



TESIS - TF 185471

***PENGARUH BAHAN BAKAR BIODIESEL SAWIT
PADA PERFORMA MESIN DIESEL CAT C15
ACERT***

TEGUH DWI KUNCORO
NRP. 02311650022002

Pembimbing :
Dr. Ir. PURWADI AD, M.Sc.
Dr. DHANY ARIFANTO, S.T., M.Eng.

PROGAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Halaman ini memang dikosongkan

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Teguh Dwi Kuncoro

NRP. 02311650022002

Tanggal Ujian: 8 Januari 2019

Periode Wisuda: Maret 2019

Disetujui oleh :

1. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc

NIP. 19620822 198803 1 001



(Pembimbing 1)

2. Dr. Dhany Arifianto, ST, M.Eng

NIP. 19731007 199802 1 001



(Pembimbing 2)

3. Ir. Harsono Hadi, MT., Ph.D

NIP. 19600119 198611 1 001



(Penguji 1)

4. Dr. Katherin Indriawati, ST., M.T.

NIP. 19760523 200012 2 001



(Penguji 2)

Dekan Fakultas Teknologi Industri,



Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP: 19690507 1995121 001

Halaman ini memang dikosongkan

***PENGARUH BAHAN BAKAR BIODIESEL SAWIT PADA PERFORMA
MESIN DIESEL CAT C15 ACERT***

Nama Mahasiswa : Teguh Dwi Kuncoro
NRP : 02311650022002
Pembimbing : Dr. Ir. Purwadi Agus Drwito, M.Sc.
Dr. Dhany Arifianto, ST, M.Eng

ABSTRAK

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terbarukan dan ramah lingkungan. Biodiesel bisa berasal dari biji tanaman maupun lemak hewan, salah satunya berasal dari minyak sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) yang diolah menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Penggunaan CPO ini tidak lepas dari ketersediaan yang melimpah di Indonesia dan potensi untuk peningkatan produksi masih bisa dilakukan. Penelitian ini fokus pada pengaruh penggunaan biodiesel jenis tersebut di mesin Cat C15 Acert yang memiliki 356 – 363 Hp pada kecepatan 1800 – 2100 rpm, yang digunakan di dunia tambang sebagai penggerak berbagai kendaraan alat berat. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan B0 (kandungan FAME 0%), B15 (kandungan FAME 15%), B20 (kandungan FAME 20%) dan B30 (kandungan FAME 30%). Hasil uji di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada bagian Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Desain menunjukkan bahwa kandungan campuran biodiesel sesuai standar ASTM D6751. Pengukuran pengaruh biodiesel pada performa mesin ditunjukkan melalui kinerja torsi, *power*, *Brake Thermal Efficiency* (BTE) dan *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC). Pengukuran torsi dan *power* tidak ada perubahan yang berarti, sementara BSFC mengalami peningkatan dan BTE mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kandungan biodiesel, untuk pengukuran emisi gas buang pada mesin menunjukkan CO mengalami penurunan yang signifikan yaitu 27,55% , sementara CO₂ dan NO_x mengalami peningkatan. Bahan bakar yang direkomendasikan untuk dipakai adalah campuran bahan bakar yang mengandung biodiesel 30% (B30) ditinjau dari sisi rasio emisi CO dan konsumsi bahan bakar.

Kata kunci : *Fatty Acid Methyl Ester*, Cat C15 Acert, biodiesel, performa mesin, emisi gas buang

Halaman ini memang dikosongkan

***THE EFFECT OF PALM OIL BIODIESEL ON THE PERFORMANCE OF
CAT C15 ACERT DIESEL MACHINES***

By : Teguh Dwi Kuncoro
Student Identity Number : 02311650022002
Supervisor : Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.
Dr. Dhany Arifianto, ST, M.Eng

ABSTRACT

Biodiesel is a renewable and environmental friendly fuel. Biodiesel is made from plant seeds or animal fat, one of them is palm oil or Crude Palm Oil (CPO) which is processed into Fatty Acid Methyl Ester (FAME). The use of CPO is inseparable from the abundant prices in Indonesia and the potential for increased production can still be done. This study focuses on the use of biodiesel in the Cat C15 Acert engine which has 356 - 363 hp at speeds of 1800 - 2100 rpm. Which in the world as a driver of various heavy equipment. Testing will be done using B0 (0% FAME content), B15 (15% FAME content), B20 (20% FAME content) and B30 (30% FAME content). The test results show that the biodiesel mixture is in accordance with existing fuel standards. Measurements based on biodiesel on the engine are shown through torque and Power that are no significant different while Brake Thermal Efficiency (BTE) was shown decrease and Specific Fuel Consumption (BSFC) was shown increase. Whereas the exhaust emissions on the engine are CO was decrease 27.55% but CO₂ and NO_x increase along increasing of biodiesel content. The recommended fuel to use is a mixture containing 30% biodiesel (B30) in terms of ratio emission CO and fuel consumption

Keywords- Fatty Acid Methyl Ester, Cat C15 Acert, biodiesel, engine performance, emissions exhaust gas

Halaman ini memang dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala atas rahmat-Nya sehingga laporan tesis yang berjudul **“PENGARUH BIODIESEL SAWIT PADA PERFORMA MESIN DIESEL CAT C15 ACERT”** dapat terselesaikan.

Saya mengucapkan terima kasih kepada pihak pihak yang sudah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Khususnya kepada:

1. Keluarga saya yang telah merelakan terbagi waktunya khususnya istri tercinta **Irwiartri** dan 3 jagoan: **Kak Aufa, Mas Ariq dan Dek Abid** serta doa dari orangtua saya **Bpk. H. Sutisnan** serta **alm. Ibu Supadni** semasa hidup.
2. **PT. Vale Indonesia** serta **Institut Teknologi Sepuluh Nopember** berkat kerjasama kedua belah pihak sehingga memungkinkan saya menyelesaikan pendidikan magister.
3. Dosen Pembimbing saya, **Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc dan Dr. Dhany Arifianto, ST, M.Eng** yang banyak memberikan bimbingan kepada saya.
4. Dan pihak lain yang tidak bisa saya sebut. Terima kasih banyak.

Demikian laporan ini penulis buat, semoga dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri dan bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 8 Januari 2019

Penulis

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Biodiesel	5
2.2.1 Pengertian Biodiesel.....	5
2.2.2 Keunggulan dan Kekurangan Biodiesel	6
2.3 Mesin Diesel	7
2.3.1 Pengertian Mesin Diesel	7
2.3.2 Komponen Mesin Diesel	9
2.4 Siklus Mesin Diesel Empat Langkah	14
2.5 Komponen Dasar Mesin	19
2.5.1 Mesin Block.....	19
2.5.2 <i>Cylinder</i>	19
2.5.3 <i>Cylinder Liner</i>	20
2.5.4 <i>Piston</i>	20
2.5.5 <i>Connecting Rod</i>	21
2.5.6 <i>Crankshaft</i>	22
2.5.7 Roda Gila (<i>Flywheel</i>)	23
2.5.8 <i>Camshaft</i>	23
2.5.9 <i>Valve Lifters</i>	24

2.5.10	<i>Vibration Damper (Peredam Getaran)</i>	25
2.5.11	<i>Cylinder Head Group</i>	25
2.5.12	<i>Gear Train Assembly</i>	26
2.6.	Parameter Performa Mesin	26
2.6.1	<i>Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)</i>	26
2.6.2	<i>Brake Thermal Efficiency (BTE)</i>	28
BAB III METODE PENELITIAN		31
3.1	Prosedur Penelitian	31
3.2	Pembuatan Biodiesel.....	32
3.3	Pengujian Biodiesel.....	35
3.2.1	Pengujian Nilai Kalori.....	35
3.2.2	Pengujian Titik Nyala.....	35
3.2.3	Pengujian Titik Tuang.....	36
3.2.4	Pengujian Viskositas Kinematik	36
3.2.5	Pengujian Densitas	36
3.4	Performansi Mesin	37
3.5	Pengujian Emisi Gas Buang	39
3.6	Analisa Data	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Hasil Pengujian Biodiesel.....	41
4.2	Hasil Pengujian Performansi Mesin	44
4.2.1	Konsumsi Bahan Bakar	44
4.2.2	Torsi	46
4.2.3	<i>Power</i>	47
4.2.4	<i>Fuel Cons</i>	48
4.2.5	<i>Power Fuel</i>	48
4.2.6	<i>Power Output</i>	49
4.2.7	<i>Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)</i>	50
4.2.8	<i>Brake Thermal Efficiency (BTE)</i>	51
4.3	Hasil Pengujian Emisi	54
4.3.1	Emisi CO ₂	54
4.3.2	Emisi CO	55
4.3.3	Emisi NO _x	57

4.4	Keuntungan menggunakan Biodiesel	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		67
BIODATA PENULIS		71

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reaksi Kimia <i>Transesterification</i>	6
Gambar 2. 2 Siklus Termodinamika pada Mesin Diesel	9
Gambar 2. 3 Mesin Alat Berat.....	10
Gambar 2. 4 Klasifikasi Mesin	10
Gambar 2. 5 TDC dan BDC	12
Gambar 2. 6 <i>Bore Diameter</i>	12
Gambar 2. 7 <i>Stroke</i>	13
Gambar 2. 8 <i>Displacement</i>	13
Gambar 2. 9 <i>Compression Ratio</i>	13
Gambar 2. 10 Komponen Ruang Bakar	14
Gambar 2. 11 Siklus Diesel Empat Langkah	16
Gambar 2. 12 Pemanfaatan Energi Mesin Untuk Mendorong Tanah.....	17
Gambar 2. 13 <i>Kurva Karakteristik Torsi dan Power vs rpm</i>	18
Gambar 2. 14 Mesin Block dan <i>Cylinder Head</i>	19
Gambar 2. 15 <i>Cylinder</i>	19
Gambar 2. 16 <i>Cylinder Liner</i>	20
Gambar 2. 17 Piston.....	20
Gambar 2. 18 <i>Connecting Rod</i>	21
Gambar 2. 19 <i>Crankshaft</i>	22
Gambar 2. 20 <i>Oil Passage</i> di dalam <i>Crackshaft</i>	22
Gambar 2. 21 <i>Cam Lobe</i>	23
Gambar 2. 22 <i>Valve Lifter</i>	24
Gambar 2. 23 <i>Vibration Damper</i>	25
Gambar 2. 24 <i>Valve Train</i>	26
Gambar 2. 25 <i>Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)</i>	28
Gambar 2. 26 <i>Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)</i> dengan Titik-Titik Operasi.....	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3. 2 Biodiesel.....	33
Gambar 3. 3 Solar Murni	33

Gambar 3. 4 Pencampuran Biodiesel dengan Solar Murni	33
Gambar 3. 5 Hasil Pencampuran Biodiesel dengan Solar Murni	34
Gambar 3. 6 <i>Engine cat</i> C15 ACERT (foto diambil oleh PT. Vale Indonesia, Tbk)	37
Gambar 3. 7 Gas <i>Tester</i> Testo 350 XL (foto diambil oleh PT. Vale Indonesia, Tbk)	39
Gambar 3. 8 Pengambilan data pada mesin Cat C15 (foto diambil oleh PT. Vale Indonesia, Tbk)	40
Gambar 3. 9 Tampilan <i>Testo Easy Emission Software</i>	40
Gambar 4. 1 Konsumsi Bahan Bakar	45
Gambar 4. 2 Torsi dari mesin	46
Gambar 4. 3 <i>Power</i>	47
Gambar 4. 4 <i>Fuel Cons</i>	48
Gambar 4. 5 <i>Power Fuel</i>	49
Gambar 4. 6 <i>Power Output</i>	50
Gambar 4. 7 <i>Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)</i>	51
Gambar 4. 8 <i>Brake Thermal Efficiency (BTE)</i>	53
Gambar 4. 9 Emisi CO ₂	55
Gambar 4. 10 Emisi CO	56
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Rasio Emisi CO /Konsumsi Bahan Bakar terhadap RPM.....	57
Gambar 4. 12 Emisi NO _x	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Teknik Mesin Diesel.....	38
Tabel 3. 2 Spesifikasi DL2K Taylor Dinamometer	38
Tabel 4. 1 Hasil Uji Laboratorium Kandungan Biodiesel	41
Tabel 4. 2 Persyaratan bahan bakar biodiesel (ASTM D 6751).....	43
Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Uji dan Spesifikasi Mesin Cat C15	53

Halaman ini memang dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk dunia yang berlangsung secara masif membuat peningkatan konsumsi bahan bakar di dunia. Energi terpopuler saat ini masih bertumpu pada bahan bakar fosil yang kian lama semakin menipis cadangannya di bumi. Berdasarkan BP-PEN 2006 – 2025, jumlah cadangan minyak di Indonesia yang berjumlah 9,1 miliar barel dengan tingkat produksi 387 juta barel per tahun diproyeksikan akan segera habis dalam kurun waktu 23 tahun, sedangkan cadangan gas yang dipunyai Indonesia sebesar 185,8 TSCF (*trillion standard cubic feet*) diperkirakan akan habis dalam waktu 62 tahun, sementara cadangan batu bara yang jadi andalan Indonesia berjumlah 19,3 miliar ton akan habis dalam jangka waktu 146 tahun.

Ketersediaan bahan bakar yang cukup dan berkesinambungan juga menjadi salah satu penentu kemajuan suatu bangsa. Mencermati kondisi ini negara Indonesia membuat kebijakan strategis untuk mengatasi kebutuhan energi khususnya bahan bakar, dengan mewajibkan pemakaian bahan bakar terbarukan atau sering kita sebut *renewable energy*. Pencampuran bahan bakar fosil dengan bahan bakar terbarukan yang sering disebut biodiesel menjadi salah satu alternatif yang menguntungkan, karena bahan baku biodiesel sangat banyak mulai dari minyak masak, minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak ternary, minyak pongamia, minyak jarak, minyak dedak padi, minyak jagung, dll. Penelitian Kumar dkk, menggunakan minyak pongamia dan minyak goreng bekas menyimpulkan kedua bahan tersebut bisa sebagai alternatif biodiesel, dengan hasil, penggunaan WCB10: PB10:D80 mempunyai BSFC (*Brake Specific Fuel Consumption*) lebih tinggi dari pada bahan bakar diesel (Kumar, Prem dkk 2015) begitu juga hasil penelitian yang dilakukan oleh Suhartanta dkk, bahwa minyak jarak bisa dimanfaatkan untuk biodiesel (Suhartanta dkk, 2008).

Biodiesel juga mempunyai karakteristik yang bagus dalam mendukung ke arah *green planet* karena emisinya yang lebih ramah lingkungan dibanding bahan bakar fosil, meskipun mempunyai panas kalori yang lebih kecil. Dengan menggunakan biodiesel dari minyak goreng bekas dengan kecepatan mesin diesel

bervariasi antara 1200- 2600 rpm dihasilkan kesimpulan sebagai berikut pada B20 dan B5 diperoleh emisi paling memuaskan dengan beban mesin yang bervariasi dimana penurunan CO sangat signifikan tetapi ada peningkatan NOx. (Adaileh, Wail M. dkk 2012). Indonesia sebagai salah satu penghasil minyak sawit atau CPO (*Crude Palm Oil*) besar dunia tentu diuntungkan dengan hal ini. Pasokan CPO yang melimpah dengan luas perkebunan yang besar menjadi salah satu faktor yang tidak bisa dilewatkan begitu saja.

Melalui proses transesterifikasi CPO ini diproses menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) dengan dirubahnya CPO menjadi FAME dan masih dicampur dengan bahan bakar diesel murni membuat biodiesel mempunyai karakteristik kimia dan fisika yang menyerupai dengan bahan bakar diesel murni sehingga diharapkan bahan bakar pengganti ini lebih siap untuk digunakan di mesin dan infrastruktur yang sudah ada tanpa perlu banyak modifikasi.

Melalui siaran pers Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 09/SJI/2015 tanggal 17 Februari 2015, maka sejak September 2013 pemerintah akan memasarkan diesel dengan kandungan FAME 10% atau biasa kita sebut B10. Kemudian di April 2015 akan menggunakan B15 dan sejak Januari 2016 menggunakan B20. Rencana selanjutnya diesel dengan kandungan FAME akan ditingkatkan pada Januari 2020 menjadi kandungan FAME 30% (B30). Penggunaan biodiesel diberlakukan untuk konsumsi masyarakat maupun industri walaupun dalam pelaksanaannya mengalami penundaan dimana penggunaan biodiesel dengan kandungan 20% baru diterapkan pada September 2018. Penelitian Wirawan dkk, menggunakan biodiesel dari CPO dengan pengujian pada kendaraan ringan dengan power mesin 200 HP menunjukkan bahwa CPO dapat digunakan sebagai alternatif biodiesel dengan penurunan emisi tetapi diikuti penurunan daya seiring peningkatan kandungan biodiesel (Wirawan, 2008), begitu juga penelitian pengaruh biodiesel dari minyak dedak padi terhadap mesin diesel 5 HP dari penelitian Mayank diperoleh hasil, MTE (*Brake Thermal Efficiency*) maksimum pada CR 14. Konsumsi bahan bakar atau BSFC (*Brake Specific Fuel Consumption*) paling rendah pada CR 14. (Mayank dkk 2016).

Penggunaan biodiesel yang “wajib” membuat berbagai industri mau tak mau harus siap menerapkannya. Begitu juga PT. Vale Indonesia yang beroperasi di

Indonesia tentu mengikuti anjuran ini, saat ini PT. Vale Indonesia telah menggunakan bahan bakar biodiesel B15 untuk semua kebutuhan industrinya baik untuk alat berat, kendaraan roda empat maupun kebutuhan diproses pengolahan nikelnya. Sampai saat ini penelitian yang telah dilakukan tidak ada yang spesifik untuk alat ataupun mesin yang sering dipakai di area tambang, untuk di area PT. Vale Indonesia banyak tipe mesin digunakan mulai dari sekelas 100 HP untuk kendaraan ringan seperti mobil kijang untuk keperluan mengangkut karyawan sampai mesin diesel 1000 HP untuk *shovel* dikegiatan penambangan, diekperimen kali ini menggunakan mesin kelas menengah yang mampu menghasilkan tenaga 350 HP , mengingat mesin diesel kelas 350 HP ke atas sangat banyak digunakan di area tambang khususnya PT. Vale Indonesia.

Minimnya informasi penelitian pengaruh biodiesel berbahan CPO terhadap alat berat yang membuat penulis tertarik untuk melakukan studi ekperimental pengaruh biodiesel berbahan CPO terhadap mesin diesel CAT C15 Acert yang memiliki power 350 HP pada 2100 rpm (SEBU6251 CAT *commercial diesel engine recommendation* page 1 – 4,2000) dimana mesin ini digunakan untuk menggerakkan *Slag Pot Carrier*, alat berat berkapasitas 30 ton untuk mengangkut terak besi (*slag*) hasil sisa pengolahan dari nikel di *furnace*. *Slag pot carrier* yang ada di PT. Vale Indonesia berjumlah 17 unit yang beroperasi selama 24 jam per hari untuk melayani *furnace* dalam membuang terak besi sebagai sisa buangan proses pembuatan nikel. Penggantian bahan bakar menjadi biodiesel diharapkan dapat mengurangi jumlah gas buang dari kendaraan sehingga pencemaran lingkungan dapat dikurangi. Selain itu penggantian ini akan mendukung pengurangan konsumsi minyak bumi yang diganti dengan biodiesel yang lebih ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi :

1. Bagaimana pengaruh biodiesel B0, B15, B20 dan B30 terhadap kinerja mesin CAT seri C15 Acert?
2. Bagaimana pengaruh biodiesel B0, B15, B20 dan B30 terhadap emisi gas buang mesin cat seri C15 Acert?

3. Rasio biodiesel mana yang memiliki performansi mesin dan emisi gas CO yang paling baik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh biodiesel B0, B15, B20 dan B30 terhadap kinerja mesin cat seri C15 Acert dan solusi yang bisa dilakukan terhadap pengaruh biodiesel terhadap mesin cat seri C15 Acert
2. Menganalisa pengaruh biodiesel B0, B15, B20 dan B30 terhadap emisi gas buang mesin cat seri C15 Acert
3. Menentukan campuran biodiesel yang paling efektif digunakan untuk mesin cat C15 Acert dari segi performansi mesin dan emisi gas buang mesin berdasarkan rasio emisi CO dan *fuel consumption*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yang digunakan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pengamatan dilakukan pada mesin cat seri C15 Acert
2. Pengukuran performansi mesin menggunakan standar yang ada pada PT Vale Indonesia Tbk.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dan terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

(1) Penelitian tentang Performa Mesin dan Emisi yang Ditimbulkan dari Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel. Penelitian ini memberikan acuan standar yang digunakan dalam melakukan penilaian terhadap performansi mesin dan emisi yang ditimbulkan oleh mesin. (Powell, 2007)

(2) Pengaruh Penggunaan Biodiesel Terhadap Performa dan Komponen Utama pada Motor memberikan efek pada mesin karena perbedaan dari bahan bakar akan menentukan banyak parameter yang berubah dari suatu proses. (Nurhadi, 2015)

(3) Efek dari manajemen pembakaran pada emisi mesin diesel berbahan bakar dengan campuran biodiesel-diesel. Penelitian ini menunjukkan berbagai efek yang akan ditimbulkan dari penggunaan biodiesel terhadap berbagai jenis mesin terkait dengan emisi yang dikeluarkannya. (Hoseini, et al., 2017)

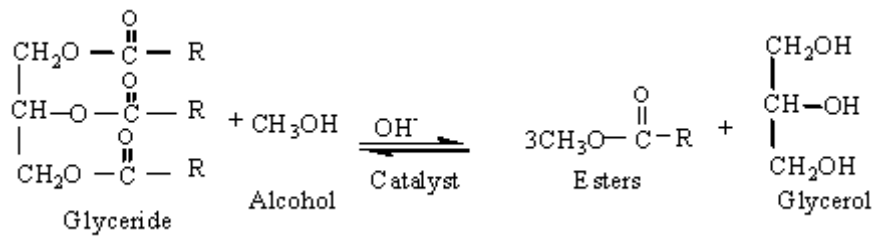
(4) Penentuan Eksperimental Terhadap *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) dan *Brake Thermal Efficiency* (BTE) dengan penggunaan Biodiesel. Didapatkan bahwa penggunaan biodiesel akan meningkatkan *Brake Thermal Efficiency* (BTE) dan *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) ditentukan pada 17,5 rasio kompresi. (Reddy, 2010)

2.2. Biodiesel

2.2.1. Pengertian Biodiesel

Biodiesel adalah salah satu alternatif bahan bakar untuk menggantikan bahan bakar fosil. Biodiesel bisa dihasilkan dari minyak sayur, lemak hewan, minyak tanaman perkebunan seperti kedelai, kelapa, kelapa sawit, jarak ataupun dari sisa minyak goreng bekas. Minyak di atas masih memerlukan proses transesterifikasi untuk menjadi biodiesel. Biasanya hasil dari transesterifikasi dicampurkan dengan bahan bakar fosil dalam hal ini solar dengan berbagai persentase kandungan sesuai yang diinginkan atau bisa juga digunakan sebagai 100% biodiesel.

Transesterification adalah proses reaksi dari *triglyceride* (lemak/minyak) dengan alkohol untuk membentuk *esters* dan *glycerol*. Karakteristik dari lemak ditentukan oleh kondisi normal *fatty acid* yang terkandung di gliserin. Selama proses esterifikasi, trigliserida bereaksi dengan alkohol dengan menggunakan katalis, biasanya sodium hidroksid. Alkohol akan bereaksi dengan *fatty acid* untuk membentuk *mono-alkyl* ester atau biodiesel dan *glycerol* mentah. Untuk tujuan produksi masal, alkohol yang digunakan adalah methanol atau ethanol, methanol akan menghasilkan *methyl* ester sedang *ethanol* akan menghasilkan etil esters dengan menggunakan katalis *potassium* ataupun sodium *hydroxide*. Produk dari proses *transesterification* akan menghasilkan FAME (Fatty Acid Methyl Ester) bila menggunakan katalis methanol.



Gambar 2. 1 Reaksi Kimia *Transesterification*

2.2.2. Keunggulan dan Kekurangan Biodiesel

Dibandingkan dengan solar, biodiesel memiliki kelebihan diantaranya (Hambali, 2007):

- Bahan bakar ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (bebas *sulphur*, *smoke number* rendah).
- Cetane* number lebih tinggi sehingga efisiensi pembakaran lebih baik dibandingkan dengan minyak kasar.
- Memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin.
- Dapat terurai (*biodegradable*).
- Merupakan *renewable energy* karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharui.
- Meningkatkan independensi suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal.

Menurut Syah (2006), karakteristik emisi pembakaran biodiesel dibandingkan dengan solar adalah sebagai berikut :

- a. Emisi karbon dioksida (CO₂) neto berkurang 100%
- b. Emisi sulfur dioksida berkurang 100%
- c. Emisi debu berkurang 40-60%
- d. Emisi karbon monoksida (CO) berkurang 10-50%
- e. Emisi hidrokarbon berkurang 10-50%
- f. Hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH = *polycyclic aromatic hydrocarbon*) berkurang, terutama PAH beracun seperti: *phenanthren* berkurang 98%, *benzofloroanthen* berkurang 56%, *benzapyren* berkurang 71%, serta *aldehida* dan senyawa aromatik berkurang 13%.

Sementara dibanding dengan solar, menurut SEBU6251 CAT *commercial* diesel mesin *recommendation page 1 – 4*, biodiesel mempunyai kekurangan sebagai berikut:

- a. Energi yang dihasilkan biodiesel kurang 5% - 7% per galonnya.
- b. Biodiesel akan bermasalah pada suhu udara yang rendah atau jangka waktu penyimpanan yang lama di tangki penimbunan karena pengendapan kandungan FAME yang bisa mengakibatkan filter, jalur bahan bakar dan *injector* buntu pada alat berat.
- c. Biodiesel menjadi medium pertumbuhan bakteri yang bagus sehingga membahayakan kinerja mesin bila penyimpanannya terlalu lama.
- d. Biodiesel mempunyai kestabilan oksidasi yang rendah sehingga memungkinkan mengoksidasi jalur bahan bakar dan ruang bakar di mesin.
- e. Pengaruh biodiesel terhadap bahan yang terbuat dari karet, misalnya membuat *seal* dan *hose* lebih mudah getas, harus lebih sering dilakukan pengecekan.

2.3. Mesin Diesel

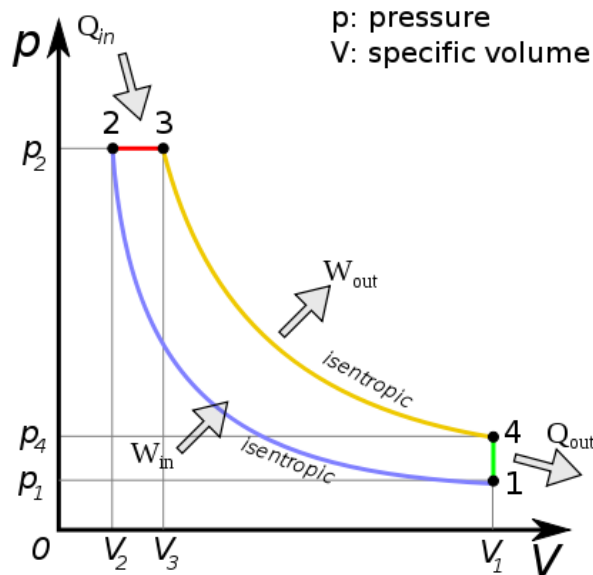
2.3.1. Pengertian Mesin Diesel

Motor bakar diesel biasa disebut juga dengan mesin diesel (atau mesin pemacu kompresi) adalah motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Mesin ini tidak menggunakan busi seperti mesin bensin atau mesin gas. Mesin ini ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering. Mesin diesel memiliki efisiensi

termal terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar lainnya, karena memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi. Mesin diesel kecepatan-rendah (seperti pada mesin kapal) dapat memiliki efisiensi termal lebih dari 50%.

Mesin diesel menggunakan prinsip kerja hukum Charles, yaitu ketika udara dikompresi maka suhunya akan meningkat sesuai dengan grafik siklus termodinamika pada Gambar 2.2. Udara disedot ke dalam ruang bakar mesin diesel dan dikompresi oleh piston yang merapat dengan rasio kompresi antara 15:1 dan 22:1 sehingga menghasilkan tekanan 40-bar (4,0 MPa; 580 psi), dibandingkan dengan mesin bensin yang hanya 8 sampai 14 bar (0,80 sampai 1,40 MPa; 120 sampai 200 psi). Tekanan tinggi ini akan menaikkan suhu udara sampai 550 °C (1.022 °F). Beberapa saat sebelum piston memasuki proses kompresi, bahan bakar diesel disuntikkan ke ruang bakar langsung dalam tekanan tinggi melalui *nozzle* dan injektor supaya bercampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. Injektor memastikan bahwa bahan bakar terpecah menjadi butiran-butiran kecil dan tersebar merata. Uap bahan bakar kemudian menyala akibat udara yang terkompresi tinggi di dalam ruang bakar. Awal penguapan bahan bakar ini menyebabkan waktu tunggu selama penyalaan, suara detonasi yang muncul pada mesin diesel muncul ketika uap mencapai suhu nyala dan menyebabkan naiknya tekanan di atas piston secara mendadak. Oleh karena itu, penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar mulai dilakukan saat piston mendekati (sangat dekat) TMA untuk menghindari detonasi. Penyemprotan bahan bakar yang langsung ke ruang bakar di atas piston dinamakan injeksi langsung (*direct injection*) sedangkan penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang khusus yang berhubungan langsung dengan ruang bakar utama di mana piston berada dinamakan injeksi tidak langsung (*indirect injection*). Ledakan di ruang tertutup ini menyebabkan gas dalam ruang pembakaran mengembang dengan cepat, mendorong piston ke bawah dan menghasilkan tenaga linear. Batang penghubung (*connecting rod*) menyalurkan gerakan ini ke *crankshaft* dan oleh *crankshaft* tenaga linear tadi diubah menjadi tenaga putar. Tingginya kompresi menyebabkan pembakaran dapat terjadi tanpa dibutuhkan sistem penyala terpisah (pada mesin bensin digunakan busi), sehingga rasio kompresi yang tinggi

meningkatkan efisiensi mesin. Meningkatkan rasio kompresi pada mesin bensin hanya terbatas untuk mencegah kerusakan.



Gambar 2. 2 Siklus Termodinamika pada Mesin Diesel

2.3.2. Komponen Mesin Diesel

Pada umumnya mesin diesel yang ada di dunia mempunyai bagian-bagian yang sama dan mirip prinsip kerjanya, di bawah ini adalah penjelasan secara singkat.

2.3.2.1. Definisi

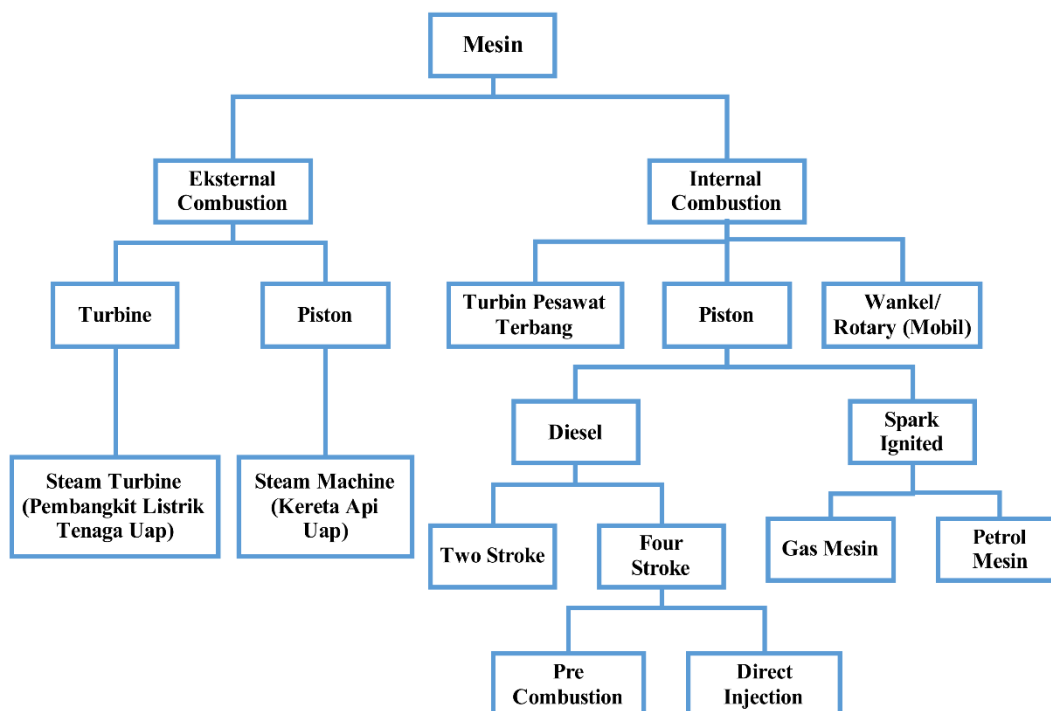
Mesin adalah suatu alat yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi panas yang dimiliki oleh bahan bakar menjadi energi gerak. Berdasarkan fungsinya mesin digunakan untuk menyebut sumber tenaga atau penggerak utama (*prime power*) pada *machine*, genset, kapal (*marine vessel*) ataupun berbagai macam peralatan industri.



Gambar 2. 3 Mesin Alat Berat (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

2.3.2.2. Klasifikasi Mesin

Saat ini untuk mengerjakan berbagai macam jenis pekerjaan yang berbeda sudah banyak sekali jenis mesin yang dirancang oleh manusia. Secara umum penggolongan berbagai jenis mesin yang saat ini biasa dipakai dapat dilihat pada bagan berikut ini:



Gambar 2. 4 Klasifikasi Mesin

Dari bagan tersebut maka penggolongan yang pertama dilakukan adalah membagi mesin berdasarkan tempat terjadinya proses pembakaran dan tempat perubahan energi panas menjadi energi gerak. Apabila kedua peristiwa tadi terjadi dalam ruang yang sama maka mesin tersebut dikategorikan sebagai mesin dengan jenis *internal combustion*. Sedangkan apabila ruang tersebut terpisah maka mesin tersebut dikategorikan sebagai mesin pembakaran luar.

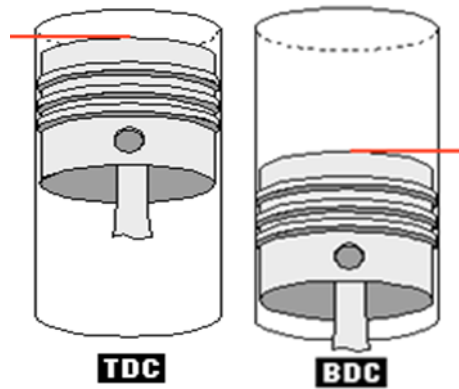
Mesin dengan pembakaran luar selanjutnya dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu: mesin turbin dan piston. Pada mesin pembakaran dalam penggolongan mesin selanjutnya terdiri dari: mesin piston, turbin, dan wenkel atau rotari. Berdasarkan perlu tidaknya percikan bunga api untuk proses pembakaran maka mesin piston dibagi menjadi dua jenis, yaitu: mesin diesel dan mesin *spark ignited* atau kita kenal mesin bensin. Merujuk pada banyaknya langkah yang diperlukan untuk mendapat satu langkah *power*, maka mesin diesel dibagi menjadi mesin diesel dua langkah (*two stroke*) dan empat langkah (*four stroke*). Selanjutnya mesin diesel empat langkah digolongkan lagi berdasarkan cara pemasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar menjadi dua tipe yaitu: mesin dengan sistem *pre-combustion chamber* dan *direct injection*. Pada *spark ignited*, mesin penggolongan pertama didasarkan pada jenis bahan bakar yang digunakan, yaitu: mesin berbahan bakar gas dan bensin. Caterpillar hanya memproduksi jenis mesin diesel empat langkah dan gas mesin saja. Tetapi pada pembahasan kali ini topik yang akan dibatasi hanya pada diesel mesin saja.

2.3.2.3. Istilah-istilah Pada Mesin

Beberapa istilah dalam mesin akan dijelaskan pada gambar berikut:

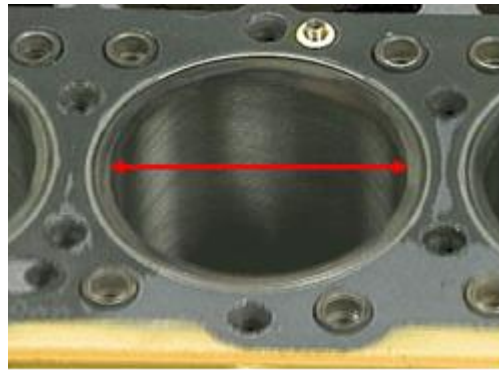
a. *Top dead center / Bottom dead center*

Top dead center/titik mati atas adalah Posisi paling atas dari gerakan piston. Sedangkan *bottom dead center*/titik mati bawah adalah posisi paling bawah dari gerakan piston.



Gambar 2. 5 TDC dan BDC (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

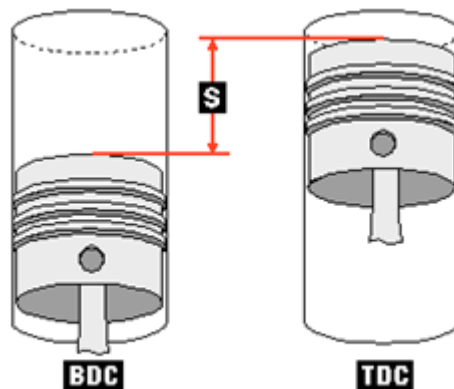
b. *Bore diameter combustion chamber* (ruang bakar)



Gambar 2. 6 *Bore Diameter* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

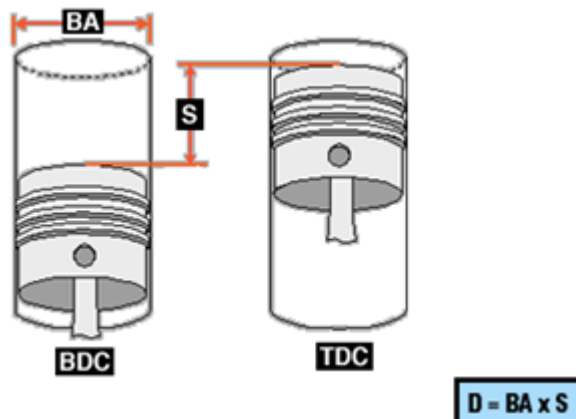
c. *Stroke*

Menunjukkan jarak yang ditempuh oleh *piston* untuk bergerak dari BDC menuju TDC atau sebaliknya



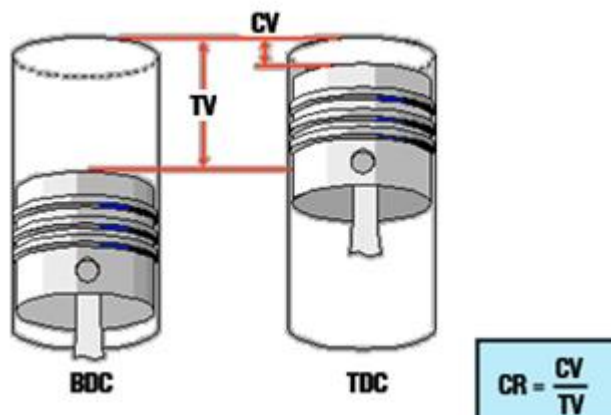
Gambar 2. 7 *Stroke* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

- d. *Displacement: Bore Area X Stroke*



Gambar 2. 8 *Displacement* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

- e. *Compression ratio: Total volume (BDC)/compression volume (TDC)*



Gambar 2. 9 *Compression Ratio* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

- f. *Friction* (gesekan)

Friction adalah tahanan yang timbul dari gesekan antara dua permukaan yang saling bergerak relatif satu sama lain. Contoh: *Friction* yang terjadi antara piston dan dinding linear pada saat piston bergerak ke atas dan ke bawah. *Friction* menimbulkan panas yang merupakan salah satu penyebab utama keausan dan kerusakan pada komponen.

- g. *Inertia* (kelembaman)

Inertia adalah kecenderungan dari suatu benda yang bila diam akan tetap diam atau benda yang bergerak akan tetap bergerak. Mesin harus menggunakan tenaga untuk melawan *inertia* tersebut.

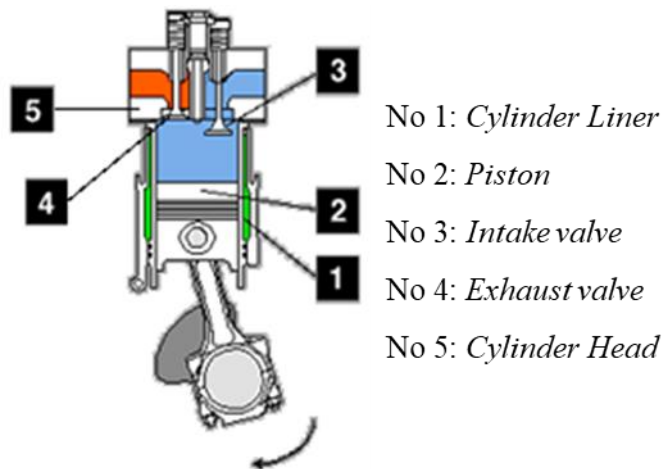
h. *Force* (gaya)

Force adalah dorongan atau tarikan yang menggerakkan, menghentikan atau merubah gerakan suatu benda. Daya yang ditimbulkan oleh pembakaran pada saat langkah kerja. Semakin besar gaya yang ditimbulkan semakin besar pula tenaga yang dihasilkan.

i. *Pressure* (tekanan)

Tekanan adalah ukuran gaya yang terjadi setiap satuan luas. Sewaktu siklus empat langkah berjalan maka tekanan terjadi di atas piston pada saat langkah kompresi dan langkah tenaga.

Selain istilah-istilah di atas harus diketahui juga nama-nama komponen dasar mesin yang membentuk *combustion chamber* (ruang bakar), yaitu:



Gambar 2. 50 Komponen Ruang Bakar (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Penjelasan dari Gambar 2.10 tersebut adalah

2.4. Siklus Mesin Diesel Empat Langkah

Adapun proses kerja siklus motor bakar empat langkah dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Langkah Hisap (*suction/intake stroke*)

Pada langkah ini piston bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah. Katup hisap terbuka sehingga akibat kevakuman yang terjadi dari ekspansi volume pada ruang bakar maka udara dari luar dapat masuk ke dalam ruang bakar melalui katup hisap yang terbuka. Pada motor bakar yang dilengkapi dengan *turbocharger* maka udara yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak lagi dikarenakan adanya dorongan dari sisi tekan *compressor wheel* pada *turbocharger*.

b. Langkah Kompresi (*compression stroke*)

Setelah piston mencapai titik mati bawah maka arah piston akan berbalik menuju kembali ke titik mati atas, hanya saja pada langkah ini tidak ada katup yang membuka. Sebagai akibat dari mengecilnya volume ruang bakar maka udara yang ada di dalam ruang bakar menjadi terkompresi. Dengan kompresi rasio yang berkisar antara 19:1 sampai 23:1 maka pengkompresian udara pada ruang bakar akan menghasilkan panas kompresi (*heat compression*) yang tinggi (kurang lebih berkisar 1000 °F).

Beberapa derajat sebelum piston mencapai titik mati atas bahan bakar solar diinjeksikan melalui *nozzle* ke dalam ruang bakar, penginjeksiannya harus menggunakan tekanan yang tinggi sehingga solar yang di semprotkan ke dalam ruang bakar berubah menjadi butiran-butiran cairan solar yang sangat halus seperti kabut. Pada saat solar disemprotkan maka campuran antara solar dan udara di dalam ruang bakar mulai terbakar akibat terkena panas yang dihasilkan oleh *heat compression*.

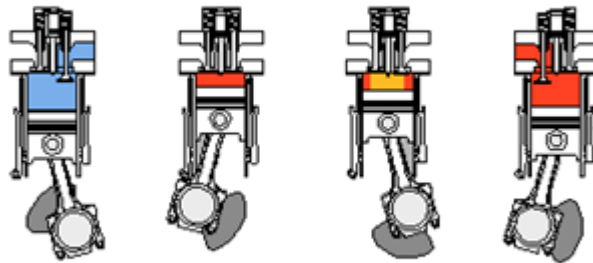
c. Langkah Tenaga (*power stroke*)

Proses pembakaran campuran solar dan udara terus berlangsung sampai piston mencapai titik mati atas dan selanjutnya kembali berubah arah kembali menuju titik mati bawah kurang lebih 10° setelah melewati titik mati atas maka pembakaran yang terjadi telah sempurna sehingga dihasilkan ledakan yang tekanan ekspansinya memaksa piston untuk terus bergerak menuju titik mati bawah.

d. Langkah Pembuangan (*exhaust stroke*)

Setelah energi ledakan panas pada langkah *power* telah berubah bentuk menjadi energi mekanis maka sisa proses pembakaran yang ada harus dibuang. Proses ini terjadi ketika piston bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas dengan kondisi katup buang membuka. Gas sisa hasil pembakaran di dorong keluar

oleh piston melalui katup buang. Selanjutnya melalui *muffler* gas tersebut akan dilepas ke atmosfer. Kecuali untuk motor bakar diesel yang diperlengkapi dengan *turbocharger* maka sebelum masuk ke dalam *muffler* gas tersebut masih dimanfaatkan untuk memutar sudu-sudu turbin pada turbin wheel. Demikian siklus ini terjadi secara terus menerus pada motor bakar diesel. Ilustrasi dari proses kerja diesel empat langkah dapat dilihat pada Gambar 2.11. Urutan gambar dari kiri ke kanan memperlihatkan kondisi: akhir langkah hisap, akhir langkah kompresi, awal langkah *power* dan awal langkah buang.



Gambar 2. 11 Siklus Diesel Empat Langkah (“Modul Training Basic Mechanic”
PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Ada tiga faktor yang diperlukan dalam proses pembakaran, yaitu:



Udara dan bahan bakar yang dipanaskan akan menghasilkan pembakaran, sehingga menghasilkan gaya yang diperlukan untuk memutar mesin. Udara yang mengandung bahan oksigen diperlukan untuk membakar bahan bakar. Ketika bahan bakar dikabutkan di ruang bakar maka bahan bakar akan sangat mudah untuk dinyalakan dan akan terbakar dengan efisien. Pembakaran dapat terjadi ketika campuran bahan bakar dan udara dikompresikan sampai dihasilkan panas yang cukup ($\pm 1000^{\circ}\text{F}$) sehingga dapat menyala tanpa bantuan percikan bunga api.

Selanjutnya dari ketiga faktor yang sudah disebutkan di atas maka terdapat tiga faktor lagi yang mengontrol hasil pembakaran:

- a. Volume udara yang dikompresikan. Makin banyak udara yang dikompresikan maka makin tinggi temperatur yang dihasilkan. Apabila jumlah udara yang dikompresikan mencukupi maka akan dihasilkan panas yang temperaturnya di atas temperatur penyalaan bahan bakar.
- b. Jenis bahan bakar yang dipergunakan jenis bahan bakar mempengaruhi karena bahan bakar yang jenisnya berbeda akan terbakar pada temperatur yang berbeda pula. Selain itu efisiensi pembakarannya pun juga berlainan.
- c. Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang bakar. Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan juga dapat mengontrol hasil pembakaran. Makin banyak bahan bakar diinjeksikan akan makin besar gaya yang dihasilkan.



Mesin *power* ditentukan oleh rumus *torque* dan Rpm untuk horsepower:

$$HP \equiv \frac{Torque \times Rpm}{5252} \quad (2. 1)$$



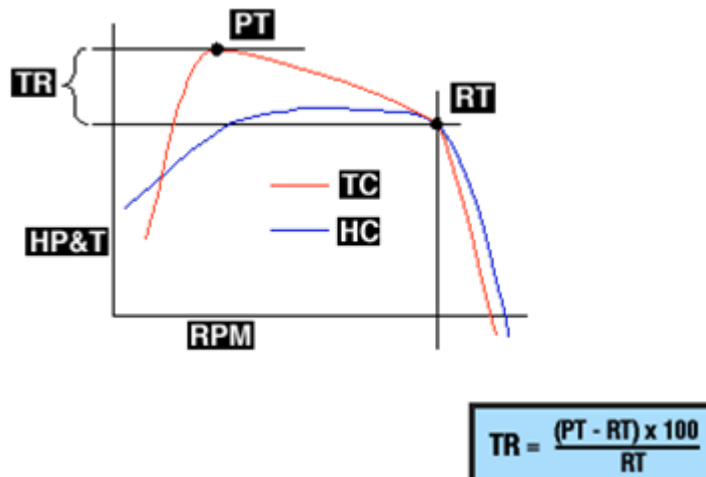
Gambar 2. 6 Pemanfaatan Energi Mesin Untuk Mendorong Tanah (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

- a. *Torque* (momen puntir atau torsi) adalah gaya puntir. *Crankshaft* membuat *torque* menjadi gaya di *flywheel*, *torque converter* atau bagian mekanis lainnya untuk berputar.
- b. *Torque* menentukan kemampuan mengalami pembebanan: *Torque* juga merupakan ukuran kapasitas pembebanan dari mesin.

Rumusan dari *torque* adalah:

$$Torque \equiv 5252 \times \frac{HP}{rpm} (Lb. ft) \quad (2. 2)$$

- c. *Torque rise* adalah penambahan *torque* yang terjadi pada saat mesin *lugged* yaitu dimana rpm mesin turun dari rpm operasi. Dalam hal ini kenaikan *torque* akan terjadi sampai pada penurunan rpm tertentu tercapai, setelah itu *torque* akan turun dengan cepat. Pada saat *torque* mencapai harga tertinggi itulah disebut *Peak Torque*.



Gambar 2. 73 Kurva Karakteristik Torsi dan Power vs rpm

Keterangan:

TR = *Torque Rise*

Hp = *Horse Power*

TC = *Torque Curve* HC = *Horsepower Curve*

PT = *Peak Torque*

RT = *Rated Torque*

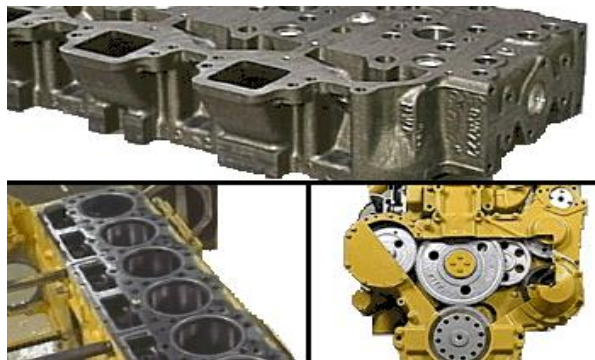
- d. *Horsepower* adalah satuan tenaga yang dihasilkan oleh mesin per satuan waktu atau kemampuan melakukan kerja.
- e. *Brake horsepower* adalah tenaga siap pakai di *flywheel* yang dapat digunakan untuk melakukan kerja. *Brake horse power* itu lebih kecil dari *horse power* yang terjadi sebenarnya, karena sebagian tenaganya dipakai untuk memutar komponen mesin itu sendiri.
- f. *Heat/panas* adalah bentuk energi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Energi panas diubah menjadi tenaga mekanis oleh piston dan komponen mesin lainnya untuk menghasilkan tenaga yang dapat digunakan untuk bekerja.

- g. *Temperature*/suhu adalah ukuran relatif dari panas atau dinginnya suatu benda. Biasanya diukur dalam satuan Fahrenheit atau Celsius.
- h. *British Thermal Unit/BTU* dipergunakan untuk mengukur nilai panas secara spesifik dari suatu bahan bakar atau jumlah panas yang dipindahkan dari suatu benda ke benda lainnya. Satu BTU adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan panas satu *pound* air sebesar satu derajat Fahrenheit.

2.5. Komponen Dasar Mesin

2.5.1. Mesin Block

Mesin block adalah bagian utama yang mendukung semua komponen mesin.



Gambar 2. 14 Mesin Block dan *Cylinder Head* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

2.5.2. *Cylinder*

Cylinder ialah lubang-lubang di *block* mesin. *Cylinder* mempunyai beberapa fungsi dan tugas yaitu:

- a. Rumah untuk piston.
- b. Ruang untuk pembakaran.
- c. Meneruskan panas keluar dari piston



Gambar 2. 15 *Cylinder* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

2.5.3. *Cylinder Liner*



Gambar 2. 16 *Cylinder Liner* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Cylinder liner membentuk selubung air yang membatasi air pendingin dengan piston. Terdapat dua jenis *Cylinder Liner*: *Wet type cylinder liner* (tipe basah) dan *dry type* (tipe kering). Liner basah mempunyai *o-ring* yang menyekat selubung air dan mencegah bocornya pendingin. *Dry liner* atau biasa juga disebut *sleeve* dipakai untuk memperbaiki *parent bore* yang mengalami kerusakan. Liner semacam ini disebut “*dry*” karena sangat rapat pada dinding lubang *cylinder di block* mesin tanpa ada air yang berkontak langsung dengannya.

2.5.4. *Piston*

Piston terpasang sempurna di dalam tiap *cylinder liner* dimana bisa bergerak ke atas dan ke bawah selama proses pembakaran. Bagian atas piston merupakan dasar dari ruang bakar.



Gambar 2. 17 *Piston* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Berdasarkan cara pembuatannya piston dapat dibagi menjadi:

- a. *Cast aluminium crown* dengan *forged aluminium skirt*, dimana kedua bagian tersebut disambung dengan pengelasan *electron beam*.
- b. *Composite*, *steel crown* dan *aluminium skirt* yang dibaut menjadi satu.

- c. *Articulated, forged steel crown* dengan *pin bore* dan *bushing*, dimana *cast aluminium skirt* terpisah. Dua bagian ini disatukan dengan *wrist pin*.
- d. Tipe yang umum ialah piston tunggal *cast aluminium* dengan piston *ring belt* (sabuk baja) sebagai tempat *ring* piston.

Berdasarkan sistem bahan bakar dan bentuk ruang bakar maka dikenal dua macam piston, yaitu:

- a. *Precombustion piston* mempunyai *heat plug* pada *crown*.
- b. *Direct injection piston* tidak mempunyai *heat plug*.

Adapun jenis *piston ring* yang terpasang pada *piston* adalah sebagai berikut:

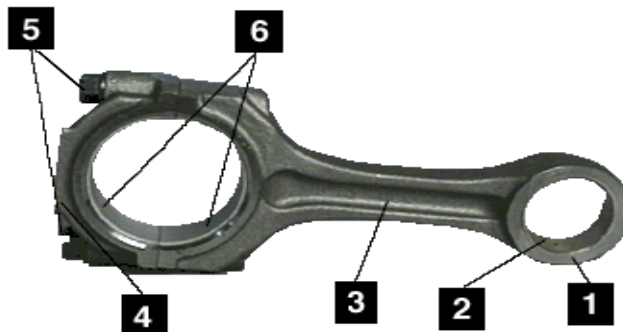
- a. *Compression ring* (ring kompresi)

Berfungsi untuk menyekat ruang bakar bagian bawah guna mencegah kebocoran kompresi dan gas hasil pembakaran melalui piston.

- b. *Oil control ring* (ring oli)

Biasanya hanya terdapat satu *oil control ring* di bawah dua *compression ring*, *oil control ring* melumasi dinding *cylinder liner* pada saat piston bergerak ke atas dan ke bawah. Lapisan oli mengurangi keausan *cylinder liner* dan piston.

2.5.5. *Connecting Rod*



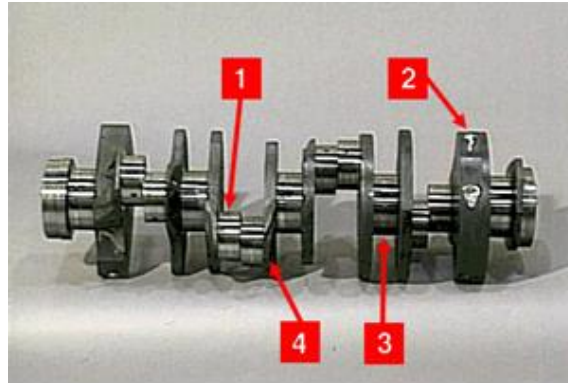
Gambar 2. 18 *Connecting Rod* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Connecting rod menghubungkan piston ke *crankshaft*. Bagian-bagian dari *connecting rod* adalah sebagai berikut:

- a. *Rod eye*.
- b. *Piston pin bushing*.
- c. *Shank*.
- d. *Cap*.

- e. *Rod bolt and nuts.*
- f. *Connecting rod bearing.*

2.5.6. Crankshaft



Gambar 2. 19 *Crankshaft* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Crankshaft merubah gerak turun naik piston menjadi gerakan berputar yang dipakai untuk melakukan kerja. Di dalam *crankshaft* terdapat saluran lobang tempat jalannya oli yang disebut *oil gallery*. Lubang saluran oli dibuntu pada satu ujungnya dengan *plug* atau *set screw*.



Gambar 2. 20 *Oil Passage* di dalam *Crackshaft* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Untuk mengurangi gerak maju atau mundur pada crankshaft (gerakan maju-mundur *crankshaft* tersebut biasa disebut *End Play*) maka dipasanglah *thrust main bearing*. Ada dua macam *thrust main bearing*, yaitu:

- a. *Insert bearing* 2 (dua) buah.
- b. *Flanged thrust bearing* 1(satu) buah.

2.5.7. Roda Gila (*Flywheel*)

Roda Gila (*Flywheel*) dibautkan pada bagian belakang *crankshaft* di dalam rumah *flywheel*. *Crankshaft* memutar *flywheel* pada langkah tenaga, dan gaya momentum *flywheel* menjaga *crankshaft* tetap berputar mulus pada langkah hisap, kompresi dan langkah buang

Fungsi *flywheel* ada tiga, yaitu:

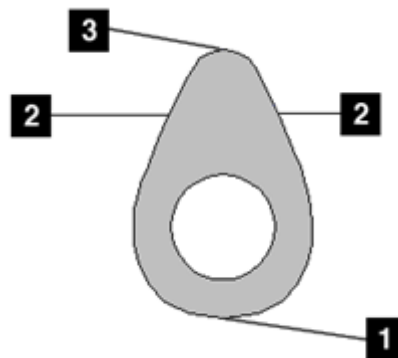
- Menyimpan energi untuk momentum di antara langkah tenaga.
- Membuat putaran *crankshaft* supaya halus.
- Memindahkan tenaga ke mesin, *torque converter* atau beban lain.

Pada bagian luar terdapat komponen *ring gear* melingkari *flywheel*. *Ring gear* dipergunakan sebagai roda gigi yang *spline* dengan *pinion starting motor* untuk start mesin.

2.5.8. *Camshaft*

Camshaft digerakkan oleh roda gigi *crankshaft*. Bila *camshaft* berputar maka *cam lobe* berputar. Komponen *valve* (klep) yang terhubung ke *camshaft* akan ikut bergerak naik dan turun. Bila permukaan *lobe* berada di atas, *valve* akan terbuka. Putaran *camshaft* adalah setengah putaran *crankshaft* sehingga *valve* membuka dan menutup pada waktu yang tepat selama proses empat langkah.

Bagian *camshaft* yang mendorong *valve* adalah *camshaft lobe*. Masing-masing *lobe* mengoperasikan (1) *Intake* dan (2) *Exhaust valve* untuk setiap *cylinder*. Beberapa *cam* memiliki *lobe* untuk menyemprotkan bahan bakar. *Lobe* ini akan menekan unit *injector*. *Lobe* tersebut akan mengatur kapan bahan bakar disemprotkan ke *combustion chamber*.



Gambar 2. 21 *Cam Lobe* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

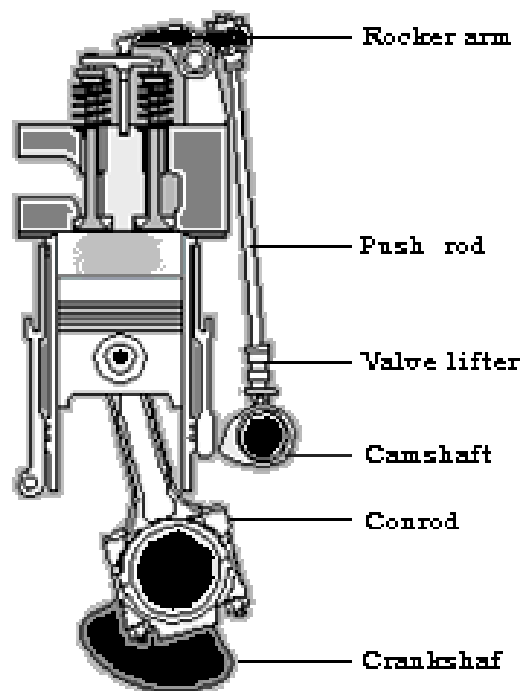
Setiap *lobe* terdiri dari tiga bagian utama yaitu:

- a. *Base Circle*
- b. *Ramps*
- c. *Nose*

Jarak dari *base circle* ke puncak *nose* disebut *lift*. *Cam Lift* menentukan seberapa jauh *valve* dibuka. Selain itu bentuk kelandaian *ramp* juga menentukan kecepatan membuka dan menutup *valve*, sedangkan bentuk *nose* akan menentukan berapa lama *valve* tersebut membuka penuh.

- a. Kecepatan atau waktu yang dibutuhkan untuk bergerak dari *valve* tertutup menjadi terbuka penuh *Ramps*.
- b. Lamanya atau duration *valve* dalam keadaan terbuka.
- c. Kecepatan atau waktu yang dibutuhkan untuk bergerak dari *valve* terbuka penuh menjadi tertutup.

2.5.9. *Valve Lifters*



Gambar 2. 22 Valve Lifter (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Valve lifter atau *cam follower* bertumpu pada setiap *lobe camshaft*.

- a. Bila *Camshaft* berputar, *valve lifter* akan menyusuri permukaan *lobe*.

- b. *Valve lifter* merubah gerak *camshaft* ke *Push rod*.
- c. *Push Rod* memindahkan gerakannya ke *rocker arm*, untuk membuka dan menutup *valve*.

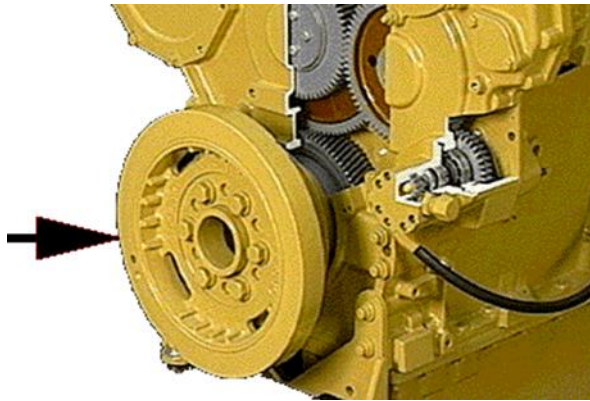
Ada 2 tipe valve lifter, yaitu:

- a. *Slipper follower*
- b. *Roller follower*

Roller follower memiliki roda baja keras yang berputar di atas *camshaft lobe*.

2.5.10. Vibration Damper (Peredam Getaran)

Pada bagian depan *crankshaft* terdapat *vibration damper*. Alat yang menyerupai *flywheel* kecil ini berfungsi untuk meredam getaran yang terjadi akibat putaran *crankshaft* (*torsional vibration*).



Gambar 2. 23 Vibration Damper (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Ada dua jenis peredam getar, yakni:

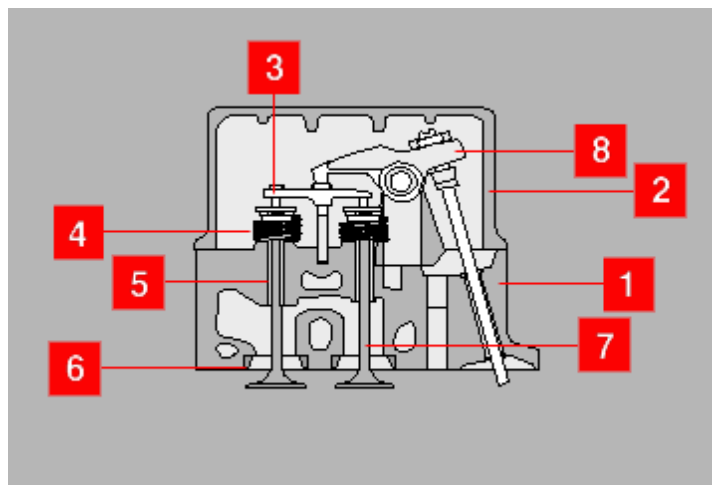
- a. Peredam karet (*rubber damper*), yaitu peredam yang menggunakan karet padat untuk menyerap getaran.
- b. Peredam cairan kental (*viscous damper*), yaitu peredam yang di dalamnya menggunakan cairan kental untuk menyerap getaran.

2.5.11. Cylinder Head Group

Cylinder head dan komponen-komponennya dirancang agar *valve* dapat membuka dan menutup dengan *timing* yang tepat, dan agar bahan bakar disuntikkan pada waktu yang tepat sehingga didapatkan kemampuan puncak dari mesin. Yang termasuk perangkat *valve train* antara lain:

- a. *Slipper follower*
- b. *Cylinder head*

- c. *Valve cover*
- d. *Bridge*
- e. *Valve spring assemblies*
- f. *Valve guide*
- g. *Valve seat insert*
- h. *Valve*
- i. *Rocker arm*



Gambar 2. 24 *Valve Train* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

2.5.12. *Gear Train Assembly*

Gear Train Assemblies dihubungkan untuk memindahkan tenaga dari crankshaft ke komponen-komponen lain dari mesin. *Gear Train Assemblies* bisa berlokasi di bagian depan dan belakang mesin. Pada Gambar 2.24 di atas *gear Train Assemblies* terdapat di bagian depan mesin di antara plate belakang dan rumah *timing gear*.

2.6. Parameter Performa Mesin

2.6.1. *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)*

Brake specific fuel consumption (BSFC) adalah salah satu parameter yang dapat dipakai untuk menunjukkan tingkat efisiensi pembakaran suatu mesin dengan membandingkan bahan bakar yang dikonsumsi dengan tenaga yang dihasilkan. Pengukuran konsumsi bahan bakar akan dilakukan dengan menggunakan *dynamometer* dalam gram per detik (g/s), kemudian dengan *dynamometer* juga kita

bisa mengukur keluaran tenaga dari mesin dalam (kW) sehingga *brake specific fuel consumption* dalam (g/kW.h).

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{P_e} \times 3600 \quad (2.3)$$

Tenaga mesin adalah kombinasi dari kecepatan mesin dan torsi, sehingga *brake specific fuel consumption* bisa didapatkan dari turunan rumus di atas menjadi:

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{T_e \omega_e} \quad (2.4)$$

Di mana

\dot{m}_f [g/s]- konsumsi bahan bakar

T_e [Nm] - torsi mesin

ω_e [rad/s]- kecepatan mesin

Torsi mesin [Nm] bisa dihitung dari fungsi *mean effective pressure* (MEP) dari mesin.

$$T_e = \frac{n_c V_d p_{me}}{2\pi n_r} \quad (2.5)$$

n_c [-] - jumlah silinder

V_d [m³] - *cylinder displacement* (volume)

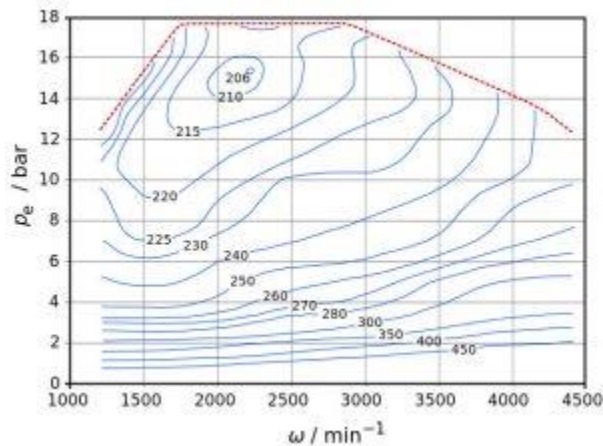
p_{me} [Pa] - *mean effective pressure*

n [-] - jumlah putaran *crankshaft* untuk satu *cycle* (untuk mesin 4 tak $n_r = 2$)

Dengan substitusi formula di atas maka *brake specific fuel consumption* (BSFC) menjadi:

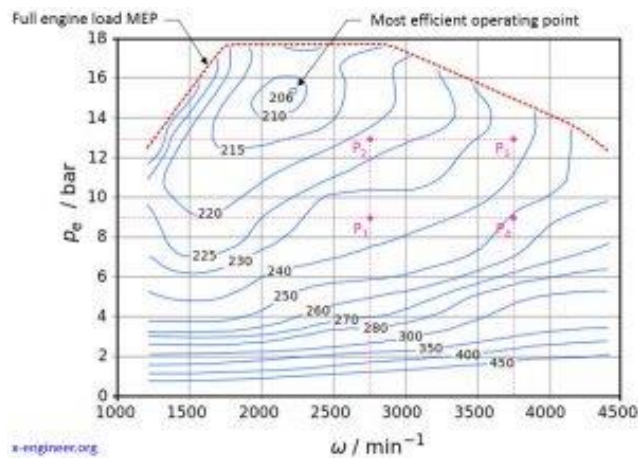
$$BSFC = \frac{2\pi n_r \dot{m}_f}{n_c V_d p_{me} \omega_e} \quad (2.6)$$

Semakin rendah angka *brake specific fuel consumption* (BSFC) maka semakin efisien mesin tersebut, biasanya untuk mesin bensin *brake specific fuel consumption* (BSFC) ada di sekitar angka 250 g/kWh sedangkan pada mesin diesel, *brake specific fuel consumption* (BSFC) ada di sekitar angka 200 g/kWh.



Gambar 2. 25 *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)* (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

Nilai paling rendah dari *brake specific fuel consumption (BSFC)* dari Gambar 2.25, ditunjukkan anak panah, biasanya pada kecepatan mesin medium dan torsi paling tinggi, minimum *brake specific fuel consumption (BSFC)* adalah 206 g/kWh pada kecepatan mesin 2200 rpm dan *mean effective pressure (MEP)* 15.5 bar.



Gambar 2. 26 *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)* dengan Titik-Titik Operasi (“Modul Training Basic Mechanic” PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako 2017)

2.6.2. *Brake Thermal Efficiency (BTE)*

Brake thermal efficiency (BTE) bisa didefinisikan sebagai rasio antara tenaga yang keluar dari poros mesin dibanding energi yang dihasilkan oleh bahan bakar di ruang bakar. Seperti diketahui hubungan antara *brake specific fuel consumption (BSFC)*, *brake thermal efficiency (BTE)* dan *fuel heating value (H)*.

$$BSFC = \frac{3,6 \times 10^6}{H \times BTE} \quad (2.7)$$

Brake thermal efficiency (BTE) adalah produk dari efisiensi mekanikal dari suatu mesin dan *indicated thermal efficiency* (ITE) dari bahan bakar. *Brake Thermal efficiency* (BTE) dipengaruhi oleh rugi-rugi gesek dari komponen mesin itu sendiri, dan bisa diformulasikan sebagai berikut:

$$ME = \frac{1}{1 - \frac{FMEP}{BMEP}} \quad (2.8)$$

Dimana: BMEP adalah *brake mean effective pressure* (kPa) dan FMEP adalah *friction mean effective pressure* (kPa). Untuk *brake mean effective pressure* bisa dinyatakan dengan persamaan :

$$BMEP = \frac{4 \times \pi \times T}{D} \quad (2.9)$$

Dimana T adalah mesin *torque* (Nm) and D adalah *displacement* mesin (dm³). Jika *brake thermal efficiency* BTE (%) dipengaruhi oleh: *speed* ω (s⁻¹), *torsi* T (Nm) dan *fuel consumption rate* G (kg/h) dari *brake specific fuel consumption* BSFC (g/kWh) :

$$BSFC = \frac{G \times 10^6}{T \times \omega} \quad (2.10)$$

Maka,

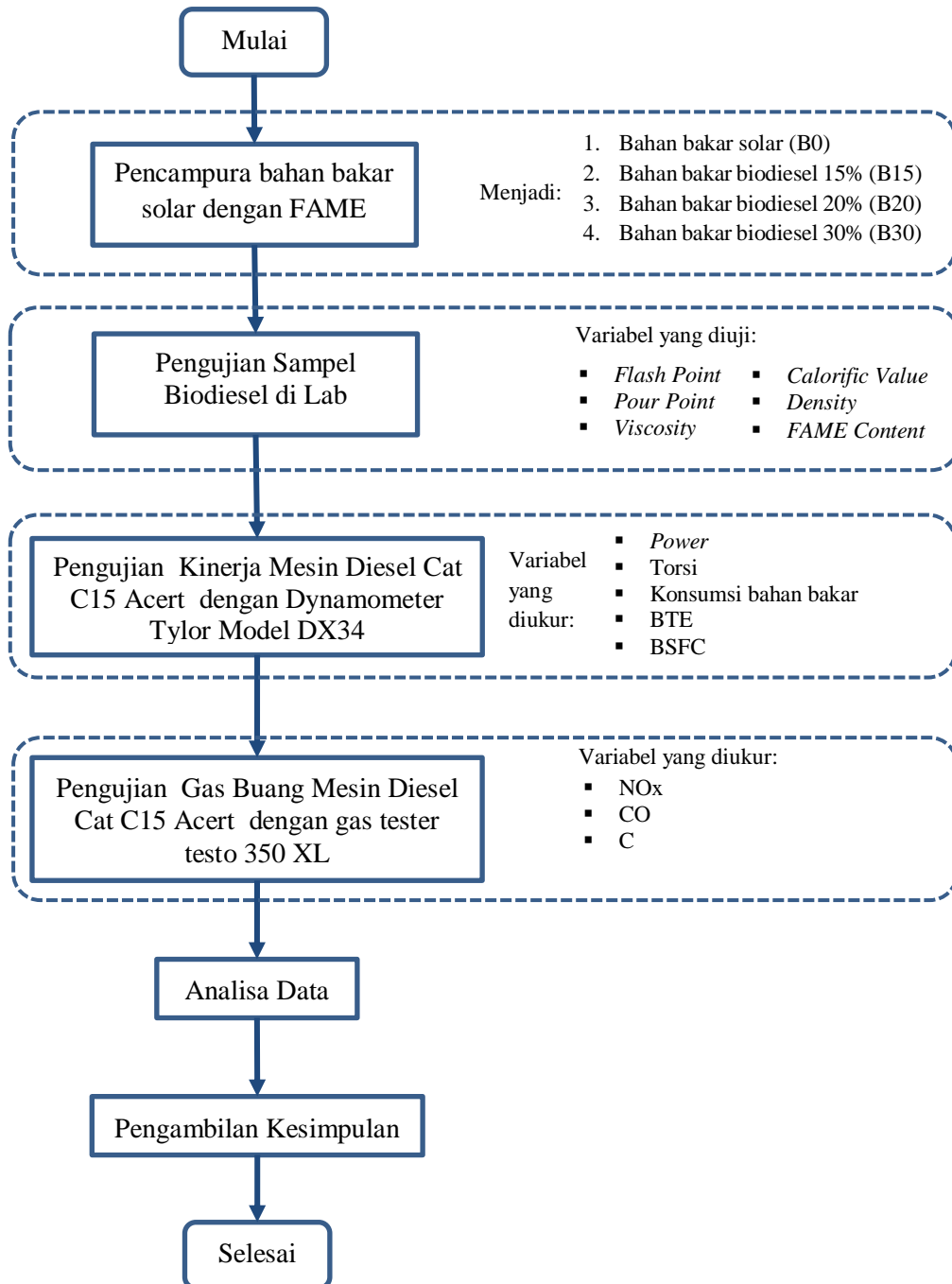
$$BTE = \frac{3,6 \times T \times \omega}{H \times D} \times 100 \quad (2.11)$$

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian digambarkan dalam diagram alir di pada Gambar 3.1 :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yang akan dijelaskan sebagai berikut :

3.2 Pembuatan Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar yang terbuat dari bahan baku tanaman atau hewan. Biodiesel terdiri dari komponen kimia spesifik. Di Amerika Serikat, sebagian besar biodiesel dibuat dari minyak kedelai. Namun, minyak canola, minyak bunga matahari, minyak goreng daur ulang, minyak sawit, lemak hewani, dan minyak lainnya juga digunakan sebagai bahan baku.

Di seluruh dunia, minyak nabati sedang dipelajari untuk kelangsungan hidup mereka sebagai bahan bakar yang alami (Korbitz, 1999). Pengujian mendalam menunjukkan bahwa mesin diesel dapat dioperasikan dengan baik menggunakan minyak nabati yang diproses secara minimal. Namun, menggunakan minyak nabati sebagai bahan bakar mengakibatkan masalah dengan injektor bahan bakar, ring piston, dan stabilitas oli (Bechtold, 2002). Penelitian tambahan menunjukkan bahwa pengolahan lebih lanjut dari minyak nabati menghasilkan metil ester, bahan bakar yang cocok untuk mesin diesel dan kompatibel untuk pencampuran dengan solar. Metil ester dikenal sebagai biodiesel.

Penggunaan bahan bakar terbarukan seperti biodiesel untuk kendaraan bermotor telah berkembang pesat karena berbagai alasan. Penggunaan biodiesel telah meningkat sangat cepat. Peningkatan yang luas dalam penggunaan biodiesel ini telah harus sesuai dengan standar industri untuk biodiesel agar kualitas biodiesel dapat terjamin. Standar yang digunakan sebagai acuan adalah ASTM International (ASTM D 6751) tentang standar *Spesification for Biodiesel Fuel Blend Stock for Distillate Fuels*.

Biodiesel biasanya diproduksi melalui proses yang disebut "*trans-esterification*." Proses ini menggunakan alkohol industri (biasanya metanol, terkadang etanol) dan katalis (natrium metilat, bisa natrium hidroksida) untuk mengubah basis minyak tumbuhan atau lemak hewan menjadi bahan bakar mono-alkil ester asam lemak (biodiesel), dengan gliserin sebagai produk sampingan. Biodiesel dalam bentuknya yang murni dikenal sebagai B100, tetapi dapat dicampur dengan bahan bakar diesel konvensional. Campuran yang paling umum

adalah B5 (5 persen biodiesel dan 95 persen solar murni) dan B20 (20 persen biodiesel dan 80 persen solar murni).



Gambar 3. 2 Biodiesel



Gambar 3. 3 Solar Murni



Gambar 3. 4 Pencampuran Biodiesel dengan Solar Murni



Gambar 3. 5 Hasil Pencampuran Biodiesel dengan Solar Murni

Biodiesel diproduksi melalui proses reaksi dari minyak nabati atau lemak hewan dengan alkohol seperti *methanol* atau *ethanol* dengan beberapa persen katalis untuk menghasilkan mono alkil ester dan gliserin yang dihilangkan. Hasil dari biodiesel kira-kira 10% dari masa reaksi alkohol. Alkohol yang dihasilkan bisa berasal dari sumber terbarukan maupun tidak. Gambar 3.2 menunjukkan biodiesel murni, yang selanjutnya akan dicampurkan dengan bahan bakar solar murni pada Gambar 3.3, sesuai dengan takaran yang diinginkan seperti pada Gambar 3.4 sehingga nantinya didapatkan komposisi biodiesel sesuai dengan komposisi yang sudah ditentukan yaitu B0 yang mengandung biodiesel 0% yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 paling kanan, B15 yang mengandung biodiesel 15%, B20 yang mengandung biodiesel 20% dan B30 yang mengandung biodiesel 30% seperti pada Gambar 3.5.

Kegunaan lain dari biodiesel juga dapat dicampur dalam campuran kecil, seperti B2 dan B5, berfungsi sebagai pelumas. Hal ini terutama penting mengingat penurunan konsentrasi sulfur yang diberikan bertindak sebagai pelumas pada diesel. Biodiesel juga berfungsi sebagai bahan bakar tambahan bila digunakan dalam campuran seperti B20 bahkan hingga B100. Akan tetapi penggunaan B100 tidak direkomendasikan karena banyak kajian yang menilai bahwa penggunaan biodiesel B100 menyebabkan performansi mesin tidak bekerja secara optimal karena kandungan dari biodiesel B100 yang jauh dari bahan bakar solar baik segi kalori maupun yang lain.

3.3 Pengujian Biodiesel

Biodiesel terbuat dari campuran bahan bakar murni dengan kandungan sampel bahan bakar yang diuji terdiri dari B0 di mana bahan bakar 0% dari FAME dan 100% bahan bakar diesel murni. B15 berarti memiliki 15% FAME dan 85% solar, konten B20 adalah FAME 20% dan 80% solar dan B30 memiliki FAME 30% dan solar 70%. Semua rasio sampel berdasarkan volume. Contoh FAME dan solar disediakan oleh Pertamina dan dicampur di laboratorium dalam % Volume. Sampel bahan bakar diuji di laboratorium untuk mengukur sifat kimia dan fisiknya. Titik nyala, viskositas dan kepadatan titik awan diuji di BPPT, Indonesia, dan nilai kalor diuji di LP-PUSDIKLAT MIGAS, Indonesia.

3.2.1. Pengujian Nilai Kalori

Nilai kalori ini menunjukkan besar energi kalori yang berada dalam bahan bakar (*Fuel*). Nilai ini akan sangat mempengaruhi efisiensi termal dari peralatan untuk menghasilkan tenaga atau panas. Acuan yang dipakai yaitu ASTM D 240 tentang Metode Uji Standar untuk Panas Pembakaran Bahan Bakar Hidrokarbon Cair oleh *Bomb Calorimeter*. Pengujian ini sebagai syarat spesifikasi fisik dan kimia dari bahan bakar ketika akan dipakai pada mesin. Selain itu pengujian ini akan memberikan perkiraan batasan keperluan pemakaian bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar adalah kuantitas panas yang dihasilkan oleh pembakarannya pada tekanan konstan. 1 atm dan 25⁰ C adalah suhu awal bahan bakar dan oksigen menurut ASTM-D240. Metode uji ini menentukan panas pembakaran bahan bakar hidrokarbon cair. Panas pembakaran ditentukan dalam metode uji ini dengan membakar sampel yang ditimbang dalam kalorimeter oksigen di bawah kondisi yang terkendali. Panas pembakaran dihitung dari pengamatan suhu sebelum, selama, dan setelah pembakaran, dengan kelonggaran yang tepat untuk koreksi termokimia dan transfer panas.

3.2.2. Pengujian Titik Nyala

Makin banyak bahan bakar maka makin besar gaya mudah menyala dan mudah terbakar atau dengan bahasa lain yaitu suhu terendah di mana cairan dalam kasus ini akan membentuk uap di udara dekat permukaannya yang akan berkedip atau menyala sebentar saat terpapar nyala api terbuka. Intinya adalah indikasi umum dari mudah terbakar atau mudah terbakar dari suatu cairan sementara pada suhu rendah.

Standar pengujiannya menggunakan ASTM D 93 tentang Metode Uji Standar untuk Titik Nyala oleh *Pensky-Martens Closed Cup Tester*. Titik nyala ini sangat dibutuhkan dalam mesin berbahan bakar diesel karena pada diesel tidak ada *spark plugs* seperti pada mesin berbahan bakar bensin, dengan demikian bahan bakar diesel harus memiliki titik nyala tinggi.

3.2.3. Pengujian Titik Tuang

Nilai titik tuang menentukan seberapa besar kemampuan fluida tersebut untuk tertuang dengan kemampuan beratnya sendiri. Standar acuan untuk menentukan nilai tuang yaitu pada ASTM D 5949 tentang Metode Uji Standar untuk Titik Tuang Produk Petroleum (Metode *Pulsing* Tekanan Otomatis). Cara penentuannya dengan menggunakan instrumen otomatis yang menyemburkan gas nitrogen ke permukaan fluida untuk mengontrol suhu fluida sehingga didapatkan nilai titik tuang pada suhu tertentu sebagai hasil.

3.2.4. Pengujian Viskositas Kinematik

Nilai viskositas kinematik akan menentukan seberapa lancar aliran dari fluida ketika mengalir pada suatu proses karena pada bahan bakar minyak mengalami gesekan dengan lingkungan. Viskositas cairan diukur untuk ketahanannya terhadap deformasi bertahap oleh tegangan geser atau tegangan tarik. Resistensi geser dalam suatu cairan disebabkan oleh gesekan antar-molekul yang diberikan oleh lapisan-lapisan cairan yang bergeser satu sama lain. Standar acuan untuk menentukan besar nilai viskositas kinematik dibahas pada ASTM D 445 tentang Metode Uji Standar untuk Viskositas Kinematik dari Cairan Transparan dan Opaque (dan Perhitungan Viskositas Dinamis). Pengukuran dilakukan dengan cara menghitung waktu yang dibutuhkan fluida untuk mengalir di bawah pengaruh gravitasi melalui viskometer kapiler kaca yang sudah terkalibrasi. Nilai viskositas kinematik digunakan untuk memperkirakan aliran fluida pada suatu proses agar berjalan dengan optimal.

3.2.5. Pengujian Densitas

Nilai densitas merupakan kerapatan dari material yang berasal dari perbandingan masa dan volume pada kondisi gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$ pada suhu 40° C . Standar pengukurannya menggunakan ASTM D 1298 tentang Metode Uji Standar untuk Kerapatan, Kepadatan Relatif, atau Gravitasi API dari Minyak Mentah dan Produk Minyak Bumi Cair dengan Metode Hidrometer. *Density* merupakan

indikator kualitas yang penting untuk bahan bakar, karena akan mempengaruhi besar penyimpanan, pembakaran, dan beban yang ditanggung.

3.4 Performansi Mesin

Engine yang diuji menggunakan mesin diesel industri Cat C15 ACERT yang dapat mengeluarkan tenaga mulai 356 - 363 Hp pada 1800 - 2100 rpm. Industri dan aplikasi yang didukung oleh mesin ini termasuk traktor pertanian, bor, *crane*, kehutanan, penanganan material, peralatan pemindahan tanah berat, peralatan pertambangan, *crusher*, peralatan pengangkut, *loader* dan *trenchers*. Spesifikasi dan gambar mesin terdapat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.6.

Penggunaan bahan bakar biodiesel hanya dapat digunakan ketika dalam pemakaiannya performa dari beberapa indikator mesin dinyatakan baik. Indikator itu antara lain *brake-specific fuel consumption (BSFC)*, *Brake Thermal Efficiency (BTE)*, *fuel consumption*, *engine power* dan torsi. Meskipun energi dari biodiesel lebih rendah sekitar 8 % dari bahan bakar solar murni diharapkan penggantian bahan bakar ini menjadi salah satu upaya untuk melakukan penghematan energi dari bahan bakar fosil menjadi energi terbarukan. Performansi dari mesin diuji mengacu pada *SAE Standard Engine Power Test Code diesel engine (SAE, 1983)*.



Gambar 3. 6 Engine cat C15 ACERT (foto diambil oleh PT. Vale Indonesia, Tbk)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan Engine Cat C15 ACERT yang merupakan mesin dari kendaraan pengangkut hasil tambang di PT. Vale Indonesia, Tbk.

Tabel 3.1 Spesifikasi Teknik Mesin Diesel

<i>Specifications</i>	
<i>Maximum Altitude</i>	: 5000 FT
<i>Engine Power Rating floor</i>	: 356 HP
<i>Engine Power Rating ceiling</i>	: 363 HP
<i>High Idle Speed</i>	: 2100 RPM
<i>FL Static Fuel Setting</i>	: 0,265 IN
<i>Full Load Boost Pressure</i>	: 19,3 PSI
<i>Convert Stall Boost Pressure</i>	: 0.0 PSI
<i>Convert Stall Speed</i>	: 0 RMS
<i>FT Static Fuel Setting</i>	: 0,269 IN
<i>Corrected Fuel Rate</i>	: 17,9 GAL/HR

Dynamometer yang digunakan dalam eksperimen ini adalah Taylor Dynamometers. Seri DL2K dinamika rem air menggunakan rotor dan rotor gaya baling-baling miring dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Spesifikasi DL2K Taylor Dinamometer

<i>Specifications</i>	
<i>Power</i>	: 2,000 hp (1,491 kW)
<i>Torque</i>	: 23,873 ft-lb (32,367 Nm)
<i>Speed</i>	: 2,550 rpm
<i>Water Use</i>	: 146 gpm (9.2 lps) (No Cooling System)
<i>Inertia Value with Companion Flange</i>	: 311.4 ft ² · lb
<i>Shipping Weight</i>	: 3,339 lb (1,515 kg)

Munurut standar SAE tenaga mesin didefinisikan sebagai produk dari kecepatan dinamometer mesin dan torsi yang diperoleh pada *wide-open-throttle*.” *Brake-specific fuel consumption* (BSFC) dapat dihitung menggunakan tenaga mesin yang ditentukan dan konsumsi bahan bakar yang diamati. *Brake-specific fuel consumption* menjadi indikator yang berguna untuk mengetahui kinerja bahan bakar dalam mesin, karena BSFC menggambarkan konsumsi bahan bakar dalam kaitannya dengan daya yang dihasilkan. Efisiensi mesin, yang mengubah energi potensial dalam bahan bakar menjadi energi kinetik, umumnya sama ketika menggunakan diesel atau biodiesel. Efisiensi mesin berbeda dengan efisiensi bahan bakar karena efisiensi bahan bakar menggambarkan konsumsi bahan bakar pada kondisi ideal untuk menghasilkan power dari kandungan kalori bahan bakar itu sendiri tanpa rugi – rugi gesek. *Brake-specific fuel consumption* menjadi

indikator utama efisiensi bahan bakar dan bergantung pada kandungan energi bahan bakar. Menentukan hubungan antara campuran biodiesel dan kinerja mesin memberikan pemahaman tentang konsumsi bahan bakar yang diharapkan ketika menggunakan biodiesel.

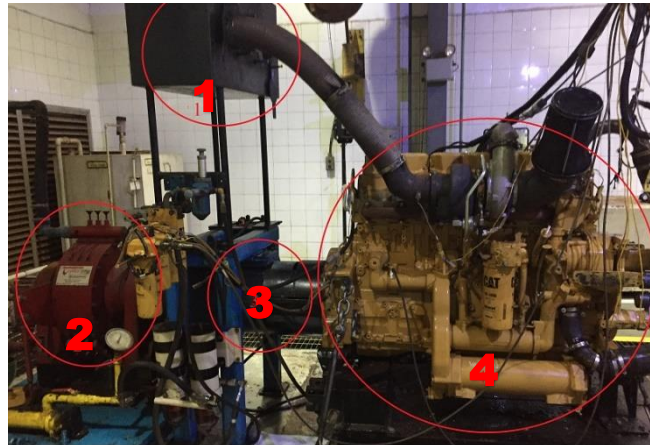
3.5 Pengujian Emisi Gas Buang

Salah satu keuntungan utama menggunakan biodiesel adalah emisi gas buang yang dihasilkan akan lebih ramah terhadap lingkungan. Gas yang diemisikan oleh bahan bakar biasa tentu saja berbeda dengan yang diemisikan oleh biodiesel. Pemahaman tentang emisi gas buang akan membantu menentukan kemungkinan penggunaan biodiesel sebagai sumber utama bahan bakar.



Gambar 3. 7 Gas Tester Testo 350 XL (foto diambil oleh PT. Vale Indonesia, Tbk)

Menurut Lapuerta et al. (2007), efek dari penggunaan biodiesel akan menghasilkan polusi berupa NO_x , SO_2 , THC, CO, dan PM. Jumlah dari polusi yang dihasilkan bergantung pada besarnya campuran dari biodiesel dengan bahan bakar biasa. Berangkat dari hal tersebut pada penelitian ini akan dicari besar emisi yang dialirkan oleh mesin ketika menggunakan biodiesel ditinjau dari besar NO_x , CO_2 , dan CO.



Gambar 3. 8 Pengambilan data pada mesin Cat C15 (foto diambil oleh PT. Vale Indonesia, Tbk)

Pengujian dilakukan menggunakan mesin gas tester testo 350 XL pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 dengan Testo Easy Emission Software yang ada pada Gambar 3.9. Data hasil dari pengukuran emisi ini disajikan dalam persentase.



Gambar 3. 9 Tampilan Testo Easy Emission Software

3.6 Analisa Data

Data yang didapat selanjutnya dianalisa sehingga diharapkan dapat memberikan diketahuinya efek dari kemampuan biodiesel untuk mengakomodir kebutuhan mesin sehingga performansi mesin dapat berjalan dengan baik. Analisa data dari penelitian ini berupa perbandingan performansi dan emisi mesin antara solar murni dengan biodiesel serta data performa spesifikasi mesin dari pabrikan.

Standar dari performansi mesin dilihat pada SAE *Standard Engine Power Test Code diesel engine* (SAE, 1983).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Biodiesel

Setelah dilakukan pengujian di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada bagian Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Desain didapatkan hasil campuran dari biodiesel menghasilkan nilai seperti Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Uji Laboratorium Kandungan Biodiesel

	Hasil Uji Laboratorium				
	Nilai Kalori MJ/kg	Titik Nyala (⁰ C)	Titik Tuang (⁰ C)	Viskositas Kinematik (mm ² /s)	Densitas pada 40 ⁰ (g/cm ³)
Standar		Min 52	Maks. 18	2.3-6	0.85-0.89
B0	46.36	62.0	15.0	3.67	0.84
B15	46.03	67.0	0.0	3.69	0.85
B20	45.39	68.0	12.0	3.80	0.82
B30	44.38	72.0	9.0	3.88	0.85

Selain itu pengujian juga dilakukan di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi bagian dari Kementerian ESDM untuk pengujian Nilai Kalori.

Pengujian Titik pengujian diuji dengan standar ASTM D 93 tentang *Standard test methods for Flash Point of petroleum products by Pensky-Martens Closed Cup Tester* didalamnya terdapat standar minimum titik nyala dari suatu bahan bakar yaitu minimal 52⁰ C. Semua sampling biodiesel yang diuji mulai dari B0, B10, B15 dan B20 melampaui standar tersebut sehingga dapat dikatakan bahwa biodiesel layak untuk dipakai sebagai bahan bakar.

Pengujian Titik Tuang diuji dengan standar ASTM 5949 tentang *Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products (Automatic Pressure Pulsing Method)* didalamnya terdapat standar maksimum Titik Tuang dari suatu bahan bakar yaitu maksimal 18⁰ C. Semua sampel biodiesel yang diuji mulai dari B0, B15, B20 dan B30 kurang dari 18⁰ C sehingga dapat dikatakan bahwa biodiesel layak untuk dipakai sebagai bahan bakar.

Pengujian Viskositas Kinematik diuji dengan standar ASTM D445 tentang *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)* didalamnya terdapat standar nilai Viskositas Kinematik dari suatu bahan bakar yaitu antara 2.3 hingga 6 mm²/s. Semua *sampling* biodiesel yang diuji mulai dari B0, B15, B20 dan B30 nilainya diantara 2.3 hingga 6 mm²/s sehingga dapat dikatakan bahwa biodiesel layak untuk dipakai sebagai bahan bakar.

Pengujian Densitas diuji dengan standar ASTM D 1298 tentang *Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method* didalamnya terdapat standar nilai Densitas dari suatu bahan bakar yaitu antara 0.85 hingga 0,89 g/cm³. Semua sampel biodiesel yang diuji mulai dari B0, B15, B20 dan B30 nilainya diantara 0.85 hingga 0,89 g/cm³ sehingga dapat dikatakan bahwa biodiesel layak untuk dipakai sebagai bahan bakar.

Biodiesel dapat dikatakan standar untuk digunakan dalam kendaraan bila memenuhi ASTM D6751 tentang *Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock for Distillate Fuels*. Mengacu pada ASTM D6751 memastikan bahwa biodiesel memenuhi standar yang sama yang ditetapkan untuk petroleum diesel sehingga performansi mesin akan terjaga dan tidak menyebabkan kerusakan bagi mesin. ASTM D6751 mencakup banyak standar yang memberikan pedoman untuk menentukan karakteristik seperti *cetane number*, viskositas kinematik, suhu distilasi, kandungan sulfur dan banyak lagi. Ringkasan metode uji yang ditetapkan oleh ASTM D6751 dapat dilihat pada Tabel 4.2 tentang persyaratan bahan bakar biodiesel Semua bahan bakar biodiesel dengan persentase 15%, 20% dan 30% memiliki sifat yang sama baik sesuai dengan ASTM D6751 yang menjelaskan standar dari bahan bakar sesuai dengan hasil uji dari laboratorium.

Tabel 4. 2 Persyaratan bahan bakar biodiesel (ASTM D 6751)

Property	Test Method ^B	Grade S15 Limits	Grade S500 Limits	Units
Flash point (closed cup)	D 93	130.0 min	130.0 min	°C
Water and sediment	D 2709	0.050 max	0.050 max	% volume
Kinematic viscosity, 40°C	D 445	1.9-6.0 ^C	1.9-6.0 ^C	mm ² /s
Sulfated ash	D 874	0.020 max	0.020 max	% mass
Sulfur ^D	D 5453	0.0015 max (15)	0.05 max (500)	% mass (ppm)
Copper strip corrosion	D 130	No. 3 max	No. 3 max	
Cetane number	D 613	47 min	47 min	
Cloud point	D 2500	Report ^E	Report ^E	°C
Carbon residue ^F	D 4530	0.050 max	0.050 max	% mass
Acid number	D 664	0.80 max	0.80 max	mg KOH/g
Free glycerin	D 6584	0.020	0.020	% mass
Total glycerin	D 6584	0.240	0.240	% mass
Phosphorus content	D 4951	0.001 max	0.001 max	% mass
Distillation temperature, Atmospheric equivalent temperature, 90 % recovered	D 1160	360 max	360 max	°C

^A To meet special operating conditions, modifications of individual limiting requirements may be agreed upon between purchaser, seller, and manufacturer.

^B The test methods indicated are the approved referee methods. Other acceptable methods are indicated in 5.1.

^C See X1.3.1. The 6.0 mm²/s upper viscosity limit is higher than petroleum based diesel fuel and should be taken into consideration when blending.

^D Other sulfur limits can apply in selected areas in the United States and in other countries.

^E The cloud point of biodiesel is generally higher than petroleum based diesel fuel and should be taken into consideration when blending.

^F Carbon residue shall be run on the 100 % sample (see 5.1.10).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa biodiesel yang akan digunakan sebagai percobaan sesuai dengan standar yang ada. Mengacu pada Tabel 4.1 Properti Bahan Bakar, titik nyala meningkat 13,88% seiring dengan meningkatnya rasio biodiesel pada sampel dari B0 dengan titik nyala pada 62.0 °C sampai titik nyala 72.0 °C pada B30, sedangkan pada titik tuang menurun seiring dengan meningkatnya kandungan biodiesel, dari B0 ke B30 menurun 40% dari 9.0 °C menjadi 15.0 °C. Viskositas Kinematik meningkat seiring dengan meningkatnya kadar biodiesel rata-rata 2%, Sedangkan nilai kalor menurun 4,3% dari B0 menjadi B30.

Memang jika dilihat pada tabel secara keseluruhan, biodiesel memiliki energi lebih sedikit dari pada diesel yaitu 4.7% untuk perbandingan biodiesel B30 dengan diesel murni. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan biodiesel memiliki energi sekitar tujuh persen lebih sedikit per satuan volume daripada diesel (Bechtold, 1997). Dengan demikian diharapkan bahwa campuran biodiesel memiliki kandungan energi yang lebih rendah daripada minyak solar. Biodiesel memiliki viskositas, titik awan, dan titik tuang yang lebih tinggi daripada biodiesel, yang dapat bermasalah dalam suhu dingin (Canakci dan Van Gerpen, 2003; Peterson dkk., 2002; Bechtold, 1997). Pada Tabel 4.1 juga menunjukkan bahwa nilai viskositas naik 5.5% dari Biodiesel B30 dengan diesel B0, titik awan naik 14% dari Biodiesel B30 dengan diesel B0 titik tuang turun 34% dari Biodiesel B30 dengan diesel B0 dan yang terakhir nilai kalori turun 4% dari Biodiesel B30 dengan diesel B0 yang menyebabkan performanya akan berbeda antara biodiesel dan diesel.

4.2 Hasil Pengujian Performansi Mesin

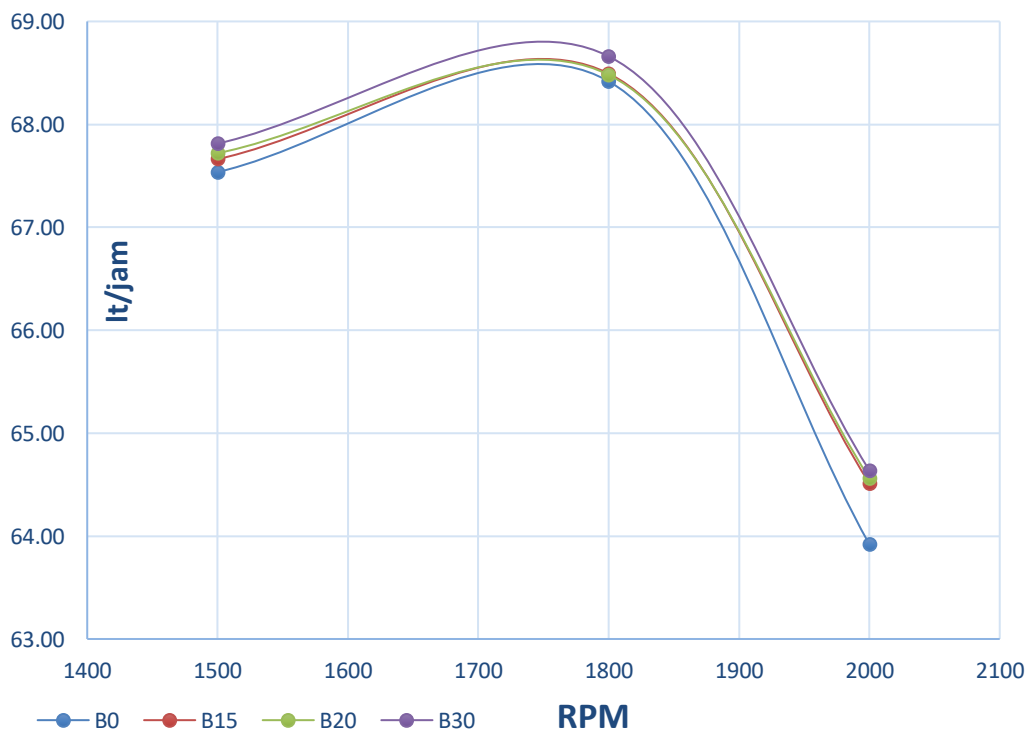
Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter yang sesuai dengan *SAE Standard Engine Power Test Code diesel engine* (SAE, 1983). Performansi mesin dinyatakan baik ketika nilai dari parameter-parameternya sama dengan spesifikasi dari mesin sesuai dengan Tabel 3.1. Pengujian dilakukan dengan menyalakan mesin *throttle* kemudian ditingkatkan hingga mesin mencapai *throttle* terbuka lebar (WOT). Setelah WOT diperoleh, beban mesin ditingkatkan ke beban setinggi mungkin dimana kecepatan mesin dipertahankan. Tes pendahuluan dilakukan untuk menentukan kisaran kecepatan stabil mesin. Interval kecepatan yang memberikan pengukuran kecepatan dan torsi yang stabil dipilih. Kecepatan mesin yang dimuat maksimum untuk tujuan pengujian ini adalah sekitar 2000 putaran per menit (rpm). Mesin dibiarkan berjalan pada pengaturan ini sampai kecepatan dan pengukuran torsi stabil selama setidaknya dua menit. Setelah pengukuran distabilkan, pengumpulan data dimulai.

Setelah menyelesaikan pengumpulan data, beban pada mesin kemudian ditingkatkan, sambil mempertahankan WOT, sampai kecepatan mesin menurun ke kecepatan mesin yang diinginkan berikutnya. Proses pengujian diulang untuk setiap kecepatan mesin yang diinginkan, tiga kecepatan mesin yang ditargetkan adalah 1500, 1800 dan 2000 rpm. Ketiga kecepatan ini dipilih karena jaraknya cukup merata, dan mereka menyediakan kombinasi kecepatan-beban yang cukup stabil untuk tujuan pengujian. Performansi mesin yang ditinjau adalah konsumsi bahan bakar, besar torsi, besar *power*, *Power Fuel*, *Power Output*, *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) dan *Brake Thermal Efficiency* (BTE).

4.2.1. Konsumsi Bahan Bakar

Semua konsumsi bahan bakar dicatat pada 1500 rpm, 1800 rpm dan 2000 rpm dengan perangkat lunak Cat ET. Gambar Grafik 4.1 menunjukkan mesin yang memiliki konsumsi bahan bakar tertinggi pada kisaran 1700 - 1800 rpm dengan rentang konsumsi 68 - 69 liter/jam untuk semua sampel bahan bakar dan menurun hingga 64-65 liter/jam pada 2000 rpm. B0 memiliki konsumsi bahan bakar terendah yaitu sebesar 0.41% dari bahan bakar B30 pada kecepatan putaran 1500 rpm, 0.35% lebih hemat dari B30 pada kecepatan putaran 1800 rpm dan 1.1% lebih hemat dari B30 pada kecepatan putaran 2000 rpm. Konsumsi bahan bakar hasil pengujian

masih sesuai dengan spesifikasi mesin Cat C15 dimana disebutkan konsumsi bahan bakar adalah 19,9 gal/jam atau sekitar 67,76 liter/jam, sesuai Tabel 3.1 Semakin banyak kandungan biodiesel dalam bahan bakar maka konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena data menunjukkan bahwa kandungan energi biodiesel sekitar 8% lebih rendah daripada solar murni. Pengujian awal ini menegaskan bahwa variasi dalam sifat-sifat biodiesel menghasilkan perbedaan kinerja. Konsumsi bahan bakar tertinggi yaitu pada bahan bakar yang memiliki komposisi biodiesel paling banyak, hal ini disebabkan karena kandungan kalori dari bahan bakar ini paling kecil sehingga pembakarannya membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan *power* yang sama. Konsumsi bahan bakar ini akan menentukan jumlah dari *power* yang akan dihasilkan. Sesuai hasil dari uji laboratorium yaitu nilai kalori B0 sebesar 46.36 MJ/kg sedangkan B30 sebesar 44.38 MJ/kg. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan biodiesel sebanyak 30% terjadi perubahan nilai kalori sebesar 5%. Jika biodiesel terus ditambahkan maka nilai kalorinya juga akan semakin berkurang.

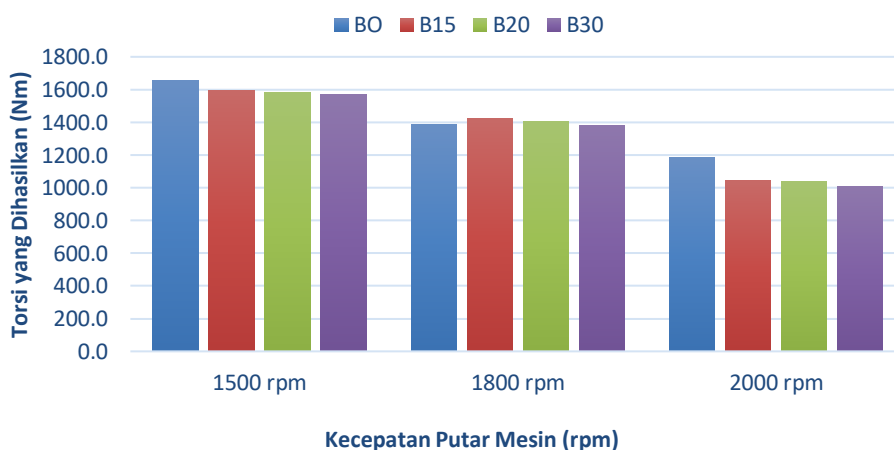


Gambar 4. 1 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar meningkat secara signifikan pada B30 memiliki tingkat konsumsi bahan bakar yang tinggi daripada B0 yaitu sebesar 0.41% lebih hemat pada kecepatan putaran 1500 rpm, 0.35% lebih hemat pada kecepatan putaran 1800 rpm dan 1.1% lebih hemat pada kecepatan putaran 2000 rpm hal ini karena nilai kalori yang terkandung di dalam B0 lebih tinggi dari pada B30 sesuai hasil uji laboratorium

4.2.2. Torsi

Mesin Cat C15 memiliki torsi tertinggi sebesar 1689 N.m pada 1500 rpm sesuai dengan spesifikasi pada Tabel 3.1. Pada bahan bakar B0 memiliki torsi tertinggi dari pada bahan bakar lainnya sebesar 1657 N.m pada 1500 rpm . Kecuali pada 1800 rpm, B15 memiliki torsi tertinggi. Hasil torsi yang diuji ditunjukkan pada Gambar 4.2. Variasi kecepatan mesin dan torsi dari bahan bakar yang diuji pada karakteristik kecepatan beban penuh menunjukkan bahwa kekuatan torsi B30 lebih rendah daripada B0 yaitu sebesar 5.17% pada kecepatan putaran 1500 rpm, 0.18% pada kecepatan putaran 1800 rpm dan 14.75% pada kecepatan putaran 2000 rpm. Perbedaan torsi mencerminkan perbedaan dalam beberapa sifat fisik bahan bakar seperti kepadatan dan nilai kalori yang lebih rendah. Torsi sangat bergantung pada besar *Power* yang dihasilkan oleh sistem pembakaran. Semakin besar nilai *Power* maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar

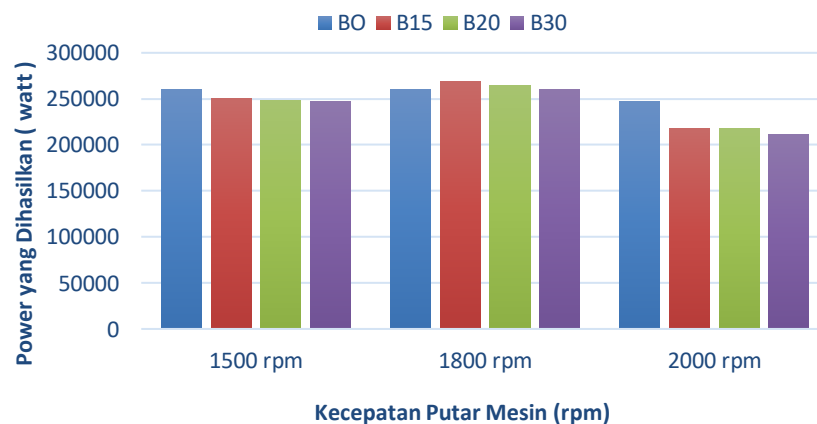


Gambar 4. 2 Torsi dari mesin

Mesin memiliki kekuatan torsi dengan bahan bakar B30 lebih rendah daripada B0 yaitu sebesar 5.17% pada kecepatan putaran 1500 rpm, 0.18% pada kecepatan putaran 1800 rpm dan 14.75% pada kecepatan putaran 2000 rpm. Nilai ini sudah memenuhi dari besar pengurangan torsi dari spesifikasi.

4.2.3. Power

Power mesin sama dengan torsi dikali dengan kecepatan *engine*. Hasil tes ditunjukkan pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kekuatan tertinggi mesin dicapai pada 1800 rpm dengan *power* sebesar 268,332 watt hal ini sesuai dengan spesifikasi mesin di Tabel 3.1 bahwa mesin Cat C15 memiliki *power* tertinggi 265,469 watt pada kecepatan mesin 1800 rpm. *Power* dari mesin ditentukan oleh nilai kalori yang dihasilkan oleh pembakaran semakin banyak kalori yang dihasilkan maka *power* yang dihasilkan juga semakin besar. Data menunjukkan bahwa kandungan energi biodiesel sekitar delapan persen lebih rendah daripada solar minyak bumi. Seusai hasil dari uji laboratorium yaitu nilai kalori B0 sebesar 46.36 MJ/kg sedangkan B30 sebesar 44.38 MJ/kg. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan biodiesel sebanyak 30% terjadi perubahan nilai kalori sebesar 5%. Jika biodiesel terus ditambahkan maka nilai kalorinya juga akan semakin berkurang. Sehingga *power* yang dihasilkan juga berkurang sebesar 5.17% pada kecepatan putaran 1500 rpm, 0.18% pada kecepatan putaran 1800 rpm dan 14.75% pada kecepatan putaran 2000 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak biodiesel yang ditambahkan maka *power* yang dihasilkan juga semakin berkurang.

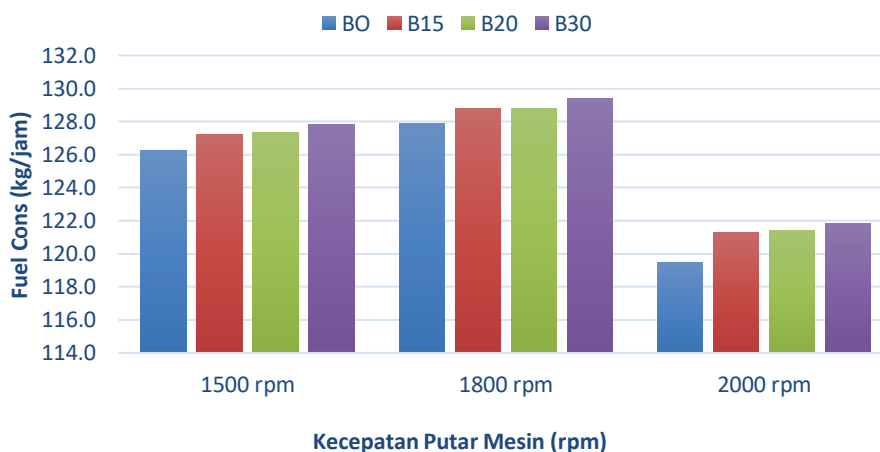


Gambar 4. 3 Power

Seusai hasil dari uji laboratorium yaitu nilai kalori B0 sebesar 46.36 MJ/kg sedangkan B30 sebesar 44.38 MJ/kg. Sehingga power yang dihasilkan juga berkurang sebesar 5.17% pada kecepatan putaran 1500 rpm, 0.18% pada kecepatan putaran 1800 rpm dan 14.75% pada kecepatan putaran 2000 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak biodiesel yang ditambahkan maka *power* yang dihasilkan juga semakin berkurang.

4.2.4. Fuel Cons

Fuel Cons menunjukkan besar konsumsi dalam suatu mesin dalam satuan kg/jam. Berikut adalah nilai yang didapat dari hasil pengambilan data. Konsumsi dari bahan bakar ini akan menentukan efisiensi proses pembakaran dan akan menentukan besar dari nilai *Brake Thermal Efficiency* (BTE). Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar kandungan biodiesel pada bahan bakar maka konsumsi bahan bakar dari proses pembakaran akan semakin besar. Penambahan biodiesel sebanyak 30% (B30) menyebabkan penambahan bahan bakar sebesar 1.24% pada kecepatan putaran 1500 rpm, 1.18% pada kecepatan putaran 1800 rpm dan 1.96% pada kecepatan putaran 2000 rpm.

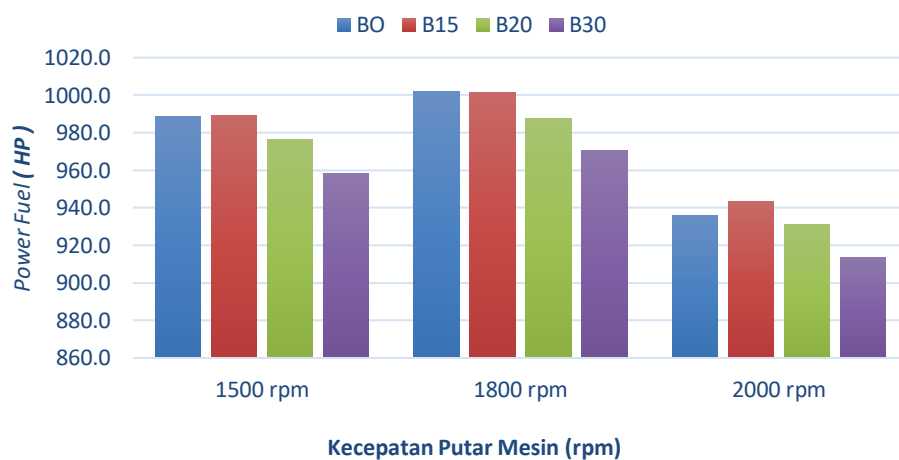


Gambar 4. 4 Fuel Cons

4.2.5. Power Fuel

Power Fuel merupakan besaran energi yang dihasilkan oleh bahan bakar yang ada dalam satuan *Power*. Besar nilai *Power* akan menentukan besar dari torsi yang

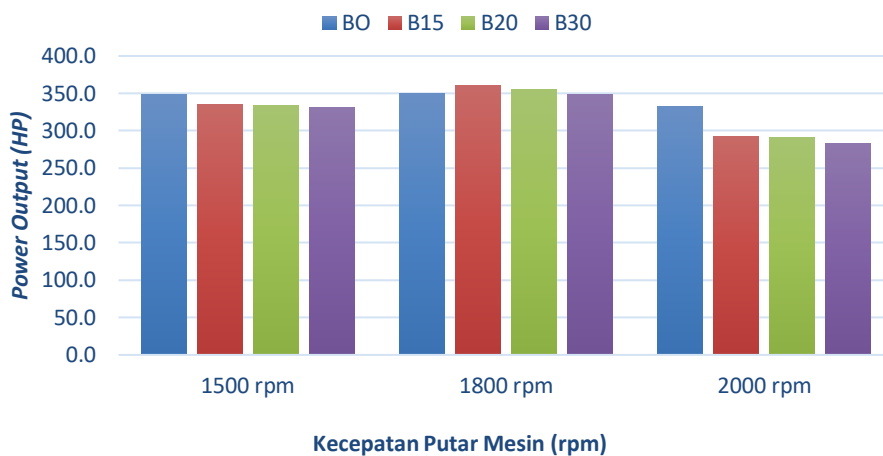
akan dihasilkan. Besar *Power* dipengaruhi oleh nilai kalori yang ada pada bahan bakar. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai *Power* akan berkurang seiring dengan penambahan kadar biodiesel dalam bahan bakar. Pada campuran B30 dengan kecepatan putaran 1500 rpm dapat dilihat bahwa nilai *Power Fuel* berkurang sebesar 3.08%, pada kecepatan putaran 1800 rpm berkurang 3.14% dan 2.4% pada kecepatan putaran 2000 rpm.



Gambar 4. 5 Power Fuel

4.2.6. *Power Output*

Nilai ini menunjukkan besar dari keluaran yang dihasilkan oleh pembakaran biodiesel. Ini adalah ukuran tenaga kuda mesin sebelum kehilangan daya yang disebabkan oleh *gearbox*, alternator, pompa air, dan komponen tambahan lainnya seperti pompa power steering, sistem knalpot teredam, dll. Selama pengujian torsi *output* dan kecepatan rotasi dapat diukur untuk menentukan tenaga kuda yang merupakan *horsepower* poros aktual dan diukur oleh dynamometer. Gambar 4.6 menunjukkan penambahan komposisi biodiesel akan menyebabkan turunnya *Power Output*, dapat dilihat bahwa pada komposisi B30 *Power Output* turun 5.17% pada kecepatan 1500 rpm, 0.18% pada kecepatan 1800 rpm dan 14.75% pada kecepatan 2000 rpm. Data ini menunjukkan bahwa semakin besar kandungan biodiesel akan mengurangi nilai *Power Output*.



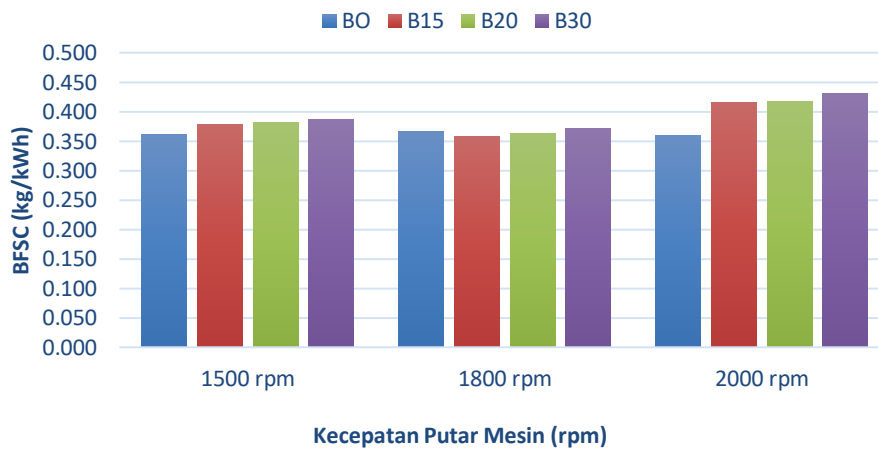
Gambar 4. 6 *Power Output*

4.2.7. *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)*

Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) mengacu pada alat yang digunakan untuk membebani mesin dan menahannya pada RPM yang diinginkan. BSFC didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar per unit output daya, yaitu ukuran efisiensi mesin dalam menggunakan bahan bakar yang dipasok untuk menghasilkan pekerjaan. Untuk mendapatkan nilai BSFC yang lebih rendah berarti mesin menggunakan lebih sedikit bahan bakar untuk menghasilkan jumlah kerja yang sama. *Brake Specific Fuel Consumption* menunjukkan rasio antara masa bahan bakar yang dikonsumsi dan daya efektif rem yang dihasilkan oleh mesin. *Brake Specific Fuel Consumption* berbanding terbalik dengan efisiensi termal (Lapuerta et al., 2007). Graboski dkk. (1996) menemukan korelasi yang baik antara kandungan oksigen bahan bakar, yang lebih tinggi untuk biodiesel, dan BSFC ketika menggunakan biodiesel minyak kedelai. Menurut Rakopoulos et al. (2004), peningkatan BSFC dikaitkan dengan pengayaan oksigen dari bahan bakar, dan bukan dari udara masuk. Sebagian besar penulis telah melaporkan peningkatan BSFC ketika menggunakan biodiesel dan campuran biodiesel. Turrio-Baldassarri dkk. (2004), Hansen dan Jensen (1997), Last et al. (1995), Alam dkk. (2004), Canakci dan Van Gerpen (2001), dan Senatore et al. (2000) melaporkan peningkatan BSFC ketika menggunakan biodiesel dan campuran biodiesel,

dibandingkan dengan bahan bakar solar. Peningkatan ini cenderung sejalan dengan hilangnya nilai kalor dalam campuran bahan bakar.

Hasil dari pengambilan data ditampilkan dalam Gambar 4.7 menunjukkan pada B0 rata-rata memiliki BSFC terendah pada setiap kecepatan mesin yang diuji. Mulai dari 1500 rpm – 2000 rpm. Tetapi pada 1800 rpm, tidak ada perbedaan peningkatan yang signifikan dari BSFC. Hal ini terjadi karena nilai kalori dari B0 bernilai paling tinggi sehingga konsumsi untuk proses lebih kecil daripada yang lain. Nilai kalori sangat menentukan energi yang dihasilkan dari suatu proses. Semakin besar kalori maka tenaga yang dihasilkan akan semakin banyak. Nilai BSFC senantiasa naik dengan penambahan komposisi dari biodiesel yaitu sebesar 6.67% pada campuran B30 dengan kecepatan 1500 rpm, 1.36% pada campuran B30 dengan kecepatan 1800 rpm dan 19.59% pada campuran B30 dengan kecepatan 2000 rpm.



Gambar 4. 7 *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)*

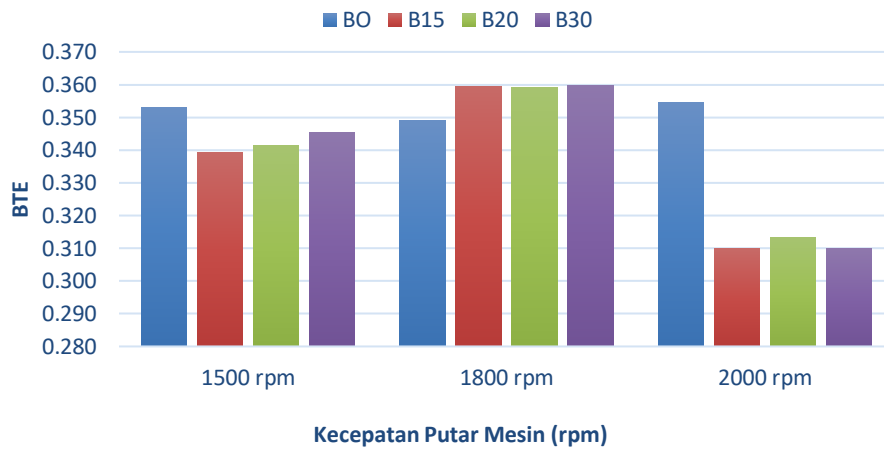
Nilai BSFC senantiasa naik dengan penambahan komposisi dari biodiesel yaitu sebesar 6.67% pada campuran B30 dengan kecepatan 1500 rpm, 1.36% pada campuran B30 dengan kecepatan 1800 rpm dan 19.59% pada campuran B30 dengan kecepatan 2000 rpm.

4.2.8. *Brake Thermal Efficiency (BTE)*

Brake Thermal Efficiency menunjukkan nilai rasio antara tenaga yang keluar dari poros mesin dibanding energi yang dihasilkan oleh bahan bakar di ruang bakar.

Nilai ini adalah rasio energi panas dalam bahan bakar ke energi yang dikirimkan oleh mesin di poros engkol. Ini sangat bergantung pada cara dimana energi diubah sebagai efisiensi sehubungan dengan nilai pemanasan bahan bakar. Sebagian besar penulis mengamati tidak ada perubahan signifikan dalam *Brake Thermal Efficiency* ketika menggunakan biodiesel. Menurut Lapuerta et al. (2007), "*Brake Thermal Efficiency* adalah rasio antara output daya dan energi yang diperkenalkan melalui injeksi bahan bakar." Sehingga jika tidak ada termal yang berubah dari proses sedangkan nilai output yang dihasilkan lebih banyak, maka efisiensi termal akan meningkat. Berikut adalah hasil dari pengambilan data *Brake Thermal Efficiency*. Menggunakan biodiesel sebagai bahan bakar menunjukkan bahwa tidak ada perubahan signifikan dalam efisiensi termal saat menggunakan biodiesel hingga B20 tetapi semakin tinggi campuran biodiesel semakin rendah pula campuran energi yang terkandung dalam biodiesel.

Brake Thermal Efficiency terbaik dicapai pada 1800 rpm. 1500 - 1800 rpm mencapai sekitar 0,30 - 0,35 tetapi secara drastis menurun pada 2100 rpm. Rata-rata B0 memiliki *Brake Thermal Efficiency* tertinggi pada setiap rpm kecuali pada 1800 rpm. Hal itu dapat dilihat dari Gambar 4.8. Fenomena ini terjadi karena viskositas dari B0 memiliki nilai terendah dibandingkan dengan yang lain. Selain itu nilai densitasnya juga tergolong rendah sehingga bahan B0 lebih memiliki kerapatan material yang longgar dibandingkan dengan yang lain. Banyak penelitian menunjukkan bahwa pemakaian biodiesel dapat meningkatkan performa mesin di berbagai aspek termasuk aspek *brake thermal efficiency* (BTE). Data menunjukkan bahwa pada kecepatan putaran 2000 rpm nilai BTE nya turun sebesar 12.65 % pada campuran B30.



Gambar 4. 8 Brake Thermal Efficiency (BTE)

Brake Thermal Efficiency terbaik dicapai pada 1800 rpm. 1500 - 1800 rpm mencapai sekitar 0,30 - 0,35 tetapi secara drastis menurun pada 2100 rpm. Rata-rata B0 memiliki BTE tertinggi pada setiap rpm kecuali pada 1800 rpm. Secara keseluruhan B0 memiliki Brake Thermal Efficiency (BTE) tertinggi sesuai dengan nilai kalornya.

Mesin dapat dijalankan tanpa kesulitan menggunakan semua persentase biodiesel 15%, 20% dan 30% dan performa mesin sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan pabrikan dari mesin Cat C15, seperti ditunjukkan di Table 4.3 dengan Standard Engine Power Test Code diesel engine menggunakan Dinamometer DL2K Taylor

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Uji dan Spesifikasi Mesin Cat C15

Perbandingan Hasil Uji dan Spesifikasi			
	Konsumsi Bahan Bakar	Torsi Max	Power Max
	lt/jam @ 1500 rpm	N.m @ 1500 rpm	Watt @ 1800 rpm
Spesifikasi Mesin Cat C15	67.76	1689	265469
B0	67.54	1658	260675
B15	67.66	1595	268332
B20	67.72	1584	264403
B30	67.81	1572	260216

4.3 Hasil Pengujian Emisi

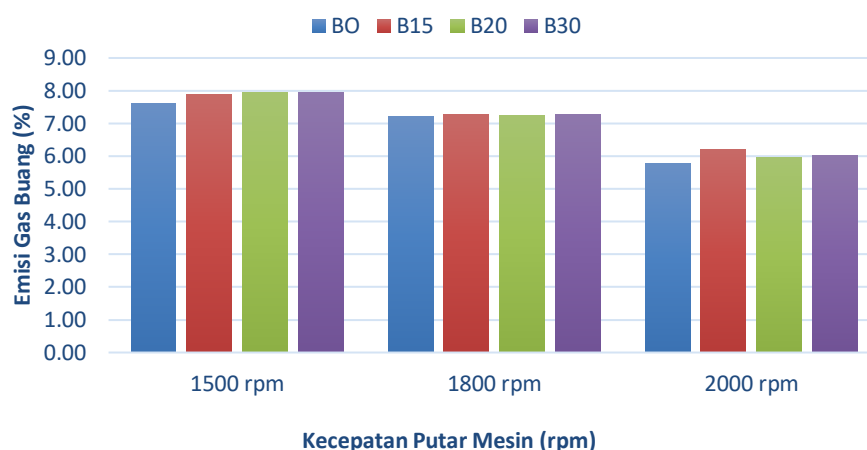
Hasil pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur dan kajian ini tidak menganalisa emisi sulfur karena Biodiesel murni pada dasarnya bebas dari sulfur dibandingkan dengan solar murni. Penggunaan campuran biodiesel harus mengurangi emisi SO₂ dan partikel sulfat. Karena pada penelitian ini hanya mengkaji pada emisi CO₂, CO dan NO_x yang memiliki efek yang besar pada lingkungan. Menurut Lapuerta et al. (2007), efek biodiesel spesifik untuk setiap jenis polutan dan tergantung pada jenis mesin, kondisi operasi, dan kualitas biodiesel.

Selama tes kinerja, emisi gas buang diukur untuk setiap campuran bahan bakar pada tiga kecepatan mesin yang ditentukan sebelumnya untuk setiap campuran bahan bakar. Mesin dinyalakan dan dibiarkan memanaskan pada setengah *throttle* dan beban mesin sekitar 10,8 N-m (delapan ft-lb). Setelah beberapa menit, *throttle* dinaikkan hingga mesin mencapai WOT. Beban mesin kemudian ditingkatkan menjadi sekitar 16,3 N-m (12 ft-lb), dan mesin dibiarkan berjalan hingga putaran mesin dan pengukuran torsi distabilkan pada kecepatan putaran mesin yang diinginkan selama dua menit. Setelah pengukuran stabil, pengukuran emisi gas buang dilakukan. Selanjutnya pengukuran berikutnya dilakukan, beban mesin ditingkatkan menjadi sekitar 32,5 N-m (24 ft-lb), dan kemudian menjadi sekitar 40,7 N-m (30 ft-lb) untuk pengukuran emisi gas buang. Konsentrasi yang diukur dirata-ratakan menggunakan rata-rata aritmetika sederhana untuk memberikan serangkaian pengukuran yang representatif di setiap campuran pada setiap beban.

4.3.1. Emisi CO₂

Gambar 4.6 menunjukkan kecenderungan CO₂ sedikit meningkat dengan meningkatnya persentase kandungan biodiesel. Kecenderungan peningkatan CO₂ disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen seiring dengan meningkatnya kandungan biodiesel pada sampel bahan bakar, sehingga pembakaran benar-benar lebih tinggi daripada *sampling* bahan bakar dengan persentase biodiesel yang lebih rendah. Hasil pengambilan data menunjukkan bahwa pada kecepatan paling rendah yaitu 1500 rpm emisi CO₂ rata-rata meningkat 23.70% dari kecepatan 2000 rpm pada setiap komposisi biodiesel. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah kecepatan maka emisi CO₂ yang dihasilkan oleh mesin akan semakin tinggi

sedangkan efek penambahan komposisi biodiesel menyebabkan peningkatan emisi gas buang CO₂ sebesar 4.45% pada komposisi B30, 4.41% pada komposisi B20 dan 3.37% pada komposisi B10 untuk kecepatan putaran 1500 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan komposisi biodiesel akan menyebabkan penambahan persentase gas buang CO₂ dalam takaran yang sedikit.

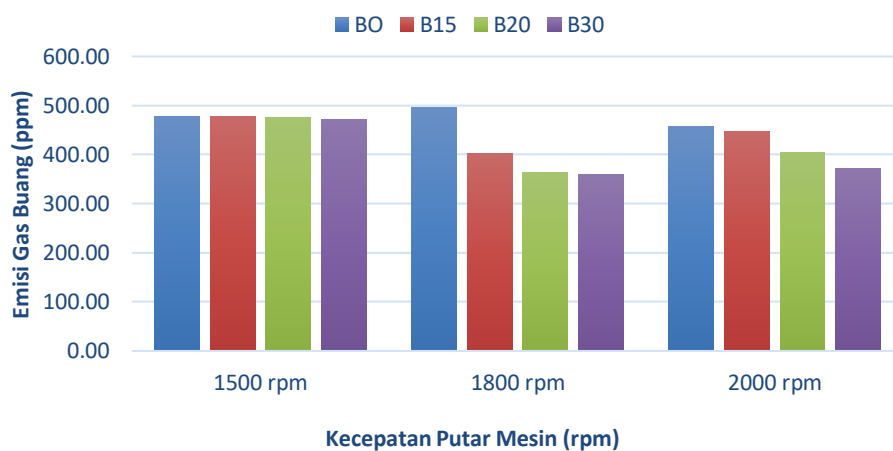


Gambar 4. 9 Emisi CO₂

4.3.2. Emisi CO

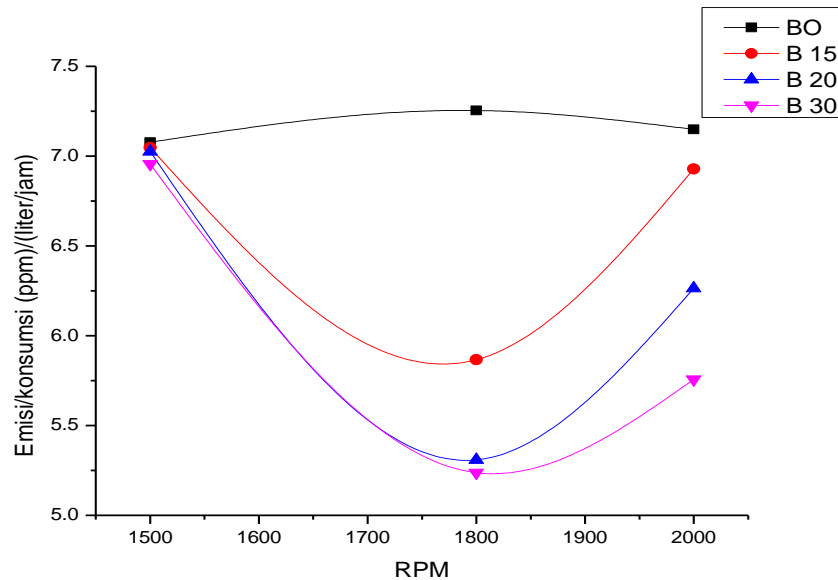
Dilihat pada Gambar 4.10 untuk emisi CO. Kecenderungan CO secara drastis menurun seiring dengan meningkatnya kandungan biodiesel. Konsentrasi karbon monoksida menurun 27.55% ketika menggunakan B30, 26.74% ketika menggunakan B20, dan 19.04% ketika menggunakan B15 bila dibandingkan dengan bahan bakar diesel pada kecepatan 1800 rpm, Sedangkan ketika kecepatan 2000 rpm konsentrasi karbon monoksida menurun 18.56 % ketika menggunakan B30, 11.49 % ketika menggunakan B20, dan 2.18 % ketika menggunakan B15 bila dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Sedangkan pada kecepatan 1500 rpm tidak terjadi penurunan secara signifikan. Secara umum, konsentrasi CO cenderung menurun karena persentase biodiesel dalam campuran bahan bakar meningkat. Penurunan ini umumnya signifikan dalam campuran B30. Hasil ini sesuai dengan Schumacher et al. (2001), yang menemukan bahwa emisi CO menurun sebagai persentase biodiesel dalam campuran bahan bakar meningkat.

Pengayaan oksigen karena penambahan biodiesel, di mana, peningkatan proporsi oksigen meningkatkan oksidasi lebih berlebih dari CO dan HC selama di knalpot mesin. Hal ini sesuai dengan kajian Munoz et al (2004) yang menemukan bahwa konsentrasi karbon monoksida (CO) di dalam akan knalpot menurun sementara emisi hidrokarbon (THC) berkurang pada beban rendah, dan emisi NO_x tergantung pada kecepatan dan beban mesin ketika solar murni diganti dengan campuran biodiesel.



Gambar 4. 10 Emisi CO

Berdasarkan Gambar 4.11 maka pada kecepatan engine 1800 rpm, B30 memiliki perbandingan rasio emisi/konsumsi bahan bakar paling rendah kemudian pada posisi kedua kecepatan 2000 rpm dengan bahan bakar B30. Rekomendasi yang diberikan adalah dengan menggunakan B30, karena gas buang yang dihasilkan lebih ramah lingkungan yaitu menghasilkan penurunan 27.55% pada emisi CO dengan mempertahankan kecepatan engine di antara 1700 – 1900 rpm sehingga menghasilkan emisi CO paling rendah dengan konsumsi bahan bakar paling optimal



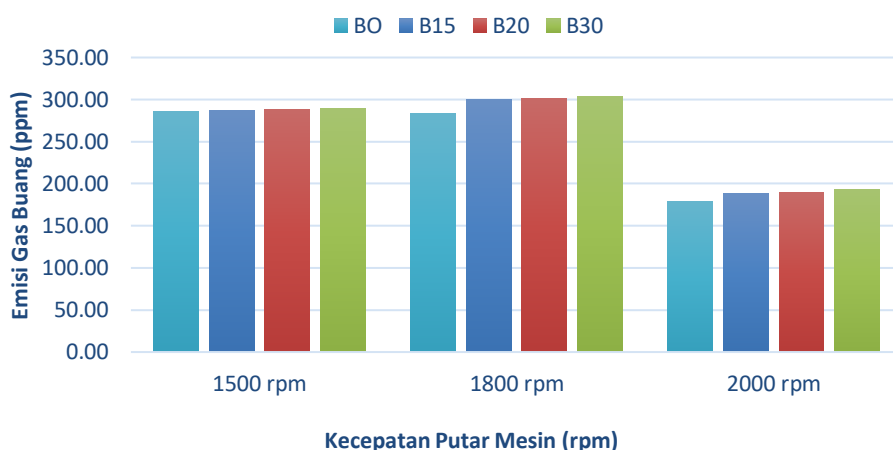
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Rasio Emisi CO /Konsumsi Bahan Bakar terhadap RPM

4.3.3. Emisi NO_x

Gambar 4.11 menunjukkan emisi NO_x untuk biodiesel B0 paling rendah sedangkan emisi B30 NO_x tertinggi. NO_x yang lebih tinggi ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase biodiesel memiliki emisi nitrit oksida yang lebih tinggi. Rata-rata, emisi NO_x pada kecepatan 2000 rpm meningkat 34.90 % jika dibandingkan dengan kecepatan 1500 rpm. Sedangkan pada variasi biodiesel tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, peningkatan terjadi hanya 5.05 % pada B30, 4.14 % untuk campuran B20, dan 3.55 % pada campuran B15. Graboski dan McCormick (1998) menemukan bahwa emisi NO_x meningkat ketika menggunakan biodiesel pada beban penuh.

Kandungan oksigen yang lebih tinggi bersama dengan persentase biodiesel yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan suhu lokal. Pembentukan NO_x sangat dipengaruhi oleh akhir suhu pembakaran di ruang bakar. Jumlahnya bertambah sekitar 1% dari B0 ke B30. Perubahan ini hampir tidak terlihat karena memang ketika menggunakan B20, tidak ada perubahan signifikan dalam emisi HC dan NO_x; penurunan kadar CO adalah batas signifikan. Tidak ada perubahan signifikan yang diamati untuk emisi CO₂ saat menggunakan biodiesel. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh penggunaan biodiesel akan sangat efektif digunakan untuk

mengurangi emisi CO yang berada di udara. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dikaji kembali mengenai cara pengurangan emisi pada NO_x yang tidak bisa diatasi oleh penggunaan biodiesel. Faktanya emisi nitrogen oksida sangat penting karena NO_x adalah penyumbang ozon. Karena telah ditemukan bahwa emisi NO_x cenderung meningkat dengan campuran biodiesel, langkah-langkah telah diambil dalam upaya untuk mengurangi emisi NO_x ketika menggunakan campuran biodiesel. Terkadang upaya ini menghasilkan peningkatan emisi polutan lainnya. Menurut Schumacher et al. (2001b), emisi NO_x dapat dikurangi dengan memperlambat waktu injeksi atau dengan mengganti 20 persen dari diesel minyak bumi dalam campuran B20 dengan alkilat berat. Mengganti DF dengan alkilat berat juga mengurangi konsentrasi CO dan PM, sementara konsentrasi THC tidak terpengaruh. Perlambatan waktu injeksi meningkatkan konsentrasi CO.



Gambar 4. 12 Emisi NO_x

Emisi NO_x meningkat pada kecepatan 2000 rpm meningkat 34.90 % jika dibandingkan dengan kecepatan 1500 rpm. Sedangkan pada variasi biodiesel tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, peningkatan terjadi hanya 5.05 % pada B30, 4.14 % untuk campuran B20 dan 3.55 % pada campuran B15.

4.4 Keuntungan menggunakan Biodiesel

Survei literatur mengungkapkan bahwa biodiesel tampil memuaskan selama operasi mesin diesel dan campuran B30 memberikan performa mesin yang tidak

mengalami masalah pada mesin. Karena performanya yang tinggi, ia menyebabkan lebih sedikit kerusakan pada bagian mesin. Dari data menyebutkan bahwa emisi CO mengalami penurunan ketika biodiesel di tambah dari B0 hingga B30. Hal ini terjadi karena pembakaran yang terjadi akan teroksidasi mengarah ke pembakaran yang lebih sempurna, menghasilkan emisi yang lebih rendah karena suhu pembakaran yang lebih tinggi. Campuran biodiesel dengan diesel memberikan kinerja yang mirip dengan solar karena sifat bahan bakar dari biodiesel dan diesel hampir sama seperti yang terlihat dari data yang didapat saat pengujian laboratorium dan juga memiliki kalorinya lebih rendah. Data menunjukkan bahwa semua emisi dengan biodiesel lebih tinggi daripada solar kecuali CO.

Penggunaan biodiesel menunjukkan bahwa pengurangan emisi CO. Sifat oksigen biodiesel ditemukan untuk meningkatkan pembakaran sempurna dari bahan bakar, menghasilkan pengurangan emisi CO. Penggunaan biodiesel akan menyebabkan kerugian dalam tenaga mesin terutama karena penurunan nilai kalor biodiesel dibandingkan dengan solar, dan itu mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar biodiesel. Dari tinjauan itu dapat disimpulkan bahwa penggunaan biodiesel dapat digunakan untuk mengurangi deposit karbon. Hal ini disebabkan pembentukan jelaga yang lebih rendah, yang konsisten dengan pengurangan emisi biodiesel. Sebagian besar literatur setuju bahwa emisi NO_x akan meningkat ketika menggunakan biodiesel. Peningkatan ini terutama disebabkan oleh kandungan oksigen yang lebih tinggi untuk biodiesel.

Selain itu karakteristik injeksi yang berbeda juga berdampak pada emisi NO_x untuk biodiesel. Pada umumnya emisi CO berkurang ketika menggunakan biodiesel karena kandungan oksigen yang lebih tinggi dan rasio karbon ke hidrogen yang lebih rendah dalam biodiesel dibandingkan dengan solar. Peningkatan lebih lanjut dalam produksi biodiesel harus dilakukan di masa depan untuk pengoptimalan sifat dan kualitas biodiesel. Dan pengembangan lebih lanjut yang aditif untuk meningkatkan konsumsi biodiesel harus yang lebih ramah lingkungan terutama pengurangan emisi NO_x .

Lebih dari itu belerang dalam solar juga berfungsi sebagai pelumas mesin karena dapat mengurangi kandungan sulfur untuk mengurangi pelumasan bahan bakar. Mesin yang notabenenya baru, saat ini di desain dengan penggunaan sulfur

yang rendah. Biodiesel juga memiliki angka *cetane* yang lebih tinggi daripada solar murni, serta memiliki keseimbangan karbon dioksida (CO₂) positif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Mesin diesel cat C15 acert dapat dijalankan dengan berbagai kecepatan mulai dari 1500 rpm, 1800 rpm dan 2000 rpm dengan berbagai persentase biodiesel dari 0%, 15%, 20% dan 30% tanpa kesulitan. Dari emisi CO, CO₂ dan NO_x yang terekam, konsumsi bahan bakar yang diukur, torsi, *power*, *Brake Thermal Efficiency* dan *Brake Specific fuel Consumption*, kesimpulan berikut dapat dikemukakan:

1. Ada peningkatan konsumsi bahan bakar seiring peningkatan kandungan biodiesel walaupun tidak signifikan, *Brake Thermal Efficiency* mengalami penurunan seiring dengan kenaikan prosentase biodiesel sedangkan *Brake Specific fuel Consumption* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kandungan biodiesel. Sementara torsi dan *power* mengalami penurunan yang tidak signifikan seiring bertambahnya kandungan biodiesel dan ketika dibandingkan dengan spesifikasi mesin dari pabrikan tidak ada perbedaan yang signifikan.
2. Dari emisi yang diukur didapatkan, penurunan yang cukup signifikan pada CO sementara CO₂ dan NO_x mengalami kenaikan walaupun tidak signifikan seiring bertambahnya kandungan biodiesel.
3. Biodiesel B30 direkomendasikan digunakan karena ditinjau dari rasio perbandingan emisi CO/konsumsi bahan bakar, memiliki nilai yang paling optimal.

5.2 Saran

Penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan emisi NO_x pada penambahan kadar biodiesel. Pada penelitian selanjutnya diharapkan adanya kajian yang mendalam mengenai pengurangan kadar emisi NO_x karena penggunaan bahan bakar biodiesel. Mengingat pentingnya pengurangan penggunaan bahan bakar fosil maka pengurangan dampak negatif dari NO_x juga perlu dikurangi. Emisi NO_x dapat dikurangi dengan memperlambat waktu injeksi atau dengan mengganti 20 persen

dari diesel minyak bumi dalam campuran B30 dengan alkali berat. Karena perbedaan komposisi asam lemak tidak jenuh ini dapat menjadi faktor dalam penurunan emisi NO_x ketika menggunakan B100. Mungkin langkah ini nantinya dapat diambil untuk kajian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adaileh, Wail, M., Alqdah, Khaled (2012) *Performance of Diesel Engine Fuelled by a Biodiesel*. Elsevier
- Aghbashlo, Mortaza., Tabatabaei, Meisam., Mohammadi,Pouya., Khoshnevisan, Benyamin., Rajaeifar, Mohammad Ali., Pakzad, Mohsen (2017) *Neat diesel beats waste-oriented biodiesel from the exergoeconomic and exergoenvironmental point of views*. Elsevier
- Alam, M., Song, J., Acharya, R., Boehman, A., & Miller, K. (2004). *Combustion and emissions performance of low sulfur, ultra low sulfur and biodiesel blends in a DI diesel engine* (No. 2004-01-3024). SAE Technical Paper.
- Bechtold, R. (2002). *Alternative Fuels* (pp. i-vii). SAE.
- Canakci, M., & Van Gerpen, J. (2001). *Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids*. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1429.
- Chhabra, Mayank., Sharma, Ajay.,Dwivedi, Gaurav (2016) *Performance evaluation of diesel engine using rice bran biodiesel*. Egyptian Journal of Petroleum. Elsevier
- Friso, D. (2014) *Brake Thermal Efficiency and BSFC of Diesel Engines, Mathematical Modeling and Comparison between Diesel Oil and Biodiesel Fueling*. Italy : University of Padova
- Gad, M.S., EL _ Araby, R.,Abed, K.A., El-Ibiari, N.N., El Morsi, A.K.,El-Diwani, G.I. (2017) *Performance and emissions characteristics of C.I. engine fueled with palm oil/palm oil methyl ester blended with diesel fuel*. Elsevier
- Hansen, K. F., & Jensen, M. G. (1997). *Chemical and biological characteristics of exhaust emissions from a DI diesel engine fuelled with rapeseed oil methyl ester (RME)* (No. 971689). SAE Technical Paper.
- Hambali, E., & Sunarti, T. (2016, May 26). Retrieved from LMS-IPB: https://lms.ipb.ac.id/file.php/327/Minggu_67_Minyak_Lemak.pptx
- Heywood, J.B. (1999) *Internal Combustion Engine Fundamentals*, New York :Mac Graw-Hill, New York
- Hoseini, S.S.,Najafi, G., Mamat,Ghobadian., Sidik, Nor Azwadi., Azmi, W.H (2017) *The effect of combustion management on diesel engine emissions fueled with biodiesel-diesel blends*. 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved

- Inc, Caterpillar (2006) *SEBU6251 CAT commercial diesel engine recommendation page1-4*, https://sis.cat.com/sisweb/sisweb/techdoc/techdoc_print_page.jsp?returnurl=/sisweb/sis
- Körbitz, W. (1999). Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. *Renewable Energy*, 16(1-4), 1078-1083.
- Kumar, Prem., Sharma, Mahendra Pal., Dwivedi, Gaurav (2015) *Impact of Ternary Blend of Biodiesel on Diesel Engine Performance*. Egyptian Journal of Petroleum. Elsevier
- Last, R. J., Krüger, M., & Dürnholz, M. (1995). *Emissions and performance characteristics of a 4-stroke, direct injected diesel engine fueled with blends of biodiesel and low sulfur diesel fuel*(No. 950054). SAE Technical Paper.
- Liu, Haoye., Ma, Xiao., Li, Bowen., Chen, Longfei., Wang, Zhi., Jianxin Wang (2017) *Combustion and emission characteristics of a direct injection diesel engine fueled with biodiesel and PODE/biodiesel fuel blends*. Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Mahmudul, H.M., Hagosa, F.Y., Mamata, R., Adama, Abdul., Ishakb, W.F., Alenezic (2017)
- Nurhadi, Imam (2015) *Pengaruh Penggunaan Biodiesel Terhadap Performa dan Komponen Utama pada Motor Pokok KRI WELING-822*. Surabaya: Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Powell, J. J. (2007) *Engine Performance and Exhaust Emissions From A Diesel Engine Using Cottonseed Oil Biodiesel*. Office of Graduate Studies of Texas A&M University.
- Production, characterization and performance of biodiesel as an alternatif fuel in diesel engines*. Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Puskar, Michal., Kopas, Melichar., Puskar, Dusan., Lumnitzer, Jan., Faltinova, Eva (2017) *Method for reduction of the NOX emissions in marine auxiliary diesel engine using the fuel mixtures containing biodiesel using HCCI combustion*. Elsevier Ltd. All rights reserved
- Ramalingan, Senthil., Rajendran, Silambarasan., Ganesan., Pranesh Ganesan (2017) *Performance improvement and exhaust emissions reduction in biodiesel operated diesel engine through the use of operating parameters and catalytic converter: A review*. Elsevier Ltd. All rights reserved

- Reddy, Krishna,A.V., Shankar, Shiva, M., Apparao, K (2010) *Experimental Determination of Brake Thermal Efficiency and Brake Specific Fuel Consumption of Diesel Engine Fuelled with Bio-Diesel*. International Journal of Engineering and Technology Vol.2 (5),2010,305-309. Elsevier Ltd. All rights reserved
- Rodrigueza, Ramon., Borrotoa, Sanchez., Espinosaa, Ahmed., Verhelstb, Sebastian (2017) *Assessment of diesel engine performance when fueled with biodiesel from algae and microalgae: An overview* . Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Schumacher, L. G., Marshall, W., Krahl, J., Wetherell, W. B., & Grabowski, M. S. (2001). Biodiesel emissions data from series 60 DDC engines. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1465.
- Senatore, A., Cardone, M., Rocco, V., & Prati, M. V. (2000). *A comparative analysis of combustion process in DI diesel engine fueled with biodiesel and diesel fuel* (No. 2000-01-0691). SAE Technical Paper.
- Setyadji, Moch., Susiantini, Endang (2007) *Pengaruh Penambahan Biodiesel dari Minyak Jelantah pada Solar Terhadap Opasitas dan Emisi Gas Buang CO,CO₂ dan HC*. Yogyakarta : Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN
- Syah, A. N. A. (2006) *Biodiesel jarak Pagar Bahan Alternatif yang Ramah Lingkungan*. Jakarta : Andromedia Pustaka.
- Suhartanta., Arifin, Zainal (2008) *Pemanfaatan Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel*. *Jurnal Penelitian Saintek*, Vol. 13, No. 1, Yogyakarta
- Takaishi, Tatsuo., Numata, Akira.,Nakano, Ryouji., Sakaguchi, Katsuhiko (2008) *Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review Vol. 45 No. 1
- Tamilselvana, P., Nallussamy, N., Rajkumar, S (2017) *A comprehensive review on performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines*. Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Technical Bulletin EPA 456/F-99-006R (1999) Nitrogen Oxides (NO_x), *Why and How They Are Controlled*. U.S. Department of Commerce
- Thornton,M,J., AllemanT,L.,Luecke,J., McCormick,R,L (2009) *Impacts of Biodiesel Fuel Blends Oil Dilution on Light-Duty Diesel Engine Operation*. Conference Paper, Presented at the 2009 SAE International Powertrains, Fuels, and Lubricant Meeting, Italy.

- Turrio-Baldassarri, L., Battistelli, C. L., Conti, L., Crebelli, R., De Berardis, B., Iamiceli, A. L., ... & Iannaccone, S. (2004). *Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and 'biodiesel'blend. Science of the Total Environment*, 327(1-3), 147-162.
- Wirawan, Soni S., Ambunan, Armansyah H., Djamin, Martin., Nabetani, Hiroshi (2008) *The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine. BPPT*
- Wood, Benjamin M., Kirwan, Kerry.,Maggs, Steven.,Meredith, James, Coles, Stuart R. (2015) *Study of combustion performance of biodiesel for potential application in motorsport. Elsevier*

LAMPIRAN

A. Tabel Nilai Torsi

Nilai Torsi (Nm)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	1657.6	1383.6	1182.4
	B15	1594.6	1424.3	1041.9
	B20	1583.7	1403.4	1038.6
	B30	1571.9	1381.2	1008.1

B. Tabel Nilai Power

Nilai Power (Kw)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	349.0	349.6	331.9
	B15	335.7	359.8	292.5
	B20	333.4	354.6	291.6
	B30	331.0	349.0	283.0

C. Tabel Nilai Fuel Cons

Nilai Fuel Cons (lb/h)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	126.26	127.91	119.50
	B15	127.24	128.81	121.32
	B20	127.35	128.78	121.41
	B30	127.82	129.42	121.84

D. Tabel Nilai Power Fuel

Nilai Power Fuel (HP)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	988.8	1001.7	935.9
	B15	989.4	1001.6	943.3
	B20	976.5	987.5	931.0
	B30	958.3	970.3	913.4

E. Tabel Nilai Power Output

Nilai Power Output (HP)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	349.0	349.6	331.9
	B15	335.7	359.8	292.5
	B20	333.4	354.6	291.6
	B30	331.0	349.0	283.0

F. Tabel Nilai Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

Nilai Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	0.362	0.366	0.360
	B15	0.379	0.358	0.415
	B20	0.382	0.363	0.416
	B30	0.386	0.371	0.431

G. Tabel Nilai Brake Thermal Efficiency (BTE)

Nilai Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	0.353	0.349	0.355
	B15	0.339	0.359	0.310
	B20	0.341	0.359	0.313
	B30	0.345	0.360	0.310

H. Tabel Nilai Hasil Uji Emisi CO₂

Nilai Emisi CO₂ (%)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	7.62	7.22	5.77
	B15	7.87	7.26	6.20
	B20	7.95	7.26	5.96
	B30	7.96	7.27	6.03

I. Tabel Nilai Hasil Uji Emisi NOx

Nilai Emisi NOx (Ppm)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	286.31	283.13	178.93
	B15	287.00	299.86	188.09
	B20	288.72	301.62	189.04
	B30	289.16	303.66	193.35

J. Tabel Nilai Hasil Uji Emisi CO

Nilai Emisi CO (Ppm)				
Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)		1500	1800	2000
Jenis Campuran Biodiesel (% Kandungan Biodiesel)	B0	477.96	496.29	456.94
	B15	476.83	401.82	446.97
	B20	475.75	363.59	404.43
	B30	471.67	359.55	372.15

Halaman ini memang dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Teguh Dwi Kuncoro saat ini bekerja di Mobile Equipment Maintenance PT Vale Indonesia Tbk. Penulis melanjutkan kuliah S2 di Teknik Fisika ITS bidang Energi Terbarukan setelah menempuh S1 di Universitas Diponegoro jurusan Teknik Mesin.

Halaman ini memang dikosongkan