

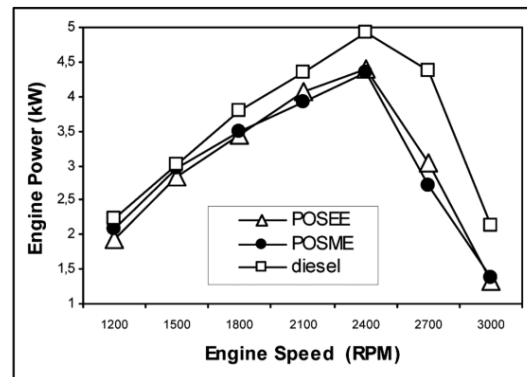
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Motor diesel merupakan jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), dimana sistem penyalaan bahan bakar dengan cara menyemprotkan bahan bakar dengan pompa bertekanan kedalam silinder yang berisi udara terkompresi. Penelitian mengenai kinerja mesin diesel dengan menggunakan berbagai macam bahan bakar telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang terkait dengan kinerja mesin diesel dan semprotan injeksi pada performa mesin diesel. Oleh karena itu penelitian ini difokuskan pada perolehan hasil kinerja mesin diesel serta karakteristik injeksi (semprotan *nozzle*).

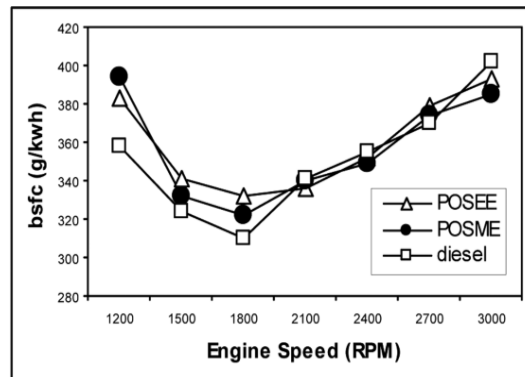
Taymaz dan Sengil (2010) melakukan penelitian tentang *Performance and Emission Charactersitis of a Diesel Engine using Ester of Palm Olein/Soybean Oil Blends* dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 2.1 Daya mesin (kW) terhadap putaran mesin (rpm)

Variasai nilai daya mesin dalam kaitannya dengan kecepatan putaran mesin ditunjukkan pada gambar 2.1. daya yang tertinggi pada pengujian tersebut yaitu sebesar 4,93 kW pada putaran mesin 2400 rpm. Nilai daya maksimum yang teramati dari operasi bahan bakar biodiesel yaitu pada putaran mesin

sekitar 2400 rpm. Perbedaan daya rata-rata antara solar, POSME dan POSSE sekitar 16% dan 16,9%.



Gambar 2.2 Konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW) terhadap putaran mesin (rpm)

Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan salah satu kinerja penting dari sebuah mesin yang didefinisikan sebagai konsumsi per unit daya dalam satuan waktu. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai konsumsi bahan bakar spesifik minimum yang diperoleh yaitu untuk bahan bakar diesel (solar) sebesar 309,75 g/kWh, bahan bakar POSME sebesar 322,4 g/kWh dan bahan bakar POSSE sebesar 332,4 g/kWh.

Valente, et al (2010) melakukan penelitian tentang *Fuel Consumption and Emissions from a Diesel Power Generator Fuelled with Castor Oil and Soybean Biodiesel*. Bahan bakar yang diamati dalam penelitian ini yaitu bahan bakar solar (B0), biodiesel jarak (B100), dan biodiesel kedelai (B100).

Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Bakar

Property	Fuel		
	B0	B100C	B100S
<i>Density at 20 °C (kg/m³)</i>	858	917	885
<i>Viscosity at 40 °C x 10⁶ (m²/s)</i>	3,79	14,4	4,78
<i>Cetane index</i>	46.2	-	-
<i>Sulfur content (mg/kg)</i>	370	0,3	0,15
<i>Acid value (mg KOH/g)</i>	0,4	3,9	-

Bahan bakar biodiesel jarak dicampur solar dengan konsentrasi 5% (B5C), 20% (B20C), dan 35% (B35C). Sementara itu biodiesel kedelai dicampur solar dengan konsentrasi 5% (B5S), 20% (B20S), 35% (B35S), 50% (B50S), dan 85% (B85S).

Alat yang digunakan dalam penelitiannya yaitu Diesel Power Generator dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

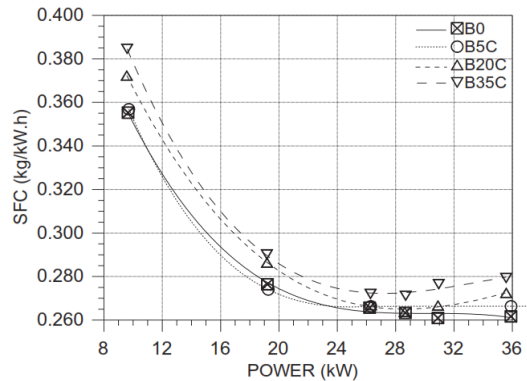
Tabel 2.2 Spesifikasi Diesel Power Generator

Parameter	Value
<i>Engine Details</i>	
<i>Number of Cylinders</i>	4
<i>Bore x Stroke</i>	0,102 m x 0.120 m
<i>Total Displacement</i>	$3,922 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
<i>Power Generator Details</i>	
<i>Number of Poles</i>	4
<i>Tension</i>	220 V
<i>Number of Phases</i>	3
<i>Rated Power</i>	55 kW
<i>Frequency</i>	60 Hz

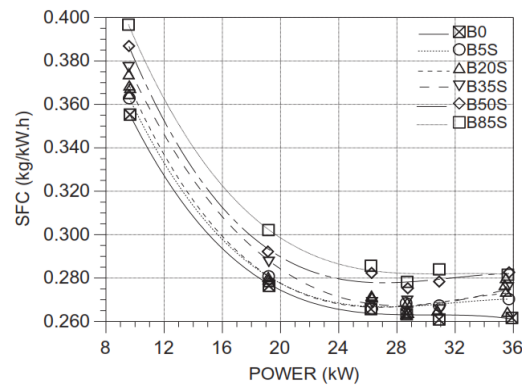
Metode pengambilan data yang dilakukan pada penelitiannya dengan variasi beban dan waktu yang tertera pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Periode uji konsumsi bahan bakar untuk beban yang diterapkan

Daya (kW)	Uji Periode (menit)
0	30
10	20
20	15
30	10
37,5	5



Gambar 2.3 Konsumsi bahan bakar spesifik dengan daya beban
(Biodiesel jarak)



Gambar 2.4 Konsumsi bahan bakar spesifik dengan daya beban
(Biodiesel kedelai)

Seperti yang terlihat pada gambar 2.5 dan 2.6 SFC menurun dengan meningkatnya daya beban sampai mencapai minimum. SFC terendah tercatat sekitar 28 kW, yang sesuai dengan sekitar 2/3 daya maksimum untuk konfigurasi mesin ini dalam campuran bahan bakar sepanjang rentan beban yang diteliti. Biodiesel minyak jarak dan campuran biodiesel kedelai menunjukkan karakteristik yang sama. Perbedaan SFC yang ditunjukkan oleh B85S dan minyak diesel (B0) bervariasi dari 4,6% sampai 11,9% (gambar 2.6). perlu disebutkan bahwa mesin diuji dengan konfigurasi aslinya yang dioptimalkan untuk operasi minyak diesel.

Soguzu (2016) melakukan penelitian tentang *Influence of Diesel Fuel and Soybean Oil Ethyl Ester Blends on the Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine*. Uji mesin dilakukan pada mesin diesel satu silinder dan *direct injection* (DI). Spesifikasi mesin terlihat pada table 2.4. sensor beban regangan digunakan untuk menentukan beban pada dynamometer. Kecepatan mesin diukur dengan sensor kecepatan elektromagnetik yang terpasang pada dynamometer. Tingkat konsumsi bahan bakar mesin ditentukan dengan skala timbangan yang memiliki sensitivitas 0,1 g dan kronometer elektronik yang memiliki sensitivitas 0,1 s.

Tabel 2.4 Spesifikasi Mesin

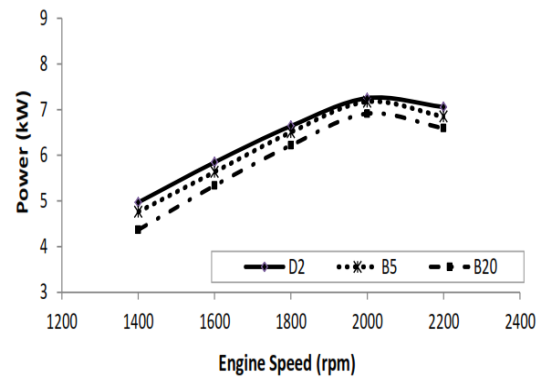
<i>Items</i>	<i>Spesifications</i>
<i>Cylinders number</i>	1
<i>Swept volume</i>	668 cm ³
<i>Bore</i>	90 mm
<i>Stroke</i>	105 mm
<i>Compression ratio</i>	21/1
<i>Maximum speed</i>	3000 min ⁻¹
<i>Maximum brake torque</i>	36,7 Nm at 1800 min ⁻¹
<i>Cooling system</i>	Air-cooled

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu campuran solar 95% dan *Soybean Oil Ethyl Ester* (SOEE) 5% (B5) dan solar 80% dan 20% *Soybean Oil Ethyl Ester* (SOEE) 20% (B20). Berikut ini sifat fisik bahan bakar yang terlihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Karakteristik Biodiesel dan Bahan Bakar Diesel

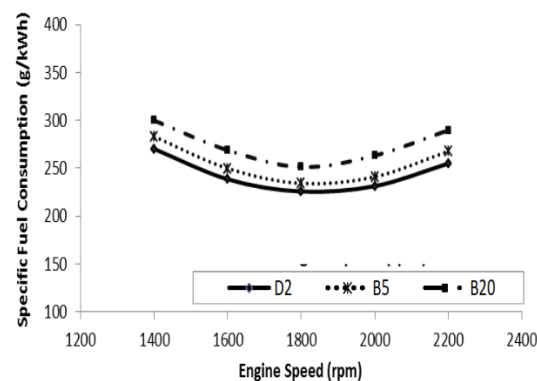
<i>Properties</i>	<i>Diesel Fuel</i>	B5	B20
<i>Density (kg/m³)</i>	837,6	843,2	851,3
<i>Viscosity (mm²/s)(at 40°C)</i>	3,6	4,66	4,74
<i>Flash Point (°C)</i>	61,5	63,2	65,4
<i>Calorific Value (kJ/kg)</i>	44980	44650	43350

Berikut ini hasil daya yang dihasilkan dan konsumsi bahan bakar pada penelitian ini.



Gambar 2.5 Daya mesin pada beban penuh

Daya yang dihasilkan setelah dihitung yaitu untuk bahan bakar diesel adalah 6,64 kW, 6,50 kW untuk B5, dan 6,21 kW untuk B20. Nilai kalor rendah adalah alasan utama penurunan tenaga mesin dan torsi. Meski mengalami sedikit penurunan pada torsi dan tenaga mesin, maka dapat dikatakan bahwa kekuatan mesin dan torsi dari bahan bakar campuran serupa dengan bahan bakar diesel.



Gambar 2.6 Konsumsi bahan bakar spesifik pada beban penuh

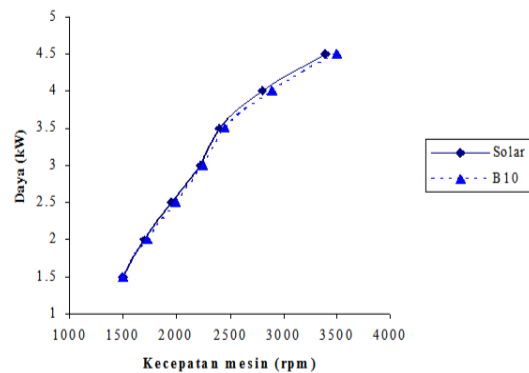
Dibandingkan dengan bahan bakar diesel, nilai konsumsi bahan bakar spesifik dari SOEE lebih tinggi secara umum (gambar 2.6). hal ini mungkin

dikarenakan nilai kalor lebih rendah dari bahan bakar biodiesel. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik terendah pada 1800 menit⁻¹ dengan semua bahan bakar uji. Sedangkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi diperoleh pada 1400 menit⁻¹. Penurunan maksimum konsumsi bahan bakar spesifik adalah 3,84% dengan B5 pada 1800 menit⁻¹.

Kurdi (2006) meneliti tentang uji performa mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dari jarak pagar. Spesifikasi mesin yang digunakan pada performa mesin ini adalah mesin KUBOTA model RD-85. Sistem injeksi bahan bakar langsung, mesin 4 langkah, 1 silinder, dan daya keluaran maksimum 4,5 kW pada 3400 rpm. Kinerja biodiesel B10 dengan solar dibandingkan pada bukaan nosel pada rentang beban 1,5 kW sampai 4,5 kW. Hasil terlihat pada tabel 2.4.

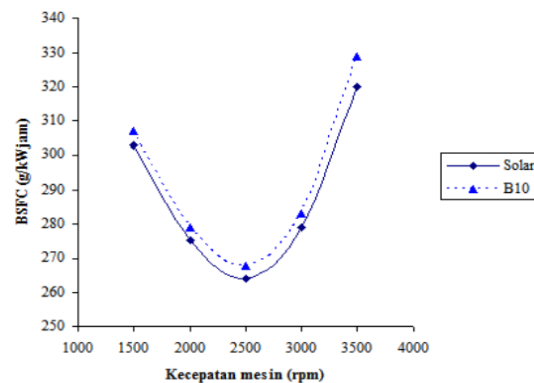
Tabel 2.6 Hasil pengukuran daya mesin dan konsumsi bahan bakar pada berbagai beban

Beban	Solar		Biodiesel (B10)	
	RPM	Konsumsi	RPM	Konsumsi
1.5	1500	456	1500	460.5
2	1700	584	1725	592
2.5	1950	695	2000	700
3	2225	801	2225	816
3.5	2400	927.5	2450	938
4	2800	1092	2900	1120
4.5	3400	1408.5	3500	1485



Gambar 2.7 Daya (kW) terhadap kecepatan mesin (rpm)

Pada hasil diatas menunjukkan bahwa terdapat penurunan daya sebesar 4,5% pada kecepatan 3500 mesin berbahan bakar biodiesel (B10). Hal ini disebabkan bahwa kandungan energi B10 lebih rendah mengingat bahwa kandungan energi biodiesel 9,4% lebih rendah dari solar. Grafik kecenderungan daya terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.8 BSFC dan Kecepatan mesin

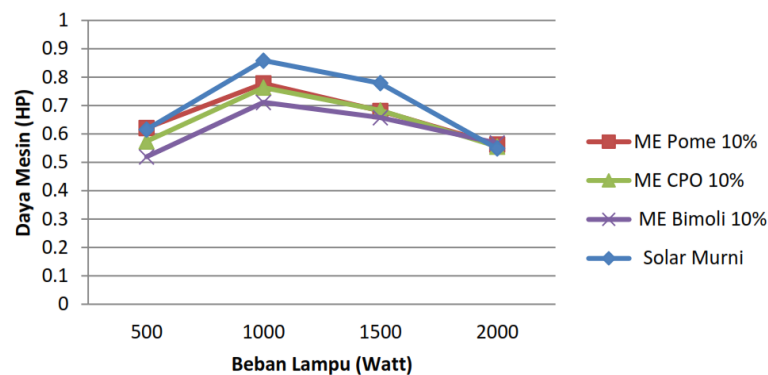
Secara keseluruhan BSFC (Brake Specific Fuel Consumption) untuk B10 lebih tinggi dari pada solar. Perbedaan terbesar terjadi pada kecepatan 3500 rpm yaitu sebesar 2.7 %.

Witanto dan Budiyo (2015) Uji karakterisasi biodiesel yang dilakukan pada beberapa parameter penting, seperti viskositas, kadar air, bilangan asam, dan kerapatan massa. Hasil pengukuran viskositas menunjukkan bahwa viskositas biodiesel yang diperoleh (3.18 cSt) telah memenuhi standard ASTM dan Standard SNI untuk petroleum diesel. Walaupun demikian, pengujian kadar air dan bilangan asam yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar air dan bilangan asam biodiesel yang diperoleh masih belum memenuhi standard SNI & standard ASTM untuk petroleum diesel. (Tabel 2.5).

Tabel 2.7 Karakteristik Metil Estel (Biodiesel)

No	Karakteristik	Metil Ester	Target SNI
1	Viskositas	3,18	2,3-6,0
2	Densitas	0,873	0,85-0,89
3	Bilangan Asam	1,6	0,8
4	Kadar Air	3,37	0,05

Pada pengujian ini, dilakukan blending biodiesel dan petroleum diesel dengan komposisi 10% biodiesel dan 90% (B-10) . Pada pengujian tersebut digunakan pula bahan bakar petroleum diesel yang mengandung 10% metil ester berbahan baku CPO dan bahan bakar solar lain mengandung 10% metilester berbahan baku minyak goreng (seperti terlihat pada Gambar 2.7).



Gambar 2.9 Hubungan antara beban dan daya mesin diesel dengan berbagai jenis bahan bakar biodiesel dan solar

Beban lampu divariasikan, yakni 500W, 1000W, 1500W dan 2000W, seperti pada penelitian Hasoloan, 2008. Daya mesin dihitung dengan rumus Maleev, 1986 dalam penelitian Murni (2010) yakni menggunakan data tegangan keluaran generator (volt) dan besarnya arus (Ampere). Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa Daya tertinggi diperoleh saat motor diesel menggunakan Bahan bakar Solar (murni), dimana daya mesin mengalami peningkatan hingga pada beban lampu maksimal 1000 watt. Penurunan daya mesin mulai terjadi pada beban lampu diatas 1000 watt dan

terus mengalami penurunan hingga pada beban lampu 2000 watt. Hal ini terjadi karena kapasitas dari generator yang sangat terbatas (maksimal daya 3000 watt) untuk kondisi ideal. Namun pada pelaksanaan pengujian ternyata genset hanya mampu beroperasi secara ideal pada beban maksimal 1000 watt. Beban diatas 1000 watt menyebabkan terjadinya penurunan Tegangan yang tidak sebanding dengan peningkatan arus, akibatnya daya mengalami penurunan. Pengujian motor diesel dengan menggunakan variasi campuran 10% metil ester Palm Oil Mill Effluent (POME) dan 90% Solar murni, menunjukkan hasil yang sama dengan pengujian saat menggunakan solar murni. Namun terlihat daya mesin pada semua variasi beban lebih rendah dibandingkan saat menggunakan bahan bakar solar. Berdasarkan gambar 1 tersebut, biodiesel berbahan baku minyak fraksi POME (ME POME 10%) menghasilkan daya yang lebih rendah dari petroleum diesel (Solar murni). Namun pada beban yang rendah, daya yang dihasilkan masih lebih tinggi dari biodiesel yang lain, yakni pada variasi dengan campuran 10% CPO dan pada variasi dengan campuran 10% metil ester minyak goreng. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar menunjukkan bahwa penggunaan solar murni memerlukan bahan bakar minyak sebanyak 164,5 ml/25 menit percobaan. Penggunaan campuran 10% metil ester POME memerlukan konsumsi bahan bakar sebanyak 163 ml/25 menit. Konsumsi bahan bakar paling rendah yakni saat menggunakan campuran 10% metil ester CPO sedangkan konsumsibahan bakar paling tinggi yakni saat menggunakan campuran 10 % metil ester minyak goreng. yang berarti penggunaan biodiesel dari POME ini lebih hemat.

Beberapa tinjauan di atas telah banyak dilakukan penelitian tentang performa mesin diesel sebagai parameternya adalah diberikan beban dan seberapa efisiensinya konsumsi bahan bakar yang digunakan dengan menggunakan bahan bakar biodiesel yang terbuat dari minyak nabati seperti minyak sawit, minyak kelapa, minyak jarak, minyak kedelai dan masih banyak lagi minyak nabati lainnya. Bahan bakar biodiesel rata-rata yang digunakan

pada penelitian di atas adalah campuran dengan solar dan masih jarang dilakukan penelitian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel 100% (B100) atau biodiesel murni. Minyak kedelai masih jarang dipergunakan untuk dijadikan bahan bakar biodiesel dibandingkan dengan minyak-minyak nabati yang saat ini sering digunakan seperti minyak sawit, minyak jarak dan minyak kelapa. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian performa mesin dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dari bahan baku minyak kedelai.

2.2. Landasan Teori

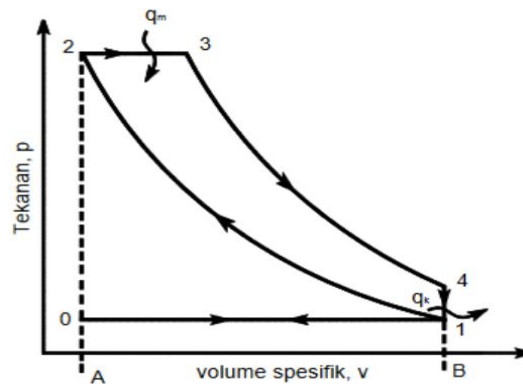
2.2.1. Definisi Mesin Diesel

Mesin diesel adalah motor bakar torak yang proses penyalannya dilakukan dengan menginjeksikan bahan bakar ke dalam silinder yang bertekanan dan bertemperatur tinggi dengan menggunakan injektor. Karena temperatur silinder lebih tinggi dan titik nyala bahan bakar maka terjadilah pembakaran. Persyaratan ini dapat dipenuhi apabila perbandingan rasio kompresi 12-14. Perbandingan kompresi yang rendah biasanya digunakan pada motor diesel ukuran besar dengan putaran rendah sedangkan perbandingan kompresi tinggi biasanya digunakan pada motor diesel ukuran kecil dengan putaran tinggi (4000 rpm), perancangan biasanya menggunakan perbandingan kompresi yang serendah-rendahnya berdasarkan pertimbangan kekuatan material dan berat mesinnya, oleh karena itu motor diesel bekerja dengan perbandingan kompresi Antara 14-17 (Arismunandar dan Tsuda, 2002).

Motor diesel menggunakan siklus dual diesel, siklus ini berasal dari rancangan Rudolf Diesel untuk menggunakan udara tanpa bahan bakar yang ditekan sampai tekanan tinggi (karena itu temperaturnya tinggi) dengan menggunakan angka kompresi yang tinggi dari dari pada siklus Otto. Temperatur yang tinggi ini menyebabkan bahan bakar menyala pada waktu disemprotkan ke dalam ruang pembakaran. Dalam siklus ini udara ditekan hingga volume yang sangat kecil sehingga mempunyai tekanan dan temperatur

yang sangat tinggi di dekat TMA, bahan bakar disemprotkan kedalam silinder berisi udara tekanan tinggi dan terjadilah proses pembakaran.

Pada motor diesel terdapat suatu proses pemasukan dan pengeluaran kalor dengan tekanan konstan atau dikenal dengan siklus udara tekanan konstan (siklus diesel). Siklus udara tekanan konstan merupakan siklus motor bakar torak yang terjadi ketika pemasukan dan pengeluaran kalor atau panas terjadi pada tekanan konstan. Siklus ini terjadi pada jenis motor diesel. berikut ini merupakan siklus diesel.



Gambar 2.10 Siklus Mesin Diesel (Arismunandar, 1988)

Keterangan gambar :

- 0 – 1 : Langkah isap, tekanan (P) konstan (isobarik)
- 1 – 2 : Langkah kompresi, tekanan (P) bertambah (adiabatik)
- 2 – 3 : Proses pemasukan kalor (isobarik)
- 3 – 4 : Proses ekspansi (adiabatik)
- 4 – 1 : Proses pengeluaran kalor (isokhorik)
- 1 – 0 : Langkah buang, tekanan (P) konstan (isobarik)

Pada awalnya udara masuk ke dalam silinder, kemudian dilanjutkan proses kompresi, udara yang masuk dikompresi hingga mencapai temperatur dan tekanan tinggi. Udara yang temperatur dan tekanan tinggi inilah yang akan digunakan untuk membakar bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar. Terbakarnya bahan bakar pada ruang bakar ini akan menyebabkan

terjadinya ledakan, sehingga tekanan akan meningkat dan mendorong torak menuju titik mati bawah (TMB) atau yang biasa disebut sebagai ekspansi adiabatik. Gas sisa hasil pembakaran tersebut selanjutnya dibuang melalui katup *exhaust*. Proses pembakaran yang terjadi pada siklus tersebut akan berlangsung secara terus menerus selama mesin hidup.

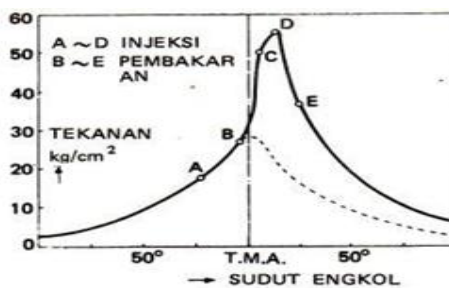
2.2.2. Pembakaran Mesin Diesel

Pembakaran merupakan suatu reaksi kimia yang mana elemen-elemen tertentu suatu bahan bakar berkombinasi dengan oksigen sehingga menyebabkan naiknya temperatur dari gas-gas tersebut. Elemen utama dari bahan bakar yang mudah terbakar adalah karbon dan hidrogen.

Motor diesel merupakan jenis motor dengan pembakaran yang memanfaatkan suhu dari udara yang telah dikompresikan di dalam silinder (*Compression-ignition engine*). Tekanan udara didalam silinder motor diesel pada akhir langkah kompresi adalah 40-45 Kg/cm² dan temperaturnya 600 °C (E. Karyanto, 2000 : 164).

Bahan bakar disemprotkan oleh injektor (nosel) dalam bentuk kabut. Penyalaan dimulai dari titik dimana campuran bahan bakar dan udara yang paling sesuai, selanjutnya diikuti dengan pembakaran dari campuran tersebut. Sedangkan terjadinya proses pembakaran akan mengakibatkan peningkatan suhu dan tekanan udara.

Proses pembakaran motor diesel berlangsung dalam empat periode sebagai berikut :



Gambar 2.11 Proses Pembakaran pada Motor Diesel (Daryanto dan Setyabudi, 2013)

a. Periode pertama : kelambatan pembakaran / *Delay Periode* (A-B)

Periode ini merupakan proses percampuran dari bahan bakar yang mengandung partikel halus dan udara, sehingga membentuk campuran yang mudah terbakar. Waktu yang dibutuhkan untuk proses ini dinamakan periode persiapan pembakaran (*delay periode*). Lama waktu pada periode ini sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh motor diesel. Kenaikan tekanan seiring dengan gerakan naiknya torak didalam silinder.

b. Periode kedua : penyebaran api (B-C)

Campuran bahan bakar dan udara mulai terbakar dan api akan menyebar ke seluruh ruang pembakaran dengan cepat sehingga akan timbul letupan dalam silinder dan tekanan maupun suhunya akan naik secara cepat.

c. Periode ketiga : Pembakaran langsung (C-D)

Bahan bakar segera terbakar pada periode ini sehingga tidak ada proses keterlambatan nyala. Pembakaran dapat dikontrol dengan sejumlah bahan bakar yang disemprotkan pada periode ini. Oleh karena itu periode ini sering disebut juga dengan periode pembakaran terkontrol. Periode ini berhubungan dengan kecepatan penyemprotan, ukuran tetesan kabut dan jumlah penyemprotan.

d. Periode keempat : Pembakaran sisa (D-E)

Meskipun penyemprotan bahan bakar telah selesai, keadaan pembakaran sempurna belum sepenuhnya tercapai pada titik D dan masih akan terbakar antara titik D-E, pada proses ekspansi/kerja.

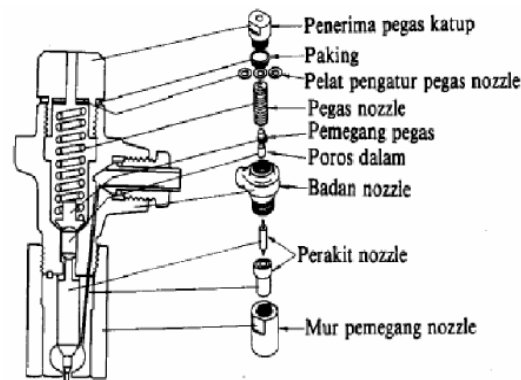
Periode ini berhubungan erat dengan banyaknya bahan bakar yang akan disemprotkan, tetesan ukuran kabut, kontak dengan udara dalam ruang bakar. Agar pembakaran ini dapat efektif, maka tekanan selama periode pembakaran cepat dijaga serendah mungkin.

Karakteristik bahan bakar diesel yang penting yaitu kualitas penyalaan (*ignition quality*). Kualitas penyalaan ini berkaitan dengan apa yang disebut "*ignition delay*". Semakin pendek *ignition delay* maka semakin baik

pula kualitas penyalanya. Kualitas ini ditunjukkan dengan angka cetane (*Cetane Number, CN*).

2.2.3. Injektor dan Nosel

Injektor berfungsi untuk menghantarkan bahan bakar dari pompa injektor ke dalam silinder pada setiap akhir langkah kompresi dimana piston mendekati titik TMA. Injektor yang dirancang sedemikian rupa mengubah tekanan bahan bakar dari pompa injector yang bertekanan tinggi untuk membentuk kabut yang bertekanan antara 60 sampai 200 kg/cm², tekanan ini mengakibatkan peningkatan suhu pembakaran di dalam silinder meningkat menjadi 600°C. Nosel berfungsi sebagai penyemprot bahan bakar ke dalam ruang bakar.



Gambar 2.12 Kontruksi Injektor (Dikmenjur, 2003)

Pada bagian ujung setiap *injector* terdapat komponen yang disebut dengan *nozzle*, yang berfungsi sebagai katup atau membentuk kabutan bahan bakar yang diharapkan. *Nozzle* dipasangkan pada body *injector* menggunakan mur pengikat (*retaining nut*). *Nozzle* terdiri dari body dan jarum *nozzle* yang dihubungkan dengan pegas *injector* melalui *pressure spindle*. Besarnya tekanan pengabutan melalui tegangan pegas yang menekan jarum nosel. Bila tekanan yang diinginkan lebih tinggi, maka tinggal mengencangkan baut penyetel (*adjusting screw*) dan mengunci dengan mur pengunci (*lock nut*) dan sebaliknya. Namun ada juga jenis pengaturan yang lain, dimana pengaturan tekanan menggunakan ketebalan plat yang diletakan diatas plat. Bila tekanan

yang diinginkan menjadi lebih tinggi, maka perlu menambahkan ketebalan plat dan sebaliknya.

Prinsip kerja injektor, bahan bakar yang ditekan oleh pompa injeksi masuk ke *injector* melalui saluran tekan. Tekanan bahan bakar akan mendorong jarum pengabut keatas melawan tegangan pegas, sehingga jarum pengabut terangkat membuka lubang *injector* dan bahan bakar masuk kedalam silinder. Pada saat proses penekanan ini, kemungkinan ada bahan bakar yang merembes melalui celah antara jarum dan rumah nosel, maka kebocoran ini kemudian akan disalurkan kembali ketangkki melalui saluran balik.

2.2.4. Potensi Kedelai di Indonesia

Kedelai merupakan sumber protein paling populer bagi masyarakat Indonesia pada umumnya. Konsumsi utamanya dalam bentuk temped an tahu yang merupakan lauk pauk vital bagi masyarakat Indonesia. Bentuk lain produk kedelai adalah kecap, tauco, susu kedelai, dan minyak kedelai.

Perkembangan luas panen kedelai Indonesia periode 1980-2015 berfluktuasi namun cenderung meningkat dengan laju peningkatan sebesar 0,62% per tahun. Pada tahun 2015 diperkirakan luas panen kedelai meningkat 4,01%, menjadi 640,35 ribu hektar dari tahun sebelumnya sebesar 615,69 ribu hektar.

Sentra produksi kedelai Indonesia berada di 7 Provinsi, memberikan kontribusi sebesar 87,40% terhadap produksi kedelai nasional selama lima tahun terakhir, dan 27 provinsi lainnya menyumbang 12,60%. Kontribusi terbesar oleh Provinsi Jawa Timur sebesar 39,74% (rata-rata produksi 351,92 ribu ton), diikuti Jawa Tengah 14,03% (rata-rata produksi 124,23 ribu ton), dan Nusa Tenggara Barat 10,65% (rata-rata produksi 94,33 ribu ton). Empat provinsi sentra lainnya berkontribusi dibawah 10%, yakni Jawa Barat 8,76% (rata-rata produksi 77,55 ribu ton), Aceh 5,96% (rata-rata produksi 44,80 ribu

ton), dan DI. Yogyakarta 3,21% (rata-rata produksi 28,41 ribu ton). (Kementerian Pertanian, 2015).

Tabel 2.8 Luas panen, Produksi dan Produktivitas Kedelai di Jawa, Luar Jawa dan Indonesia, 1970-2015

Wilayah	Tahun	Rata-rata Luas Panen		Rata-rata Produksi		Rata-rata Produktivitas	
		000 Ha	Pertumb. (%)	000 Ton	Pertumb. (%)	Ku/Ha	Pertumb. (%)
Jawa	1970-2015	559,54	0,28	662,2	1,75	11,35	2,00
	1980-2015	553,81	0,53	668,1	1,43	12,31	1,91
	2011-2015	375,99	3,02	589,07	0,34	15,55	3,72
Luar Jawa	1970-2015	300,13	4,29	316,81	6,22	10,28	1,76
	1980-2015	346,58	3,72	376,4	5,47	11,03	1,58
	2011-2015	223,35	4,59	296,59	7,43	13,13	2,76
Indonesia	1970-2015	859,67	0,82	939,01	2,66	10,97	1,80
	1980-2015	900,39	0,40	1.044,49	2,37	11,85	1,70
	2011-2015	599,34	0,36	885,66	2,49	14,76	2,73
Kontribusi Indonesia (%) :							
Jawa		65,09		66,26			
Luar Jawa		34,91		33,74			

Sumber: Badan Pusat Statistik, diolah oleh Pusdatin

2.2.5. Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar minyak atau bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara. Bahan bakar fosil bukan termasuk bahan bakar terbarukan, karena untuk menghasilkan bahan bakar yang berasal dari fosil membutuhkan waktu yang lama. Bahan bakar fosil sering dibandingkan dengan energi terbarukan dalam konteks pengembangan energi masa depan. Cadangan minyak bumi terus menurun seiring penggunaannya yang semakin meningkat, sehingga penggunaan minyak bumi perlu dikurangi dengan mengalihkan ke bahan bakar yang memiliki sifat dapat diperbaharui (*renewable*) serta ramah lingkungan. salah satu energi terbarukan yang sedang banyak dikembangkan pada saat ini yaitu biodiesel yang digunakan untuk menggantikan bahan bakar minyak solar.

2.2.5.1. Minyak Kedelai

Kedelai atau kacang kedelai dari spesies *Glycine (L) Merr* merupakan salah satu tanaman polong-polongan yang menjadi bahan dasar makanan seperti kecap, tahu, dan tempe.

Kandungan minyak dan komposisi asam lemak dalam kedelai dipengaruhi oleh varietas dan keadaan iklim tempat tumbuh. Lemak kasar terdiri dari trigleserida sebesar 90-95%, sedangkan sisanya adalah fosfatida, asam lemak bebas, sterol, dan tokoferol. Minyak kedelai mempunyai kadar asam lemak jenuh sekitar 15% sehingga sangat baik sebagai pengganti lemak. Kadar minyak kedelai relatif lebih rendah dibandingkan dengan jenis kacang-kacangan lainnya, tetapi lebih tinggi daripada kadar minyak serelia.

Tabel 2.9 Sifat fisiko-kimia minyak kedelai

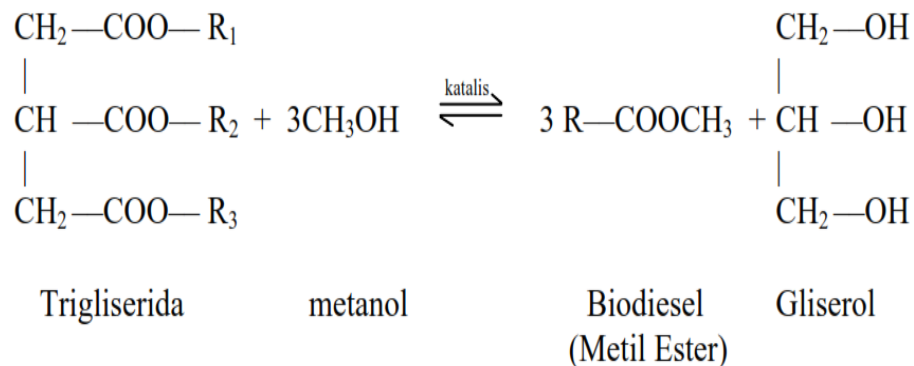
Sifat	Nilai
Bilangan asam	0,3 - 3,000
Bilangan penyabunan	189 - 195
Bilangan iod	117 - 141
Bilangan thiosinogen	77 - 85
Bilangan hidroksil	4 - 8
Bilangan Reichert Meissl	0,2 - 0,7
Bilangan Polenske	0,2 - 1,0
Bahan yang tak tersabunkan	0,5 - 1,6%
Indeks bias (25°C)	1,471 - 1,475
Bobot jenis (25/25°C)	0,916 - 0,922
Titer (°C)	22 - 27

2.2.5.2. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terbuat dari sumber alam yang dapat diperbaharui seperti minyak tumbuhan baik yang baru maupun minyak bekas yang sudah dipakai atau lemak hewan. Biodiesel tidak beracun, dan secara signifikan memiliki emisi buang lebih sedikit daripada petroleum (diesel) ketika dibakar (Sari et al. 2006).

Biodiesel minyak kedelai memiliki keuntungan, antara lain lebih ramah lingkungan. Penggunaan biodiesel tidak meningkatkan kadar CO₂ di atmosfer. Penelitian di Universitas Idaho, USA, menggambarkan biodiesel terdegradasi 95% setelah 28 hari dibandingkan bahan bakar yang hanya 40%. Pelumasan yang lebih baik pada mesin menjadi salah satu keuntungan *soybean biodiesel* (Sari et al. 2006).

Transesterifikasi adalah proses pemisahan fatty acid dari gliserol menjadi bentuk fatty acid ester dan gliserol bebas. Pada reaksi ini, alcohol bereaksi dengan minyak tumbuhan dengan kehadiran katalis. Reaksi yang terjadi seperti ditunjukkan pada gambar 2.11 merupakan reaksi proses transesterifikasi dengan methanol (Sari et al, 2006).



Gambar 2.13 Skema reaksi alkoholisis minyak secara umum

(Sari et al, 2006)

Katalisator yang biasa digunakan adalah katalisator asam basa. Katalis basa sering digunakan karena akan menghasilkan laju reaksi yang lebih tinggi daripada katalis asam. Katalis yang biasa digunakan adalah basa hidroksida NaOH dan KOH. Sebagai teaktan alcohol, digunakan methanol dan etanol (Sari et al, 2006).

2.2.5.3. Minyak Solar

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 di dalam skripsi Murni, 2010).

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 di dalam skripsi Murni, 2010).

2.2.6. Karakteristik Bahan Bakar

2.2.6.1. Viskositas

Viskositas merupakan suatu angka yang menyatakan besarnya perlawanan atau hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari bahan cair. Semakin tinggi viskositas minyak akan semakin kental dan sulit untuk mengalir, demikian juga sebaliknya. Viskositas bahan bakar sangat penting terutama bagi mesin-mesin diesel karena nilai viskositas sangat berkaitan dengan konsumsi bahan bakar ke dalam ruang bakar dan juga berpengaruh pada proses pengabutan (*atomizing*) bahan bakar melalui injektor.

2.2.6.2. Densitas

Densitas atau massa jenis suatu zat merupakan kuantitas konsentrasi zat dan dinyatakan dalam massa persatuan volume. Nilai densitas dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur maka kerapatan zat akan semakin rendah, hal ini dikarenakan molekul-molekul yang saling berikatan akan terlepas. Densitas dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

ρ = densitas (kg/m^3)

m = massa benda (kg)

v = volume (m^3)

2.2.6.3. Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi kalor yang terkandung dalam satuan massa bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka semakin besar energi yang dikandung bahan bakar tersebut.

2.2.6.4. Flashpoint

Flashpoint merupakan temperatur terendah dimana bahan bakar akan menguap dan mengeluarkan nyala sebentar apabila disinggung dengan percikan api kemudian akan mati dengan sendirinya dalam waktu yang cepat. Hal ini dikarenakan pada kondisi tersebut belum mampu untuk membuat bahan bakar bereaksi dan menghasilkan nyala yang kontinyu.

2.2.7. Perhitungan Panjang dan Sudut Semprotan, Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar

2.2.7.1. Perhitungan Panjang Semprotan

Secara teoritis, panjang semprotan ini juga dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Borman, 1998) :

$$\frac{L}{L_b} = 0,0349 \times \left(\frac{\rho_a}{\rho_f}\right)^{1/2} \times \left(\frac{t}{d_o}\right) \times \left(\frac{\Delta P}{\rho_f}\right)^{1/2}$$

Dimana L_b dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut (Borman, 1998):

$$L_b = 15,8 \times d_o \times \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_a}}$$

Keterangan :

L : Panjang semprotan (mm)

ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m^3)

ρ_a : Densitas udara (kg/m^3)

ΔP : Tekanan injeksi (Pa)
 d_o : Diameter lubang nosel (mm)

Sedangkan untuk mencari sudut semprotan dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut (Borman, 1998) :

$$\theta = 0,05 \times \left(\frac{\Delta P \times (d_o)^2}{\rho_f \times (V_f)^2} \right)^{1/4}$$

Keterangan :

θ : Sudut semprotan ($^\circ$)
 ΔP : Tekanan injeksi (Pa)
 d_o : Diameter lubang nosel (mm)
 ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m^3)
 V_f : Viskositas kinematic bahan bakar (m^2/s)

2.2.7.2. Daya Listrik

Daya listrik adalah besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan dalam 1 detik. Jika dalam waktu t detik sumber tegangan telah melakukan usaha sebesar W , maka daya alat tersebut adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana, P : Daya (Joule/detik) atau Watt
 W : Usaha (Joule)
 t : Waktu (detik)

$$1 \frac{\text{Joule}}{\text{detik}} = 1 \text{ Watt} \text{ atau } 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$$

Karena $W = VIt$, maka :

$$P = \frac{VIt}{t} \text{ atau } P = V \times I$$

Dimana, P : daya (Watt)
 V : tegangan (Volt)
 I : arus (ampere)

2.2.7.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Dalam pengujian kinerja mesin diesel, besarnya daya suatu mesin diesel merupakan hasil dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara dalam ruang silinder. Banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin diesel dibandingkan dengan daya pembebanan yang dihasilkan dalam tiap satuan waktu akan diperoleh besaran yang disebut konsumsi bahan bakar spesifik/ *specific fuel consumption* (sfc).

$$SFC = \frac{M_f}{P}$$

$$M_f = \frac{V_{\text{bahan bakar}} \times \rho_{\text{bahan bakar}}}{t} \times \frac{3600}{1000}$$

Keterangan : SFC : konsumsi bahan bakar Spesifik (kg/kW.jam)

$V_{\text{bahan bakar}}$: Volume bahan bakar

t : Waktu konsumsi bahan bakar/10 ml (detik)

P : Daya (kW)

$\rho_{\text{bahan bakar}}$: Spesific gravity (kg/l)

M_f : Massa bahan bakar (kg/jam)