

**KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH
TEMPERATUR BIODIESEL MINYAK SAWIT
TERHADAP PERFORMANSI MESIN DIESEL
DIRECT INJECTION PUTARAN KONSTAN**

Disusun oleh:

Murni
NIM. L4E.007015

Program Studi Magister Teknik Mesin
Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

Mengetahui
Tim Pembimbing

Tanggal.....

Ketua

(Dr. Ir. A.P. Bayuseno, MSc)
NIP. 196205201989021001

Pembimbing

Co. Pembimbing

(Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar, TK)
NIP. 195907221987031003

(MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT, PhD)
NIP. 197104211999031003

ABSTRAK

KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMPERATUR BIODIESEL MINYAK SAWIT TERHADAP PERFORMANSI MESIN DIESEL DIRECT INJECTION PUTARAN KONSTAN

Disusun oleh

MURNI
NIM. L4E.007015

Tidak sempurnanya proses pembakaran merupakan masalah yang dijumpai dalam usaha peningkatan kinerja motor diesel. Proses pencampuran udara dan bahan bakar yang kurang baik menjadi salah satu faktor penyebab ketidak sempurnaan tersebut.

Dengan melakukan pemanasan terhadap bahan bakar solar maupun biodiesel sampai temperatur tertentu sebelum masuk kedalam pompa tekanan tinggi menyebabkan penurunan densitas dan viskositas bahan bakar, sehingga bila diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran kabut bahan bakar yang lebih halus yang akan menyebabkan proses pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti solar. Biodiesel bila dibandingkan dengan solar mempunyai beberapa kelebihan. Adapun kelebihanannya adalah emisi gas buang yang ditimbulkan mempunyai kandungan hydrocarbon dan karbon monoksida yang lebih rendah. Tetapi biodiesel juga mempunyai beberapa kekurangan. Kekurangan biodiesel adalah viskositas dan nilai kalornya lebih rendah dari solar.

Dalam tesis ini dilakukan pengkajian secara eksperimental pengaruh temperatur terhadap viskositas dan densitas bahan bakar biodiesel minyak sawit dan solar. Selain itu juga dilakukan pengkajian pengaruh temperatur bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (*brake specific fuel consumption-bsfc*) serta efisiensi termal mesin diesel.

Penelitian ini menggunakan mesin diesel Dong Feng 1 silinder injeksi langsung dengan putaran konstan. Bahan bakar yang digunakan adalah solar dan biodiesel dengan variasi temperatur untuk solar antara 33°C sampai dengan 70°C dan untuk biodiesel 33°C sampai dengan 90°C. Efisiensi termal terbaik biodiesel adalah 21,3 % pada temperatur 70°C dengan *brake specific fuel consumption* (bsfc) 11 %, pada kondisi ini penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 8 % dibandingkan dengan kondisi pada temperatur 33°C. Sedangkan efisiensi termal terbaik solar adalah 23,7 % pada 60°C dengan *brake specific fuel consumption* (bsfc) 4 % dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 4 %.

Temperatur terbaik terjadi pada 70°C untuk biodiesel dan 60°C untuk solar. Selanjutnya, jika temperatur bahan bakar terus dinaikkan, maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin menjadi lebih besar. Peningkatan ini dapat terjadi karena

peningkatan temperatur bahan bakar menyebabkan bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar, sehingga akan mempersingkat periode pra-pembakaran (*ignition delay*).

Periode pra-pembakaran dapat didefinisikan sebagai waktu persiapan bahan bakar yang diukur dari awal penginjeksian bahan bakar sampai bahan bakar tersebut mencapai kondisi penyalaan sendiri. Temperatur bahan bakar yang tinggi menyebabkan bahan bakar menjadi lebih cepat mencapai kondisi penyalaan sendiri. Apabila terlalu singkat, maka periode pembakaran akan selesai pada langkah kompresi atau jauh sebelum piston mencapai titik mati atas (tma), sehingga tekanan puncak juga terjadi pada piston sebelum mencapai titik mati atas. Kondisi ini merupakan suatu kerugian karena tekanan tersebut tidak dapat digunakan untuk langkah kerja. Akibatnya daya yang dihasilkan akan berkurang dan konsumsi bahan bakar spesifik (*brake specific fuel consumption /bsfc*) meningkat.

Peningkatan konsumsi bahan bakar dan penurunan daya mesin mengakibatkan efisiensi termal menjadi menurun, karena efisiensi termal suatu motor bakar didefinisikan sebagai besarnya pemanfaatan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar menjadi kerja mekanis. Panas atau tenaga yang diberikan oleh bahan bakar dapat diprediksi melalui besarnya konsumsi bahan bakar, sedangkan besar kerja mekanis dapat ditetapkan dari daya mesin yang diukur. Oleh karena itu, harga dari efisiensi termal ini dipengaruhi oleh perubahan daya mesin dan perubahan laju bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin tersebut.

Selain itu, timbulnya tekanan dari pembakaran pada saat langkah kompresi menghasilkan gaya tolak pada piston dan mekanisme penggerak piston, sehingga dapat merusak komponen mekanisme tersebut. Oleh karena itu, tindakan penyesuaian antara temperatur bahan bakar yang disuplai dengan saat penginjeksian bahan bakar dapat menghindari kerugian tenaga yang terbuang, sehingga tenaga yang tersedia untuk langkah kerja menjadi semakin besar

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF PALM OIL METHYL ESTER TEMPERATURE ON PERFORMANCE OF CONSTANT SPEED DIRECT INJECTION DIESEL ENGINE

By

**MURNI
NIM. L4E.007015**

The imperfect combustion process is a problem in the development effort of diesel engine's performance. Nonhomogen air-fuel mixing process is one of the factors which cause the imperfect combustion.

By heating up the diesel fuel and biodiesel up to a certain temperature before it goes through the high pressure injection pump become lower to its density and viscosity. Therefore, when fuel injected in the combustion chamber, it forms smaller droplets of fuel spray which result in a more homogenous air-fuel mixture. Also by using fuel which has higher temperature will make the diesel fuel easily to ignite in order to compensate the limited time which is available in high speed operating conditions.

Biodiesel is an alternative fuel for substitution to diesel fuel. Biodiesel has several advantages compared to diesel fuel. These advantages are lower hydrocarbon and monoxide carbon emission. But biodiesel has several disadvantages those are lower its caloric value and viscosity compared to diesel fuel.

In this thesis, the effect of temperature on the viscosity and density of palm oil biodiesel and diesel fuel was studied experimentally. Subsequently, the study of the effect of fuel temperature on the brake specific fuel consumption (bsfc) and thermal efficiency of diesel engines was also conducted.

Diesel engine Dong Feng 1 cylinder direct injection at constant speed was used in this research. The fuel used are diesel fuel and biodiesel with temperature variations in the range from 33°C to 70°C for diesel fuel and 33°C to 90°C for biodiesel fuel. The best thermal efficiency for biodiesel fuel is 21.3 % at 70°C with 11 % BSFC. In this condition, the fuel consumption was decreased 8 % by comparing with that at 33°C. Mean while, the best thermal efficiency of diesel fuel is 23.7 % at 60°C with 4 % BSFC, and the fuel consumption was decreased 4 %.

The best temperature lies at 70 °C for biodiesel and 60 °C for diesel. Furthermore, the fuel consumption required by engine was increased as the fuel temperature continuous

raising. This increase occurs because the raise of fuel temperature causes the fuel easier to ignite, so it will shorten the period of pre-combustion (ignition delay).

Pre-combustion period can be defined as the time of preparation of fuel measured from the beginning of injection to the self-ignition condition. High temperature of fuel causes the fuel achieving quickly self-ignition. If this period is too short, then the combustion period occurs within the compression stroke or far before top dead center (TDC). Consequently, the peak pressure also occurs on the piston prior to reach the top dead center (TDC). This condition is deprivation because the pressure is used for works. As a result, the power generated are reduces and brake specific fuel consumption(BSFC) raises.

The increase of fuel consumption and engine power reduction causes the reduction of thermal efficiency, because the thermal efficiency of a combustion engine is defined as the amount of heat generated from burning fuel into mechanical work. Heat or power supplied by the fuel can be predicted by the amount of fuel consumption, while the major mechanical work can be determined from the measured engine power. Therefore, the value of thermal efficiency is affected by the change of engine power and rate of fuel consumed by the engine.

In addition, the pressure generated during combustion produces an againts compression force on the piston and piston drive mechanism, so that it can damage some components. Therefore, adjustment between fuel temperature and injection period that are able to avoid the energy lossis, so the available power for works was even greater.

Kata Pengantar

Dengan mengucapkan puji dan rasa syukur kehadirat Allah Subhanahu wata'ala, atas rahmat dan hidayahnya, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas Tesis dengan judul Kaji Eksperimental Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas Biodiesel Minyak Sawit dan Uji Performa pada Mesin Diesel Direct Injection Putaran Konstan.

Tesis ini untuk melengkapi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik dari Program Magister Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.

Tesis dapat berhasil tentunya tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini kami menyampaikan banyak terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar, TK selaku dosen pembimbing yang telah memberi tugas dan membimbing tesis eksperimen ini.
2. Bapak MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT, PhD selaku Co pembimbing yang telah aktif memberikan bimbingan dalam penyelesaian tesis ini.
3. Istri dan anak-anak atas dukungan dan pengertiannya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tesis ini.
4. Seluruh dosen, staf dan rekan-rekan mahasiswa magister teknik mesin universits Diponegoro serta semua pihak yang tak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah memberi saran dan dorongan hingga tesis ini selesai.

Mengingat kemampuan penyusun yang sangat terbatas, maka dalam penyusunan tesis ini masih banyak kekurangan dan kelemahan, oleh karena itu dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penyusun sendiri khususnya, amin.

Semarang, Juli 2010

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMBANG	xviii
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Penelitian yang Pernah Dilakukan	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Tujuan Penelitian	4
Bab II Tinjauan Pustaka	6
2.1 Bahan Bakar Diesel	6
2.2 Bahan Bakar Biodiesel	8
2.3 Motor Diesel	11
2.3.1 Cara Kerja Motor Diesel 4 Langkah	13
2.3.2 Sistem Bahan Bakar	15
2.3.3 Pengabutan Bahan Bakar	17
2.3.4 Pembakaran	19
Bab III Metode Penelitian	25
3.1 Persiapan Bahan	25
3.2 Uji Massa Jenis Minyak Solar dan Biodiesel dengan Variasi Temperatur ...	28
3.3 Uji Viskositas Minyak Solar dan Biodiesel dengan Variasi Temperatur	28

3.4 Uji Performa Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel	30
3.4.1 Persiapan Pengujian	33
3.4.2 Langkah-Langkah Pengujian dan Pengambilan Data	34
3.4.3 Pengukuran Daya	34
3.4.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar spesifik	36
3.4.5 Perhitungan Efisiensi Termal	36
Bab IV Hasil dan Pembahasan	37
4.1 Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar Solar dan Biodiesel	37
4.2 Uji Massa Jenis dan viskositas kinematik Minyak Solar dan Biodiesel dengan Variasi Temperatur	39
4.3 Uji Performa Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel	40
4.3.1 Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar	41
4.3.2 Perbandingan Beban Terhadap BSFC pada Mesin Diesel	47
4.3.3 Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Termal Mesin Diesel	52
4.4 Perbandingan Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel dan Solar	56
4.4.1 Perbandingan Pengaruh Beban dan Temperatur Terhadap Konsums Bahan Bakar	56
4.4.2 Perbandingan Pengaruh Beban dan Temperatur Terhadap BSFC Mesin Diesel	59
4.4.3 Perbandingan Pengaruh Beban dan Temperatur Terhadap Efisiensi Termal Mesin Diesel	61
Bab V Kesimpulan dan Saran	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
Daftar Pustaka	67
Lampiran	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis dan Viskositas Solar	70
A.1 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis Solar	70
A.2 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas Solar.	70
Lampiran B: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis dan Viskositas Biodiesel	71
B.1 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis Biodiesel.	71
B.2 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas Biodiesel.	71
Lampiran C: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi dan BSFC Mesin Diesel	72
C.1 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi Mesin Diesel	72
C.2 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Solar Terhadap BSFC Mesin	73
C.3 Data Efisiensi Termal Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Biodiesel	73
Lampiran D: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Biodiesel Terhadap Konsumsi dan BSFC Mesin Diesel	74
D.1 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Biodiesel Terhadap Konsumsi Mesin Diesel	74
D.2 Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Biodiesel Terhadap BSFC Mesin Diesel	75
D.3 Data Efisiensi Termal Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Solar	75
Lampiran E: Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Berbagai Temperatur	76
E.1 Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 33 °C	76

E.2	Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 40 °C	76
E.3	Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 50 °C.....	77
E.4	Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 60 °C	77
E.5	Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 70 °C	78
Lampiran F:	Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Berbagai Temperatur	78
F.1	Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 33 °C	78
F.2	Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 40 °C	79
F.3	Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 50 °C	79
F.4	Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 60 °C	80
F.5	Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 70 °C	80
Lampiran G:	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Berbagai Temperatur.....	81
G.1	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 33°C	81
G.2	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 40°C	81
G.3	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 50°C	82
G.4	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 60°C	82

G.5	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 70 ^o C	83
G.6	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 33 ^o C	83
G.7	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 40 ^o C	84
G.8	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 50 ^o C	84
G.9	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 60 ^o C	85
G.10	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 70 ^o C	85
G.11	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 80 ^o C	86
G.12	Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 90 ^o C	86
Lampiran H:	Foto Dukumenter	87
H.1	Foto buah kelapa sawit.....	87
H.2	Foto mesin diesel yang digunakan penelitian	87
H.3	Foto piston sebelum penelitian	88
H.4	Foto piston setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar solar	88
H.5	Foto piston setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel	88
H.6	Foto silinder kop sebelum penelitian	89
H.7	Foto silinder kop setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar solar	89
H.8	Foto silinder kop setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel	89
H.9	Foto nosel sebelum penelitian	90

H.10 Foto nosel setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar solar	90
H.11 Foto nosel setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel	90
H.12 Foto saat pengambilan data di lab Energi D III Teknik Mesin Undip	91
H.13 Foto name plate mesin diesel yang digunakan penelitian	91
H.14 Foto tempat termometer di pasang pada mesin diesel	92
H.15 Foto pemanas untuk pengaturan beban mesin diesel	92
H.16 Foto pengukuran (pengecekan) ampere pemanas sebelum digunakan	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus kerja motor diesel 4 langkah.....	11
Gambar 2.2	Diagram kerja katup motor diesel 4 langkah	12
Gambar 2.3	Skema mekanisme katup motor diesel 4 langkah	12
Gambar 2.4	Langkah kerja motor diesel 4 langkah	13
Gambar 2.5	Skema sistem bahan bakar mesin diesel	15
Gambar 2.6	Bagian-bagian nosel	17
Gambar 2.7	Proses pengabutan nosel dalam silinder	19
Gambar 2.8	Simulasi karakteristik parameters dalam pemanasan penguapan dan pembakaran	20
Gambar 2.9	Waktu tunda penyalaan untuk droplet methanol dalam udara panas ..	20
Gambar 2.10	Pengaruh temperatur terhadap pembakaran spontan.....	22
Gambar 2.11	Pengaruh angka setana dan temperatur terhadap pembakaran spontan	23
Gambar 2.12	Proses pembakaran mesin diesel	23
Gambar 3.1	Alur proses pembuatan biodiesel	26
Gambar 3.2	Hasil pengendapan dari pembuatan biodiesel	27
Gambar 3.3	Pengukuran densitas dengan hydrometer	28
Gambar 3.4	Pengukuran viskositas dengan viskometer	29
Gambar 3.5	Diagram alir proses pengujian bahan bakar	30
Gambar 3.6	Skema pengujian performa mesin diesel	31
Gambar 3.7	Diagram alir proses pengujian mesin diesel	35
Gambar 4.1	Pengaruh temperatur terhadap berat jenis, viskositas bahan bakar solar dan biodiesel	39
Gambar 4.2.a	Pengaruh beban terhadap konsumsi mesin diesel berbahan bakar biodiesel pada berbagai temperatur bahan bakar	41
Gambar 4.2.b	Pengaruh beban terhadap konsumsi mesin diesel berbahan bakar solar pada berbagai temperatur bahan bakar	42
Gambar 4.3.a	Penurunan konsumsi bahan bakar biodiesel pada berbagai temperatur dibandingkan dengan temperatur 33 °C.....	43

Gambar 4.3.b.	Penurunan konsumsi bahan bakar solar pada berbagai temperatur dibandingkan dengan temperatur 33 °C.....	43
Gambar 4.4.a	Pengaruh beban terhadap bsfc bahan bakar biodiesel pada berbagai temperatur	48
Gambar 4.4.b	Pengaruh beban terhadap bsfc bahan bakar solar dengan beberapa temperatur bahan bakar	48
Gambar 4.5.a	Penurunan bsfc mesin diesel berbahan bakar biodiesel pada berbagai temperatur dibandingkan dengan saat temperatur 33 °C.....	50
Gambar 4.5.b	Penurunan bsfc mesin diesel berbahan bakar solar pada berbagai temperatur dibandingkan dengan saat temperatur 33 °C.....	50
Gambar 4.6.a	Pengaruh beban terhadap efisiensi termal mesin diesel pada berbagai temperatur bahan bakar biodiesel	53
Gambar 4.6.b	Pengaruh beban terhadap efisiensi termal mesin diesel pada berbagai temperatur bahan bakar solar	53
Gambar 4.7.a	Peningkatan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel dibandingkan pada temperatur bahan bakar 33 °C	54
Gambar 4.7.b	Peningkatan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar solar dibandingkan pada temperatur bahan bakar 33 °C	55
Gambar 4.8	Perbandingan pengaruh beban dan temperatur bahan bakar terhadap konsumsi mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan solar	57
Gambar 4.9.	Perbandingan penurunan konsumsi mesin diesel antara biodiesel dan solar dengan temperatur bahan bakar 33° C	57
Gambar 4.10	Perbandingan pengaruh beban dan temperatur terhadap bsfc mesin diesel antara biodiesel dan solar	59
Gambar 4.11.	Perbedaan penurunan bsfc dari berbagai temperatur bahan bakar antara biodiesel dan solar.	60

Gambar 4.12	Perbandingan pengaruh beban dan temperatur bahan bakar terhadap efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan solar	62
Gambar 4.13.	Perbedaan kenaikan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan solar pada berbagai temperatur bahan bakar.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Biodiesel dan Solar (minyak diesel)	10
Tabel 2.2	Spesifikasi Biodiesel Sesuai Standar ASTM D 6751	10
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar Solar dan Biodiesel	37
Tabel 4.2	Perbandingan densitas,viskositas kinematik dan nilai kalor dari beberapa peneliti Sebelumnya.....	38

DAFTAR LAMBANG

Lambang	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
A_n	luas penampang lubang nosel	17
C	konstante Prandtl	21
C_D	koefisien nosel	17
C_g	efisiensi dari generator	34
CV	nilai kalor bahan bakar [cal/g]	36
d_{max}	diameter droplet	21
E	voltmeter [Volt]	34
m_i	jumlah bahan bakar	17
N_b	daya mesin [HP]	34
I	ampermeter [Amp]	31
P	daya	31
P_f	faktor daya	34
U_i	kecepatan bahan bakar	18
v	kecepatan	21
ΔP	penurunan tekanan pada mulut nosel	17
P	berat jenis bahan bakar	21
Σ	tegangan permukaan bahan bakar	21
γ	viskositas kinematik	18
τ	viskosititas dinamik	18
η_{th}	efisiensi termal	33

Bab I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Minyak bumi merupakan sumber energi utama dan sumber devisa negara. Namun demikian, cadangan minyak bumi yang dimiliki Indonesia jumlahnya terbatas. Sementara itu, kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Oleh karenanya berbagai upaya telah dilakukan untuk mencari bahan bakar alternatif yang memiliki sifat dapat diperbaharui (*renewable*) dan ramah lingkungan. Potensi energi yang terbarukan antara lain tenaga matahari, panas bumi, angin, tanaman penghasil minyak dan sebagainya.

Pemanfaatan energi yang bersumber dari tenaga matahari, angin dan arus laut masih mengalami kesulitan dalam hal penampungan (*storage*) khususnya untuk benda bergerak. Untuk itu munculah pemikiran penggunaan minyak dari bahan nabati. Bahan bakar nabati (BBN) bioethanol dan biodiesel merupakan dua kandidat kuat pengganti bensin dan solar yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar mesin Otto dan diesel.

Pemerintah mencabut subsidi BBM dengan segala konsekuensinya telah mulai diwujudkan dengan mencari berbagai solusi tekno-sosio-ekonomi. Di antara berbagai solusi itu adalah pengembangan bahan bakar alternatif berbahan baku nabati atau bahan bakar nabati (biofuels). Pemerintah serius menggarap program ini secara menyeluruh. Hal itu ditunjukkan oleh terbitnya Peraturan Presiden No 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Instruksi Presiden No 1/2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) bioethanol dan biodiesel merupakan dua kandidat kuat pengganti bensin dan solar yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel.

Pemerintah Indonesia telah mencanangkan pengembangan dan implementasi dua macam bahan bakar tersebut, mesin diesel yang menggunakan bahan bakar minyak solar banyak digunakan sebagai penggerak mula atau pembangkit tenaga, mulai dari alat transportasi, alat pembangkit tenaga listrik hingga sebagai penggerak mula peralatan permesinan.

Dengan mulai diperkenalkannya biodiesel sebagai bahan bakar alternatif, maka penelitian tentang biodiesel pada mesin diesel mulai banyak dilakukan. Pemakaian biodiesel setelah diuji emisi gas buang menunjukkan adanya partikel hydrocarbon dan karbon monoksida yang lebih rendah (Kistanto, 2002; Jeong, et all, 2006).

Biodiesel sebagai pengganti solar mempunyai beberapa keuntungan, di antaranya adalah lebih bersih dalam emisi gas buang, pelumasan yang lebih baik, dan tidak diperlukannya modifikasi mesin (Sugiarto, Setiawan, 2005).

Biodiesel digunakan dalam bentuk campuran antara biodiesel murni dengan solar. Pengkodean pencampuran biodiesel dalam solar ditulis dengan huruf B diikuti dengan prosentase biodiesel yang dicampurkan. Sebagai contoh B20 adalah campuran bahan bakar yang mengandung 20 % volume biodiesel dan 80 % volume solar. Setiap campuran biodiesel-solar akan mempunyai karakteristik masing-masing pada saat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel (Ehsan, et all, 2007; Tat, Gerpen, 1999).

Biodiesel adalah salah satu energi alternatif yang secara umum densitas dan viskositasnya lebih besar dari pada minyak solar sedangkan nilai kalornya lebih rendah. Viskositas merupakan parameter penting untuk penginjeksian , pencampuran dengan udara, dan pembakaran sempurna. Untuk itu perlu adanya pengujian performa mesin diesel dengan variabel viskositas.

1.2 Perumusan Masalah

Solar mempunyai viskositas kinematik berkisar antara $1,3 \text{ mm}^2/\text{sec}$ sampai dengan $4,1 \text{ mm}^2/\text{sec}$ pada suhu 40°C . Sedangkan biodiesel dari minyak sawit mempunyai viskositas kinematik yang lebih besar berkisar antara $1,9 \text{ mm}^2/\text{sec}$ sampai dengan $6 \text{ mm}^2/\text{sec}$ pada suhu 40°C (Tangsatkulchai, 2004). Ini menyebabkan pembakaran kurang sempurna, salah satu alternatif agar pembakaran menjadi sempurna, maka biodiesel dari minyak sawit perlu diturunkan viskositasnya dengan jalan dipanaskan.

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini dititik beratkan hanya pada pengaruh temperatur bahan bakar biodiesel terhadap kinerja mesin diesel direct injection putaran konstan. Penelitian ini tidak membahas:

1. Reaksi secara kimia akibat pembakaran bahan bakar biodiesel.
2. Perhitungan elemen pemanas bahan bakar.
3. Efek yang ditimbulkan bahan bakar biodiesel terhadap mesin diesel.
4. Pengaruh bahan bakar terhadap minyak pelumas yang digunakan serta gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar.

1.4 Penelitian yang Pernah Dilakukan

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Kenaikan temperatur solar yang digunakan pada mesin diesel Isuzu tipe 4 JA pada putaran 850 rpm sampai dengan 2500 rpm telah diteliti, hasilnya menunjukkan ada kenaikan daya mesin, penurunan konsumsi bahan bakar spesifik dan ada kenaikan efisiensi termal mesin diesel (Tirtoatmodjo, 1999).

Panas dari gas buang telah dimanfaatkan untuk menurunkan viskositas bahan bakar biodiesel sebelum masuk pompa nosel, dari pemanasan ini menunjukkan efisiensi termal mesin diesel dapat maksimum saat tenaga mesin mencapai 86 % (Kumar, 2008).

Bahan bakar minyak nabati dapat dipanaskan menggunakan panas dari gas buang mesin diesel, dengan memanaskan bahan bakar minyak nabati sebelum pompa nosel bisa menaikkan efisiensi mesin diesel dan dapat menurunkan kadar CO serta NO dalam gas buang (Garwal, 2009).

Dalam penelitian Kumar dan penelitian Garwal tidak mencantumkan temperatur bahan bakar minyak nabati maupun bahan bakar minyak biodiesel. Untuk itu dalam tesis ini kami mengkaji pengaruh temperatur bahan bakar biodiesel dari minyak sawit terhadap viskositas bahan bakar tersebut. Serta pengaruh temperatur bahan bakar biodiesel minyak sawit pada performa mesin diesel.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

- a. Menambah pengetahuan tentang bahan bakar dari nabati khususnya biodiesel dari minyak sawit

- b. Membantu pemerintah dalam pemanfaatan bahan bakar dari minyak nabati.
- c. Dapat sebagai pertimbangan untuk mengoptimalkan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel dari minyak sawit.
- d. Dapat sebagai acuan untuk pengguna mesin diesel Dong Feng direct injection putaran konstan bila memakai pemanas bahan bakar.

1.6 Tujuan Penelitian

Merujuk kepada hal yang telah dibahas pada bagian rumusan masalah sebelumnya tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

- a. Mengetahui pengaruh temperatur bahan bakar terhadap viskositas biodiesel minyak sawit dan solar.
- b. Mengetahui pengaruh temperatur bahan bakar biodiesel terhadap konsumsi bahan bakar.
- c. Mengetahui pengaruh temperatur bahan bakar biodiesel dan solar terhadap BSFC mesin diesel.
- d. Mengetahui pengaruh temperatur bahan bakar biodiesel dan solar terhadap efisiensi termal mesin diesel.
- e. Memperoleh temperatur bahan bakar yang sesuai agar mesin diesel dapat menghasilkan tenaga optimum.
- f. Dapat membandingkan pengaruh temperatur bahan bakar antara solar dan biodiesel terhadap konsumsi bahan bakar serta BSFC mesin diesel.

Bab II

Tinjauan Pustaka

2.1 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel yang sering disebut solar (*light oil*) merupakan suatu campuran hidrokarbon yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur 200 °C–340 °C. Minyak solar yang sering digunakan adalah hidrokarbon rantai lurus *hetadecene* (C₁₆H₃₄) dan *alpha-methilnaphthalene* (Darmanto, 2006).

Sifat-sifat bahan bakar diesel yang mempengaruhi prestasi dari motor diesel antara lain: Penguapan (*volality*), residu karbon, viskositas, belerang, abu dan endapan, titik nyala, titik tuang, sifat korosi, mutu nyala dan *cetane number* (Mathur, Sharma, 1980).

a. Penguapan (*Volality*).

Penguapan dari bahan bakar diesel diukur dengan 90% suhu penyulingan. Ini adalah suhu dengan 90 % dari contoh minyak yang telah disuling, semakin rendah suhu ini maka semakin tinggi penguapannya.

b. Residu karbon.

Residu karbon adalah karbon yang tertinggal setelah penguapan dan pembakaran habis Bahan yang diuapkan dari minyak, diperbolehkan residu karbon maksimum 0,10 %.

c. Viskositas.

Viskositas minyak dinyatakan oleh jumlah detik yang digunakan oleh volume tertentu dari minyak untuk mengalir melalui lubang dengan diameter kecil tertentu, semakin rendah jumlah detiknya berarti semakin rendah viskositasnya.

d. Belerang.

Belerang dalam bahan bakar terbakar bersama minyak dan menghasilkan gas yang sangat korosif yang diembunkan oleh dinding-dinding silinder, terutama ketika mesin beroperasi dengan beban ringan dan suhu silinder menurun; kandungan belerang dalam bahan bakar tidak boleh melebihi 0,5 %-1,5 %.

e. Abu dan endapan dalam bahan bakar adalah sumber dari bahan mengeras yang mengakibatkan keausan mesin. Kandungan abu maksimal yang diijinkan adalah 0,01% dan endapan 0,05%.

f. Titik nyala.

Titik nyala merupakan suhu yang paling rendah yang harus dicapai dalam pemanasan minyak untuk menimbulkan uap terbakar sesaat ketika disinggungkan dengan suatu nyala api. Titik nyala minimum untuk bahan bakar diesel adalah 60 °C.

g. Titik Tuang

Titik tuang adalah suhu minyak mulai membeku/berhenti mengalir. Titik tuang minimum untuk bahan bakar diesel adalah -15 °C.

h. Sifat korosif.

Bahan bakar minyak tidak boleh mengandung bahan yang bersifat korosif dan tidak boleh mengandung asam basa.

i. Mutu penyalaan.

Nama ini menyatakan kemampuan bahan bakar untuk menyala ketika diinjeksikan ke dalam pengisian udara tekan dalam silinder mesin diesel. Suatu bahan bakar dengan mutu penyalaan yang baik akan siap menyala, dengan sedikit keterlambatan penyalaan bahan bakar dengan mutu penyalaan yang buruk akan menyala dengan sangat terlambat. Mutu penyalaan adalah salah satu sifat yang paling penting dari bahan bakar diesel untuk dipergunakan dalam mesin kecepatan tinggi. Mutu penyalaan bahan bakar tidak hanya menentukan mudahnya penyalaan dan penstarteran ketika mesin dalam keadaan dingin tetapi juga jenis pembakaran yang diperoleh dari bahan bakar. Bahan bakar dengan mutu penyalaan yang baik akan memberikan mutu operasi mesin yang lebih halus, tidak bising, terutama akan menonjol pada beban ringan.

j. Bilangan Cetana (*Cetane Number*).

Mutu penyalaan yang diukur dengan indeks yang disebut *Cetana*. Mesin dieselmemerlukan bilangan cetana sekitar 50. Bilangan *cetana* bahan bakar adalah

persen volume dari *cetana* dalam campuran *cetana* dan *alpha-metyl naphthalene*. *Cetana* mempunyai mutu penyalaaan yang sangat baik dan *alpha-metyl naphthalene* mempunyai mutu penyalaaan yang buruk. Bilangan *cetana* 48 berarti bahan bakar *cetana* dengan campuran yang terdiri atas 48% *cetana* dan 52% *alpha- metyl naphthalene*.

2.2 Bahan Bakar Biodiesel

Bangsa Indonesia umumnya adalah pengkonsumsi makanan yang menggunakan minyak goreng sebagai pengolah makanannya. Sisa penggorengan ini sudah tidak bisa dimanfaatkan lagi sebagai bahan makanan ataupun sebagai bahan-bahan yang lain. Biasanya sisa penggorengan tersebut dibuang tanpa ada manfaatnya. Bahan yang terbuang ini berdampak buruk terhadap lingkungan apabila jumlahnya cukup besar. Melihat jumlah yang cukup besar maka minyak jenis ini akan dapat bernilai apabila diolah dan dipergunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Minyak goreng bekas biasanya dari tumbuhan dan tercampur dengan lemak binatang , karena merupakan sisa penggorengan. Minyak goreng di Indonesia biasanya diperoleh dari berbagai sumber seperti kelapa sawit (CPO, PKO), kelapa dan lainnya. Minyak goreng dari CPO mempunyai fraksi padat stearin yang jumlahnya hingga 50%, fraksi cair atau olein yang biasanya dijual sebagai minyak goreng dan mengandung sedikit asam lemak bebas. Stearin yang padat biasanya untuk margarin dan untuk kue .

Minyak kelapa sawit mempunyai viskositas 43,1 cSt, setelah dijadikan metil ester (biodiesel) viskositasnya menjadi 8 - 6 cSt. Terjadi penurunan sekitar 82 – 86 %, dan mendekati batasan maksimal viskositas dari minyak solar dan minyak diesel, yaitu 5.8 – 6 cSt. Biodiesel ini dapat dicampur dengan minyak solar ataupun dengan minyak diesel (Hamid, yusuf, 2002). Biodiesel dapat disintesis dari minyak jelantah kelapa sawit melalui dua tahapan reaksi yaitu reaksi *esterifikasi* dan *transesterifikasi*. Dari 200 mL minyak jelantah yang digunakan diperoleh biodiesel sebanyak 157 mL atau 78,5 %. Uji kualitas terhadap biodiesel hasil sintesis yang meliputi uji sifat fisika dan sifat kimia memenuhi standar DIN V 51606 (Suirta, 2007).

Minyak goreng bekas dapat dijadikan produk biodiesel dengan cara perengkahan menggunakan katalis zeolite. Analisa nilai kalor bahan bakar yang diperoleh menunjukkan nilai 37.46 MJ/ kg yang telah mencukupi spesifikasi minimum dari bahan bakar solar (Buchori, 2009). Bahan bakar biodiesel mempunyai potensi besar untuk diaplikasikan sebagai bahan bakar pengganti solar dan flash point dari biodiesel lebih rendah dari pada solar. Nilai kalor bahan bakar biodiesel setara dengan solar (Darmanto, 2006).

Biodiesel produksi Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) telah diuji coba sejak tahun 2001 untuk mesin-mesin pertanian dan kendaraan transportasi. Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) juga telah melaksanakan Seminar Internasional Biodiesel di Medan pada tahun 2001. Pada akhir tahun 2004 telah dilakukan *road test* Medan- Jakarta dengan menggunakan B-10 pada kendaraan truk dan mobil (PPKS, 2006).

Hasil pengujian emisi gas buang mesin Diesel berbahan bakar biodiesel menunjukkan adanya partikel, hidrokarbon dan karbon monoksida yang lebih rendah pada saluran buang (Kristanto, Winaya, 2002). Dari hasil penelitian didapatkan emisi gas buang dari campuran 70 % volume solar dan 30 % volume methyl ester sawit (MES-30) dan dari campuran 70 % volume solar dan 30 % volume methyl ester jarak (MEJ-30) membentuk trend yang serupa dengan solar, menghasilkan emisi smoke, hidrokarbon, dan CO lebih rendah dibandingkan dengan solar (Sugiarto, 2005).

Viskositas bahan bakar nabati dapat diturunkan dengan menaikkan temperatur bahan bakar tersebut (Strong dkk, 2004). Adapun perbandingan antara biodiesel dan solar ditunjukkan dalam Tabel 2.1 serta Spesifikasi Biodiesel Sesuai Standar ASTM D 6751 ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Perbandingan biodiesel dan minyak diesel (Strong, et all, 2004).

Fuel Property	Minyak Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM PS 121
Fuel Composition	C10 - C21 HC	C12 - C22 FAME
Lower Heating Value. Btu/gal	131.295	117.093
Kinematic Viscosity.cSt @ 40 °C	1.3 – 4.1	1.9 – 6.0
Specific Gravity. kg/l @ 60 °F	0.85	0.88
Density. lb/gal @ 15 °C	7.079	7.328
Water. Ppm by wt	161	0.5 % max
Carbon. wt %	87	77
Hydrogen. wt %	13	12
Oxygen. By dif. wt %	0	11
Sulfur. wt %	0.5 max	0.0 – 0.0024
Boiling Point (°C)	188 - 343	182 - 338
Flash Point (°C)	60 - 80	100 -170
Cloud Point (°C)	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point (°C)	-35 - 15	-15 to 10
Cetane Number	40 - 66	48 - 65
Stoichiometric Air/Fuel Ratio wt./wt.	15	13.8
Bocle Scuff grams	3.600	>7.000
HF RR microns	685	314

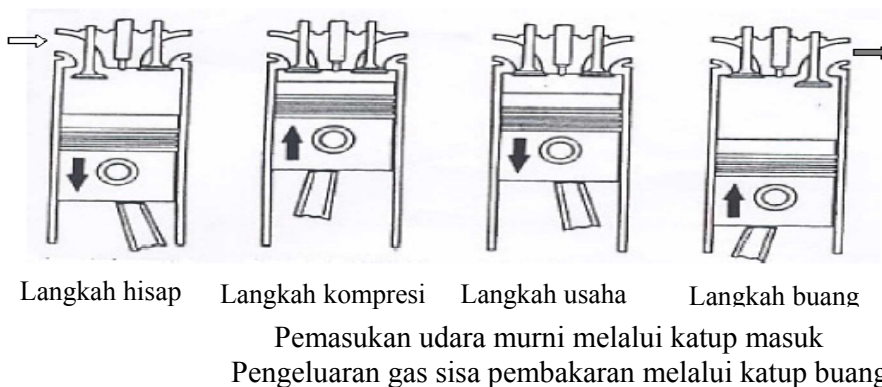
Tabel 2. 2. Spesifikasi biodisel sesuai standar ASTM D 6751 (Strong, et all, 2004).

Property	ASTM Method	Limits	Units
Flash point	D93	130 min	°C
Water & Sediment	D2709	0.050 max	% Volume
Kinematic Viscosity (40°C)	D445	1.9 – 6.0	mm ² /sec
Sulfated Ash	D874	0.020 max	% mass
Sulfur	D5453	0.05 max	% mass
Copper Stri Corrosion	D130	No.3 max	
Cetane	D613	47 min	
Cloud Point	D2500	Report	°C
Carbon Residue (100% Sample)	D4530	0.050 max	% mass
Acid Number	D664	0.80 max	Mg KOH/gm
Free Glycerin	D6584	0.020 max	% mass
Total Glycerin	D6584	0.240 max	% mass
Phosphorous Content	D4951	0.001max	% mass
Distillation Temperature Atmospheric Equivalent Temperature (90% Recovered)	D1160	360 max	°C
The carbon residue shall be run on the 100 % sample			

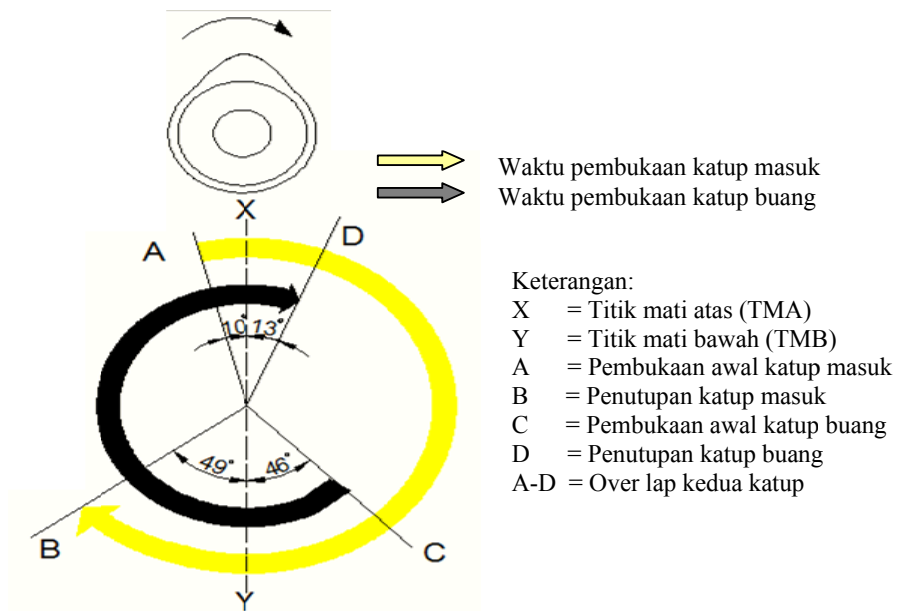
Berbagai permasalahan yang timbul pada penggunaan *straight vegetable oil* (SVO) dalam mesin diesel dan alternatif solusinya adalah dengan pemanasan bahan bakar sebelum memasuki sistem pompa injeksi bahan bakar. Cara ini merupakan satu solusi yang paling dominan untuk mengatasi permasalahan yang mungkin timbul pada penggunaan SVO secara langsung pada mesin diesel (Bozbas, 2005). Viskositas bahan bakar minyak nabati dapat diturunkan menggunakan pemanas dari gas buang, dan telah diuji coba dengan berbagai variasi campuran antara solar dan biodiesel untuk bahan bakar mesin diesel putaran konstan. Dari pengujian menunjukkan dengan menambah pemanas awal bahan bakar minyak nabati dapat menambah efisiensi termal mesin diesel (Kumar, 2009).

2.3 Motor Diesel

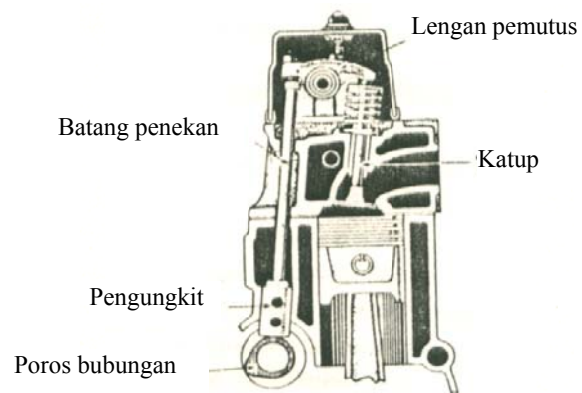
Pembakaran pada motor diesel terjadi karena bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam silinder terbakar dengan sendirinya akibat tingginya suhu udara kompresi dalam ruang bakar. Sehingga tekanan dalam silinder akan naik dengan cepat dan akan mendorong piston bergerak dari titik mati atas ke titik mati bawah. Adapun siklus kerja motor diesel 4 langkah seperti terlihat pada Gambar 2.1, sedangkan diagram kerja katup seperti terlihat Gambar 2.2 dan skema mekanis katup seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.1. Siklus kerja motor diesel 4 langkah (Soenarto, Furuhana, 1985; Petrovsky, 1974)

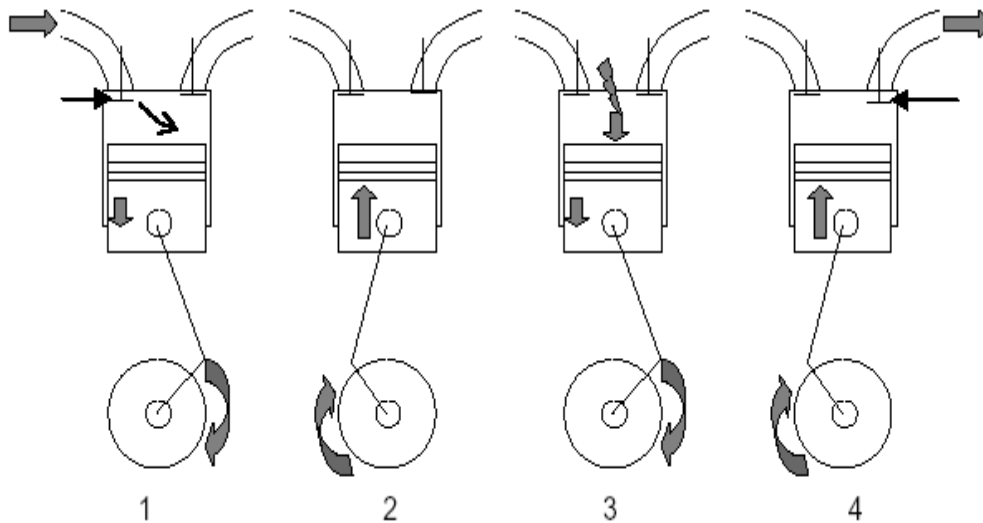


Gambar 2.2. Diagram kerja katup motor diesel 4 langkah (Soenarto, Furuhana, 1985)



Gambar 2.3. Skema mekanisme katup motor diesel 4 langkah (Challen, Baranescu, 1999)

2.3.1 Cara Kerja Motor Diesel 4 Langkah



Gambar 2.4. Langkah kerja motor diesel 4 langkah (Arismunandar, 2002; Soenarta, Furuham, 1985)

Urutan langkah kerja motor diesel 4 langkah ditunjukkan seperti Gambar 2.4 sebagai berikut:

1). Langkah Hisap.

Piston (torak) bergerak dari TMA ke TMB, katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara murni terhisap masuk ke dalam silinder diakibatkan oleh dua hal. Pertama, karena kevakuman ruang silinder akibat semakin memperbesar volume karena gerakan torak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), dan kedua, karena katup masuk (hisap) yang terbuka. Gambar 2.2 (diagram kerja katup motor diesel 4 langkah), tanda panah putih melambangkan derajat pembukaan katup hisap. Katup hisap mulai membuka beberapa derajat sebelum torak (piston) mencapai TMA (dalam contoh: 10° sebelum TMA) dan menutup kembali beberapa derajat TMB (dalam contoh: 49° setelah TMB)

2). Langkah Kompresi.

Poros engkol berputar, kedua katup tertutup rapat, piston (torak) bergerak dari TMB ke TMA. Udara murni yang terhisap ke dalam silinder saat langkah hisap, dikompresi hingga tekanan dan suhunya naik mencapai 35 atm dengan temperatur 500 °-800 °C (pada perbandingan kompresi 20 : 1). Gambar 2.2 menunjukkan katup hisap baru menutup kembali setelah beberapa derajat setelah TMB (dalam contoh : 49 ° setelah TMB). Dengan kata lain, langkah kompresi efektif baru terjadi setelah katup masuk (hisap) benar-benar tertutup.

3). Langkah Usaha (pembakaran).

Poros engkol terus berputar, beberapa derajat sebelum torak mencapai TMA, injektor (penyemprot bahan bakar) menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar (di atas torak / piston). Bahan bakar yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi (150-300 atm) akan membentuk partikel-partikel kecil (kabut) yang akan menguap dan terbakar dengan cepat karena adanya temperatur ruang bakar yang tinggi (500-800°C). Pembakaran maksimal tidak terjadi langsung saat bahan bakar diinjeksikan, tetapi mengalami keterlambatan pembakaran (ignition delay). Dengan demikian meskipun saat injeksi terjadi sebelum TMA tetapi tekanan maksimum pembakaran tetap terjadi setelah TMA akibat adanya keterlambatan pembakaran (ignition delay). Proses pembakaran ini akan menghasilkan tekanan balik kepada piston (torak) sehingga piston akan terdorong ke bawah beberapa saat setelah mencapai TMA sehingga bergerak dari TMA ke TMB. Gaya akibat tekanan pembakaran yang mendorong piston ke bawah diteruskan oleh batang piston (torak) untuk memutar poros engkol. Poros engkol inilah yang berfungsi sebagai pengubah gerak naik turun torak menjadi gerak putar yang menghasilkan tenaga putar pada motor diesel.

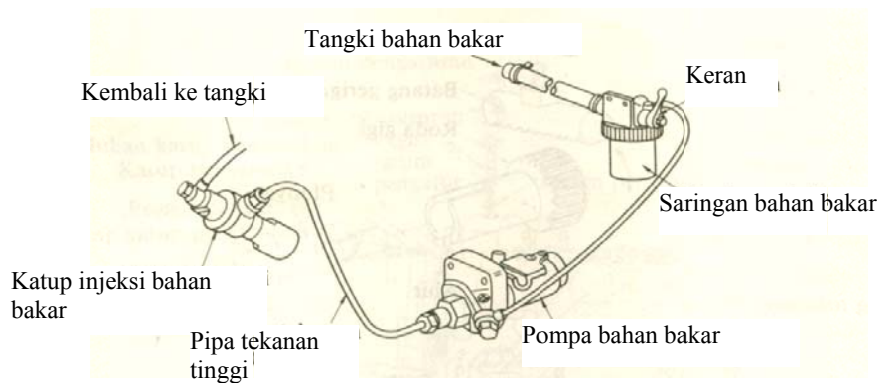
4). Langkah Pembuangan

Katup buang terbuka dan piston bergerak dari TMB ke TMA. Karena adanya gaya kelembaman yang dimiliki oleh roda gaya (fly wheel) yang seporos dengan poros engkol, maka saat langkah usaha berakhir, poros engkol tetap berputar. Hal tersebut menyebabkan torak bergerak dari TMB ke TMA. Karena katup buang terbuka, maka

gas sisa pembakaran terdorong keluar oleh gerakan torak dari TMB ke TMA. Setelah langkah ini berakhir, langkah kerja motor diesel 4 langkah (4 tak) akan kembali lagi ke langkah hisap. Proses yang berulang-ulang tersebut diatas disebut dengan siklus diesel.

2.3.2 Sistem Bahan Bakar.

Secara sederhana sistem bahan bakar pada motor diesel berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar ke ruang bakar dengan takaran yang sesuai dengan kerja motor diesel tersebut. Komponen utama dari sistem bahan bakar motor diesel 4 langkah silinder tunggal (horizontal) seperti Gambar 2.5 meliputi: (a) tangki bahan bakar, (b) keran, (c) saringan bahan bakar, (d) pompa injeksi bahan bakar, (e) pipa penyalur dan pipa tekanan tinggi serta (f) injector (katup injeksi bahan bakar).



Gambar 2.5. Skema sistem bahan bakar diesel penggerak generator (Soenarta, Furuhama,1985)

Adapun fungsi dari masing-masing komponen sistem bahan bakar tersebut diatas meliputi:

- a). Tangki bahan bakar berfungsi sebagai tempat penampungan bahan bakar motor diesel.
- b). Keran berfungsi untuk membuka dan menutup aliran bahan bakar dari tangki ke saringan bahan bakar.
- c). Saringan bahan bakar berfungsi untuk menyaring kotoran atau partikel-partikel kecil yang mengalir bersama bahan bakar, agar bahan bakar yang dialirkan ke pompa injeksi bahan bakar bersih.
- d). Pompa injeksi bahan bakar berfungsi untuk menaikkan tekanan bahan bakar, sehingga bahan bakar mampu membuka katup injeksi (melawan pegas penekan katup). Akibatnya proses penyemprotan bahan bakar dalam silinder berlangsung sempurna (bahan bakar berbentuk kabut/partikel kecil).

- e). Pipa penyalur (pipa tekanan tinggi) berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar dari pompa injeksi ke nosel.
- f). Injektor (katup injeksi bahan bakar) berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar bertekanan tinggi ke dalam ruang bakar, sehingga proses pembakaran (langkah usaha) dapat berlangsung dengan baik.

Adapun cara kerja sistem bahan bakar pada motor diesel secara umum adalah sebagai berikut: Ketika katup bahan bakar diputar ke posisi membuka maka bahan bakar akan mengalir ke pompa injeksi dengan melalui saringan bahan bakar terlebih dahulu. Saat mesin mulai berputar, pompa injeksi juga turut bekerja atau memompakan bahan bakar ke injektor melalui pipa tekanan tinggi. Tekanan bahan bakar yang tinggi mengakibatkan pegas penahan katup nosel di dalam injektor terdesak (membuka nosel) dan bahan bakar terinjeksikan ke dalam ruang bakar. Setelah proses injeksi bahan bakar selesai, maka katup nosel akan menutup kembali karena adanya tekanan pegas pengembali. Bahan bakar (solar / biodiesel) yang berlebihan pada injektor kemudian dialirkan kembali ke tangki bahan bakar berkat adanya relief (solenoid) valve dan saluran pengembali. Dengan demikian tidak terjadi pemborosan bahan bakar, karena bahan bakar yang tersisa / berlebih saat peristiwa penyemprotan bahan bakar dikembalikan lagi ke tangki bahan bakar. Adapun bagian-bagian nosel seperti Gambar 2.6.

1. Pemasukan
2. Badan
3. Baut pengatur tekanan pegas
4. paking
5. nosel
6. Baut
7. Saringan
8. lubang pengembalian
9. Paking
10. Saluran tekan
11. Pegas
12. Pena tekan
13. Tempat pena

Gambar 2.6. Bagian-bagian nosel (Challen, Baranescu, 1999)

2.3.3 Pengabutan bahan bakar

Proses pengabutan bahan bakar kedalam silinder ditunjukkan seperti Gambar 2.7 untuk menghitung jumlah bahan bakar yang dikabutkan nosel kedalam silinder motor diesel dan kecepatannya menurut Jung dan Assanis , adalah sebagai berikut:

$$m_i = C_D A_n \sqrt{2 \rho_1 \Delta P} \quad (2.1)$$

sedangkan;

$$m_i = \rho_i A_n U_i \quad (2.2)$$

2.1. Jung, D., Assanis, D., (2001), Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model for Cycle Simulation Studies of Engine Performance and Emissions ,The University of Michigan, 2001-01-1246, hal 4

2.2. Ibid hal 4

di mana;

C_D = discharge coefficient $\rightarrow 0,6 < C_D < 1$

A_n = luas penampang lubang nosel

ρ_i = berat jenis bahan bakar

ΔP = perbedaan tekanan

m_i = jumlah bahan bakar

u_i = kecepatan bahan bakar

Kecepatan bahan bakar yang keluar nosel

$$u_i = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho_i}} \quad (2.3)$$

Kekentalan (Viskositas)

Menurut Victor L Streeter viskositas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Viskositas kinematik}(\gamma) = \frac{\text{viskositas dinamik}(\mu)}{\text{rapat massa}(\rho)} \quad (2.4)$$

$$\text{Viskositas dinamik}(\mu) = \frac{\tau}{dv/dy} \quad (2.5)$$

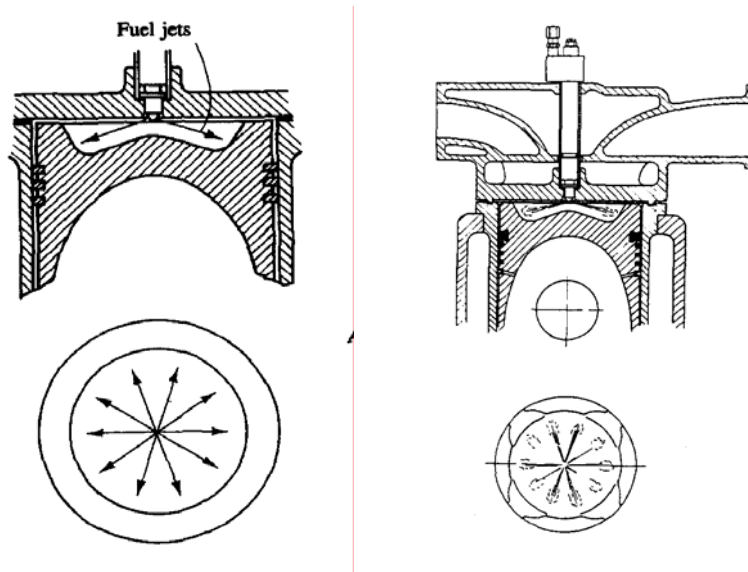
di mana;

τ = tegangan permukaan zat cair

2.3. Ibid hal 4

2.4. Streeter, V., Wylie, B., (1979), Fluid Mechanics, McGraw-Hill International Book Company, hal 10

2.5. Ibid hal 9

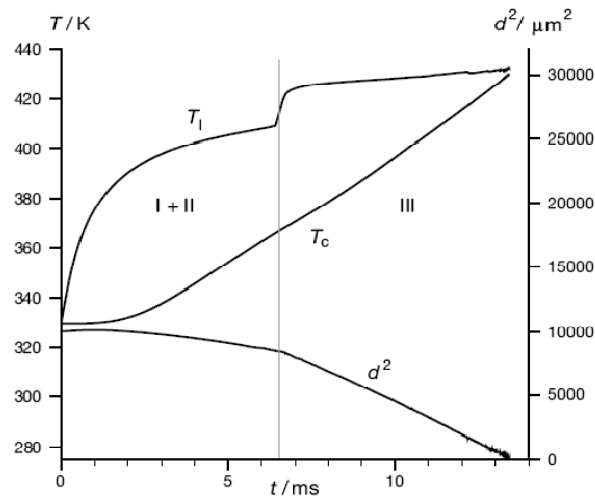


Gambar 2.7. Proses pengabutan nosel dalam silinder (Heywood, 1988)

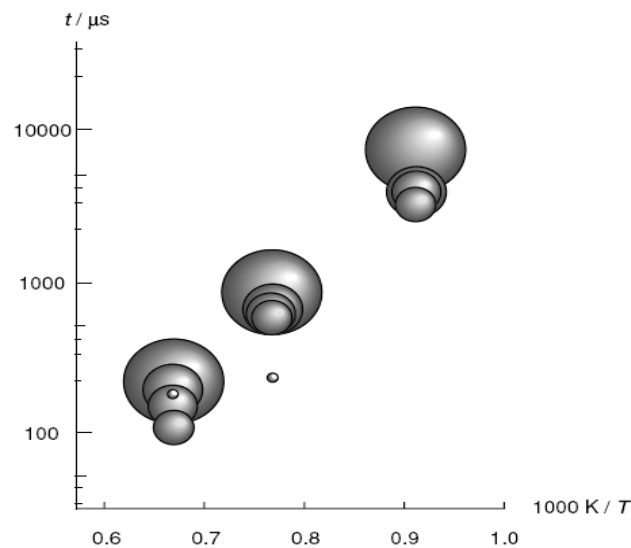
2.3.4 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran spontan adalah pembakaran dimana bahan mengalami oksidasi perlahan-lahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak dilepaskan, akan tetapi dipakai untuk menaikkan suhu bahan secara pelan-pelan sampai mencapai suhu nyala. Menurut Droplet tahapan terjadinya pembakaran disimulasikan seperti Gambar 2.8 melalui 3 tahap yaitu:

1. Pemanasan bintik (butiran)
2. Penguapan bintik (butiran)
3. Pembakaran bintik (butiran)



Gambar 2.8. Simulasi karakteristik parameter dalam pemanasan penguapan dan pembakaran (Warnatz, et all, 2006)



Gambar 2.9. Waktu tunda penyalan untuk droplet methanol dalam udara panas (hubungan temperatur gas dan ukuran diameter Droplet (dari 10 μm sampai 100 μm) (Warnatz, et all, 2006)

Dari Gambar 2.9 menunjukkan bahwa pada temperatur yang sama, diameter bintang yang terkecil mempunyai waktu tunda penyalan (*Ignition delay times*) yang paling cepat, atau dapat dikatakan bahwa bila semprotan bahan bakar dari nosel dapat berbentuk bintang – bintang yang kecil maka waktu pembakaran yang terjadi akan semakin cepat

2.3.4.1 Diameter Droplet

Waktu tunda penyalaan (*Ignition delay times*) dipengaruhi oleh besar kecilnya diameter droplet dan menurut Strehlow diameter droplet dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$d_{\max} = \frac{C \sigma}{\rho v^2} \quad (2.4)$$

di mana;

d_{\max} = diameter droplet

C = konstante Prandtl=15,4

σ = tegangan permukaan bahan bakar

ρ = berat jenis bahan bakar

v = kecepatan bahan bakar

$$v = \left(\frac{2 \Delta p C_D}{\rho} \right)^{1/2} \quad (2.5)$$

di mana;

ΔP = penurunan tekanan pada mulut nosel

C_D = koefisien saluran nosel $\rightarrow 0,6 < C_D < 1$

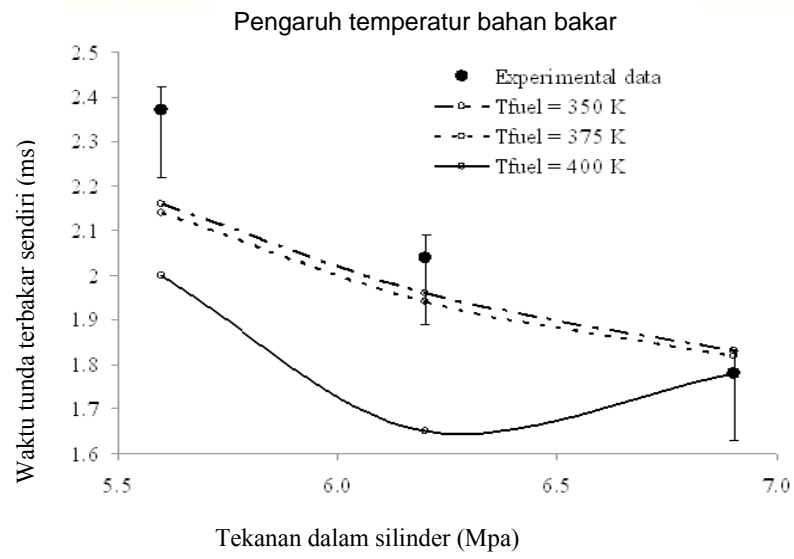
ρ = berat jenis bahan bakar

2.3.4.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Pembakaran Spontan

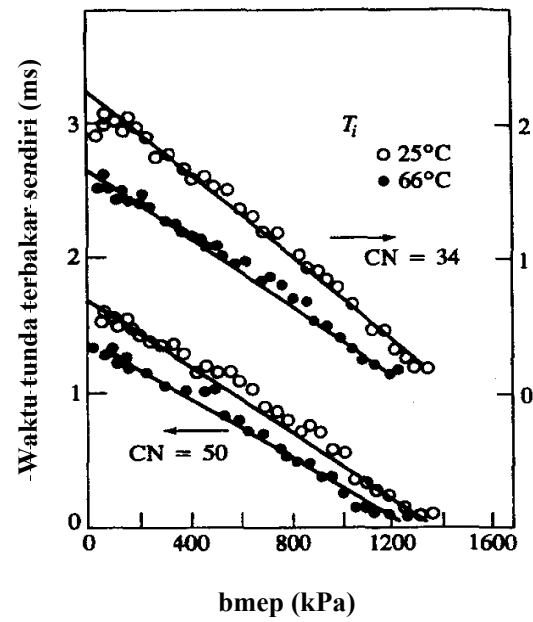
Menurut Sazhin pembakaran spontan dipengaruhi oleh temperatur bahan bakar dan tekanan di dalam silinder pembakaran seperti terlihat pada Gambar 2.10. Sedangkan Heywood dalam bukunya yang berjudul *Internal Combustion Engine Fundamentals* menerangkan bahwa pembakaran spontan disamping dipengaruhi oleh angka cetana, tekanan efektif, juga dipengaruhi oleh temperatur bahan bakar seperti terlihat pada Gambar 2.11.

2.4 Strehlow, R., (1985), *Combustion Fundamentals*, McGraw-Hill, New York, hal 142

2.5 Ibid hal 143



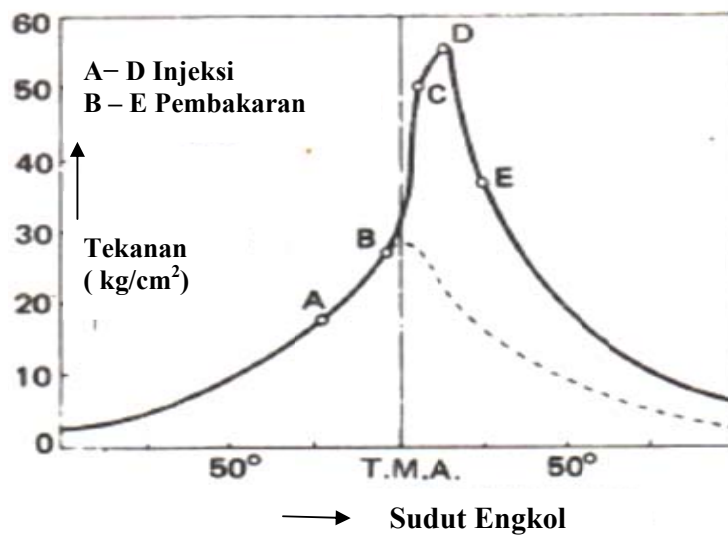
Gambar 2.10. Pengaruh temperatur terhadap pembakaran spontan (Sazhin, et all, 2005)



Gambar 2.11. Pengaruh angka setana dan temperatur terhadap pembakaran spontan (Heywood, 1988)

2.3.4.3 Sistem Pembakaran Mesin Diesel

Menurut Arismunandar proses pembakaran yang terjadi pada motor diesel seperti terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Proses pembakaran mesin diesel (Maleev, 1973)

Proses pembakaran dibagi menjadi 4 periode seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, adapun urutannya sebagai berikut:

1. Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (*ignition delay*) (A -B)

Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, karena partikel-partikel bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara di dalam silinder agar mudah terbakar.

2. Periode 2: Perambatan api (B-C)

Pada periode 2 ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder naik. Periode ini sering disebut periode pembakaran letup.

3. Periode 3: Pembakaran langsung (C-D)

Akibat nyala api dalam silinder, maka bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar. Pembakaran langsung ini dapat dikontrol dari jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga periode ini sering disebut periode pembakaran dikontrol.

4. Periode 4: Pembakaran lanjut (D-E)

Injeksi berakhir di titik D, tetapi bahan bakar belum terbakar semua. Jadi walaupun injeksi telah berakhir, pembakaran masih tetap berlangsung. Bila pembakaran lanjut terlalu lama, temperatur gas buang akan tinggi menyebabkan efisiensi panas turun.

Bab III

Metode Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu uji viskositas solar dan biodiesel dengan variasi temperatur, dan uji performa mesin diesel berbahan bakar biodiesel. Kedua penelitian tersebut dilakukan secara eksperimental. Penelitian uji viskositas solar dan biodiesel dilaksanakan di laboratorium Operasi Teknik Kimia PSDIII Teknik Kimia Undip, sedangkan uji performa mesin diesel dilaksanakan di laboratorium Energi PSDIII Teknik Mesin Undip.

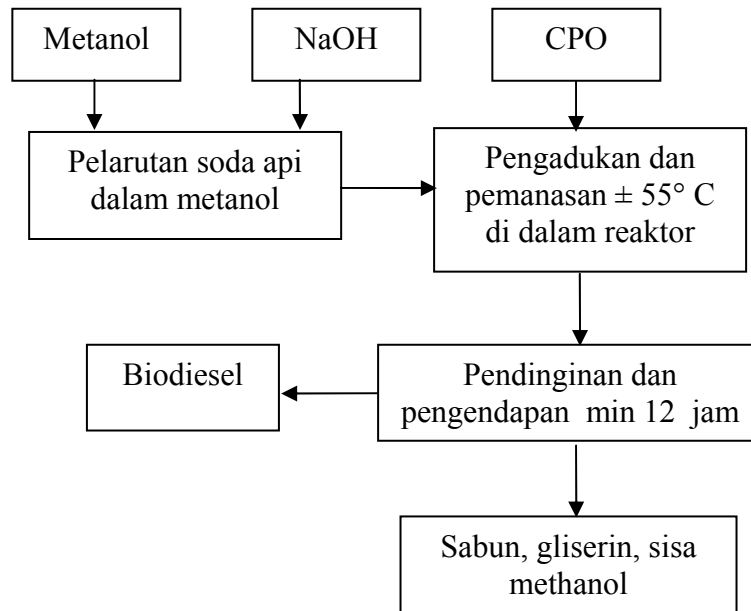
Untuk mencapai tujuan penelitian, kegiatan penelitian dibagi menjadi tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan bahan.
2. Uji massa jenis minyak solar dan biodiesel dengan variasi temperatur.
3. Uji viskositas minyak solar dan biodiesel dengan variasi temperatur.
4. Uji performa mesin diesel berbahan bakar biodiesel.

3.1 Persiapan Bahan

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah minyak solar dan biodiesel. Minyak solar, dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Pertamina, diperoleh dari SPBU. Sedangkan biodiesel diproduksi sendiri dengan cara transesterifikasi minyak nabati secara kimiawi dengan katalis basa. Bahan-bahan pembuatan biodiesel meliputi minyak sawit, NaOH, dan metanol. Adapun pembuatan biodiesel diuraikan pada paragraf berikut ini.

Biodiesel diproduksi dengan cara mencampurkan minyak sawit, NaOH dan metanol dalam lingkungan bertemperatur 55°C dengan perbandingan 1 liter minyak sawit, 200 ml metanol, dan 3,5 gram NaOH (Hamid, 2002). Alur proses pembuatan biodiesel seperti terlihat pada Gambar 3.1.

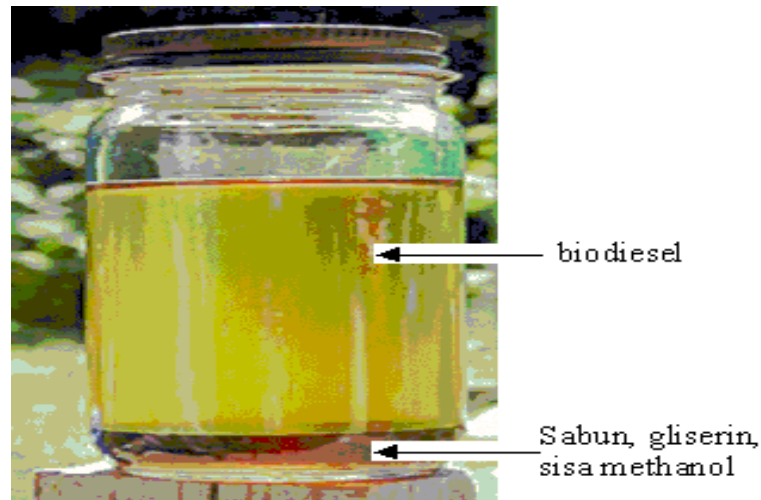


Gambar 3.1. Alur proses pembuatan biodiesel

Proses pembuatan biodiesel diawali dengan pelarutan NaOH kedalam metanol menjadi sodium metoksida. Larutan tersebut dimasukkan kedalam reaktor dan dicampur dengan minyak sawit. Di dalam reaktor, campuran sodium metoksida dengan minyak sawit dipanaskan pada temperatur 55 °C dan diaduk selama 15-20 menit. Kemudian campuran dituang kedalam suatu wadah serta didiamkan (*settling*) selama minimum 12 jam.

Setelah mencapai waktu *settling*, campuran tersebut membentuk tiga lapisan yaitu lapisan atas dengan warna kuning jernih adalah biodiesel, lapisan tengah berwarna putih adalah sabun dan sisa metanol, dan lapisan bawah yang berwarna coklat adalah gliserin. Ketiga lapisan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2. Biodiesel dipisahkan dari campuran dengan cara dituang tanpa menyertakan lapisan tengah dan bawah.

Untuk memenuhi syarat sebagai bahan bakar mesin diesel, sifat-sifat biodiesel diuji. Standar sifat-sifat biodiesel dan pengujiannya ditetapkan dengan ASTM D6751.



Gambar 3.2. Hasil pengendapan dari pembuatan biodiesel

Sifat-sifat biodiesel yang diuji antara lain:

- a. Densitas (massa jenis) dalam g/cm^3
- b. Viskositas kinematik dalam mm^2/sec
- c. Kandungan energi atau kalor pembakaran dalam cal/g

Peralatan yang digunakan untuk menguji atau mengukur densitas dan viskositas kinematik adalah hidrometer dan viskometer. Pengujian densitas dan viskositas kinematik, yang merupakan bagian dari penelitian ini, akan diuraikan pada paragraf berikutnya.

Pengujian kalor pembakaran yang terkandung dalam biodiesel dilakukan dengan bom kalori meter. Kalor pembakaran diukur dengan cara menghitung perubahan panas sensibel pada air yang berada di dalam reaktor bom kalori meter. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali kemudian ketiga harga tersebut dirata-rata untuk digunakan sebagai data pengujian.

3.2 Uji Massa Jenis Minyak Solar dan Biodiesel dengan Variasi Temperatur

Massa jenis bahan bakar solar dan biodiesel diukur dengan variasi temperatur sebagai berikut: solar pada temperatur 33°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C, sedangkan biodiesel pada temperatur 33°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C dan 90°C. Alat yang digunakan untuk pengukuran tersebut adalah hidrometer. Pengukuran massa jenis dilakukan dengan cara mencelupkan hidrometer ke dalam bahan bakar, seperti terlihat pada Gambar 3.3, hingga tenggelam dengan kedalaman tertentu. Skala pada hidrometer yang bersesuaian dengan permukaan bahan bakar menyatakan nilai *specific gravity* (SG). Nilai-nilai SG pada setiap pengukuran dicatat dan dikonversi menjadi nilai massa jenis.



Gambar 3.3. Pengukuran densitas dengan hidrometer

3.3 Uji Viskositas Minyak Solar dan Biodiesel dengan Variasi Temperatur

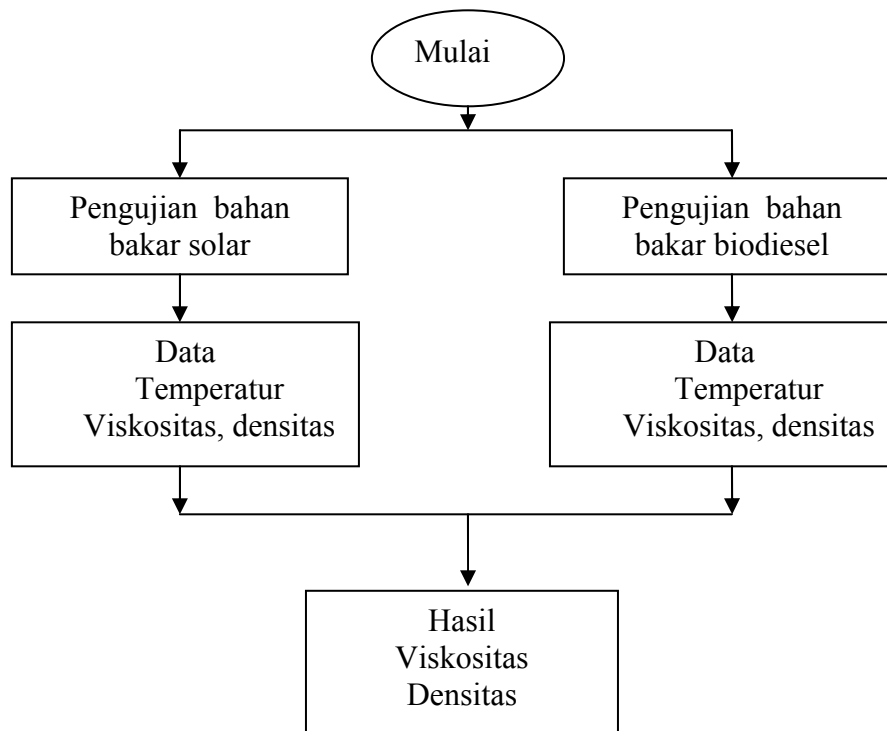
Viskositas kinematik bahan bakar solar dan biodiesel diukur menggunakan viskometer, seperti terlihat Gambar 3.4. Besaran yang terukur pada viskometer adalah kecepatan aliran bahan bakar melalui alat tersebut. Penentuan nilai viskositas kinematik dilakukan dengan cara membandingkan kecepatan aliran bahan bakar dengan

kecepatan aliran cairan pembanding, pada viskometer yang sama, yang telah diketahui viskositas kinematiknya. Viskositas bahan bakar diuji dengan variasi temperatur sebagai berikut: solar pada temperatur 33°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C, sedangkan biodiesel pada temperatur 33°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, dan 90°C.



Gambar 3.4. Pengukuran viskositas dengan viskometer

Alur uji densitas dan viskositas kinematik solar dan biodiesel tersaji pada Gambar 3.5. Pada setiap variasi temperatur, pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali kemudian dirata-rata. Nilai rata-rata ini digunakan sebagai data pengujian.



Gambar 3.5. Diagram alir proses pengujian bahan bakar

3.4 Uji Performa Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel

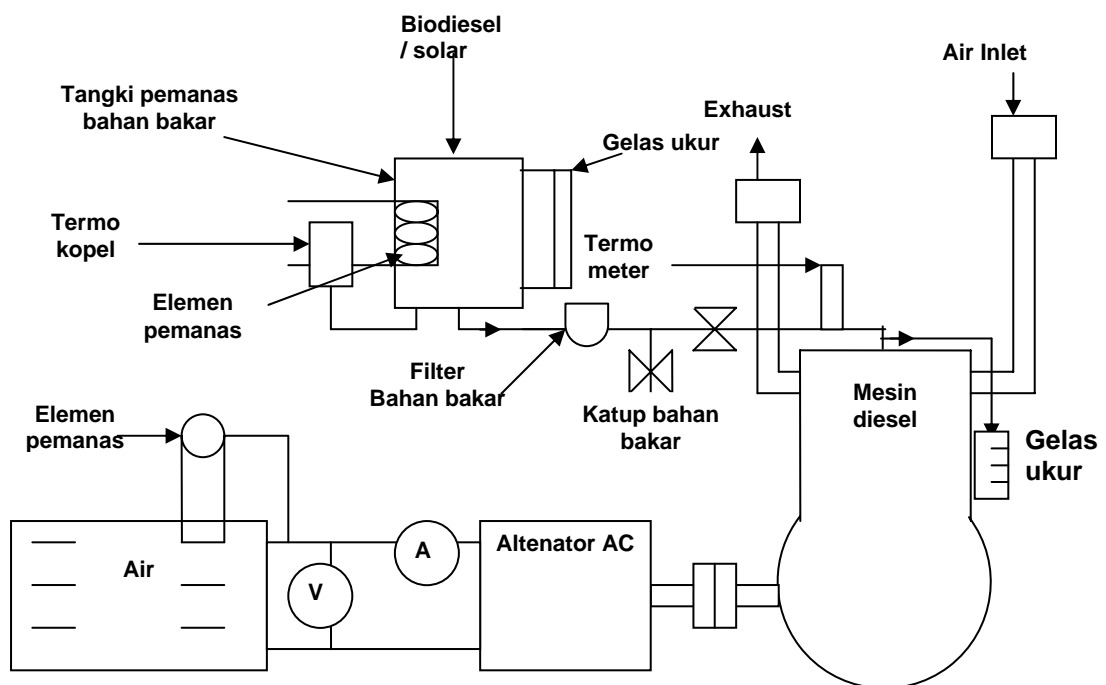
Uji performa mesin diesel berbahan bakar biodiesel dilakukan dengan cara menentukan indikator performa mesin yaitu konsumsi bahan bakar spesifik (*brake specific fuel consumption-bsfc*) dan efisiensi termal. Indikator performa tersebut dibandingkan dengan indikator performa mesin diesel berbahan bakar solar.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini adalah mesin diesel Dong Feng satu silinder putaran konstan, yang dilengkapi dengan alternator AC. Skema alat uji dapat dilihat pada Gambar 3.6. Sedangkan spesifikasi mesin diesel dan alternator AC adalah:

Mesin Diesel Merk	: Dong Feng
Model	: S 1110 T S1110
Jumlah silinder	: 1 buah, horizontal

Mekanis katup : OHV, 2 katup
 Diameter x langkah : 110 mm x 115 mm
 Tenaga maksimum : 20 HP / 2200 rpm
 Sistem pembakaran : direct injection
 Perbandingan kompresi : 17 : 1

Alternator tipe : ST – 7,5
 P : 7,5 kW
 Putaran : 1500 rpm
 Cos \emptyset : 1
 I : 32,6 A
 V : 230 V
 H : 50 Hz
 Phas : 1 phase



Gambar 3.6. Skema pengujian performa mesin diesel

Untuk keperluan pengujian dan pengambilan data, mesin diesel dilengkapi dengan komponen-komponen:

1. Tangki pemanas bahan bakar
2. Elemen pemanas bahan bakar
3. Termokopel
4. Filter bahan bakar
5. Katup bahan bakar
6. Termometer
7. Gelas ukur
8. Amperemeter dan voltmeter
9. Elemen pemanas air

Masing-masing komponen mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Tangki pemanas bahan bakar berfungsi untuk menampung dan memanaskan bahan bakar. Tangki ini dilengkapi dengan gelas ukur yang berfungsi untuk mengukur pemakaian bahan bakar.
2. Termokopel berfungsi untuk mengatur dan menjaga temperatur bahan bakar pada nilai yang ditetapkan.
3. Filter bahan bakar berfungsi untuk menyaring bahan bakar biodiesel yang disuplai ke mesin diesel.
4. Katup bahan bakar berfungsi untuk mengatur aliran bahan bakar ke mesin diesel.
5. Termometer berfungsi untuk mengukur temperatur bahan bakar.
6. Gelas ukur pada mesin berfungsi untuk mengukur volume sebagian bahan bakar yang kembali dari nosel mesin diesel.
7. Amperemeter dan voltmeter berfungsi untuk mengukur arus dan tegangan yang dibangkitkan alternator AC. Arus dan tegangan ini digunakan untuk menghitung tenaga yang dihasilkan oleh mesin diesel tersebut.

8. Elemen pemanas air berfungsi untuk memvariasikan beban alternator AC. Beban tersebut merupakan beban mesin diesel karena mesin diesel dikopel dengan alternator AC.

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini tidak dimodifikasi (masih standard). Untuk meminimalkan perbedaan suhu udara pembakar, maka waktu pelaksanaan pengambilan data dilaksanakan pada siang hari antara pukul 09.00 sampai pukul 15.30 dan tidak terjadi turun hujan. Oleh karena keterbatasan alat ada beberapa faktor yang mempengaruhi pembakaran dianggap konstan. Adapun faktor tersebut adalah: tekanan penyemprotan bahan bakar, pusaran udara, kepadatan dan suhu udara, perbandingan udara lebih, saat penyemprotan bahan bakar, suhu udara isap dan suhu air pendingin.

Untuk mendapatkan indikator performa mesin maka langkah-langkah penelitian ditetapkan sebagai berikut:

1. Persiapan pengujian.
2. Langkah-langkah pengujian dan pengambilan data.
3. Pengukuran daya.
4. Perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik.
5. Perhitungan efisiensi termal

3.4.1 Persiapan Pengujian

Persiapan pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi mesin yang digunakan sebagai alat uji. Persiapan tersebut meliputi pemeriksaan komponen-komponen mesin diesel seperti minyak pelumas, saringan minyak pelumas, saringan bahan bakar, tangki air pendingin mesin, dan tangki air.

3.4.2 Langkah-Langkah Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dimulai dengan menghidupkan mesin diesel pada putaran 1500 rpm (menyesuaikan tegangan yang terlihat pada generator 220 volt) kemudian ditahan selama ± 25 menit untuk mendapatkan suhu kerja normal mesin. Setelah mesin beroperasi normal, pengambilan data dimulai. Pengambilan data dilakukan dengan cara melihat alat ukur dan mencatat pada lembar pencatatan yang telah disiapkan.

Variabel bebas pada pengujian ini adalah temperatur solar, temperatur biodiesel, dan beban. Temperatur solar divariasikan pada 33 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C dan 70°C, sedangkan temperatur biodiesel divariasikan pada 33 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70°C, 80°C dan 90 °C. Variasi beban alternator AC ditetapkan melalui variasi daya pemanas air yaitu sebesar 1000 watt, 2000 watt, 3000 watt, 4000 watt, 5000 watt dan 6000 watt. Sedangkan nilai beban pada alternator AC diamati dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter.

Variabel terikat pada uji performa ini adalah konsumsi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan selisih pembacaan level bahan bakar pada gelas ukur, yang terpasang pada tangki bahan bakar, per satuan waktu. Pengukuran dan pencatatan konsumsi bahan bakar pada setiap variasi dilakukan sebanyak tiga kali, kemudian nilai ketiganya dirata-rata. Diagram alir uji performa mesin dapat dilihat pada Gambar 3.7.

3.4.3 Pengukuran Daya

Daya dari mesin yang disambungkan ke generator a-c fasa tunggal menurut Maleev dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$N_b = \frac{E \times I \times P_f}{746 C_g} \quad (3.1)$$

keterangan:

N_b = daya mesin (HP)

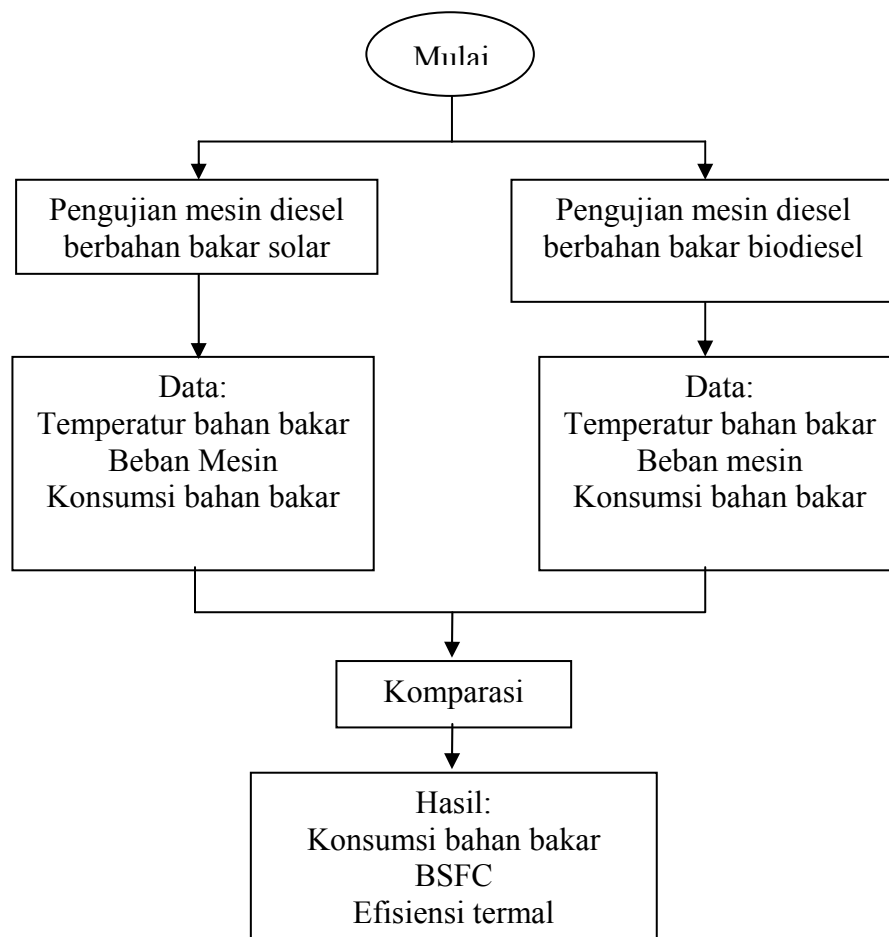
E = voltmeter (Volt]

I = ampermeter (Amp)

P_f = faktor daya untuk fasa tunggal = 1

C_g = efisiensi generator listik untuk mesin kecil dibawah 50 kva = 0,87 % - 0,89 %

Untuk generator yang menggunakan sabuk V, daya yang dihasilkan dibagi dengan C_b
= 0,9



Gambar 3.7. Diagram alir proses pengujian mesin diesel.

3.4.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik (*brake specific fuel consumption-bsfc*) didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin untuk menghasilkan tenaga satu HP (kW) selama satu jam. Bsfk ini merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu mesin, yang biasanya diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya.

Menurut Mathur, bsfc dihitung dengan persamaan:

$$\text{bsfc} = \frac{\text{konsumsi bahan bakar [kg/jam]}}{\text{daya mesin [kw]}} \quad (3.2)$$

3.4.5 Perhitungan Efisiensi Termal

Efisiensi termal didefinisikan sebagai efisiensi pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi kerja mekanis. Efisiensi termal (η_{th}), menurut Mathur, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{N_b \times 632,5}{m_f \times CV} \quad (3.3)$$

keterangan:

N_b = daya mesin (HP)

m_f = jumlah konsumsi bahan bakar (kg/jam)

CV = nilai kalor bahan bakar (kcal/kg)

3.2 Mathur, M. L., Sharma R. P., (1980), A Course Internal Combustion Engine, Dhanpat Rai & Sons, 1682, NAI SARAK, DELHI- 110006, hal 519

3.3 Ibid, hal 520

Bab IV

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik-grafik yang memperlihatkan hubungan antara variabel terikat atau parameter yang dikaji sebagai fungsi dari perubahan variabel bebas. Perubahan parameter dijelaskan melalui analisis yang didasarkan pada teori dan hasil penelitian lain yang mendukung.

Urutan penyajian dan pembahasan hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pengujian nilai kalor minyak solar dan biodiesel.
2. Uji massa jenis dan viskositas minyak solar dan biodiesel dengan variasi temperatur.
3. Uji performa mesin diesel berbahan bakar biodiesel.

4.1 Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar Solar dan Biodiesel.

Nilai kalor bahan bakar solar dan biodiesel diuji dengan bom kalorimeter. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Data Hasil Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar Solar dan Biodiesel

No	Jenis Bahan Bakar	No Pengujian	Nilai kalor [cal/g]	Nilai Kalor rata-rata [cal/g]
I	Solar	1	10773,30	10731,067
		2	10728,10	
		3	10691,80	
II	Biodiesel	1	9563,75	9513,233
		2	9548,84	
		3	9427,11	

Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai kalor bahan bakar biodiesel lebih rendah 11,3% daripada nilai kalor bahan bakar solar. Pengujian nilai kalor biodiesel berturut-turut adalah 9563,75 cal/g, 9548,84 cal/g, dan 9427,11 cal/g. Nilai kalor rata-rata bahan bakar biodiesel adalah 9513,233 cal/g. Sedangkan nilai kalor bahan bakar solar dari hasil pengujian adalah 10773,30 cal/g, 10728 cal/g, dan 10691,80 cal/g, dengan nilai rata-rata sebesar 10731,067 cal/g.

Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa nilai kalor biodiesel lebih rendah dari solar. Nilai kalor biodiesel dari minyak bunga matahari sebesar 9307,07 cal/g (Kaufman,1984) sedangkan dari minyak jarak pagar sebesar 8932,91 cal/g (Pramanik, 2003). Perbedaan nilai kalor ini dikarenakan adanya perbedaan molekul pembentuk senyawa minyak nabati, yang digunakan sebagai bahan bakunya, seperti asam palitik, asam stearik, dan asam oleik. Asam lemak tersebut berkontribusi pada nilai kalor biodiesel. Beberapa nilai kalor biodiesel dari minyak sawit yang dikaji oleh beberapa peneliti lain dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan densitas, viskositas kinematik dan nilai kalor dari beberapa peneliti sebelumnya.

No	Nama	Hasil Penelitian	Kumar 2008	Lee 2004	Sugiarto 2005	Strong 2004
1	Densitas [g/cm ³]	0,868	0,971	0,870	0,862	0,880
2	Viskositas kinematik @ 40 °C [cSt]	4,23	5,05	4,5	5,55	1,9 - 6
3	Nilai kalor [cal/g]	9513,23	9136,59	9657,84	9510,51	8854,85

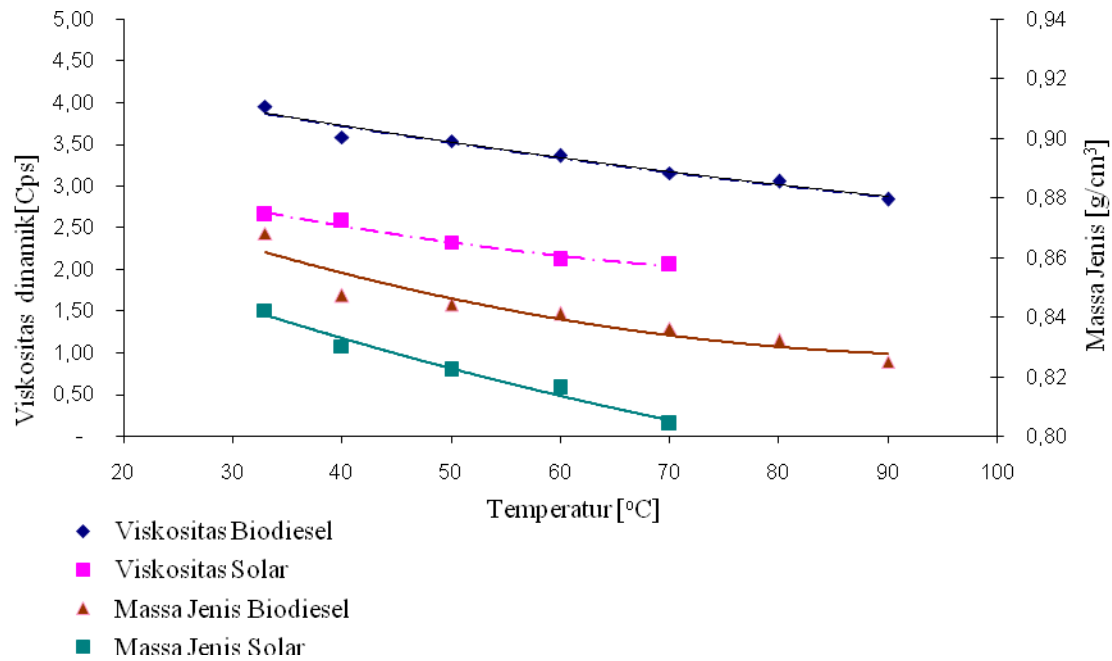
Dengan demikian nilai kalor biodiesel hasil penelitian ini dapat diterima karena berada pada rentang nilai kalor penelitian-penelitian dari peneliti lain.

4.2 Uji Massa Jenis dan Viskositas Kinematik Minyak Solar dan Biodiesel dengan Variasi Temperatur

Hasil pengujian massa jenis dan viskositas minyak solar dan biodiesel tersaji pada Gambar 4.1. Gambar tersebut mengilustrasikan pengaruh temperatur terhadap viskositas dan massa jenis biodiesel dan solar. Garis horizontal menunjukkan perubahan temperatur, sedangkan garis vertikal kiri menunjukkan perubahan viskositas, dan garis vertikal kanan menunjukkan perubahan massa jenis.

Dari Gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa massa jenis biodiesel dan solar menurun seiring dengan meningkatnya temperatur biodiesel dan solar, serta penurunan massa jenis solar lebih drastis dibandingkan dengan biodiesel. Pada temperatur yang sama, massa jenis biodiesel lebih tinggi daripada solar.

Disamping itu, terdapat harga optimal untuk massa jenis biodiesel, yaitu ketika temperatur berada pada rentang 80-90°C. Pada rentang ini, massa jenis biodiesel berkecenderungan berubah dari menurun kemudian meningkat. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada nilai viskositas. Viskositas menurun dengan meningkatnya temperatur. Namun, pada kisaran 70°C, viskositas solar berada pada nilai optimalnya



Gambar 4.1. Pengaruh temperatur terhadap massa jenis, viskositas bahan bakar solar dan biodiesel

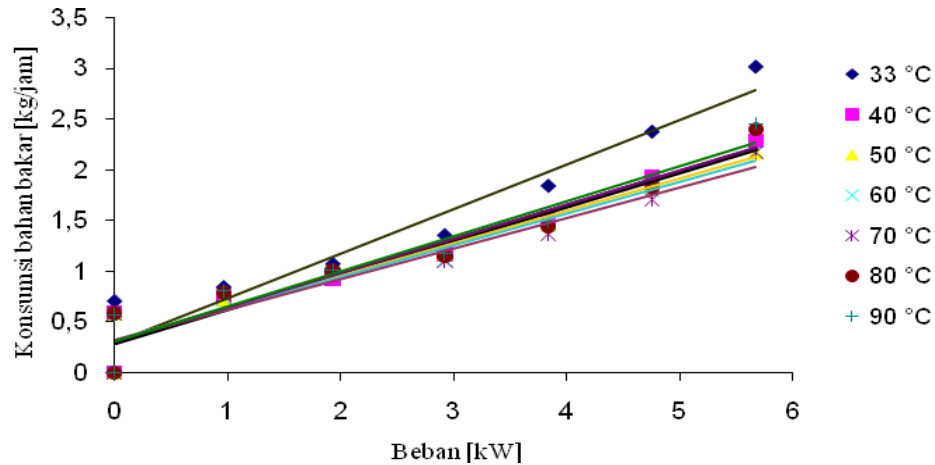
Peristiwa perubahan viskositas dapat dijelaskan dengan teori termodinamika yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur suatu fluida, molekul fluida akan bergerak cepat sehingga secara makro akan meningkatkan tekanan. Jika tidak terdapat batas pada materi tersebut maka materi akan mengembang dan memperlebar jarak antar molekulnya. Jarak antar molekul yang lebar akan mengakibatkan kerapatan (densitas) dan viskositas semakin menurun (Annamalai, 2002).

4.3 Uji Performa Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel

Performa mesin diesel diindikasikan dengan efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik. Oleh karenanya, data penelitian yang mengarah pada indikator tersebut disajikan. Data disajikan dalam bentuk grafik dan kemudian masing-masing dianalisis. Analisis tersebut meliputi hubungan antara beban dengan konsumsi bahan bakar, beban dengan konsumsi bahan bakar spesifik brake, dan beban terhadap efisiensi termal.

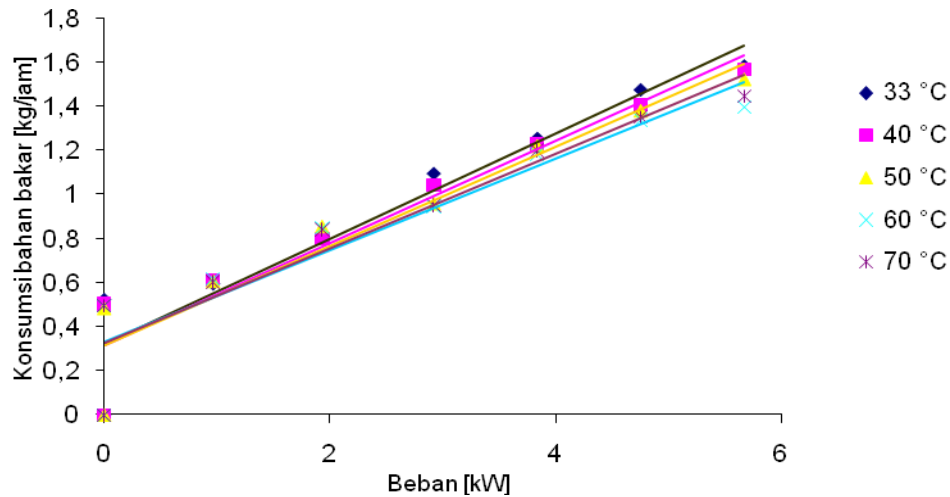
4.3.1 Pengaruh Beban terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar biodiesel, sebagai fungsi dari beban mesin, disajikan pada Gambar 4.2.a. Gambar 4.2.a menampilkan tujuh buah grafik, yang masing-masing merupakan garis regresi konsumsi bahan bakar biodiesel bertemperatur tertentu. Dengan cara yang sama, untuk bahan bakar solar disajikan pada Gambar 4.2.b.



Gambar 4.2.a. Pengaruh beban terhadap konsumsi mesin diesel berbahan bakar biodiesel pada berbagai temperatur bahan bakar.

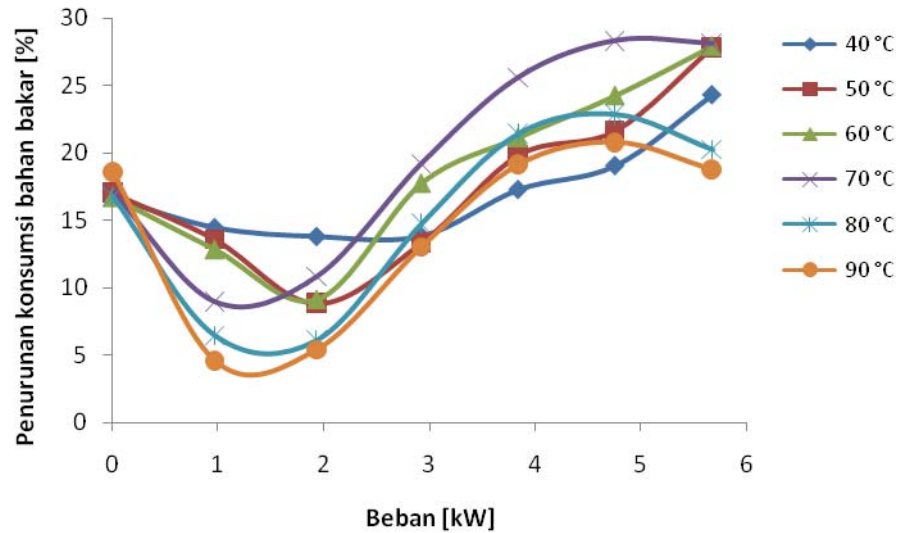
Gambar 4.2.a dan 4.2.b menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi bahan bakar seiring dengan peningkatan beban mesin. Disamping itu, garis konsumsi bahan bakar berbeda untuk setiap temperatur bahan bakar. Gradien terbesar untuk konsumsi bahan bakar terhadap beban terjadi pada bahan bakar bertemperatur rendah, kemudian berturut-turut gradien menurun untuk temperatur bahan bakar yang lebih tinggi.



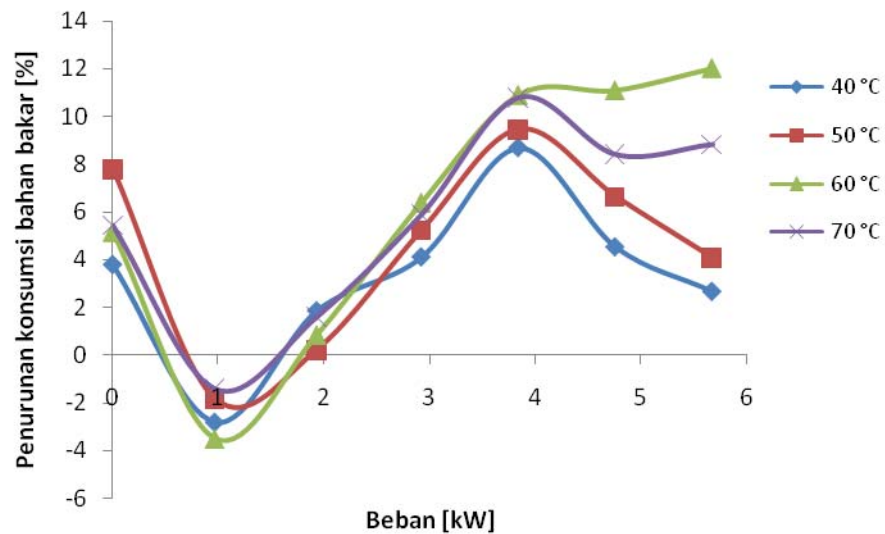
Gambar 4.2.b. Pengaruh beban terhadap konsumsi mesin diesel berbahan bakar solar pada berbagai temperatur bahan bakar.

Perbedaan garis tersebut dapat dijelaskan dengan merujuk pada Gambar 4.1 yang memperlihatkan bahwa pemanasan bahan bakar akan mengakibatkan penurunan viskositas, baik biodiesel maupun solar. Saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar, bahan bakar dengan viskositas rendah akan teratomisasi dengan lebih baik sehingga menghasilkan butiran bahan bakar yang lebih kecil. Dengan kondisi seperti ini maka proses pencampuran bahan bakar dengan udara akan lebih homogen sehingga bahan bakar yang terbakar lebih banyak. Karena bahan bakar yang terbakar lebih banyak, energi yang dilepaskan meningkat sehingga tekanan akhir pembakaran meningkat. Dengan demikian, untuk sejumlah volume bahan bakar yang sama, yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar, dapat menghasilkan daya lebih tinggi. Dengan kata lain, untuk beban yang sama maka jumlah bahan bakar yang diinjeksikan lebih sedikit atau menurun. Namun, penurunan konsumsi bahan bakar tersebut hanya sampai pada temperatur 70°C untuk biodiesel dan 60°C untuk solar.

Diatas temperatur tersebut, konsumsi bahan bakar justru akan meningkat, seperti terlihat pada Grafik 4.3.a dan Grafik 4.3.b.



Gambar 4.3.a. Penurunan konsumsi mesin diesel berbahan bakar biodiesel setelah biodiesel dipanaskan dengan biodiesel pada temperatur 33 °C.



Gambar 4.3.b. Penurunan konsumsi mesin diesel berbahan bakar solar setelah solar dipanaskan dengan solar pada temperatur 33 °C.

Pemanasan biodiesel sampai pada temperatur 90°C, sedangkan pemanasan solar hanya sampai pada temperatur 70°C. Ini disebabkan apabila pemanasan solar melebihi temperatur 70°C terjadi ledakan. Ledakan ini terjadi karena temperatur pemanasan solar melebihi temperatur nyalanya.

Gambar 4.3.a memperlihatkan penurunan konsumsi bahan bakar mesin diesel berbahan bakar biodiesel setelah bahan bakar tersebut dipanaskan, dibandingkan dengan bahan bakar pada temperatur 33 °C. Pada temperatur bahan bakar 40°C dan beban 0 kW terjadi penurunan sebesar 16,5 %, selanjutnya dengan bertambahnya beban mesin diesel penurunan konsumsi bahan bakar akan berkurang menjadi 14 % pada beban 3 kW. Bila beban mesin diesel terus ditambah maka terjadi penurunan konsumsi bahan bakar yang cukup tajam sehingga mencapai 24 % pada beban 5,67 kW.

Sedangkan pada temperatur bahan bakar 50°C dan 60°C dalam keadaan tanpa beban terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sekitar 17 %. Selanjutnya bila beban mesin dinaikkan, penurunan konsumsi bahan bakar akan berkurang, pada beban 2 kW penurunan konsumsi bahan bakar menjadi kurang lebih 9 %. Bila beban mesin diesel terus ditambah, maka penurunan konsumsi bahan bakar menjadi semakin meningkat tajam. Akhirnya saat beban mesin diesel maksimum 5,67 kW penurunan konsumsi bahan bakar mesin diesel mencapai mendekati 28 %.

Selanjutnya pada temperatur bahan bakar 70 °C dalam keadaan tanpa beban terjadi penurunan konsumsi bahan bakar 17 %. Setelah beban mesin diesel 1 kW penurunan konsumsinya menjadi 9 %, seterusnya bila beban mesin ditambah maka penurunan konsumsi bahan bakar akan menjadi besar. Penurunan konsumsi terbesar terjadi pada beban 5 kW, bila beban ditambah lagi penurunan konsumsi akan berkurang lagi.

Saat temperatur bahan bakar biodiesel 80 °C dan 90 °C dan kondisi mesin tidak diberi beban penurunan konsumsinya sekitar 17 %, selanjutnya setelah mesin diesel diberi

beban 1 kW maka penurunan konsumsinya menjadi kurang lebih 5 %. Bila beban mesin diesel ditambah maka penurunan konsumsi bahan bakar akan terus meningkat. Penurunan maksimum terjadi antara beban 4 kW sampai dengan 5 kW, setelah melewati beban 5 kW penurunan konsumsi bahan bakar akan mengecil .

Gambar 4.3.b memperlihatkan penurunan konsumsi mesin diesel berbahan bakar solar setelah bahan bakar tersebut dipanaskan, dibandingkan dengan bahan bakar pada temperatur 33 °C. Pada saat mesin diesel tanpa beban (0 kW) terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 4 % untuk temperatur bahan bakar 40 °C, 8 % untuk temperatur 50 °C dan 5 % pada temperatur 60 °C serta 4 % saat temperatur bahan bakar 70 °C. Namun setelah beban mesin ditambah 1 kW terjadi kenaikan konsumsi bahan bakar mesin diesel sebesar 3 % untuk temperatur bahan bakar 40 °C, 2 % untuk temperatur 50 °C dan 4 % pada temperatur 60 °C, serta 1 % saat temperatur bahan bakar 70 °C.

Selanjutnya dengan bertambahnya beban penurunan konsumsi bahan bakar mesin diesel akan terus meningkat tajam sampai pada puncaknya pada beban 4 kW. Yaitu sebesar 8 % untuk temperatur bahan bakar 40 °C, 9 % untuk temperatur 50 °C, 10 % pada temperatur 60 °C dan 70 °C. Namun bila beban mesin terus dinaikan pada temperatur bahan bakar 40 °C, 50 °C dan 70 °C penurunan konsumsi bahan bakar akan berkurang kembali. Khusus pada temperatur bahan bakar 60 °C penurunan konsumsi bahan bakar tetap bertambah sampai puncak pada beban mendekati 6 kW menjadi sebesar 12 %.

Dari Gambar 4.3.a juga terlihat bahwa pada temperatur bahan bakar 40 °C sampai dengan temperatur 90 °C untuk mesin diesel berbahan bakar biodiesel, dan Gambar 4.3.b untuk mesin diesel berbahan bakar solar. Saat mesin diesel tanpa beban (0 kW) sampai dengan beban mesin berkisar antara 1 kW sampai dengan 2 kW terjadi penurunan konsumsi bahan bakar, namun setelah itu penurunan konsumsi bahan bakar terus bertambah besar. Ini disebabkan karena masa transisi instrumen dan

kepekaan regulator pengatur bahan bakar mesin diesel tersebut. Regulator merupakan alat pengatur konsumsi bahan bakar. Sehingga jumlah bahan bakar yang dikabutkan oleh pompa nosel kedalam ruang bakar mesin diesel sesuai dan putaran mesin diesel tetap konstan. Saat mesin berputar tanpa beban, kemudian diberi beban 1 kW instrumen regulator baru mulai bekerja dan menyesuaikan kebutuhan bahan bakar. Setelah beban ditambah diatas 2 kW baut pengatur pompa bahan bakar disesuaikan (digeser) agar generator menghasilkan tegangan 220 volt atau pada putaran mesin diesel 1500 rpm. Saat beban 2 kW sampai dengan beban 5 kW posisi baut pengatur bahan bakar sama (tetap). Namun sesungguhnya saat beban ditambah putaran mesin sedikit berkurang (tidak persis sama 1500 rpm) sedangkan tengangan generator masih terlihat 220 Volt. Dengan penurunan putaran mesin diesel akibatnya akan mengurangi konsumsi bahan bakar mesin diesel tersebut.

Sedangkan Gambar 4.3.b pada beban mendekati 4 kW penurunan konsumsi bahan bakar mesin diesel berkurang. Berkurangnya penurunan konsumsi bahan bakar ini disebabkan karena dengan bertambahnya beban maka jumlah bahan bakar yang dikabutkan kedalam ruang bakar akan semakin banyak. Bila bahan bakar terlalu banyak, tidak sesuai dengan perbandingan antara jumlah bahan bakar dan udara pembakar, dapat mengakibatkan pembakaran menjadi tidak sempurna. Akibatnya konsumsi bahan bakar akan bertambah atau dengan kata lain penurunan konsumsi bahan bakar akan berkurang bila dibandingkan dengan beban sebelumnya (3 kW).

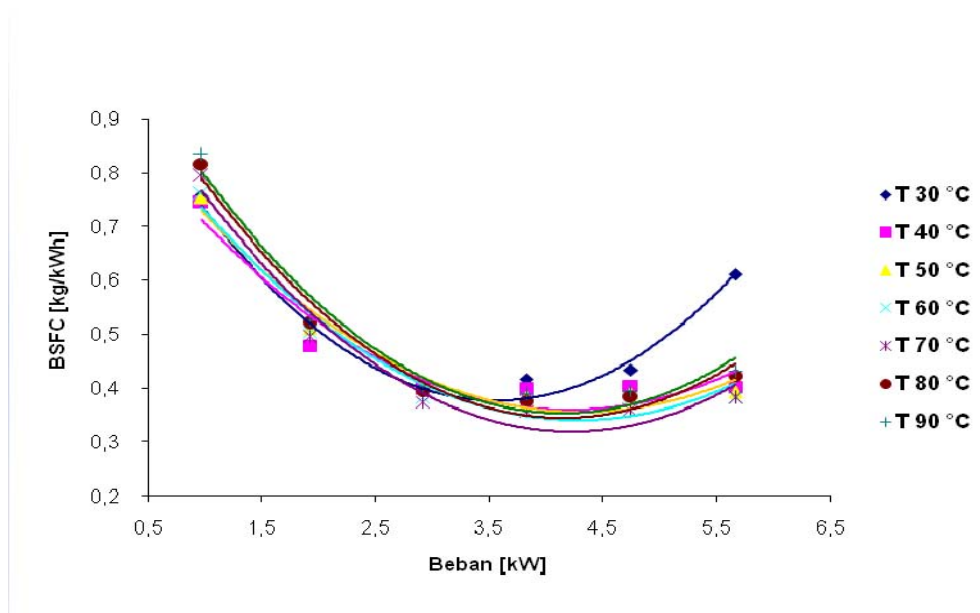
Temperatur optimum terjadi pada 70°C pada beban 4,75 kW untuk biodiesel dan 60°C untuk solar pada beban 2,92 kW. Selanjutnya, jika temperatur bahan bakar terus dinaikkan, maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin menjadi lebih besar. Peningkatan ini dapat terjadi karena peningkatan temperatur bahan bakar menyebabkan bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar, sehingga akan mempersingkat periode pra-pembakaran (*ignition delay*).

Periode pra-pembakaran dapat didefinisikan sebagai waktu persiapan bahan bakar yang diukur dari awal penginjeksian bahan bakar sampai bahan bakar tersebut mencapai kondisi penyalaan sendiri. Temperatur bahan bakar yang tinggi akan menyebabkan bahan bakar lebih cepat mencapai kondisi penyalaan sendiri. Apabila terlalu singkat, maka periode pembakaran akan selesai pada langkah kompresi atau jauh sebelum piston mencapai titik mati atas (TMA), sehingga tekanan puncak juga terjadi pada piston sebelum mencapai TMA. Kondisi ini merupakan suatu kerugian karena tekanan tersebut seharusnya digunakan untuk langkah kerja. Akibatnya daya yang dihasilkan akan berkurang dan konsumsi bahan bakar spesifik meningkat.

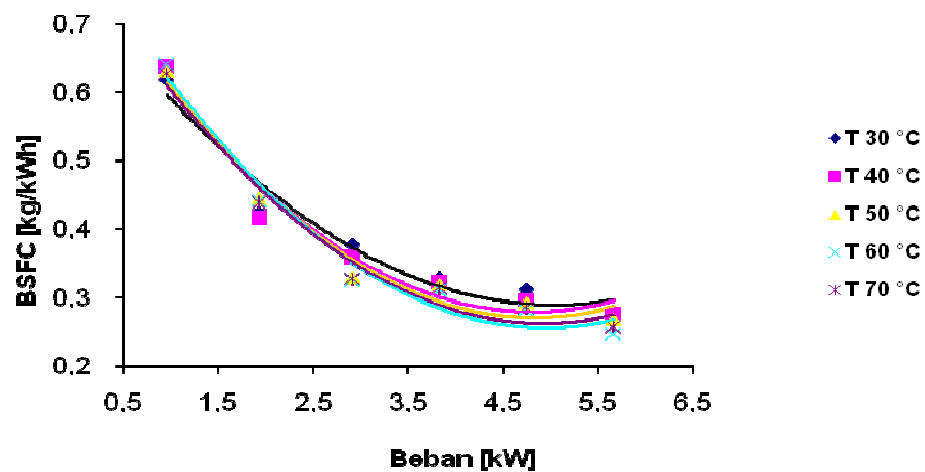
Selain itu, timbulnya tekanan dari pembakaran pada saat langkah kompresi akan menghasilkan gaya tolak pada piston dan mekanisme penggerak piston, sehingga dapat merusak komponen mekanisme tersebut. Oleh karena itu, tindakan penyesuaian antara temperatur bahan bakar yang disuplai dengan saat penginjeksian bahan bakar akan dapat menghindari kerugian tenaga yang terbuang, sehingga tenaga yang tersedia untuk langkah kerja akan semakin besar.

4.3.2 Pengaruh Beban Terhadap BSFC pada Mesin Diesel

Bsfc merupakan rasio antara konsumsi bahan bakar dan daya brake. Bsfc yang rendah mengindikasikan performa mesin yang baik. Oleh karenanya, beban dengan bsfc terendah dapat dianggap sebagai beban ekonomis. Grafik hubungan antara beban dengan bsfc dapat dilihat pada Gambar 4.4.a untuk biodiesel dan 4.4.b untuk solar.



Gambar 4.4.a. Pengaruh beban terhadap bsfc mesin diesel pada berbagai temperatur bahan bakar biodiesel.



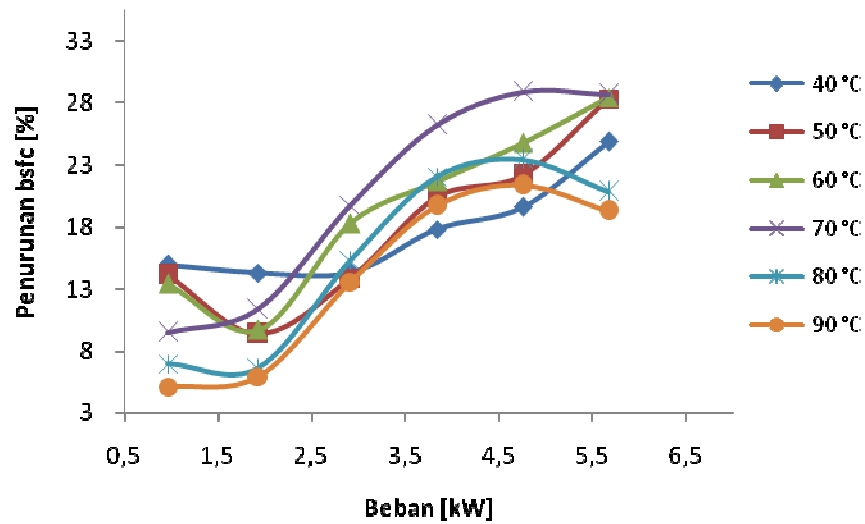
Gambar 4.4.b. Pengaruh beban terhadap bsfc mesin diesel pada berbagai temperatur bahan bakar solar

Gambar 4.4.a dan 4.4.b memperlihatkan bahwa perubahan beban mesin diesel akan mempengaruhi nilai bsfc. Pada beban rendah, 1 kW, bsfc mesin berada pada titik tertinggi. Bsfc berturut-turut menurun dengan meningkatnya beban hingga 5,4 kW.

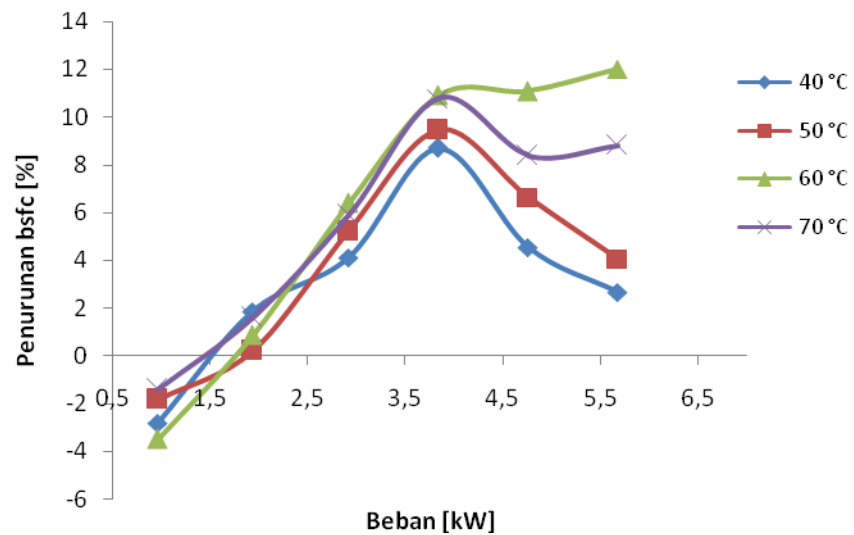
Daerah beban 4,5 – 5,5 kW merupakan daerah optimasi bsfc karena pada daerah ini terjadi penurunan bsfc dan dilanjutkan dengan kenaikan bsfc.

Profil bsfc tersebut dapat dijelaskan berikut ini. Energi yang dilepaskan dari pembakaran bahan bakar akan diteruskan ke poros engkol melalui batang piston. Energi pada poros engkol digunakan untuk memutar pompa injeksi, memutar poros nok, dan memutar poros engkol itu sendiri. Dengan demikian, energi atau daya yang terukur pada poros engkol (daya brake) merupakan daya bersih (net). Daya yang digunakan untuk pompa injeksi dan poros nok adalah konstan. Ketika mesin beroperasi pada beban rendah, daya net atau daya brake kecil. Karena daya brake, sebagai pembagi bsfc, kecil, maka bsfc menjadi besar. Pada beban tinggi, daya net yang dihasilkan lebih besar sehingga bsfc semakin menurun. Grafik bsfc juga memperlihatkan adanya kecenderungan garis bsfc yang lebih rendah untuk bahan bakar dengan temperatur lebih tinggi. Kecenderungan ini disebabkan karena temperatur yang tinggi menyebabkan bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar.

Namun, penurunan bsfc ini tidak berlanjut seiring dengan peningkatan temperatur diatas 60°C untuk solar dan 70°C untuk biodiesel seperti terlihat pada Gambar 4.5.a. Gambar 4.5.b memperlihatkan bahwa penurunan bsfc mesin diesel meningkat dengan meningkatnya temperatur bahan bakar. Penurunan tertinggi terjadi pada temperatur 70°C dan beban 5,67 kW, sedangkan untuk solar penurunan tertinggi pada temperatur antara 50°C sampai dengan 60°C dan beban 2,92 kW. Penurunan bsfc ini disebabkan oleh pemanasan bahan bakar yang mengakibatkan waktu penyalaan sendiri (pembakaran spontan) bahan bakar lebih cepat, seperti terlihat dalam Gambar 2.11, sehingga pembakaran bahan bakar akan lebih cepat. Kondisi seperti ini menyebabkan prosentase bahan bakar yang terbakar akan meningkat. Peningkatan jumlah bahan bakar yang terbakar dapat meningkatkan tekanan di dalam ruang bakar sekaligus meningkatkan daya mesin. Peningkatan daya mesin akan menurunkan bsfc.



Gambar 4.5.a. Penurunan bsfc mesin diesel berbahan bakar biodiesel setelah biodiesel dipanaskan dengan biodiesel pada temperatur 33°C .



Gambar 4.5.b Penurunan bsfc mesin diesel berbahan bakar solar setelah solar dipanaskan dengan solar pada temperatur 33°C .

Gambar 4.5.a memperlihatkan penurunan bsfc mesin diesel berbahan bakar biodiesel. Pada temperatur bahan bakar 40°C saat beban mesin diesel 1 kW sampai dengan beban 3 kW, penurunan bsfc terlihat hampir sama yaitu sekitar 14 %. Setelah beban mesin diesel dinaikan maka membuat penurunan bsfc meningkat tajam yang pada akhirnya saat beban mesin diesel 5,6 kW penurunan bsfc menjadi 24 %.

Sedangkan pada temperatur bahan bakar 50°C dan 60°C pada beban 1 kW terjadi penurunan bsfc sekitar 14 %. Selanjutnya bila beban mesin dinaikkan, penurunan bsfc akan berkurang, pada beban 2 kW menjadi kurang lebih 9 %. Bila beban mesin diesel terus ditambah, maka menjadi semakin meningkat tajam. Akhirnya saat beban mesin diesel 5,5 kW penurunan bsfc mesin diesel mencapai puncaknya yaitu 28 %.

Saat temperatur bahan bakar biodiesel 70°C dan kondisi mesin diberi beban 1 kW penurunan bsfc sekitar 8 %, selanjutnya dengan bertambahnya beban penurunan bsfc-nya terus meningkat tajam. Penurunan bsfc puncaknya terjadi pada beban antara 5 kW dan 6 kW.

Pada temperatur bahan bakar 80°C dan 90°C dalam keadaan beban 1 kW terjadi penurunan bsfc sekitar 4 %. Selanjutnya bila beban mesin dinaikkan, penurunan bsfc akan terus meningkat, penurunan bsfc tertinggi terjadi pada beban antara 4 kW dan 5 kW. Bila beban mesin diesel terus ditambah penurunan bsfc akan berkurang lagi.

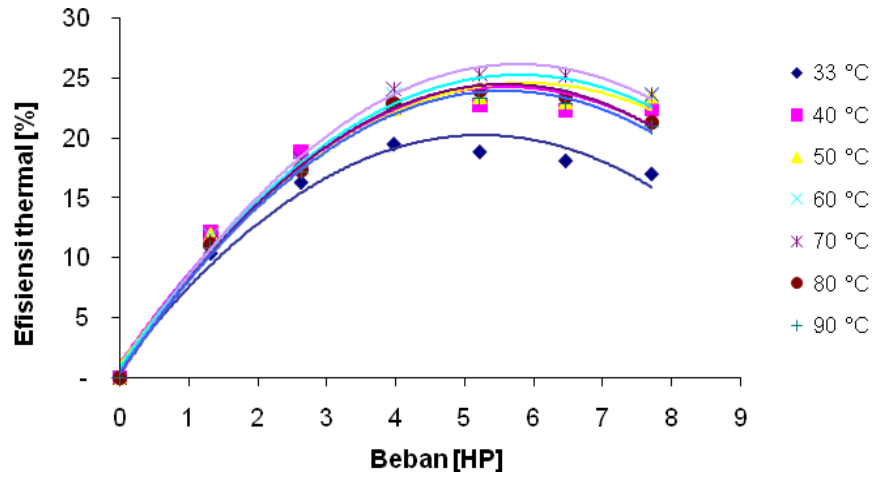
Gambar 4.5.b memperlihatkan penurunan bsfc mesin berbahan bakar solar. Setelah dipanaskan pada temperatur bahan bakar 40°C , 50°C , 60°C dan 70°C dibandingkan dengan bahan bakar solar pada temperatur 33°C . Pada saat beban 1 kW terjadi kenaikan bsfc mesin diesel berkisar antara 2 % sampai dengan 4 %. Tetapi setelah beban dinaikan penurunan bsfc-nya melonjak tajam. Penurunan terbesar terjadi pada beban 4 kW yaitu sebesar antara 9 % sampai 11 %, namun bila beban masih terus dinaikan penurunan bsfc akan menjadi berkurang lagi. Untuk beban 5,7 kW dan temperatur bahan bakar 40°C sebesar 3 %, temperatur 50°C sebesar 4 %, tetapi saat

temperatur 60°C penurunan bsfc tidak mengecil melainkan terus naik dan besarnya 12 %, saat temperatur 70°C sebesar 8 %.

Penurunan ini salah satu penyebabnya adalah karena dengan bertambahnya beban jumlah bahan bakar yang harus disemprotkan kedalam ruang bakar menjadi semakin banyak. Akibatnya bila jumlah bahan bakar terlalu banyak tidak (sesuai dengan perbandingan dengan jumlah udara pembakar), akan mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna. Sehingga mengakibatkan penurunan bsfc mesin diesel menjadi berkurang. Sedangkan pada temperatur bahan bakar 60 °C penurunan bsfc masih tetap naik ini disebabkan karena waktu periode pra-pembakaran (*ignition delay*) lebih cepat sehingga pembakaran bahan bakar masih tetap sempurna.

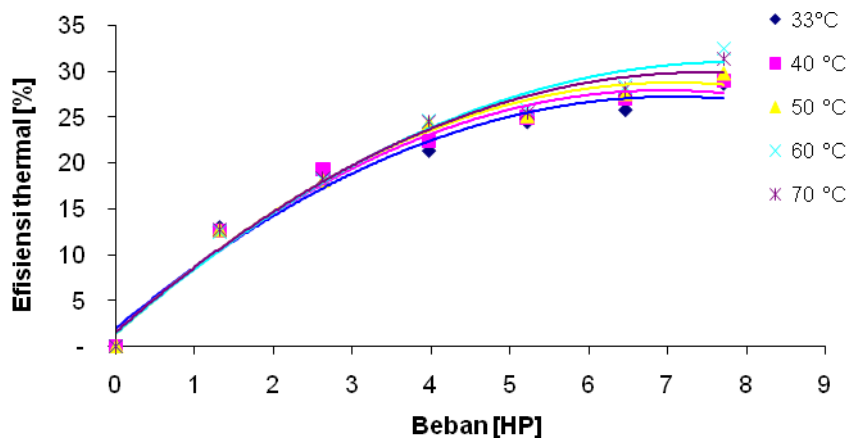
4.3.3 Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Termal Mesin Diesel

Efisiensi termal suatu motor bakar didefinisikan sebagai besarnya pemanfaatan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar menjadi kerja mekanis. Panas atau tenaga yang diberikan oleh bahan bakar dapat diprediksi melalui besarnya konsumsi bahan bakar, sedangkan besar kerja mekanis dapat ditetapkan dari daya mesin yang diukur. Dengan demikian, harga dari efisiensi termal ini akan dipengaruhi oleh perubahan daya mesin dan perubahan laju bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin tersebut.



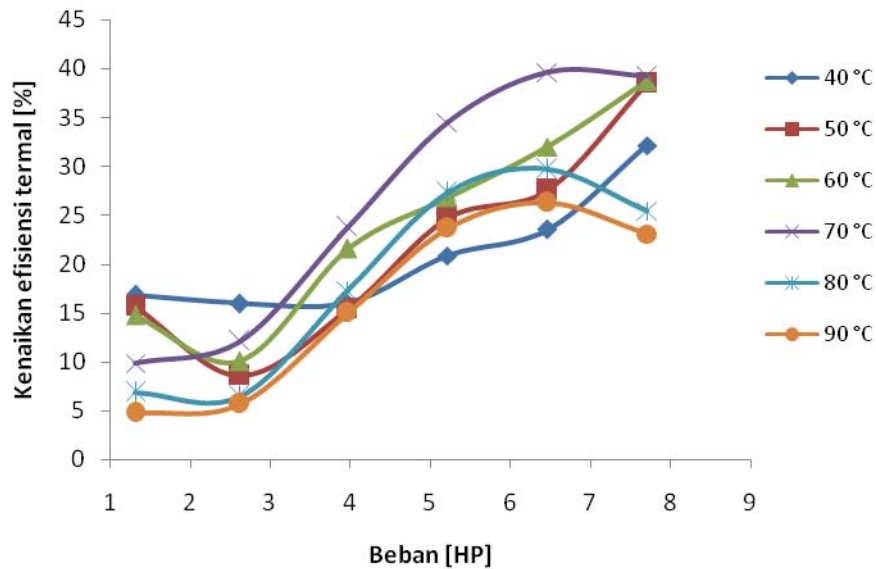
Gambar 4.6.a. Pengaruh beban terhadap efisiensi termal mesin diesel pada berbagai temperatur bahan bakar biodiesel.

Peningkatan daya yang disertai dengan penurunan laju konsumsi bahan bakar suatu mesin akan meningkatkan efisiensi termal, sebaliknya penurunan daya serta peningkatan laju konsumsi bahan bakar akan menyebabkan penurunan efisiensi termal motor bakar tersebut.

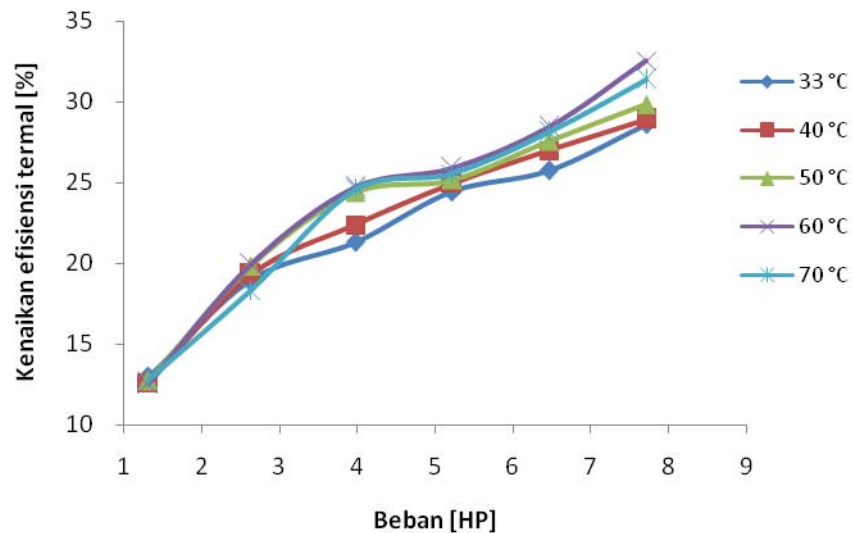


Gambar 4.6.b. Pengaruh beban terhadap efisiensi termal mesin diesel pada berbagai temperatur bahan bakar solar.

Pernyataan tersebut sesuai bila dikaitkan dengan grafik yang menunjukkan bahwa garis-garis bsfc mempunyai bentuk yang berkebalikan dengan garis-garis efisiensi termal. Garis-garis bsfc membentuk parabola yang terbuka ke atas. Sedangkan garis-garis efisiensi termal membentuk parabola yang terbuka ke bawah. Gambar 4.6.a dan Gambar 4.6.b memperlihatkan bahwa efisiensi termal akan meningkat dengan bertambahnya temperatur bahan bakar. Namun, peningkatan efisiensi termal mesin diesel ini tidak berlanjut seiring dengan bertambahnya temperatur seperti terlihat dalam Gambar 4.7.a dan Gambar 4.7.b.



Gambar 4.7.a. Peningkatan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel dibandingkan pada temperatur biodiesel 33 °C.



Gambar 4.7.b. Peningkatan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar solar dibandingkan pada temperatur solar 33 °C.

Gambar 4.7.a memperlihatkan peningkatan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel setelah bahan bakar tersebut dipanaskan, dibandingkan dengan bahan bakar pada temperatur 33 °C. Pada temperatur bahan bakar 40 °C saat beban mesin diesel 1,2 HP sampai dengan beban 4 HP, peningkatan efisiensi termal mesin diesel terlihat mendatar kurang lebih 17 %. Setelah beban mesin diesel ditambah maka membuat kenaikan efisiensi termal meningkat tajam, yang pada akhirnya saat beban mesin diesel 7,7 HP menaikkan efisiensi termalnya menjadi 32 %.

Pada temperatur bahan bakar 50°C dan 60°C pada beban 1,2 HP terjadi kenaikan efisiensi termal sekitar 16 %. Selanjutnya bila beban mesin dinaikkan, efisiensi termal akan berkurang. Pada beban 2,6 HP menjadi kurang lebih 9 %. Bila beban mesin diesel terus ditambah, maka kenaikan efisiensi termal menjadi semakin meningkat tajam. Saat beban mesin diesel 7,6 HP menaikkan efisiensi termal mesin diesel mencapai 38 %.

Sedangkan pada temperatur bahan bakar biodiesel 70 °C dan diberi beban 1,2 HP, kenaikan efisiensi termal 10 %. Selanjutnya dengan bertambahnya beban kenaikan

efisiensi termalnya terus meningkat tajam. Kenaikkan efisiensi termal puncaknya terjadi pada beban antara 6 HP dan 7 HP yaitu sebesar 39 %.

Saat temperatur bahan bakar 80°C dan 90°C dengan beban 1,2 HP terjadi kenaikan efisiensi termal sekitar 8 %. Selanjutnya bila beban mesin ditambah, kenaikan efisiensi termal akan terus meningkat, kenaikan efisiensi termal tertinggi terjadi pada beban sekitar 6 HP yaitu sebesar 29 %. Bila beban mesin diesel terus ditambah kenaikan efisiensi termal akan berkurang lagi, saat beban mesin diesel 7,6 HP kenaikan efisiensi termal kurang lebih tinggal tinggal 24 %.

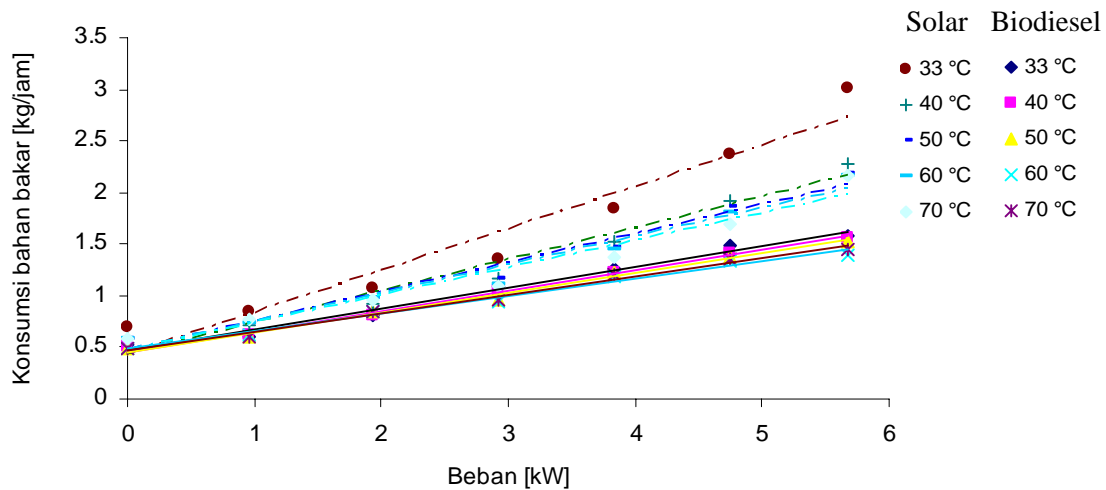
Gambar 4.7.b. memperlihatkan kenaikan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar solar setelah dipanaskan pada temperatur bahan bakar 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C, dibandingkan dengan bahan bakar solar pada temperatur 33 °C. Pada saat beban 1,2 HP terjadi kenaikan efisiensi termal mesin diesel berkisar 12 %. Dengan bertambahnya beban mesin, peningkatan kenaikan efisiensi termal terus meningkat tajam. Kenaikkan efisiensi termal tertinggi terjadi pada beban puncak yaitu 7,6 HP berkisar antara 30 % sampai dengan 32 %.

4.4 Perbandingan Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel dan Solar

Sub-bab ini menguraikan perbandingan performa mesin diesel yang dioperasikan dengan biodiesel dan solar. Perbandingan tersebut meliputi perbandingan konsumsi bahan bakar, bsfc, dan efisiensi termal dengan variasi beban dan temperatur,

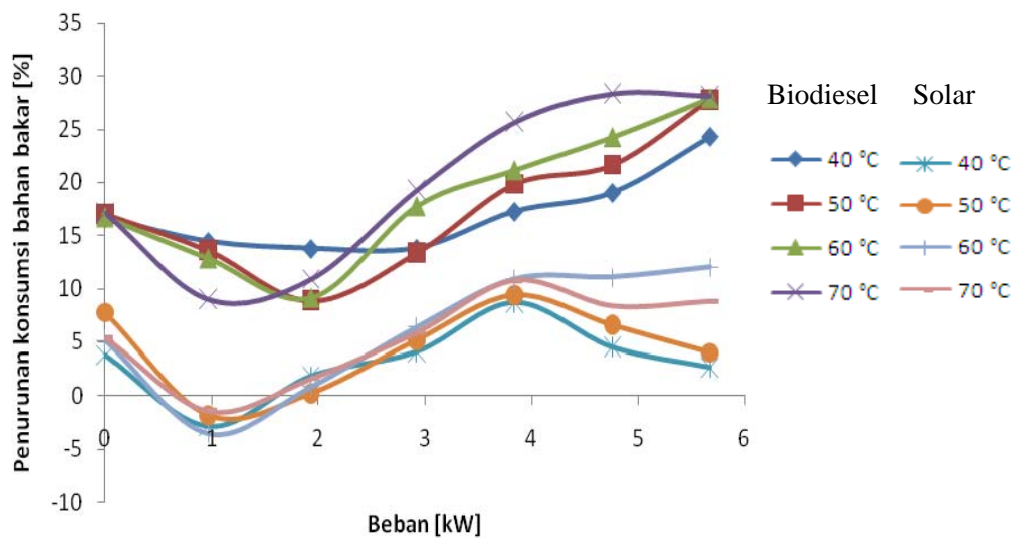
4.4.1 Perbandingan Pengaruh Beban dan Temperatur Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi biodiesel dan solar disajikan dalam satu grafik seperti terlihat pada Gambar 4.8. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada beban yang sama, konsumsi biodiesel lebih besar dibandingkan dengan solar.



Gambar 4.8. Perbandingan pengaruh beban dan temperatur bahan bakar terhadap konsumsi mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan solar.

Perbedaan konsumsi tersebut semakin membesar seiring dengan meningkatnya beban. Sedangkan konsumsi bahan bakar rata-rata [kg/jam] biodiesel dan solar, dengan variasi temperatur, ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Perbandingan penurunan konsumsi mesin diesel antara biodiesel dan solar dengan temperatur bahan bakar 33⁰ C.

Gambar 4.9 memperlihatkan perbandingan penurunan konsumsi mesin diesel antara mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan mesin diesel berbahan bakar solar, dibandingkan dengan bahan bakar solar pada temperatur 33 °C. Pada temperatur bahan bakar 40 °C, untuk mesin diesel berbahan bakar biodiesel ketika mesin tanpa beban penurunan konsumsi bahan bakar sekitar 16 %. Setelah beban ditambah penurunan konsumsi bahan bakar terlihat sedikit menurun, saat beban 3 kW penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 13 %. Selanjutnya saat beban mesin diesel ditambah terjadi kenaikan penurunan konsumsi bahan bakarnya, kenaikan penurunan konsumsi tertinggi pada beban puncaknya 5,7 kW sebesar 24 %.

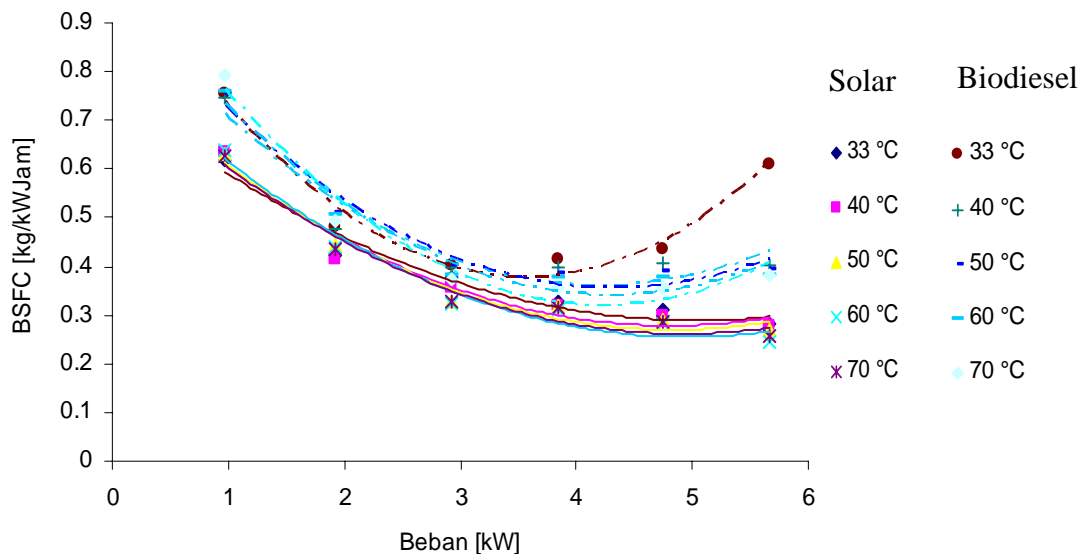
Untuk mesin diesel berbahan bakar biodiesel pada temperatur bahan bakar 50°C dan 60°C ketika mesin diesel belum dibebani terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sekitar 17 %. Selanjutnya setelah mesin diberi beban, penurunan konsumsi bahan bakar terus berkurang. Sehingga pada beban 2 kW penurunan konsumsi bahan bakar tinggal kurang lebih 9 %. Bila beban mesin diesel terus ditambah, maka penurunan konsumsi bahan bakar menjadi semakin meningkat tajam. Akhirnya saat beban mesin diesel maksimum 5,67 kW penurunan konsumsi bahan bakar mesin diesel mencapai mendekati 28 %. Selanjutnya pada temperatur bahan bakar 70 °C dalam keadaan tanpa beban terjadi penurunan konsumsi bahan bakar 17 %, setelah beban mesin diesel 1 kW penurunan konsumsinya menjadi 9 %. Selanjutnya bila beban mesin ditambah maka penurunan konsumsi bahan bakar akan meningkat tajam. Penurunan konsumsi terbesar terjadi pada beban 5 kW, bila beban ditambah lagi penurunan konsumsi akan menurun.

Untuk mesin diesel berbahan bakar solar dan bahan bakar dipanaskan pada temperatur 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C, dibandingkan dengan pada temperatur 33 °C. Pada saat mesin diesel tanpa beban (0 kW) terjadi penurunan konsumsi bahan bakar berkisar antara 4 % sampai dengan 8 %. Setelah diberi beban 1 kW terjadi kenaikan konsumsi bahan bakar mesin diesel berkisar antara 2 % sampai dengan 4 %.

Tetapi setelah beban terus ditambah terjadi penurunan konsumsi bahan bakar, penurunan terbesar terjadi pada beban 4 kW. namun bila beban masih terus dinaikan penurunan konsumsi bahan bakar akan menjadi berkurang. Ini disebabkan karena dengan bertambahnya beban jumlah bahan bakar yang harus disemprotkan kedalam ruang bakar menjadi semakin banyak. Akibatnya bila jumlah bahan bakar terlalu banyak tidak sesuai dengan perbandingan dengan jumlah udara pembakar akan mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna. Sehingga mengakibatkan konsumsi bahan bakar mesin diesel meningkat atau penurunan konsumsi bahan bakar menjadi berkurang.

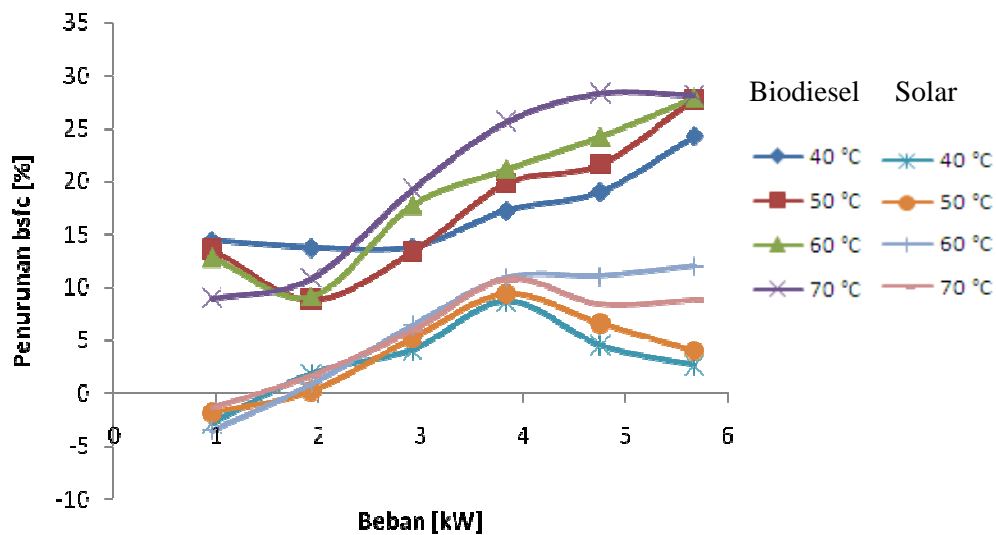
4.4.2 Perbandingan Pengaruh Beban dan Temperatur Terhadap BSFC Mesin Diesel

Perbandingan bsfc biodiesel dan solar disajikan dalam satu grafik hubungan antara beban terhadap bsfc, seperti terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Perbandingan pengaruh beban dan temperatur bahan bakar terhadap bsfc mesin diesel antara biodiesel dan solar.

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa bsfc mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel maupun solar akan menurun seiring dengan bertambahnya beban mesin. Demikian juga bila temperatur kedua bahan bakar tersebut dinaikkan, sebelum masuk pompa nosel, akan menurunkan bsfc masing-masing. Perbedaan penurunan bsfc dari berbagai temperatur untuk bahan bakar biodiesel dan solar dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Perbedaan penurunan bsfc dari berbagai temperatur bahan bakar antara biodiesel dan solar.

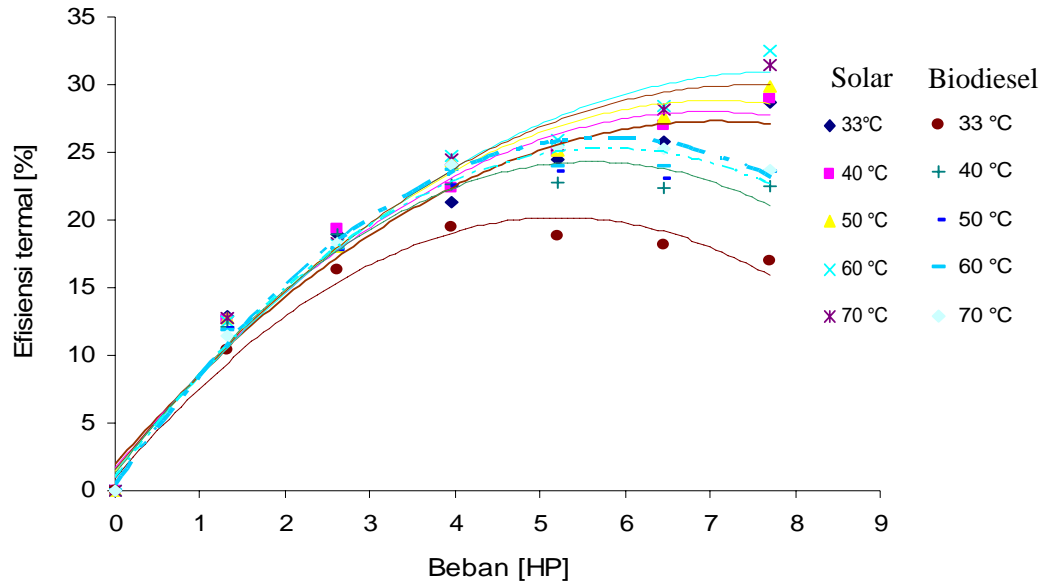
Gambar 4.11. memperlihatkan perbedaan penurunan bsfc mesin berbahan bakar biodiesel dan berbahan bakar solar. Setelah dipanaskan pada temperatur bahan bakar 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C dibandingkan dengan bahan bakar solar pada temperatur 33 °C. Perbedaan terjadi pada semua temperatur bahan bakar dan beban mesin diesel.

Pada saat beban 1 kW mesin diesel berbahan bakar solar terjadi kenaikan bsfc mesin diesel berkisar antara 2 % sampai dengan 4 %. Sedangkan mesin diesel berbahan bakar biodiesel terjadi penurunan bsfc mesin diesel berkisar antara 9 % sampai dengan 14 %.

Setelah beban mesin ditambah menjadi 2 kW untuk mesin diesel berbahan bakar solar, bsfc-nya menjadi hampir sama dengan saat temperatur bahan bakar 33 °C. Penurunan terbesar terjadi pada beban 4 kW yaitu berkisar antara 5 % sampai dengan 7 %. namun bila beban masih terus dinaikan penurunan bsfc akan menjadi berkurang. Sedangkan mesin diesel berbahan bakar biodiesel penurunan bsfc pada temperatur 40 °C hampir sama yaitu kurang lebih 14 %, pada temperatur 50°C dan 60°C sebesar 7 %, saat temperatur 70 °C sebesar 8 %. Penurunan bsfc terbesar terjadi pada beban 5,7 kW yaitu berkisar antara 24 % sampai dengan 28 %.

4.4.3 Perbandingan Pengaruh Beban dan Temperatur Terhadap Efisiensi Termal Mesin Diesel

Grafik perbandingan efisiensi termal biodiesel dan solar, dengan variasi beban dan temperatur, dapat dilihat pada Gambar 4.12. Gambar 4.12 memperlihatkan bahwa efisiensi termal meningkat seiring dengan meningkatnya beban. Bertambahnya beban mesin akan menaikkan efisiensi termalnya. Perubahan ini terjadi pada mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel maupun solar. Begitu pula perubahan temperatur bahan bakar juga terlihat mempengaruhi efisiensi termal mesin tersebut. Pada saat motor bekerja pada beban rendah harga efisiensi termal rendah, sedangkan ketika motor bekerja dengan beban semakin besar harga efisiensi termalnya akan meningkat. Hal ini disebabkan karena adanya beban motor untuk menjalankan peralatan penunjang seperti pompa injeksi bahan bakar yang mempunyai beban konstan.

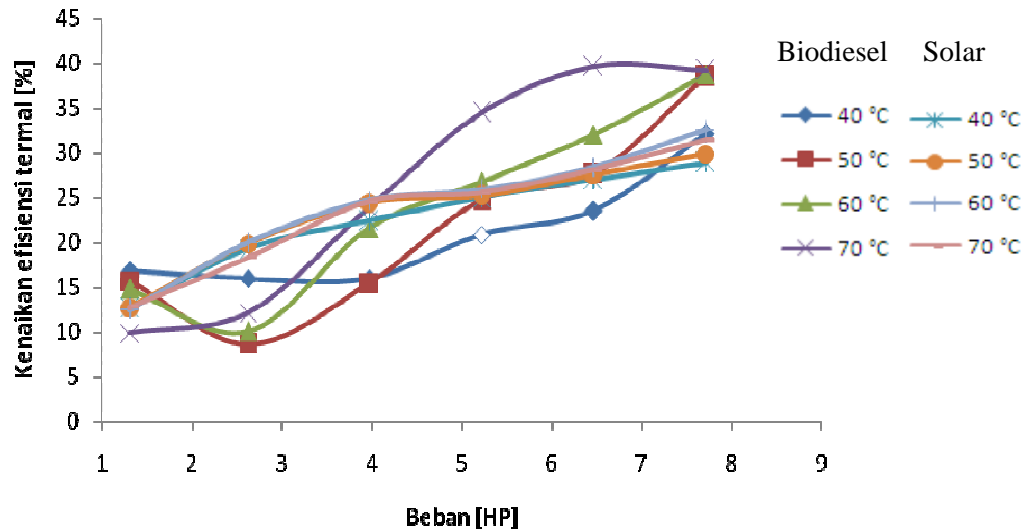


Gambar 4.12. Perbandingan pengaruh beban dan temperatur bahan bakar terhadap efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan solar.

Pada saat motor beroperasi pada beban rendah, maka daya poros yang dihasilkan juga masih kecil karena sebagian tenaga diberikan pada peralatan penunjang seperti pompa injeksi dan poros nok penggerak katup. Pada akhirnya konsumsi bahan bakar spesifik akan meningkat. Pada saat beban cukup tinggi maka daya yang dihasilkan pada poros semakin tinggi, sedangkan besarnya beban peralatan penunjang tetap konstan. Dengan demikian, konsumsi bahan bakar spesifik tidak terlalu berpengaruh.

Gambar 4.13 memperlihatkan bahwa dengan berubahnya temperatur bahan bakar maka efisiensi termal mesin diesel berubah. Demikian juga efisiensi termal akan naik bila temperatur bahan bakar dinaikan. Kenaikan ini disebabkan karena bertambahnya temperatur akan mengakibatkan viskositas bahan bakar menurun sehingga saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran kabut yang lebih halus yang mengakibatkan pembakaran menjadi lebih sempurna. Pembakaran sempurna akan meningkatkan panas yang ditimbulkan di dalam ruang bakar. Peningkatan panas

ini dapat memperbesar tekanan di dalam ruang bakar mesin. Dengan demikian efisiensi termal mesin diesel akan meningkat.



Gambar 4.13. Perbedaan kenaikan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan solar pada berbagai temperatur bahan bakar.

Gambar 4.13. memperlihatkan perbedaan kenaikan efisiensi termal mesin diesel berbahan bakar biodiesel dan berbahan bakar solar. Setelah dipanaskan pada temperatur bahan bakar 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C dibandingkan dengan bahan bakar solar pada temperatur 33 °C. Untuk mesin diesel berbahan bakar solar pada beban 1,2 HP terjadi kenaikan efisiensi termal kurang lebih 12 %, selanjutnya setelah beban mesin ditingkatkan kenaikan efisiensi termal juga ikut meningkat. Kenaikkan efisiensi termal terbesar terjadi pada beban mesin 7,6 HP yaitu berkisar antara 32 % sampai dengan 32 %.

Untuk mesin diesel berbahan bakar biodiesel pada beban 1,2 HP terjadi kenaikan efisiensi termal berkisar antara 10 % sampai dengan 16 %. Pada waktu beban mesin ditambah menjadi 2,6 HP kenaikan efisiensi termal menjadi berkurang. Selanjutnya

setelah beban mesin dinaikkan lagi, kenaikan efisiensi termal menjadi meningkat tajam dan kenaikan efisiensi termal tertinggi terjadi pada beban mesin diesel 7,71 HP yaitu kurang lebih 37 %.

Dalam penelitian ini, kenaikan efisiensi termal tertinggi untuk solar adalah pada beban 7,71 HP dan temperatur 60°C. Pada temperatur ini kenaikan efisiensi termal mesin sebesar 13,65 %. Sedangkan kenaikan efisiensi termal terbesar biodiesel pada beban 6,46 HP dan temperatur 70°C dengan kenaikan efisiensi termal sebesar 25,3 %. Bila temperatur bahan bakar terus dinaikkan maka bahan bakar akan lebih cepat mencapai kondisi penyalaan sendiri, sehingga periode persiapan pembakaran akan semakin singkat. Apabila periode pembakaran terlalu singkat, maka periode pembakaran akan terjadi jauh sebelum piston mencapai TMA (pada langkah kompresi) sehingga tekanan puncak juga terjadi saat piston belum mencapai TMA. Akibatnya, daya mesin berkurang dan konsumsi bahan bakar meningkat. Peningkatan konsumsi bahan bakar akan menurunkan efisiensi termal mesin.

Bab V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan.

Setelah dilakukan penelitian dengan menggunakan mesin diesel Dong feng 1 silinder direct injection putaran konstan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kenaikan temperatur solar menurunkan viskositasnya, pada temperatur 33°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C viskositasnya 2,646 Cps, 2,571 Cps, 2,319 Cps, 2,111 Cps, 2,048 Cps. Sedangkan untuk biodiesel pada temperatur 33°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C dan 90°C viskositasnya 3,951 Cps, 3,581 Cps, 3,539 Cps, 3,355 Cps, 3,153 Cps, 3,050 Cps, 2,835 Cps.
2. Bila temperatur biodiesel dan solar dinaikan akan menurunkan konsumsi bahan bakar mesin diesel, adapun temperatur pemanasan tertinggi untuk biodiesel adalah 70°C dimana pada temperatur ini ada penurunan konsumsi sebesar 28 % pada beban 4,75 kW sampai beban 5,67 kW. Sedangkan untuk solar pada temperatur 60°C ada penurunan konsumsi mesin diesel sebesar 14 % pada beban 2,92 kW. Namun bila temperatur kedua bahan bakar tersebut terus dinaikan maka konsumsinya akan meningkat lagi.
3. Bila biodiesel dan solar dipanaskan akan menurunkan bsfc mesin diesel, adapun temperatur pemanasan tertinggi untuk biodiesel adalah 70°C dimana pada temperatur ini ada penurunan bsfc sebesar 38 % pada beban 5,67 kW. Sedangkan untuk solar pada temperatur 60°C ada penurunan bsfc mesin diesel sebesar 14 % pada beban 2,92 kW. Namun bila temperatur kedua bahan bakar tersebut terus dinaikan maka bsfc akan meningkat lagi.
4. Efisiensi termal mesin diesel akan meningkat bila biodiesel dipanaskan, adapun pemanasannya maksimum 70°C dimana pada temperatur ini ada peningkatan efisiensi termal sebesar 25,3 % pada beban 5,21 HP sampai 6,46 HP. Sedangkan untuk solar pada temperatur 60°C ada peningkatan efisiensi termal mesin diesel sebesar 16 %

pada beban 3,87 HP. Namun bila temperatur kedua bahan bakar tersebut terus dinaikan maka efisiensi termalnya akan menurun lagi.

5. Temperatur bahan bakar yang ideal untuk mesin diesel dong feng 1 silinder direct injection putaran konstan yang menggunakan biodiesel adalah 70 °C. Dimana pada temperatur ini ada penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 8 %, dan penurunan bsfc 28 % dan peningkatan efisiensi termis 25,3 %. Sedangkan bila menggunakan solar pada temperatur 60 °C, dimana pada temperatur ini ada penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 14 %. dan penurunan bsfc sebesar 14 % dan peningkatan efisiensi termal sebesar 16 %.
6. Kenaikan temperatur bahan bakar biodiesel dan solar sama-sama mempengaruhi konsumsi dan bsfc mesin diesel. Namun perubahan keduanya tidak sama, biodiesel pada temperatur 40°C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, ada penurunan konsumsi terbesar 24 %, 28 %, 28 %, 28 %. Sedangkan solar 5 %, 8 %, 14 %, dan 13 %. Sedangkan bsfc-nya pada temperatur yang sama adalah sebagai berikut : untuk biodiesel ada penurunan sebesar 34 %, 36 %, 37 %, 38 %, dan untuk solar 5 %, 13 %, 14 %, dan 13 %.

5.2 Saran

Bila mesin diesel menggunakan bahan bakar biodiesel, perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang efek yang ditimbulkan pada bagian – bagian yang berhubungan dengan pembakaran. Diantaranya adalah: piston, silinder liner, silinder kop, nosel dan pompa nosel.

Daftar Pustaka

- Arismunandar, W., Tsuda, Koichi, (2002), Motor Diesel Putaran Tinggi, Pradya Paramita, Jakarta, 10-27.
- Annamalai, K., Iswar, K., Puri, (2002), Advanced Thermodynamics Engineering , CRC Press, Washington DC, 28-87.
- Bozbas, K., (2005), Biodiesel as an alternative motor fuel production and policies in the European Union, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 1-12.
- Buchori, L., Widayat, (2009), Pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas Dengan Proses Catalytic Cracking, Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia ,SNTKI,78-79.
- Challen, B., Baranescu, R., (1999), Diesel Engine Reference Book, Butterworth Heineman, New Delhi, 263-304.
- Darmanto, S., Sigit , I., (2006), Analisa biodiesel minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif , Traksi, 4, 64-72
- Ehsan, M., Taposh, R.M., Islam, M.M., (2007), Running a diesel engine with biodiesel, International Conference on Mechanical Engineering, Dhaka, Bangladesh, 1-4.
- Garwal, A.A., Rajamanoharan, K., (2009), Experimental Investigation of Performance and Emissions of Karanja Oil and its Blends in a Single Cylinder Agricultural Diesel engine , Applied Energy, 86, 106 -112.
- Hamid, T.,Yusuf, R., (2002), Preparasi karakteristik biodiesel dari minyak kelapa sawit, Makara, Teknologi,6, 60-65.
- Heywood, j. B.,(1988), Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill,Toronto, 517-550.
- Jung, D., Dennis N., & Assanis, (2001), Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model for Cycle Simulation Studies of Engine Performance and Emissions ,The University of Michigan, 2001-01-1246, 1-23
- Jeong, G.T., Taig, Y., & Park, D.H., (2006), Emission profile of rapeseed methyl ester and its blend in a diesel engine ,Applied Biochemistry and Biotechnology 1, 129-132.
- Kumar, R., Rajagopal, K., Prakash, R. H., & Durga Prasad, B., (2008), Performance of C.I. engine using blends of methyl esters of palm oil with diesel , Medwell, 3, 217 – 220.
- Kristanto, P., Winaya, R.,(2002), Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif pada motor diesel sistem injeksi langsung, Jurnal Teknik Mesin, 4, 99-103.
- Kaufman, K.R., Ziejewski, (1984), Sunflower metyl ester for direct injected diesel engines, American Society of Agricultural engineers, 1, 2706-1626.
- Lee, C.S., (2004), Analysis of Engine Performance Using Palm Oil Methyl Ester, Dessertation Bachelor of Enginerig, Dissertasion Bachelor of Engineering,University of Southenr Queensland, 19- 25
- Mathur, M. L., Sharma R. P., (1980), A Coursein Internal Combustion Engine, Dhanpat Rai & Sons,1682, NAI SARAK, DELHI, 519-520.

- Maleev, V. L., (1986), Operasi dan Pemeliharaan Mesin Diesel , Erlangga, Jakarta,401-403.
- Maleev, V. L.,(1973), Internal Combustion Engine, McGraw-Hill, Toronto, 204 – 213.
- PPKS, (2006), Biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit, Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 28, 1-4.
- Pramanik, K., (2003), Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine, Renewable Energy, 28, 239-248.
- Sazhin, S.S., Abdelghaffar, W.A., Sazhina, E.M., Heikal, M.R., (2005), Models for droplet transient heating: effects on droplet evaporation, ignition, and break-up, Int. J Thermal Science, 44, 610-622.
- Strehlow R., (1985), Combustion Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 142-143.
- Streeter, V., Wylie, B., (1979), Fluid Mechanics , Mc Graw Hill, Inc,9-10.
- Suirta, (2007), Preparasi Biodiesel dari minyak jelantah kelapa sawit ,Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran,3,1-6.
- Sugiarto, B., Setiawan, F., & Suryantoro, (2005), Studi emisi dan heat release biodiesel minyak sawit dan minyak jarak pada mesin diesel indirect injection, Jurnal Teknologi, 2, 101-107.
- Strong, C., Erickson, C., & Shukla, D., (2004), Evaluation of Biodiesel Fuel , Montana State University – Bozeman,1-70.
- Soenarto, N., Furuham, S., (1985), Motor Serbaguna, Pradya Paramita, Jakarta, 117-151.
- Tirtoatmodjo, R., Anggono, W., (1999), Peningkatan unjuk kerja motor diesel dengan penambahan pemanas solar , Jurnal Teknik Mesin,1,127-133.
- Tangsathitkulchai, Sittichaitaweekul, Y., & Tangsatitkulchai, M., (2004), Temperature effect on the viscosities of palm oil and coconut oil blended with diesel oil, JAOCS, 81, 401-405.
- Tat, M., Gerpen, J. H. V., (1999), The kinematic viscosity of biodiesel and its blends with Diesel fuel, JAOCS, 76, 1511-1513.

LAMPIRAN

Lampiran A: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis dan Viskositas Solar

A.1. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis Solar.

No	Temperatur [°C]	Massa Jenis [g/cm ³]			
		I	II	III	Rata-Rata
1	33	0,842	0,840	0,844	0,842
2	40	0,830	0,828	0,832	0,830
3	50	0,824	0,820	0,822	0,822
4	60	0,816	0,814	0,818	0,816
5	70	0,806	0,804	0,802	0,804

A.2. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas Solar.

No	Temperatur [°C]	Viskositas dinamik [Cps]			
		I	II	III	Rata-Rata
1	33	2,610	2,671	2,658	2,646
2	40	2,587	2,594	2,532	2,571
3	50	2,252	2,375	2,331	2,319
4	60	2,154	2,086	2,095	2,111
5	70	2,021	2,050	2,072	2,048

Lampiran B: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis dan Viskositas Biodiesel

B.1. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Massa Jenis Biodiesel.

No	Temperatur [°C]	Massa Jenis [g/cm ³]			
		I	II	III	Rata-Rata
1	33	0,868	0,866	0,870	0,868
2	40	0,848	0,844	0,850	0,847
3	50	0,844	0,842	0,846	0,844
4	60	0,838	0,842	0,842	0,841
5	70	0,836	0,834	0,838	0,836
6	80	0,834	0,830	0,832	0,832
7	90	0,824	0,824	0,826	0,825

B.2. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas Biodiesel.

No	Temperatur [°C]	Viskositas [Cps]			
		I	II	III	Rata-Rata
1	33	3,943	3,898	4,011	3,951
2	40	3,659	3,632	3,455	3,582
3	50	3,494	3,579	3,544	3,539
4	60	3,386	3,375	3,304	3,355
5	70	3,190	3,144	3,126	3,153
6	80	3,090	3,014	3,048	3,050
7	90	2,801	2,844	2,860	2,835

Lampiran C: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Biodiesel Terhadap Konsumsi dan BSFC Mesin Diesel

C.1. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Biodiesel Terhadap Konsumsi Mesin Diesel

No	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]						
		Temp 33 °C	Temp 40 °C	Temp 50 °C	Temp 60 °C	Temp 70 °C	Temp 80 °C	Temp 90 °C
1	0	0,7037	0,6924	0,6919	0,6968	0,6977	0,7037	0,6942
2	0,965	0,8412	0,8498	0,8614	0,8717	0,9162	0,9459	0,9731
3	1,93	1,0706	1,0899	1,1678	1,1565	1,1417	1,2082	1,2275
4	2,919	1,3537	1,3776	1,3900	1,3238	1,3076	1,3867	1,4269
5	3,836	1,8402	1,7975	1,7480	1,7256	1,6367	1,7367	1,8032
6	4,752	2,3741	2,2690	2,2042	2,1387	2,0343	2,1999	1,2787
7	5,669	3,0141	2,6934	2,5781	2,5841	2,5903	2,8880	2,9676
Jumlah		11,1976	10,7697	10,6415	10,4973	10,3246	11,0691	11,3713
Rata-rata		1,5996	1,5385	1,5202	1,4996	1,4749	1,5813	1,6244
Peurunan [%]		0	4	5	6	8	1	-0.2

C.2. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Biodiesel Terhadap BSFC Mesin Diesel

No	Beban [kw]	BSFC [kg/kW.jam]						
		Temp 33 °C	Temp 40 °C	Temp 50 °C	Temp 60 °C	Temp 70 °C	Temp 80 °C	Temp 90 °C
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,965	0,7567	0,7460	0,7534	0,7598	0,7938	0,8156	0,8320
3	1,930	0,4816	0,4784	0,5108	0,5040	0,4946	0,5209	0,5247
4	2,919	0,4026	0,3998	0,4019	0,3814	0,3745	0,3953	0,4033
5	3,836	0,4165	0,3969	0,3846	0,3784	0,3567	0,3767	0,3879
6	4,752	0,4337	0,4044	0,3914	0,3785	0,3579	0,3852	0,3956
7	5,669	0,6116	0,4024	0,3923	0,3834	0,3820	0,4239	0,4319
Jumlah		3,1026	2,8279	2,8345	2,7854	2,7595	2,9175	2,9754
Rata-rata		0,5171	0,4713	0,4724	0,4642	0,4599	0,4862	0,4959
Penurunan [%]		0	9,0	8,6	10,0	11,0	6,0	4,1

C.3 Efisiensi Termal Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Biodiesel

No	Beban [HP]	Efisiensi						
		Temp 33 °C	Temp 40 °C	Temp 50 °C	Temp 60 °C	Temp 70 °C	Temp 80 °C	Temp 90 °C
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,312	0,104	0,121	0,120	0,119	0,114	0,111	0,109
3	2,624	0,163	0,189	0,177	0,179	0,183	0,174	0,172
4	3,968	0,195	0,226	0,225	0,237	0,241	0,229	0,224
5	5,215	0,188	0,228	0,235	0,239	0,253	0,240	0,233
6	6,461	0,181	0,224	0,231	0,239	0,253	0,235	0,229
7	7,797	0,170	0,225	0,236	0,236	0,237	0,213	0,209
Jumlah		1,001	1,212	1,223	1,249	1,281	1,201	1,176
Rata-rata		0,167	0,202	0,204	0,208	0,213	0,200	0,196
Kenaikan [%]		0	21	22	25	28	20	17

Lampiran D: Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi dan BSFC Mesin Diesel

D.1. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi Mesin Diesel

No	Beban [kw]	Konsumsi [lt/jam]				
		Temp 33 °C	Temp 40 °C	Temp 50 °C	Temp 60 °C	Temp 70 °C
1	0	0,6236	0,6086	0,5890	0,6103	0,6176
2	0,965	0,7088	0,7393	0,7394	0,7570	0,7527
3	1,93	0,9696	0,9653	1,0407	1,0416	1,0487
4	2,919	1,3046	1,2590	1,1665	1,1602	1,1857
5	3,836	1,4940	1,4838	1,4857	1,4537	1,4960
6	4,752	1,7565	1,7011	1,6799	1,6416	1,6851
7	5,669	1,8853	1,8915	1,8527	1,7117	1,8003
Jumlah		8,7427	8,6488	8,5544	8,3762	8,5855
Rata - rata		1,2490	1,2355	1,2221	1,1966	1,2265
Penurunan [%]		0	1	2	4	2

D.2. Data Hasil Pengujian Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Solar Terhadap BSFC Mesin

No	Beban [kw]	BSFC [kg/kW,jam]				
		Temp 33 °C	Temp 40 °C	Temp 50 °C	Temp 60 °C	Temp 70 °C
1	0	0	0	0	0	0
2	0,965	0,6185	0,6359	0,6298	0,6402	0,6272
3	1,93	0,4230	0,4152	0,4433	0,4405	0,4367
4	2,919	0,3764	0,3581	0,3285	0,3244	0,3267
5	3,836	0,3280	0,3211	0,3184	0,3093	0,3136
6	4,752	0,3112	0,2971	0,2907	0,2819	0,2851
7	5,669	0,2800	0,2771	0,2686	0,2464	0,2554
Jumlah		2,3371	2,3045	2,2793	2,2426	2,2445
Rata-rata		0,3895	0,3841	0,3799	0,3738	0,3741
Penurunan [%]		0	1,4	2,5	4,0	3,9

D.3. Efisiensi Termal Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Solar

No	Beban [HP]	Efisiensi				
		Temp 33 °C	Temp 40 °C	Temp 50 °C	Temp 60 °C	Temp 70 °C
1	0	0	0	0	0	0
2	1,312	0,130	0,126	0,127	0,125	0,128
3	2,624	0,189	0,193	0,181	0,182	0,183
4	3,968	0,213	0,224	0,244	0,247	0,245
5	5,215	0,244	0,250	0,252	0,259	0,256
6	6,461	0,257	0,270	0,276	0,284	0,281
7	7,797	0,286	0,289	0,298	0,325	0,314
Jumlah		1,320	1,352	1,378	1,423	1,093
Rata - rata		0,220	0,225	0,230	0,237	0,182
Kenaikan [%]		0	2	4	8	-17

Lampiran E: Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Berbagai Temperatur

E.1. Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 33 °C

No	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0,6236	0,7037
2	0,965	0,7088	0,8412
3	1,93	0,9696	1,0706
4	2,919	1,3046	1,3537
5	3,836	1,4940	1,8402
6	4,752	1,7565	2,3741
7	5,669	1,8853	3,0141
Jumlah		8,7424	11,1975
Rata-rata		1,25	1,60
Kenaikan [%]		0,28	

E.2. Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 40 °C

No	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0,6086	0,6924
2	0,965	0,7393	0,8498
3	1,93	0,9653	1,0899
4	2,919	1,2590	1,3776
5	3,836	1,4838	1,7975
6	4,752	1,7011	2,2690
7	5,669	1,8915	2,6934
Jumlah		8,6486	10,7697
Rata-rata		1,24	1,54
Kenaikan [%]		0,25	

E.3. Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 50 °C

No	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0,5890	0,6919
2	0,965	0,7394	0,8614
3	1,93	1,0407	1,1678
4	2,919	1,1665	1,3900
5	3,836	1,4857	1,7480
6	4,752	1,6799	2,2042
7	5,669	1,8527	2,5781
Jumlah		8,5539	10,6415
Rata-rata		1,22	1,52
Kenaikan [%]		0,24	

E.4. Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 60 °C

No	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0,6103	0,6968
2	0,965	0,7570	0,8717
3	1,93	1,0416	1,1565
4	2,919	1,1602	1,3238
5	3,836	1,4537	1,7256
6	4,752	1,6416	2,1387
7	5,669	1,7117	2,5841
Jumlah		8,3761	10,4973
Rata-rata		1,20	1,50
Kenaikan [%]		0,25	

E.5. Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 70 °C

No	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0,6176	0,6977
2	0,965	0,7527	0,9162
3	1,93	1,0487	1,1417
4	2,919	1,1857	1,3076
5	3,836	1,4960	1,6367
6	4,752	1,6851	2,0343
7	5,669	1,8003	2,5903
Jumlah		8,5862	10,3246
Rata-rata		1,23	1,47
Kenaikan [%]		0,20	

Lampiran F: Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Berbagai Temperatur

F.1. Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 33 °C

No	Beban [kw]	BSFC [lt/kW.jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0	0
2	0,965	0,7346	0,8718
3	1,93	0,5024	0,5548
4	2,919	0,4470	0,4638
5	3,836	0,3895	0,4798
6	4,752	0,3697	0,4996
7	5,669	0,3326	0,7046
Jumlah		2,7758	3,5744
Rata-rata		0,46	0,60
Kenaikan [%]		0,29	

F.2. Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 40 °C

No	Beban [kw]	BSFC [lt/kW.jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0	0
2	0,965	0,7662	0,8807
3	1,93	0,5002	0,5648
4	2,919	0,4313	0,4720
5	3,836	0,3869	0,4686
6	4,752	0,3580	0,4775
7	5,669	0,3337	0,4751
Jumlah		2,7763	3,3387
Rata-rata		0,46	0,56
Kenaikan [%]		0,20	

F.3. Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 50 °C

No	Beban [kw]	BSFC [lt/kW.jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0	0
2	0,965	0,7662	0,8927
3	1,93	0,5393	0,6052
4	2,919	0,3996	0,4762
5	3,836	0,3873	0,4557
6	4,752	0,3535	0,4638
7	5,669	0,3268	0,4548
Jumlah		2,7728	3,3485
Rata-rata		0,46	0,56
Kenaikan [%]		0,21	

F.4. Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 60 °C

No	Beban [kw]	BSFC [lt/kW.jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0	0
2	0,965	0,7845	0,9034
3	1,93	0,5398	0,5993
4	2,919	0,3975	0,4535
5	3,836	0,3790	0,4499
6	4,752	0,3454	0,4501
7	5,669	0,3020	0,4558
Jumlah		2,7482	3,3120
Rata-rata		0,46	0,55
Kenaikan [%]		0,21	

F.5. Perbandingan Beban Terhadap BSFC antara Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biodiesel pada Temperatur 70 °C

No	Beban [kw]	BSFC [lt/kW.jam]	
		Solar	Biodiesel
1	0	0	0
2	0,965	0,7801	0,9495
3	1,93	0,5434	0,5916
4	2,919	0,4062	0,4480
5	3,836	0,3900	0,4267
6	4,752	0,3546	0,4281
7	5,669	0,3176	0,4569
Jumlah		2,7919	3,3008
Rata-rata		0,47	0,55
Kenaikan [%]		0,18	

Lampiran G: Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Berbagai Temperatur

G.1. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 33°C

No	Temp [°C]	Beban	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	33	0	0,6283	0,6164	0,6261	0,6236	0
2		0,965	0,7200	0,6923	0,7143	0,7088	0,7346
3		1,93	0,9730	0,9549	0,9809	0,9696	0,5024
4		2,919	1,2811	1,3043	1,3284	1,3046	0,4470
5		3,836	1,4694	1,5000	1,5126	1,4940	0,3895
6		4,752	1,7143	1,7647	1,7910	1,7565	0,3697
7		5,669	1,8462	1,8947	1,9149	1,8853	0,3326

G.2. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 40°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	40	0	0,6122	0,6228	0,5911	0,6086	0
2		0,965	0,7377	0,7302	0,7500	0,7393	0,7662
3		1,93	0,9836	0,9549	0,9574	0,9653	0,5002
4		2,919	1,2329	1,2632	1,2811	1,2590	0,4313
5		3,836	1,4634	1,5126	1,4754	1,4838	0,3869
6		4,752	1,6667	1,7225	1,7143	1,7011	0,3580
7		5,669	1,9048	1,8750	1,8947	1,8915	0,3337

G.3. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 50°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	50	0	0,5751	0,5970	0,5950	0,5890	0
2		0,965	0,7362	0,7273	0,7547	0,7394	0,7662
3		1,93	1,0435	1,0619	1,0169	1,0407	0,5393
4		2,919	1,1765	1,1465	1,1765	1,1665	0,3996
5		3,836	1,4694	1,5000	1,4876	1,4857	0,3873
6		4,752	1,7143	1,6364	1,6901	1,6799	0,3535
7		5,669	1,8274	1,8557	1,8750	1,8527	0,3268

G.4. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 60°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	60	0	0,6061	0,6316	0,5931	0,6103	0
2		0,965	0,7547	0,7453	0,7709	0,7570	0,7845
3		1,93	1,0526	1,0526	1,0198	1,0416	0,5398
4		2,919	1,1726	1,1429	1,1650	1,1602	0,3975
5		3,836	1,4343	1,4634	1,4634	1,4537	0,3790
6		4,752	1,6667	1,6071	1,6514	1,6416	0,3454
7		5,669	1,7308	1,7143	1,6901	1,7117	0,3020

G.5. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Solar Pada Temperatur 70°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	70	0	0,6394	0,6102	0,6122	0,6176	0
2		0,965	0,7500	0,7660	0,7423	0,7527	0,7801
3		1,93	1,0588	1,0169	1,0681	1,0487	0,5434
4		2,919	1,1881	1,1613	1,2081	1,1857	0,4062
5		3,836	1,4815	1,4876	1,5190	1,4960	0,3900
6		4,752	1,6981	1,6590	1,6981	1,6851	0,3546
7		5,669	1,8274	1,7734	1,8000	1,8003	0,3176

G.6. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 33°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	33	0	0,6923	0,7115	0,7073	0,7037	0
2		0,965	0,8295	0,8511	0,8431	0,8412	0,8718
3		1,93	1,0557	1,0651	1,0909	1,0706	0,5548
4		2,919	1,3483	1,3793	1,3333	1,3537	0,4638
5		3,836	1,8090	1,8462	1,8653	1,8402	0,4798
6		4,752	2,3377	2,3684	2,4161	2,3741	0,4996
7		5,669					

G.7. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 40°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	40	0	0,7045	0,6805	0,6923	0,6924	0
2		0,965	0,8392	0,8491	0,8612	0,8498	0,8807
3		1,93	1,0876	1,0778	1,1043	1,0899	0,5648
4		2,919	1,3900	1,3636	1,3793	1,3776	0,4720
5		3,836	1,7647	1,8367	1,7910	1,7975	0,4686
6		4,752	2,2642	2,2500	2,2930	2,2690	0,4775
7		5,669	2,7068	2,6667	2,7068	2,6934	0,4751

G.8. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 50°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	50	0	0,6910	0,7018	0,6831	0,6919	0
2		0,965	0,8511	0,8551	0,8780	0,8614	0,8927
3		1,93	1,1429	1,1803	1,1803	1,1678	0,6052
4		2,919	1,3793	1,3900	1,4008	1,3900	0,4762
5		3,836	1,7822	1,7476	1,7143	1,7480	0,4557
6		4,752	2,2086	2,1818	2,2222	2,2042	0,4638
7		5,669	2,6277	2,5714	2,5352	2,5781	0,4548

G.9 Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 60°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	60	0	0,6883	0,7059	0,6963	0,6968	0
2		0,965	0,8633	0,8802	0,8717	0,8717	0,9034
3		1,93	1,1765	1,1538	1,1392	1,1565	0,5993
4		2,919	1,3139	1,3483	1,3091	1,3238	0,4535
5		3,836	1,7225	1,7561	1,6981	1,7256	0,4499
6		4,752	2,1557	2,1429	2,1176	2,1387	0,4501
7		5,669	2,5714	2,6277	2,5532	2,5841	0,4558

G.10. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 70°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	70	0	0,6897	0,7059	0,6977	0,6977	0
2		0,965	0,9045	0,9114	0,9326	0,9162	0,9495
3		1,93	1,1429	1,1285	1,1538	1,1417	0,5916
4		2,919	1,3235	1,2903	1,3091	1,3076	0,4480
5		3,836	1,6667	1,6071	1,6364	1,6367	0,4267
6		4,752	2,0000	2,0339	2,0690	2,0343	0,4281
7		5,669	2,5532	2,5899	2,6277	2,5903	0,4569

G.11. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 80°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	80	0	0,6910	0,7157	0,7045	0,7037	0
2		0,965	0,9278	0,9499	0,9600	0,9459	0,9803
3		1,93	1,2081	1,2245	1,1921	1,2082	0,6261
4		2,919	1,4118	1,3636	1,3846	1,3867	0,4751
5		3,836	1,7225	1,7734	1,7143	1,7367	0,4528
6		4,752	2,1951	2,1687	2,2360	2,1999	0,4629
7		5,669	2,8571	2,8800	2,9268	2,8880	0,5094

G.12. Data Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi dan BSFC Bahan Bakar Biodiesel Pada Temperatur 90°C

No	Temp [°C]	Beban [kw]	Konsumsi Bahan Bakar [lt/jam]				BSFC [Lt/kW.jam]
			I	II	III	Rata- Rata	
1	90	0	0,6923	0,7059	0,6844	0,6942	0
2		0,965	0,9574	0,9730	0,9890	0,9731	1,0085
3		1,93	1,2081	1,2287	1,2457	1,2275	0,6361
4		2,919	1,4516	1,4173	1,4118	1,4269	0,4889
5		3,836	1,800	1,8274	1,7822	1,8032	0,4701
6		4,752	2,2785	2,3077	2,500	1,2787	0,4795
7		5,669	3,0252	2,9508	2,9508	2,9676	0,5235

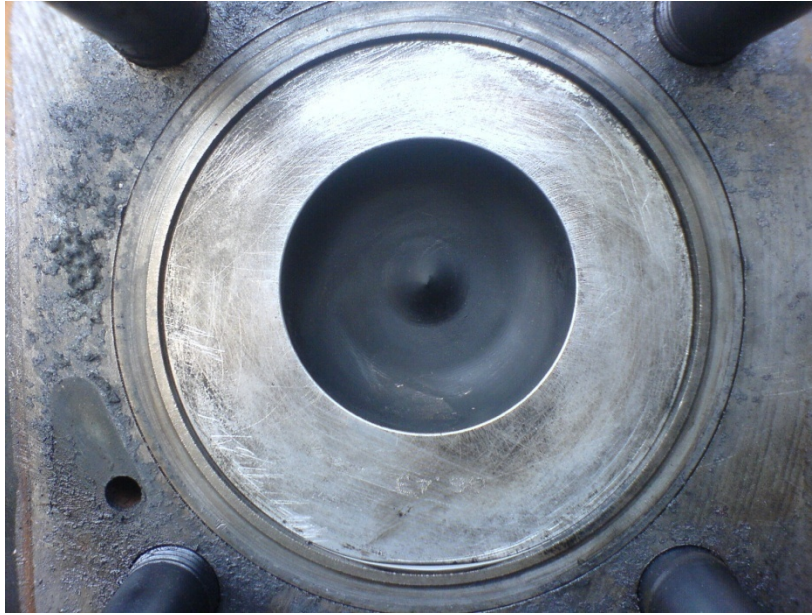
Lampiran H : Foto Dukumenter



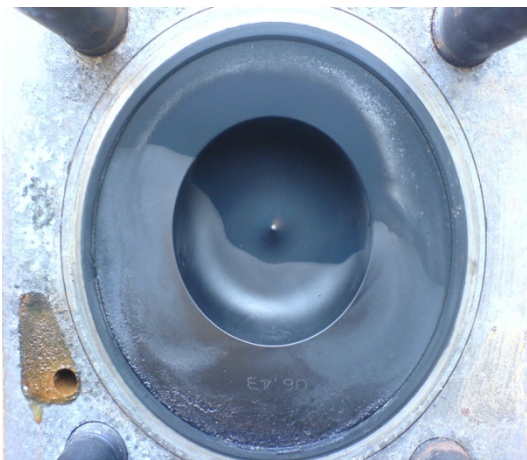
H.1. Foto buah kelapa sawit



H.2. Foto mesin diesel yang digunakan penelitian



H.3. Foto piston sebelum penelitian



H.4. Foto piston setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar solar



H.5. Foto piston setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel



H.6. Foto silinder kop sebelum penelitian



H.7. Foto silinder kop setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar solar



H.8. Foto silinder kop setelah Penelitian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel



H.9. Foto nosel sebelum penelitian



H.10. Foto nosel setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar solar



H.11. Foto nosel setelah penelitian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel



H.12. Foto saat pengambilan data di lab energi D III Teknik Mesin Undip



H.13. Foto name plate mesin diesel yang digunakan penelitian.



H.14. Foto tempat termometer di pasang pada mesin diesel



H.15. Foto pemanas untuk pengaturan beban mesin diesel



H.16. Foto pengukuran (pengecekan) ampere pemanas sebelum digunakan