

2. STUDI LITERATUR

2.1 Buah Mangga

Mangga atau *Mangifera indica* L adalah tanaman yang pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan biologi yang berasal dari india yaitu lineaus. Tanaman mangga dapat hidup pada daerah yang memiliki iklim tropis (Ravindra & Goswami, 2013). Ada lebih dari 500 kelas varietas mangga. Salah satu adalah Genus *Mangifera* seperti pada Gambar 2.1 yang terdiri dari 69 spesies dan sebagian besar hidup di negara asia dengan iklim tropis. Negara penghasil mangga utama di dunia adalah India, Pakistan, Meksiko, Brasil, Haiti, Filipina dan Bangladesh(Ara et al., 2014).

Di Indonesia, buah mangga cukup populer dan memiliki banyak jenis. Jenis mangga yang paling umum ditemui pada supermarket, pasar buah, maupun pasar tradisional adalah mangga arum manis atau yang sering disebut sebagai mangga gadung. Selain itu, ada beberapa jenis mangga khas daerah masing-masing propinsi dan juga menjadi komoditas ekspor bagi Indonesia(Anugrah, 2009).

Buah mangga memiliki berbagai kandungan yang bermanfaat untuk dikonsumsi. Salah satu contoh penelitian pada buah mangga arum manis didapatkan data meliputi vitamin C sebesar 94,0639 mg / 100 gram, amilum sebesar 38,6888 % ,dan protein sebesar 4,6079% (Paramita, 2012).

Rasanya yang lezat membuat buah mangga menjadi salah satu buah yang sering dijual dalam berbagai bentuk kreasi makanan. Pada umumnya, mangga dapat dijadikan sebagai makanan penutup, jus, selai, jeli, dodol serta keripik mangga(Novia et al., 2015).



Gambar 2.1. *Mangifera Indica* L.

2.2 Biji Mangga

Biji mangga seperti pada Gambar 2.2 jika dibelah memiliki inti biji yang mengandung bahan bermanfaat seperti karbohidrat dan minyak/lemak yang masih dapat dimanfaatkan. Inti biji mangga mengandung sekitar 17 % minyak sedangkan (Nzikou et al., 2010). Minyak/lemak biji mangga dapat diperoleh melalui pengepresan inti biji atau yang sering disebut kernel, tetapi karena kandungan lemaknya relatif kecil jika dibanding buah kelapa maka untuk produksi masal dari minyak biji mangga memerlukan bahan baku yang cukup banyak.



Gambar 2.2. Biji Mangga

Untuk menghasilkan minyak biji mangga, dapat digunakan pula metode ekstraksi dengan menggunakan soxhlet. Biji mangga terlebih dahulu harus dihancurkan hingga menjadi serbuk, kemudian serbuk biji mangga dibungkus menggunakan kertas saring dan dimasukkan ke dalam ruang ekstraktor. Metode soxhlet tentunya lebih efektif karena minyak dari biji mangga dapat diambil dengan maksimal oleh pelarut. Pelarut yang digunakan adalah N-Heksana (Nzikou et al., 2010).

Pada suhu ruang minyak biji mangga berbentuk padat seperti mentega, tetapi bila dihangatkan maka lemak segera mencair menjadi minyak. Minyak ini telah digunakan dalam industri kosmetik sebagai bahan untuk membuat sabun, shampo maupun lotion karena minyak biji mangga kaya akan senyawa fenolik serta hara

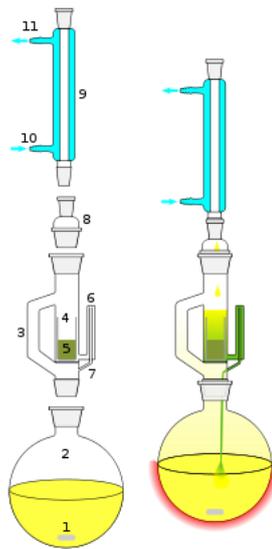
mikro seperti selenium, cooper dan zink. Selain itu kandungan asam lemak bebas tidak jenuh seperti asam oleat membuat minyak biji mangga sangat bermanfaat bagi kesehatan.

2.3 Soxhlet

Soxlet pertama kali ditemukan oleh Franz von soxhlet pada tahun 1879. *Soxhlet* seperti pada Gambar 2.3 adalah alat yang digunakan untuk ekstraksi (metode untuk mendapatkan senyawa dari sistem campuran) padat-cair atau memisahkan suatu komponen dalam suatu padatan dengan menggunakan suatu pelarut cair.

Ekstraksi padat cair atau *leaching* adalah transfer difusi komponen terlarut dari padatan inert ke dalam pelarutnya. Proses ini merupakan proses yang bersifat fisik karena komponen terlarut kemudian dikembalikan lagi ke keadaan semula tanpa mengalami perubahan kimiawi. Ekstraksi dari bahan padat dapat dilakukan jika bahan yang diinginkan dapat larut dalam solven pengestraksi. Ekstraksi berkelanjutan diperlukan apabila padatan hanya sedikit larut dalam pelarut. Namun sering juga digunakan pada padatan yang larut karena efektivitasnya.

Pada ekstraktor Soxhlet, pelarut dipanaskan dalam labu didih sehingga menghasilkan uap. Uap tersebut kemudian masuk ke kondensor melalui pipa kecil dan keluar dalam fasa cair. Kemudian pelarut masuk ke dalam selongsong berisi padatan. Pelarut akan membasahi sampel dan tertahan di dalam selongsong sampai tinggi pelarut dalam pipa sifon sama dengan tinggi pelarut di selongsong. Kemudian pelarut seluruhnya akan menggejorok masuk kembali ke dalam labu didih dan begitu seterusnya. Hal ini menyebabkan ada bagian sampel yang berkontak lebih lama dengan cairan daripada bagian lainnya. Sehingga sampel yang berada di bawah akan terekstraksi lebih banyak daripada bagian atas. Akibatnya ekstraksi menjadi tidak merata. Peristiwa ini disebut dengan efek sifon. Pada ekstraktor Soxhlet terdapat pipa sifon yang berkontak langsung dengan udara ruangan. Maka akan terjadi perpindahan panas dari pelarut panas di dalam pipa ke ruangan. Akibatnya suhu di dalam Soxhlet tidak merata. Contoh ekstraksi padat cair adalah mengekstrak minyak non-atsiri (senyawa yang terdapat pada bahan alam yang tidak mudah menguap).

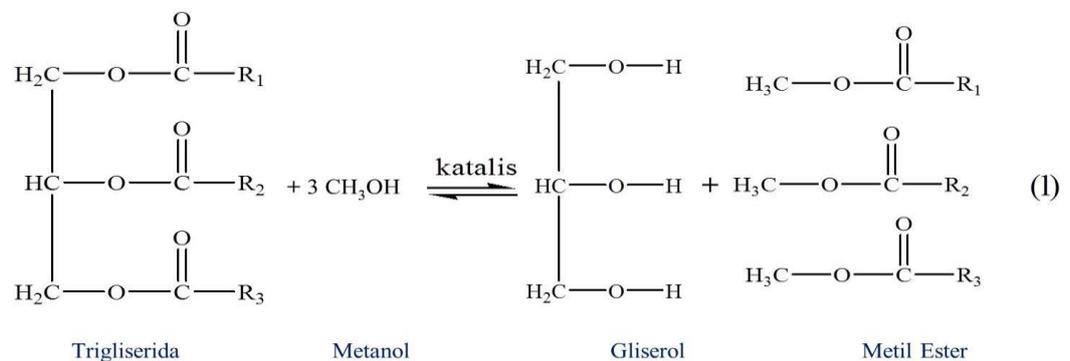


Gambar 2.3. Soxhlet

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Soxhlet_extractor

2.4 Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi adalah istilah umum yang sering digunakan untuk menjabarkan reaksi organik yang penting di mana ester ditransformasi menjadi baha lain melalui *interchange* dari alkoksi (Manurung, 2006). Reaksi transesterifikasi seringkali disebut sebagai reaksi alkoholisis. Hal ini disebabkan karena suatu ester dalam penelitian ini adalah minyak biji mangga akan direaksikan dengan alkohol membentuk suatu alkil ester. Dalam proses ini, alkohol yang digunakan adalah methanol. Secara umum, reaksi transesterifikasi suatu trigliserida dapat dijelaskan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. Reaksi Transesterifikasi

Sumber: <https://herirustamaji.wordpress.com/2012/06/03/pemodelan-dan-simulasi-kinetika-reaksi-alkoholisis/>

Tujuan dari proses transesterifikasi adalah menghilangkan kandungan trigliserida, menurunkan titik didih, titik nyala, titik beku, viskositas dari minyak nabati. Hal ini perlu dilakukan agar hasil dari alkil ester dapat dijadikan biodiesel tanpa merusak mesin.

2.5 Biodiesel

Biodiesel secara umum adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari bahan terbarukan atau secara khusus merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Bahan baku dari biodiesel dapat berasal dari minyak nabati, minyak hewani, atau minyak goreng bekas yang sudah tidak layak dipakai untuk memasak. Biodiesel merupakan bahan bakar yang bersifat ramah lingkungan dan ketersediaannya dapat diperbaharui (*renewable*). Dalam biodiesel terdapat berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak tumbuhan maupun lemak hewan. Beberapa contoh minyak tumbuhan yang sering digunakan antara lain minyak sawit (palm oil), minyak kelapa, minyak biji jarak dan minyak biji kapok randu, sedangkan contoh minyak yang berasal dari lemak hewani adalah lemak babi, lemak ayam, lemak sapi, dan juga lemak yang berasal dari ikan (Marnoto & Efendi, 2011). Minyak nabati atau minyak hewani yang digunakan harus melalui proses transesterifikasi agar didapat alkil ester untuk dijadikan biodiesel. Biodiesel bisa digunakan dengan mudah karena mempunyai sifat-sifat fisik yang mirip dengan solar biasa sehingga dapat dicampur dan diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel hampir tanpa modifikasi. Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai alternatif yang paling tepat untuk menggantikan bahan bakar mesin diesel. Biodiesel bersifat biodegradable, dan mengandung sedikit sulfur. Kandungan biodiesel terdiri dari metil atau etil ester, hasil transesterifikasi baik dari trialkilgliserida (TG) atau esterifikasi dari asam lemak bebas (FFA).

Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, bahan bakar biodiesel mempunyai kelebihan diantaranya bersifat biodegradable, non-toxic, mempunyai angka emisi CO₂ dan gas sulfur yang rendah dan sangat ramah terhadap lingkungan. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati maupun lemak hewan, namun yang paling umum

digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah minyak nabati. Minyak nabati dan biodiesel tergolong ke dalam kelas besar senyawa-senyawa organik yang sama, yaitu kelas ester asam-asam lemak. Akan tetapi, minyak nabati adalah triester asam-asam lemak dengan gliserol, atau trigliserida, sedangkan biodiesel adalah monoester asam-asam lemak dengan metanol. Perbedaan wujud molekuler ini memiliki beberapa konsekuensi penting dalam penilaian keduanya sebagai kandidat bahan bakar mesin diesel :

1. Minyak nabati (yaitu trigliserida) berberat molekul besar, jauh lebih besar dari biodiesel (yaitu ester metil). Akibatnya, trigliserida relatif mudah mengalami perengkahan (cracking) menjadi aneka molekul kecil, jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
2. Minyak nabati memiliki kekentalan (viskositas) yang jauh lebih besar dari minyak diesel/solar maupun biodiesel, sehingga pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mampu menghasilkan pengkabutan (atomization) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam kamar pembakaran.
3. Molekul minyak nabati relatif lebih bercabang dibanding ester metil asam-asam lemak. Akibatnya, cetane number minyak nabati lebih rendah daripada cetane number ester metil. Cetane number adalah tolok ukur kemudahan menyala/terbakar dari suatu bahan bakar di dalam mesin diesel.

Di luar perbedaan yang memiliki tiga konsekuensi penting di atas, minyak nabati dan biodiesel sama-sama berkomponen penyusun utama (≥ 90 %-berat) asam-asam lemak. Pada kenyataannya, proses transesterifikasi minyak nabati menjadi ester metil asam-asam lemak, memang bertujuan memodifikasi minyak nabati menjadi produk (yaitu biodiesel) yang berkekentalan mirip solar, cetane number lebih tinggi, dan relatif lebih stabil terhadap perengkahan. Semua minyak nabati dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar namun dengan proses-proses pengolahan tertentu. Tabel 2.1 menunjukkan berbagai macam tanaman penghasil minyak nabati serta produktifitas yang dihasilkannya.

Tabel 2.1 Tanaman Penghasil Minyak Nabati

Nama Indonesia	Nama Inggris	Nama Latin
Sawit	Oil palm	<i>Elaeis guineensis</i>
Kelapa	Coconut	<i>Cocos nucifera</i>
Alpukat	Avocado	<i>Persea americana</i>
K. Brazil	Brazil Nut	<i>Bertholletia excelsa</i>
K. Makadam	Macadamia Nut	<i>Macadamia ternif</i>
Kanola (Lobak)	Rapeseed	<i>Brassica napus</i>
Jojoba	Jojoba	<i>Simmondsia califor</i>
K. Pekan	Pecan Nut	<i>Carya pecan</i>
Jarak Keyar	Castor	<i>Ricinus communis</i>
Zaitun	Olive	<i>Olea europea</i>

2.6 Karakteristik Bahan Bakar Solar

Tolok ukur layak atau tidak suatu biodiesel untuk dijadikan bahan bakar alternatif adalah karakteristik dari solar yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak Dan Gas Bumi seperti pada gambar 2.5.

NOMOR : 28.K/10/DJM.T/2016
TANGGAL : 24 Februari 2016

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK JENIS SOLAR 48

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan SNI Minyak Solar 48		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain-Lain
1.	Bilangan Setana Angka Setana atau Indeks Setana		48		D613	
			45		D4737	
2.	Berat Jenis (pada Suhu 15°C)	Kg/m ³	815	870	D4052 / D1298	
3.	Viskositas (pada suhu 40°C)	mm ² /s	2.0	4.5	D445	
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35 ^a 0,30 ^a 0,25 ^a 0,05 ^a 0,005 ^a	D4294/ D5453	
5.	Distilasi : 90% vol. Penguapan	°C	-	370	D86	
6.	Titik Nyala	°C	52	-	D93	
7.	Titik Kobut atau	°C	-	18	D2500	
8.	Titik Tiang	°C	-	18	D97	
9.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1 ^a	D189	
10.	Kandungan Air	mm/kg	-	900	D6304	
11.	Kandungan FAME	% v/v	-	20 ^a	D7806/ D7371	
12.	Korosi Bilah Tembaga		-	Kelas 1	D130	
13.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D482	
14.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D473	
15.	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	-	0	D664	
16.	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0,6	D664	
17.	Penampilan Visual		Jernih dan Terang	-	-	
18.	Warna	No. ASTM	-	3,0	D1500	
19.	Lubricity (HFRR wear scar dia. @60°C)	micron	-	460 ^a	D6079	
20.	Kestabilan Oksidasi Metode Rancimat	Jam	35			EN15751

Gambar 2.5. Spesifikasi Minyak Solar

Sumber: https://eyesbeam.wordpress.com/2009/03/11/pengetahuan_umum_tentan_g_diesel_oil/

Biodiesel dapat dinyatakan layak untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif apabila parameter-parameter dari biodiesel memenuhi standar yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Pada gambar 2.4 telah tercantum beberapa parameter. Setiap parameter memiliki standar nilai yang harus dipenuhi agar suatu bahan bakar dapat dinyatakan layak untuk digunakan. Parameter-parameter tersebut memiliki pengaruh apabila salah satu atau lebih tidak memenuhi persyaratan. Berikut adalah penjelasan mengenai parameter-parameter tersebut :

- *Angka setana (cetane number).*
Angka setana merupakan properti bahan bakar solar yang menunjukkan kualitas pembakaran dari bahan bakar tersebut. Semakin tinggi angka setana maka waktu tunda penyalaan semakin pendek.
- *Cumulative cetane index (CCI).*
CCI merupakan salah satu pedoman mutu dari bahan bakar *diesel* yang diperoleh dari pengujian sifat – sifat fisik bahan bakar. Karena menggunakan sifat – sifat fisik, maka CCI tidak dapat disebut sebagai gambaran angka setana sebenarnya. CCI hanya merupakan alat pelengkap untuk memprediksi angka setana. Sifat – sifat fisik yang mempengaruhi nilai CCI menurut ASTM D-976 adalah density dan temperatur perolehan destilat 50% volume.
- *Specific Gravity dan Density.*
Specific gravity merupakan perbandingan massa sejumlah volume zat pada suhu tertentu terhadap massa air murni dengan volume yang sama pada suhu yang sama atau suhu yang berbeda. Sedangkan density merupakan berat cairan per unit volume pada 15°C dan 101,325 kPa dengan satuan standar pengukuran misalnya kg/m³.
- *Viskositas.*
Viskositas merupakan suatu properti yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu bahan bakar cair untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari suatu bahan bakar cair. Makin tinggi viskositasnya, maka fluida akan semakin kental dan sulit untuk mengalir. Sedangkan jika viskositas terlalu rendah maka fluida mudah mengalir dan kurang memberikan efek pelumasan.

- **Kandungan sulfur**
Kandungan sulfur selalu ada dalam produk turunan minyak bumi. Apabila kandungan sulfur dalam produk turunan minyak bumi berlebih, dapat merusak mesin karena bersifat korosif.
- ***Distillation range***
Distillation range dipengaruhi oleh viskositas dari bahan bakar. *Distillation range* merupakan properti bahan bakar yang menentukan daya keluaran motor, kualitas gas buang, dan penyalaaan.
- ***Flash point* (titik nyala)**
Flash point merupakan temperatur minimum suatu fluida untuk langsung menyala meledak saat dikompresi dengan tekanan tinggi. Jika *flash point* terlalu rendah maka fluida akan semakin mudah untuk menyala, sehingga sebelum terjadi ledakan pada ruang bakar fluida terlebih dahulu habis terbakar. Akibatnya, mesin akan mengalami knocking.
- ***API Gravity*.**
API Gravity merupakan fungsi khusus dari relative density (*Specific Gravity*) 60/60 °F, dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :
$$^{\circ}\text{API} = 141,5 / (\text{SG } 60/60 \text{ } ^{\circ}\text{F}) - 131,5$$
- **Warna**
Penentuan warna produk minyak bumi digunakan terutama untuk keperluan kontrol pabrik atau suatu ciri mutu yang penting karena warna paling mudah teramati oleh pengguna produk. Dalam beberapa kasus warna bertindak sebagai indikasi dari tingkat kemurnian bahan. Bila kisaran warna produk diketahui, variasi diluar kisaran yang ditentukan dapat menunjukkan indikasi adanya kontaminasi dengan produk lain. Tetapi, warna tidak selalu menunjukkan mutu produk dan jarang diperlakukan istimewa dalam spesifikasi produk.
- **Bilangan Asam**
Analisis terhadap bilangan asam pada biodiesel penting dilakukan karena walaupun pada awalnya bilangan asam pada biodiesel sudah rendah, namun masih ada kemungkinan terbentuk asam-asam rantai pendek akibat adanya proses oksidasi sebagai hasil dekomposisi senyawa peroksida dan

hidroperoksida. Dalam aplikasinya, akumulasi asam pada biodiesel dapat mengakibatkan suatu kondisi yang bisa merusak mesin.

2.7 Motor Diesel

Mesin diesel adalah sejenis mesin pembakaran dalam dengan pemicu kompresi, dimana bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi gas yang dikompresi, dan bukan oleh alat berenergi lain (seperti busi). Mesin diesel pada kendaraan otomotif sering digunakan pada mobil-mobil yang mempunyai kapasitas mesin yang besar, dan juga tenaga yang besar (contoh ; Truk, tronton, fuso, bus dan kendaraan besar lainnya.) hal ini dikarenakan mesin diesel cocok untuk penggunaan jarak jauh (mesin diesel lebih tahan panas dibanding mesin bensin) dan tenaga yang besar (karena konstruksi mesin diesel rata-rata berkapasitas besar).

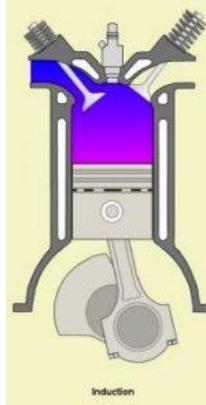
Mesin diesel ini ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel, yang menerima paten pada 23 Februari 1893. Diesel menginginkan sebuah mesin untuk dapat digunakan dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batu bara. Dia mempertunjukkannya pada Exposition Universelle (Pameran Dunia) tahun 1900 dengan menggunakan minyak kacang. Kemudian diperbaiki dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering.

Mesin diesel memiliki siklus 4 langkah yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah ekspansi, langkah buang. Berikut adalah penjelasan tentang langkah-langkah mesin diesel:

1. Langkah pemasukan/hisap

Pada langkah hisap seperti pada Gambar 2.6 piston bergerak naik dari TMB menuju TMA. Pada saat piston berada pada posisi TMB, bahan bakar yang berada dibawah piston terdorong keluar dari saluran pembilasan. Kemudian, bahan bakar yang keluar dari saluran pembilasan didorong piston sampai mencapai posisi TMA. Pada saat hampir mencapai TMA, piston menutup saluran pembuangan dan saluran pembilasan. Akibatnya, saluran masuk bahan bakar terbuka dan menyebabkan bahan bakar secara otomatis masuk melalui saluran masuk di bawah piston. Bahan bakar yang masuk disilinder di tekan naik oleh piston sampai mencapai posisi TMA. Tekanan di silinder meningkat,

kemudian bunga api dari busi membakar bahan bakar dan udara menjadi letusan.

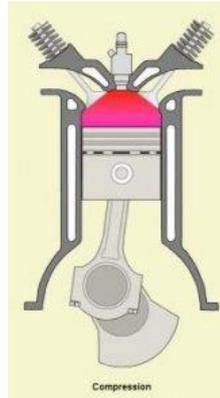


Gambar 2.6 Langkah Hisap

Sumber: <http://otomotrip.com/langkah-kerja-piston-pada-mesin-4-tak.html>

2. Langkah kompresi

Langkah kompresi pada Gambar 2.7 terjadi setelah langkah pemasukan selesai. Pada langkah ini, semua katup tertutup, torak bergerak dari TMB menuju ke TMA yang mengakibatkan udara di dalam silinder terkompresi sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Kenaikan tekanan ini dapat mencapai 4 Mpa (600 psi) sedangkan kenaikan temperatur dapat mencapai 800 K (1000⁰ F) tergantung pada rasio kompresi serta ukuran motor yang digunakan. Saat torak hampir mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar melalui injector sehingga membentuk kabut campuran udara-bahan bakar. Serta karena temperature dalam ruang bakar tersebut melampaui temperature penyalaan bahan bakar, maka campuran udara-bahan bakar tersebut akan segera terbakar.



Gambar 2.7 Langkah Kompresi

Sumber: <http://otomotrip.com/langkah-kerja-piston-pada-mesin-4-tak.html>

3. Langkah kerja/ekspansi

Pada langkah ekspansi yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8 semua katup masih dalam kondisi tertutup. Sebagai akibat dari terbakarnya campuran udara-bahan bakar dalam ruang bakar, maka tekanan dalam ruang bakar meningkat dengan cepat sehingga mendorong torak bergerak dari TMA menuju ke TMB. Pada proses ini terjadi perubahan energi thermal menjadi energi mekanik

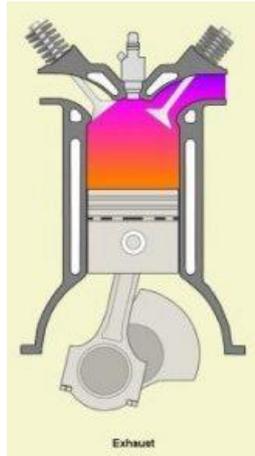


Gambar 2.8 Langkah Kerja

Sumber: <http://otomotrip.com/langkah-kerja-piston-pada-mesin-4-tak.html>

4. Langkah buang

Langkah buang seperti pada Gambar 2.9, katup buang pada kondisi terbuka dan katup masuk tertutup sementara torak bergerak dari TMB ke TMA sehingga gas sisa pembakaran yang tidak termanfaatkan lagi terdorong keluar melalui katup buang. Saat torak mencapai TMA katup buang tertutup dan katup masuk mulai terbuka, dan selanjutnya siklus mulai berulang.



Gambar 2.9 Langkah Buang

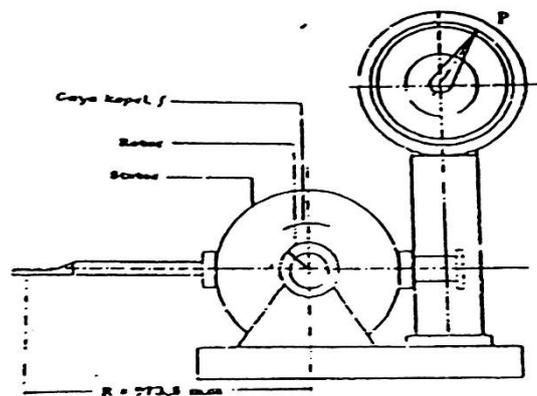
Sumber: <http://otomotrip.com/langkah-kerja-piston-pada-mesin-4-tak.html>

2.8 Performansi Motor

Sebagaimana ada motor bensin beberapa parameter untuk menentukan performansi dari motor diesel, diantaranya adalah :

- Daya
- Torsi
- Tekanan efektif pengereman rata – rata (*brake mean effective pressure*)
- Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*)
- Efisiensi termis

Untuk mengukur uji performansi dari motor digunakan perangkat yang disebut dengan dinamometer. Dalam percobaan ini digunakan salah satu jenis dinamometer, yaitu dynamometer rem air (*water brake dynamometer*).



Gambar 2.10. *Water brake dynamometer*

Sumber: Modul praktikum otomotif Universitas Kristen Petra

Poros motor dihubungkan dengan poros dan motor yang akan diuji, rotor dikopel dengan stator secara hidraulis memanfaatkan air. Dalam satu siklus dari poros motor, titik tertentu yang berada pada diameter terluar dari rotor (radius r) akan bergerak sepanjang $2\pi r$ melawan gaya kopel, f , sehingga kerja per siklus dapat dinyatakan dengan:

$$W = 2 \pi r f$$

Kerja W akan diimbangi oleh kerja yang diakibatkan oleh momen luar sebesar $2 \pi R P$, sehingga dihasilkan keseimbangan momen :

$$r \cdot f = P \cdot R$$

Jadi, dalam satu siklus poros motor, kerja yang dilakukan $W = 2 \pi R P$, dan jika motor berputar n rpm, maka kerja per menit yang lebih dikenal dengan daya, N dapat dinyatakan dengan:

$$N = 2 \pi n P R$$

2.8.1 Daya Motor

Merupakan daya (kerja per satuan waktu) yang diberikan ke poros penggerak oleh motor yang dikenal dengan daya kuda pengereman (*brake horse power*, BHp), dan biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau daya kuda (*horse power*, HP). Besar daya motor dinyatakan melalui persamaan:

$$N = BHp = \frac{2 \pi n R P}{60} \text{ Watt}$$

dimana :

$N = BHp =$ daya (Watt, Hp)

$P =$ Gaya aksi dynamometer (Newton)

$R =$ panjang lengan teoritis dynamometer = 0.9549 m

$n =$ putaran motor, (Hertz, rpm)

Persamaan dapat juga dinyatakan melalui kalibrasi dynamometer (*Zollner Water Brake Dynamometer*) dengan :

$$N = BHp = \frac{P \cdot n}{10000} \text{ KWatt}$$

Karena 1 HP = 746 Watt, maka persamaan menjadi :

$$N = Bhp = \frac{p \cdot n}{7460} \text{ Hp} \quad (2.1)$$

2.8.2 Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil perkalian gaya tangensial dengan lengannya sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau *ft.lb* (British). Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$T = P \cdot R \text{ (Nm)}$$

atau melalui persamaan

$$T = \frac{N}{2 \pi n} \text{ (Nm)} \quad (2.2)$$

2.8.3 Tekanan Efektif Rata-rata Pengereman (*Brake Mean Effective Pressure*)

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada tora, sehingga menghasilkan langkah kerja. Besar tekanan tersebut berubah-ubah sepanjang langkah torak tersebut. Jika diambil suatu tekanan yang bernilai konstan yang bekerja pada torak dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan ini disebut dengan tekanan efektifrata – rata pengereman yang didefinisikan sebagai kerja per siklus per volume langkah torak. Tekanan efektif rata – rata pengereman (*Brake Mean Effective Pressure* - BMEP) dinyatakan dengan persamaan:

$$BMEP = \frac{75 N}{A L \left(\frac{n}{60 Z}\right) i} \text{ kg / m}^2$$

atau :

$$BMEP = \frac{0.45 N Z}{A L i n} \text{ kg / m}^2 \quad (2.3)$$

dimana :

$BMEP$ = tekanan efektif rata – rata pengereman (kg / m²)

$N = BHP$ = daya poros (Watt atau Hp)

A = luas penampang torak (m²)

L = panjang langkah torak (m)

I = jumlah silinder

n = putaran motor (rpm)

Z = jumlah putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus kerja

2.8.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Menyatakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu motor, pada umumnya dinyatakan dalam *satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya*, atau dapat juga didefinisikan dengan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor untuk menghasilkan daya 1 *Hp* selama 1 jam. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$sfc = \frac{3600 m}{N t} \cdot \frac{kg \text{ bahan-bakar}}{Hp \text{ jam}} \quad (2.4)$$

dimana :

sfc = *specific fuel consumption*

m = massa bahan bakar yang dikonsumsi (*kg*)

= $\rho \cdot v$ (ρ = rapat massa bahan bakar, v = volume bahan bakar yang dikonsumsi)

N = daya yang dihasilkan motor (*Hp*)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi bahan bakar sebanyak m *kg* (detik)

2.8.5 Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\mu_{th} = \frac{\text{Tenaga yang dihasilkan}}{\text{Panas yang diberikan}} \times 100\%$$

Jika 1 kalori = 4.186 joule, maka

$$\begin{aligned} 1HP &= 746 \text{ Watt} = 746 \frac{\text{joule}}{\text{detik}} \\ &= 746 \times \frac{1}{4.186} \times 3600 \times \frac{1}{1000} \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \\ &= 641.567 \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

Jika untuk menghasilkan daya sebesar N (HP) jumlah bahan bakar yang dikonsumsi G_{bb} (kg / jam) dan nilai pembakaran bawah (low heating value LHV) bahan bakar adalah H_p (kkal / kg), maka efisiensi termis motor tersebut:

$$\mu_{th} = \frac{N \times 641.567}{G_{bb} \times H_b}$$

atau

$$\mu_{th} = \frac{641.567}{sfc \times LHV} \times 100\% \quad (2.5)$$

dimana :

μ_{th} = efisiensi termis (%)

LHV = kalor pembakaran bawah (kkal / kg)

$$LHV = 16610 + 40 \text{ }^\circ \text{ API (Btu / lb)}$$

Karena 1 Btu = 1054 joule; 1 kalori = 4.184 joule dan 1 lb = 0,4536 kg, maka:

$$1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \times \frac{1054 \text{ J}}{1 \text{ Btu}} \times \frac{1 \text{ kal}}{4,186 \text{ J}} \times \frac{1 \text{ lb}}{0,4536 \text{ kg}} = 555,362 \text{ kkal / kg}$$

Persamaan menjadi :

$$LHV = (16610 + 40 \times \text{ }^\circ \text{ API}) 555,362 \text{ kkal / kg} \quad (2.6)$$

dimana :

$$\text{ }^\circ \text{ API} = \frac{141,5}{SG (60^\circ \text{F})} - 131,5 \quad (2.7)$$

2.8.6 HHV (*Higher Heating Value*)

(HHV) adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satu satuan volume bahan bakar gas, pada tekanan tetap, suhu 25° C, apabila semua air yang mula-mula berwujud cair setelah pembakaran mengembun menjadi cair kembali. HHV merupakan suatu nilai kalor dari bahan bakar. Semakin besar HHV, maka usaha total yang dihasilkan oleh bahan bakar semakin besar.

$$HHV = \frac{W(T_2 - T_1) - (2,3XL)}{m} \quad (2.8)$$

dimana:

W = energi *equivalent* dari hasil kalibrasi (Cal/° C)

T1= suhu awal air sebelum pembakaran (° C)

T2= suhu akhir air setelah pembakaran (° C)

L = panjang kawat (Cm)

m = massa baha bakar (gram)