesel menurun.

Pada saat terjadi penambahan persentase biodiesel pada solar akan menurunkan opasitas pada emisi mesin diesel. Hal ini dikarenakan biodiesel *calophyllum innophyllum* memiliki jumlah O_2 terikat (bonded oxygen) yang terkandung di dalamnya. Selain O_2 dari udara O_2 terikat ini akan turut serta dalam proses pembakaran campuran bahan bakar sehingga pembakaran lebih baik. Pembakaran lebih baik dikarenakan O_2 terikat pada biodiesel ketika pecah dari metil ester langsung berikatan dengan atom C sehingga membentuk CO_2 dan merupakan kandungan gas buang yang keluar dari pembakaran yang mendekati sempurna hal ini sesuai dengan penelitian Marcus Sumarsono (2008). Pengurangan asap opasitas biodiesel adalah karena adanya senyawa aromatik dalam biodiesel dan rasio karbon terhadap hidrogen yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional. Maka karena itu opasitas dapat menurun seiring bertambahnya persentase biodiesel pada campuran biodiesel dan solar.

Pada saat bertambahnya rasio kompresi juga terjadi peningkatan tekanan pada ruang bakar sehingga suhu pada ruang bakar meningkat sesuai diagram T-S dan P-V pada siklus termodinamika diesel. Hal itu dapat mereduksi opasitas pada kandungan emisi mesin diesel. Sebagai contoh yaitu opasitas pada B10 pada rasio kompresi 15,5 opasitas tertinggi pada 60,7 % , pada rasio kompresi 17,5 tertinggi pada 59,27%, dan pada rasio kompresi 19,5

tertinggi 59,1% semua itu terjadi pada putaran 1600. Menurut penelitian Hwai Chyuan Ong (2014) biodiesel *calophyllum innophyllum* memiliki *cetane number* yang lebih tinggi dari solar sehingga campuran keduanya dapat mempercepat reaksi pembakaran yang terjadi sehingga pembakaran semakin sempurna serta opasitas yang dihasilkan menurun pada emisi mesin diesel menurun.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Pembahasan

Setelah serangkaian proses penelitian dilakukan maka diperoleh kesimpulan dari pembahasan tentang penambahan biodiesel pada solar dengan variasi rasio kompresi yang berdampak pada emisi mesin diesel Yanmar L70N adalah sebagai berikut.

1. Penambahan Biodiesel *Calophyllum Innophyllum* dapat menurunkan kandungan CO dan HC sehingga opasitas dari emisi mesin diesel semakin menurun juga. Sedangkan kandungan CO₂ meningkat sehingga dapat diasumsikan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar lebih sempurna.
2. Penambahan rasio kompresi dapat mereduksi kandungan CO dan HC pada emisi mesin diesel. Sehingga menurun juga opasitas dari emisi mesin diesel. Tetapi kandungan CO₂ meningkat dan dapat diasumsikan penambahan rasio kompresi dapat menambah kualitas pembakaran pada ruang bakar.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian yang akan datang dilakukan pengujian emisi dengan pencampuran biodiesel *calophyllum innophyllum* diatas persentase 30%
2. Untuk penelitian selanjutnya dilakukan pengujian emisi menggunakan mesin diesel yang memiliki rasio kompresi lebih dari 19,5
3. Untuk penelitian yang akan datang dilakukan studi lebih lanjut untuk meminimalisir kekurangan dari biodiesel *calophyllum innophyllum*

Daftar Pustaka

- Arismunandar, Wiranto & Tsuda Koichi. (1993). *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradya Paramita.
- B. Ashok, K. Nanthagopal, dan D. Sakthi Vignesh. (2017) *Calophyllum inophyllum methyl ester biodiesel blend as an alternate fuel for diesel engine applications*.
- Badan Pusat Statistik. (2016). *Peningkatan kendaraan bermotor*. Jakarta.
- Cengel, Yunus A. & Michael A. Boles, (2014). *Thermodynamics An Engineering Approach seventh edition*. New York : Mc Graw Hill Inc.
- Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia, (2012). *Klasifikasi Minyak Solar di Indonesia* . Jakarta .
- Fanani, Guarsi. (2016). *Uji Prestasi dan Emisi Gas Buang Kendaraan dengan Bahan Bakar Biodiesel Nyamplung (Calophyllum Inophyllum)*. Surabaya.
- Muhammad, Fatih Ridho. Jatranti, Safetyllah. Qadariyah, Lailatul. & Mahfud. (2014) *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung Menggunakan Pemanasan Gelombang Mikro*. Surabaya.
- H.C.Ong, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, R.S. Norhasyima. (2010). *Comparison of palm oil, Jatropha curcas and Calophyllum inophyllum for biodiesel*. Kuala Lumpur.
- Hwai Chyuan Ong, H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia, A.S. Silitonga, W.T. Chong , K.Y. Leong. (2014). *Optimization of biodiesel production and engine performance from high free fatty acid Calophyllum inophyllum oil in CI diesel engine*. Kuala Lumpur
- Khair MK, Majewski WA (2006) *Diesel emissions and their control* SAE International. ISBN: 978-0-7680-0674-2
- Sampurno, Syarif. Widjanarko, Dwi. Dan .. (2010). *Pengaruh Variasi Penyetelan Celah Katup Masuk terhadap Efisiensi Volumetrik Rata-rata pada Motor*. Surabaya.
- Sumarsono, Marcus. (2008). *Analisa Pengaruh Campuran Bahan Bakar Solar dan Minyak Jarak Pagar Pada Kinerja Motor Diesel dan Emisi Gas Buang*. Surabaya.
- Susila, I Wayan. *Kinerja Mesin Diesel Memakai Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisa Emisi Gas Buang*. (2010). Surabaya.
- Abriyandoko, Eko Wahyu. dan Sutjahtjo, Dwi Heru. (2014). *Study Komparasi Emisi Gas Buang Bahan Bakar Solar dan Biodiesel Dari Crude Oil Nyamplung dengan Proses Degumming*. Surabaya.

- Kristanto, Philip. (2015). *Motor Bakar Torak- Teori & Aplikasinya*. Yogyakarta: CV.Andi Offset.
- SKK MIGAS. (2016). *Penurunan produksi minyak di Indonesia*. Jakarta.
- Wardana. I.N.G. (2008). *Bahan Bakar & Teknologi Pembakaran* . Malang: PT. Danar Wijaya.
- Yanmar Service Manual. (2016). *Yanmar Sevice Manual L40-L100 Air Cooled LA Series Industrial Diesel Engine*, hal. 30.

