

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

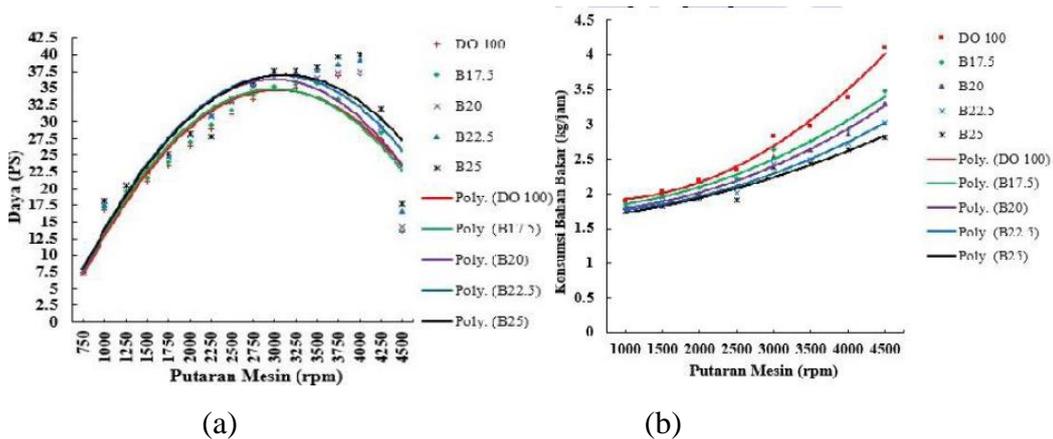
Ojo (2006) menjelaskan bahwa biodiesel merupakan bentukan dari rantai-panjang asam lemak dengan alkohol. Pada umumnya asam lemak tersebut berasal dari minyak nabati. Biodiesel dihasilkan melalui proses reaksi antara minyak nabati dengan *methyl alcohol* atau *ethyl alcohol* dalam suatu lingkungan yang diberi katalis. Katalis yang biasa dipakai adalah *pottassium hydroxide* (KOH) atau *sodium hydroxide* (NaOH). Proses kimiawi tersebut dinamakan transesterifikasi yang hasil akhirnya adalah biodiesel dan gliserin. Secara kimiawi, biodiesel disebut *methyl ester* jika alkohol yang digunakan adalah metanol dan *ethyl ester* jika yang digunakan etanol. Biodiesel dapat digunakan dalam bentuk murni (100% biodiesel) atau dicampur dengan minyak solar pada saat digunakan di mesin diesel

Vern Hofman (2003) menjelaskan bahwa energi yang terkandung di dalam bahan bakar dinyatakan dengan nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalornya semakin besar energi yang dikandung. Bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi akan menghasilkan daya lebih besar per massa bahan bakar daripada bahan bakar yang bernilai kalor rendah. Sebagai akibatnya, mesin yang menggunakan bahan bakar dengan energi rendah akan membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan daya yang sama. Biodiesel akan membutuhkan 1,1 galon untuk menghasilkan daya yang sama dengan 1 galon minyak solar.

Raharjo (2007) meneliti tentang performa mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel dari minyak jarak pagar. Hasil penelitian untuk konsumsi bahan bakar yang diperlukan solar 100% lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar biodiesel B10 dan B20, ini disebabkan oleh mesin diesel yang digunakan adalah mesin diesel asli berbahan bakar solar tanpa mengalami modifikasi. Sedangkan putaran mesin yang dihasilkan dari daya mesin yang diperoleh ternyata bahan bakar biodiesel B20 menghasilkan putaran mesin yang paling tinggi, dibandingkan dengan putaran mesin yang dihasilkan oleh bahan

bakar 100% solar. Penggunaan bahan bakar per watt terendah pada penggunaan bahan bakar solar. Dan paling tinggi adalah biodiesel B20 dari hasil penelitian ini terlihat bahwa penggunaan bahan bakar biodiesel tidak signifikan dalam mempengaruhi performa mesin diesel yang digunakan meskipun tanpa modifikasi engine.

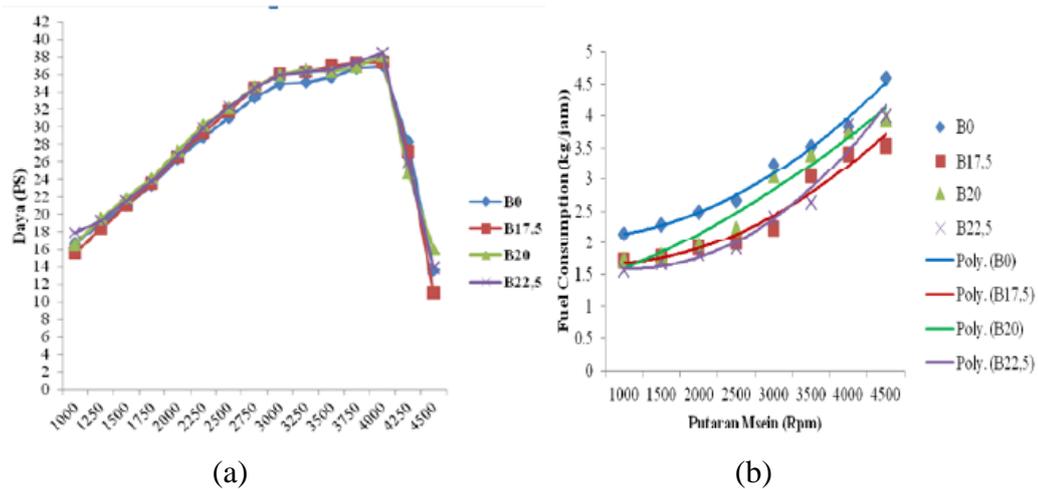
Andi dan Muhaji (2014) menyatakan dalam penelitiannya yang berjudul uji kemampuan campuran bahan bakar solar-biodiesel dari minyak biji jarak terhadap unjuk kerja dan opasitas mesin diesel 4 langkah bahwa daya yang dihasilkan mengalami peningkatan berbagai tingkat rpm pada campuran biodiesel dibandingkan oleh minyak solar. Dan dari segi konsumsi bahan bakar menunjukkan bahwa semakin banyak campuran biodiesel menunjukkan makin rendah konsumsi bahan bakarnya bila dibandingkan oleh minyak solar.



Gambar 2.1 (a) Grafik hubungan antara putaran mesin terhadap daya efektif dan (b) grafik hubungan antara putaran mesin terhadap *fuel consumption*

Adh-dhuha dan Muhaji (2015) menyatakan dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh penambahan biodiesel dari *virgin coconut oil* pada bahan bakar solar terhadap unjuk kerja mesin diesel empat langkah bahwa dengan penambahan bahan bakar biodiesel dari *virgin coconut oil* pada bahan bakar solar dapat mempengaruhi daya mesin yang dihasilkan. Dari Gambar 2.2 (a) daya yang dihasilkan dari pengujian sampel bahan bakar masing-masing mengalami peningkatan dan penurunan. Pada bahan bakar campuran B17,5 mengalami penurunan daya yang dihasilkan yaitu menurun sebesar 0,634%, pada bahan bakar

campuran B20 mengalami peningkatan daya sebesar 2,902%, dan pada campuran B22,5 mengalami peningkatan daya yang dihasilkan sebesar 2,310%. Daya yang dihasilkan tertinggi terjadi pada bahan bakar campuran B20, yaitu sebesar 2,902%.



Gambar 2.2 (a) Grafik putaran mesin terhadap daya, (b) Grafik Putaran Mesin (rpm) terhadap *Fuel Consumption*

Dari Gambar 2.2 (b) dapat diketahui bahwa secara keseluruhan bahan bakar B17,5, B20, dan B22,5 mengalami penurunan konsumsi bahan bakar. Penurunan konsumsi bahan bakar tersebut mengindikasikan bahwa dengan penambahan biodiesel dari *virgin coconut oil* pada bahan bakar solar dapat menekan konsumsi bahan bakar atau lebih irit bahan bakar daripada tanpa menggunakan bahan bakar campuran dari biodiesel *virgin coconut oil*.

Agapito dkk (2015) meneliti tentang uji karakteristik penyemprotan bahan bakar biodiesel pada nozel mesin diesel dengan system injeksi langsung. Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel minyak nyamplung dan solar. Dimulai dari campuran minyak nyamplung dengan jumlah 5% dan solar 95% (disebut campuran 5% BD), 10% minyak nyamplung 90% solar (10% BD), 15% minyak nyamplung 85% solar (15% BD), 20% minyak nyamplung 80% solar (20% BD), dan pengujian 100% minyak nyamplung (100% BD) serta pengujian terhadap solar murni (100% D) sebagai pembanding. Variabel tetap yang diterapkan pada

pengujian ini adalah berupa tekanan injector dari tester injector yang konstan pada nilai 150 bar dan tekana ruang simulasi juga konstan pada nilai 10 bar.

Tabel 2.1 Hasil pengujian semprotan

Sumber : Agipito (2014)

No	Nama Minyak	Sudut rata2, θ (deg)	Panjang semp, L (10^{-3} m)	Waktu semp, t (10^{-3} s)	kec. semp. v (m/s)
1	100% D	19	>200	3.7	54.1
2	5% BD	19	>200	3.9	51.2
3	10% BD	19	>200	6.8	35.6
4	15% BD	18	>200	7.9	25.9
5	20% BD	15	>200	9.4	21.2
6	100% BD	21	>200	12.2	16.4

Hasil semprotan diketahui memiliki panjang tip penetrasi semprotan yang sama, yaitu 200 mm, yang membuat berbeda adalah kecepatan terbentuknya semprotan tersebut. Dari tabel diketahui bahwa campuran 100%BD dengan jarak 200 mm kecepatan tip penetrasinya adalah 16,4 m/s, sedangkan untuk solar murni 100% D jarak 200 mm kecepatan tip penetrasinya 54,1 m/s. Kecepatan tip penetrasi tergantung dari persentase biodieselnnya semakin banyak persentasenya maka mengakibatkan lama tercapainya tip penetrasi atau dengan kata lain kecepatan tip penetrasi akan semakin kecil. Waktu tercapainya tip penetrasi dipengaruhi oleh viskositas dari bahan bakar tersebut.

Pengujian performa mesin diesel dengan biodiesel dan pengujian karakteristik semprotan sudah ada yang meneliti. Untuk bahan baku biodiesel bermacam macam, semua penelitian biodiesel akan dibandingkan dengan solar. Perbandingan dengan solar ini untuk melihat apakah biodiesel akan lebih baik dari solar atau akan lebih buruk.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Bahan Bakar Minyak

BBM (bahan bakar minyak): adalah jenis bahan bakar (*fuel*) yang dihasilkan dari pengilangan (*refining*) minyak mentah (*crude oil*). Minyak mentah dari perut bumi diolah dalam pengilangan (*refinery*) terlebih dulu untuk menghasilkan produk-produk minyak (*oil products*), yang termasuk di dalamnya adalah BBM. Selain menghasilkan BBM, pengilangan minyak mentah menghasilkan berbagai produk lain terdiri dari gas, hingga ke produk-produk seperti naphta, *light sulfur wax residue* (LSWR) dan aspal.

2.2.2 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar yang terdiri dari campuran mono – alky ester dari rantai panjang asam lemak, yang digunakan sebagai alternative bahan bakar motor diesel dan terbuat dari minyak nabati, hewani ataupun minyak goreng bekas. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar diesel yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Penggunaan biodiesel cukup sederhana, dapat terurai (*biodegradable*), bahkan tidak beracun dan pada dasarnya bebas dengan kandungan belerang (*sulfur*).

Biodiesel digunakan dalam bentuk campuran antara biodiesel murni dengan solar. Pengkodean pencampuran biodiesel dalam solar ditulis dengan huruf B diikuti persentase biodiesel yang dicampurkan. Sebagai contoh B20 adalah campuran bahan bakar yang mengandung 20% biodiesel dan 80% solar. Setiap campuran biodiesel-solar akan mempunyai karakteristik masing-masing pada saat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel.

2.2.3 Syarat Mutu Biodiesel dan Biosolar

Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Biodiesel dikeluarkan oleh BSN dengan nomor SNI 7182:2015 yang sudah merevisi SNI 04-7182-2006 dan SNI 7182:2012 - Biodiesel. Adapun syarat mutu biodiesel tersebut dapat dilihat dari Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Syarat mutu biodiesel

BSN (2015)

No	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40°C	Kg/m ³	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka setana	min	51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi lempeng tembaga (3jam pada 50°C)		Nomor 1
7	Residu karbon - Dalam percontoh asli, atau - Dalam 10% ampas distilasi	%- massa, maks	0,05 0,3
8	Air dan sedimen	%- massa, maks	0,05
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	%- massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, maks	50
12	Fosfor	mg/kg, maks	4
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
14	Gliserol bebas	%- massa, maks	0,02
15	Gliserol total	%- massa, maks	0,24
16	Kadar ester metil	%- massa, min	96,5
17	Angka iodium	%- massa (g-I ₂ /100g), maks	115
18	Kesetabilan oksida -periode induksi metode rancimat -Periode induksi metode petro oksidasi	menit	480 36
19	Monoglisenda	%- massa, maks	0,8

Untuk syarat mutu biosolar yang dikeluarkan oleh Pertamina dapat dilihat pada Tabel 2.3. Biosolar yang ada dipasaran harus memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Minyak & Gas Bumi No. 28.K/10/DJM.T/2016.

Tabel 2.3 Spesifikasi solar/biosolar Pertamina

Pertamina.com (2016)

NO	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN	
			MIN	MAKS
1	Bilangan cetana angkase			
2	Berat jenis @15°C	Kg/m ³	815	860
3	Viskositas @40°C	mm ² /sec	2,0	4,5
4	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,35
			-	0,30
			-	0,25
			-	0,05
			-	0,005
5	Distilasi 90% vol.penguapan	°C	-	370
6	Titik nyala	°C	52	-
7	Titik tuang	°C	-	18
8	Residu karbon	% m/m	-	0,1
9	Kandungan air	mg/kg	-	500
10	Biological Growth	-	nihil	
11	Kandungan fame	% v/v	-	-
12	Kandungan metanol	% v/v	Tak terditeksi	
13	Korosi bilah tembaga		-	Kelas 1
14	Kandungan abu	% v/v	-	0,01
15	Kandungan sedimen	% m/m	-	0,01
16	Bilangan asam kuat	mgKOH/gr	-	0
17	Bilangan asam total	mgKOH/gr	-	0,6
18	Partikulat	mg/l	-	-
19	Penampilan visual	-	Jernih & Terang	
20	Warna	No. ASTM	-	3,0
21	Lubricity (HFRR wear scar dia. @60°	micron	-	460

2.2.4. Sifat-sifat Biodiesel

Bahan bakar motor diesel juga memiliki beberapa sifat-sifat yang memengaruhi prestasi. Sifat-sifat bahan bakar diesel yang mempengaruhi adalah sebagai berikut :

2.2.4.1 Viskositas

Viskositas (kekentalan) merupakan sifat intrinsik fluida yang menunjukkan resistensi fluida terhadap alirannya, karena gesekan di dalam bagian cairan yang berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lain mempengaruhi pengatomatan bahan bakar dengan injeksi kepada ruang pembakaran, akibatnya terbentuk pengendapan pada mesin.

2.2.4.2 Titik Nyala (*flash point*)

Sudik (2013) menyatakan bahwa *flash point* atau titik nyala adalah temperatur yang dimana bahan bakar siap untuk dinyalakan ketika bersinggungan dengan jelaga api. Titik api berada di atas titik nyala yaitu sekitar 10°C sampai dengan 20°C. Titik nyala bahan bakar menjadi indikator besarnya bahaya kebakaran, bahan bakar yang titik nyalanya rendah akan sangat berbahaya terhadap terjadinya kebakaran.

2.2.4.3. Nilai Kalor

Nilai kalor adalah angka yang menunjukkan energy kalor yang dikandung dalam setiap satuan massa bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor dalam bahan bakar maka semakin besar energi yang dikandung di bahan bakar tersebut persatuan massa. Nilai kalor ini berbanding terbalik dengan nilai berat jenis (*density*). Pada volume yang sama, semakin berat jenis minyak tersebut, maka semakin kecil nilai kalornya dan sebaliknya. Nilai kalor diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang diperlukan mesin dalam satu periode.

2.2.4.4 Rapat Massa (*Density*)

Arpiwi (2015) mengatakan dalam diktatnya bahwa massa jenis menunjukkan perbandingan massa persatuan volume, karakteristik ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel persatuan volume bahan bakar. Kerapatan suatu fluida (ρ) dapat didefinisikan sebagai massa per satuan volume.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

ρ = rapat massa (kg/m³)

m = massa (kg)

v = volume (m³)

2.2.5. Minyak Jarak

Jarak pagar (*Jatropha curcas*) adalah tanaman perdu yang termasuk keluarga *Euphorbiaceae* dengan manfaat yang beragam terutama karena bijinya mengandung banyak minyak nabati. Minyak yang dihasilkan dari pengolahan biji jarak tersebut tidak dapat dikonsumsi untuk manusia, karena tidak bisa dikonsumsi maka minyak jarak tersebut dijadikan sebagai bahan baku biodiesel.

Tanaman jarak tumbuh liar di hutan, semak- semak, tanah kosong dataran rendah, atau di sepanjang pantai. Tanaman jarak dapat tumbuh didaerah yang kurang subur, asalkan pH tanah sekitar 6-7, dan drainasenya cukup baik karena akar tumbuhan jarak cepat busuk dalam air yang tergenang atau dalam tanah yang banyak mengandung air. Tumbuhan ini diduga berasal dari Afrika. Pada zaman Firaun jarak dibudidayakan secara besar- besaran untuk diambil minyak bijinya. Dari Mesir, jarak menyebar ke Asia, termasuk ke Persia, India, Malaysia dan Indonesia

Kendala yang dihadapi saat ini untuk mengembangkan biodiesel dari jarak pagar adalah tingkat ketersediaan biji jarak pagar yang masih rendah dan harga jual bijinya sangat mahal sekitar Rp10.000 per kg karena adanya kebutuhan biji yang tinggi untuk bibit, sementara penanaman jarak pagar masih dalam skala kecil

dan upaya perkebunan jarak pagar baru mulai dilakukan secara komersial awal tahun 2006, dengan areal tanam yang masih terbatas. Untuk mendukung pengembangan jarak pagar di Indonesia maka diperlukan penanaman jarak pagar skala besar agar pasokan bahan baku terjamin dengan harga jual biji jarak pagar yaitu Rp.600 – 750/kg

Apabila produktivitas tanaman jarak berkisar antara 2-4 kg biji/pohon/tahun. Produksi akan stabil setelah tanaman berumur lebih dari 5 tahun. Dengan tingkat populasi tanaman 2.500 pohon/ha maka tingkat produktivitas antara 5-10 ton biji/ha. Bila rendemen minyak sebesar 30% maka setiap ha lahan dapat diperoleh 1,5-3 ton minyak/ha/tahun (Hambali, 2006)

2.2.6. Minyak Kelapa

Kelapa merupakan tanaman rakyat yang memiliki peran social, budaya dan ekonomi dalam kehidupan masyarakat Indonesia, karena hampir 98% diusahakan oleh rakyat. Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar memiliki kebun kelapa terluas di dunia dengan luas areal sebesar 3.654.478 Ha atau setara dengan 30% dari total luar perkebunan kelapa di dunia (Ditjenbun, 2014)

Tanaman Kelapa tersebar luas baik di pekarangan ataupun perkebunan hampir di seluruh kepulauan Nusantara. Areal tanaman Kelapa di pulau Sumatera mencapai 31,81%, di Jawa 22,74%, Sulawesi 20,81%, Kalimantan 6,77%, Nusa Tenggara dan Bali 7,87%, Maluku dan Papua 10% dari total luas areal Kelapa Indonesia (Statistik Kelapa Ditjenbun 2012).

Sutarmi (2006) mengatakan bahwa *Virgin Coconut Oil* merupakan minyak yang berasal dari buah kelapa (*Cocos nucifera L*) tua segar yang diolah pada suhu rendah (<60°C) dan dimasak tidak sampai matang. Selain itu tanpa proses pemutihan dan hidrogenasi sehingga menghasilkan minyak murni. Proses tersebut membuat minyak ini dikenal dengan sebutan minyak perawan (*Virgin Coconut Oil*) atau ada juga yang menamainya minyak dara. *Virgin Coconut Oil* mengandung asam laurat yang tinggi. *Virgin Coconut Oil* tidak berwarna (bening), tidak berasa, serta mempunyai aroma yang harum dan khas.

Minyak kelapa dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif atau bahan campuran minyak solar karena terdapat asam-asam yang mengandung unsur karbon sebagai salah satu komponen pembakaran dengan nilai kalor 8,872 kkal/kg. Asam tersebut adalah asam *oleic*, asam *linoleic*, dan asam *lauric*. Kandungan asam pada kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.4 Kandungan asam lemak minyak kelapa
Jurnal Teknologi Kimia dan Industri (2012)

Asam Lemak	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Asam Kaproat	C5H11COOH	0,20
Asam Kaprilat	C7H17COOH	6,10
Asam Kaprat	C9H19COOH	8,60
Asam Laurat	C11H23COOH	50,50
Asam Miristat	C13H27COOH	16,18
Asam Palmitat	C15H31COOH	7,50
Asam Stearat	C17H35COOH	1,50
Asam Arachidat	C19H39COOH	0,02
Asam Palmitoleat	C15H29COOH	0,20
Asam Oleat	C17H33COOH	6,50
Asam Limoleat	C17H31COOH	2,70

Pemanfaatan minyak kelapa untuk pembuatan biodiesel memiliki beberapa keuntungan diantaranya :

1. Minyak kelapa dapat diproduksi secara lokal sehingga biaya bisa lebih murah. Hal ini akan memberi dampak ekonomi yang penting, dengan 1 menurunkan biaya pembelian BBM dan menyediakan lapangan kerja bagi penduduk lokal untuk memanen dan memproduksi minyak.
2. Minyak kelapa merupakan sumber energi yang terbarukan.
3. Minyak kelapa meningkatkan penghematan bahan bakar, lebih ekonomis, dan ramah lingkungan.

4. Kebanyakan minyak nabati lainnya untuk diterapkan pada mesin diesel harus dikonversi terlebih dahulu menjadi biodiesel, sementara minyak kelapa yang bermutu baik dapat langsung digunakan pada mesin diesel tanpa perlu banyak modifikasi.

2.2.7 Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah suatu proses yang menggunakan bahan kimia seperti methanol dan alcohol dengan adanya katalis untuk memutuskan molekul-molekul minyak nabati menjadi metil atau etil dan menghasilkan gliserol sebagai produk sampingannya. Secara kimia transesterifikasi adalah pengubahan molekul-molekul trigliserida, atau asam lemak kompleks, menetralkan asam lemak bebas dan menghilangkan gliserin dan membentuk ester. Alkohol menggantikan air dalam hidrolisis. Diantara alkohol-alkohol yang biasa digunakan adalah metanol, karena harganya yang murah dan reaktifitasnya paling tinggi, jika metanol digunakan dalam proses maka dinamakan metanolisis. Dalam proses transesterifikasi ini juga membutuhkan katalis yang pada umumnya bersifat basa, karena reaksi ini dapat mempercepat reaksi.

Pada proses transesterifikasi bila dilihat dari penggunaan pada katalisnya dapat dibedakan menjadi tiga macam proses, yaitu :

1. Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis asam Proses ini menggunakan katalis asam-asam kuat seperti asam sulfonat dan asam sulfat. Katalis ini menghasilkan hasil alkil ester yang tinggi, tetapi reaksinya lambat dan juga memerlukan temperatur operasi yang tinggi yaitu diatas 100°C dan dapat mencapai waktu operasi selama 3 jam.
2. Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa Proses transesterifikasi ini berjalan lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan katalis asam, dan juga tidak memerlukan temperatur operasi yang tinggi karena dapat dioperasikan pada temperatur kurang dari 100°C
3. Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis enzim Proses transesterifikasi ini belum dikembangkan secara komersil, tetapi banyak dilakukan penelitian-penelitian dengan menggunakan katalis enzim. Aspek

umum yang ditinjau dari reaksi ini adalah optimalisasi kondisi utamanya yaitu pelarut, temperatur, pH, jenis mikroorganisme yang mampu menghasilkan enzim, dan lain sebagainya, yang bertujuan untuk menyusun karakteristik karakteristik yang sesuai untuk diaplikasikan di bidang industri. Hal yang dihasilkan melalui proses yang rendah bila dibandingkan dengan proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa.

2.2.8 Motor Bakar

Motor bakar adalah suatu perangkat/mesin yang mengubah energi termal menjadi tenaga mekanis. Energi ini dapat diperoleh dari proses pembakaran yang dibagi menjadi 2 golongan, yaitu :

1. Motor bakar pembakaran luar (*External Combustion Engine*)

Motor pembakaran luar adalah suatu motor dimana proses pembakaran atau perubahan energi panas dilakukan di luar dari mekanisme/konstruksi mesin. Dari ruang pembakaran energi panas tersebut dialirkan ke konstruksi mesin melalui media penghubung lagi. Contoh motor pembakaran luar adalah mesin uap/turbin uap dan Mesin Nuklir/Turbin Nuklir.

2. Motor Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine*)

Motor bakar pembakaran dalam adalah proses pembakaran yang terjadi didalam mesin atau ruang bakar yang berada didalam mesin. Pembakaran yang dihasilkan didalam mesin dirubah menjadi tenaga mekanis melalui perangkat yang ada. Contoh dari motor bakar pembakaran dalam yaitu motor bensin, motor diesel dan mesin jet.

2.2.9 Mesin Diesel

Mesin diesel adalah jenis mesin dengan pembakaran dalam. Mesin diesel memiliki kompresi yang sangat tinggi dibandingkan dengan mesin bensin. Kompresi yang dimiliki mesin diesel sekitar ($30 - 45 \text{ kg/cm}^2$) agar temperatur udara yang dikompresikan mencapai 500°C .

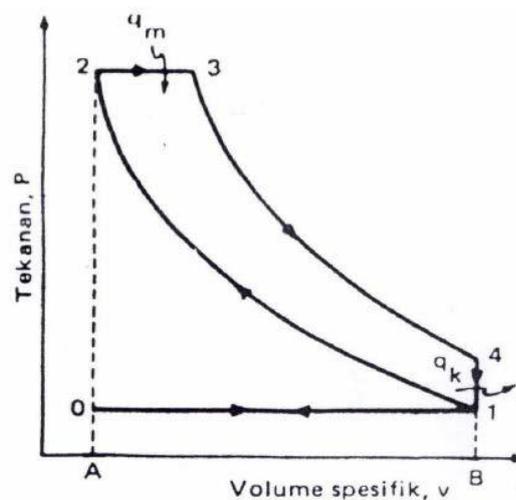
Konsep pembakaran pada motor diesel adalah melalui proses penyalaan kompresi udara pada tekanan tinggi. Pembakaran ini dapat terjadi karena udara dikompresi pada ruangan dengan perbandingan kompresi jauh lebih besar daripada motor bensin (7-12), yaitu antara (14-22). akibatnya udara akan mempunyai tekanan dan temperature melebihi suhu dan tekanan penyalaan bahan bakar.

Dari kontruksi mesin diesel juga dirancang lebih kuat daripada mesin bensin karena kompresi yang sangat besar. Mesin diesel memiliki beberapa karakteristik yaitu :

- Efisiensi panas yang tinggi
- Bahan bakarnya hemat
- Kecepatan lebih rendah dibandingkan bensin
- Getaran yang besar dan berisik
- Harga lebih mahal

2.2.10 Siklus Diesel

Siklus diesel adalah siklus teoritis untuk *compression-ignition engine* atau mesin diesel. Perbedaan antara siklus diesel dan Otto adalah penambahan panas pada tekanan tetap. Karena alasan ini siklus Diesel kadang disebut siklus tekanan tetap. Dalam diagram P-v, siklus diesel dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 2.3 Siklus mesin diesel

Proses dari siklus tersebut yaitu:

0-1 = Langkah Hisap pada $P = c$ (isobarik)

1-2 = Langkah Kompresi, P bertambah, $Q = c$ (isentropik / reversibel adiabatik)

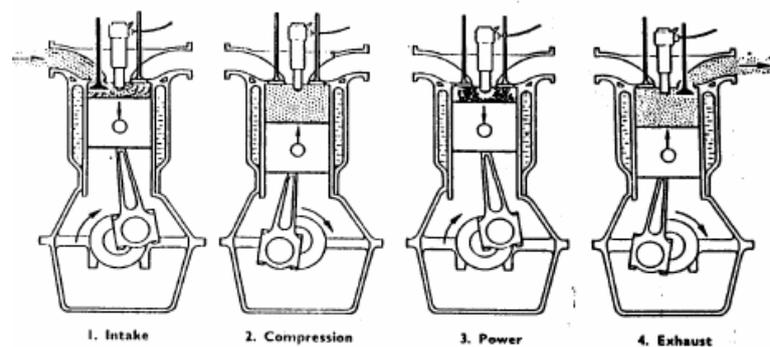
2-3 = Pembakaran, pada tekanan tetap (isobarik)

3-4 = Langkah Kerja P bertambah, $V = c$ (isentropik / reversibel adiabatik)

4-1 = Pengeluaran Kalor sisa pada $V = c$ (isokhorik)

1-0 = Langkah Buang pada $P = c$

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



Gambar 2.4 Siklus motor diesel 4 langkah

1. Langkah Hisap

- Piston bergerak dari TMA ke TMB.
- Katup hisap terbuka.
- Katup buang tertutup.
- Terjadi kevakuman dalam silinder, yang menyebabkan udara murni masuk ke dalam silinder.

2. Langkah Kompresi

- Piston bergerak dari TMB ke TMA.
- Katup hisap tertutup.
- Katup buang tertutup.
- Udara dikompresikan sampai tekanan dan suhunya menjadi 30 kg/cm² dan 500°C.

3. Langkah Usaha

- Katup hisap tertutup.
- Katup buang tertutup.
- Injektor menyemprotkan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran yang menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB.

4. Langkah buang

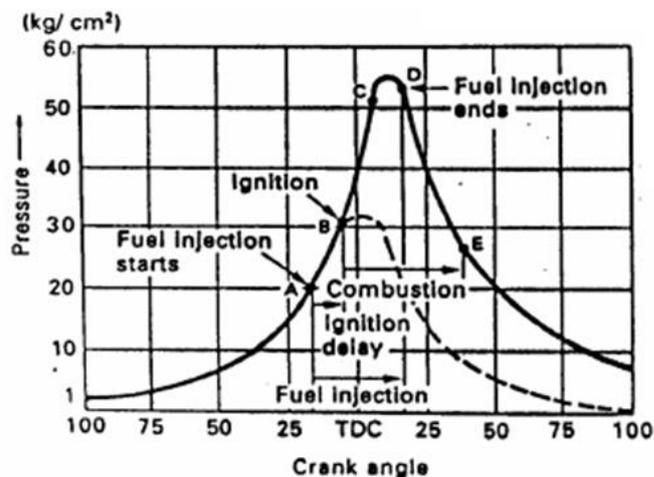
- Piston bergerak dari TMB ke TMA.
- Katup hisap tertutup.
- Katup buang terbuka.
- Piston mendorong gas sisa pembakaran keluar.

2.2.11 Proses Pembakaran Mesin Diesel

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia yang dimana 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 hydrogen.

Bahan bakar disemprotkan oleh injector (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 2.5 Proses pembakaran mesin diesel

Proses pembakaran pada mesin diesel dibagi menjadi 4 tahap :

1. Saat pembakaran tertunda (*Ignition Delay*) = A – B
Tahap di mana bahan bakar yang diinjeksikan baru bercampur dengan udara agar terbentuk campuran yang homogen.
2. Saat perambatan api (*Flame propagation*) = B – C
Terjadi pembakaran di beberapa tempat yang menyebabkan terjadinya letupan api yang mengakibatkan kenaikan tekanan dan temperatur secara drastis.
3. Saat pembakaran langsung (*Direct Combustion*) = C – D
Pada phase ini, bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar.
4. Saat Pembakaran Lanjut (*After Burning*) = D – E
Phase ini membakar sisa campuran bahan bakar dan udara yang belum terbakar.

2.2.12 Daya Listrik

Daya listrik merupakan 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

$$P = \frac{W}{t} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana, P : Daya (joule/detik) atau watt
 W : Usaha (joule)
 t : Waktu (detik)

1 joule /detik = 1 watt atau 1 J/s = 1 W

Karena $W = VIt$, maka :

$$P = \frac{VIt}{t} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana, P : daya (watt)
 V : tegangan/ beda potensial (volt)
 I : arus (ampere)

2.2.13. Konsumsi Bahan Bakar

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).

$$SFC = \frac{Mf}{P} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$Mf = \frac{v \text{ bahan bakar} \times \rho \text{ bahan bakar}}{t} \times \frac{3600}{1000} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan : SFC : Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/Kwatt.jam)
 V bahan bakar : Volume bahan bakar (ml)
 t : Waktu konsumsi bahan bakar/10ml (detik)
 P : Daya (KW)
 ρ bahan bakar: Spesifik gravitasi (kg/l)
 Mf : Massa bahan bakar (kg/jam)

2.2.14. Pengukuran Panjang Semprotan dan Sudut Semprotan.

Panjang semprotan atau injeksi pada bahan bakar dipengaruhi oleh densitas yang dimiliki oleh bahan bakar tersebut. Bahan bakar yang memiliki densitas tinggi maka akan menghasilkan semprotan yang pendek, sedangkan bahan bakar dengan densitas rendah akan memiliki semprotan yang panjang.

Sudut penyebaran yang dihasilkan pada semprotan atau injeksi bahan bakar dipengaruhi oleh nilai viskositas yang terkandung di dalam bahan bakar itu sendiri. Jika bahan bakar memiliki viskositas yang tinggi maka akan menghasilkan semprotan yang bersudut kecil, namun bila angka viskositas pada bahan bakar tersebut rendah maka akan memiliki sudut semprotan yang besar.

Untuk menentukan panjang semprotan atau injeksi bahan bakar dapat menggunakan persamaan berikut (Borman, 1998)

$$\frac{L}{L_b} = 0.0349 \times \left(\frac{\rho_a}{\rho_f}\right)^{1/2} \times \left(\frac{t}{d_o}\right) \times \left(\frac{\Delta P}{\rho_f}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.6)$$

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

$$L_b = 15.8 \times d_o \times \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_a}} \dots\dots\dots (2.7)$$

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) :

$$\theta = 0.05 \times \left(\frac{\Delta P \times (d_o)^2}{\rho_f \times (V_f)^2} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (2.8)$$

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 kinematik bahan bakar (m^2/s)