

STUDI PENGGUNAAN MINYAK KEMIRI
(*Aleurites moluccana* WILLD)
SEBAGAI BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL

Oleh
S A I P U L
F 26. 0263



1 9 9 4
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
B O G O R

IPB University
Saipul. F 26.0263. Studi Penggunaan Minyak Kemiri (*Aleurites moluccana* WILLD) sebagai Bahan Bakar Motor Diesel. Dibawah bimbingan Kusen Morgan dan Edy Mulyono.

RINGKASAN

Motor diesel sebagai sumber tenaga terbesar untuk pertanian, industri dan transportasi mengalami peningkatan dalam hal kebutuhannya dibandingkan dengan sumber tenaga lainnya. Hal ini disebabkan motor diesel mempunyai efisiensi yang lebih besar dibandingkan motor bensin, disamping itu bahan bakarnya lebih murah. Sebagai bahan bakarnya digunakan minyak solar yang termasuk bahan bakar relatif murah yang dihasilkan dari minyak bumi.

Penggunaan motor diesel yang semakin meningkat itu tidak mungkin terus menerus diikuti oleh peningkatan sumber daya minyak bumi, mengingat cadangan minyak bumi yang semakin menyusut. Oleh karena itu perlu dijajaki potensi sumber energi yang lain, terutama yang berasal dari minyak-minyak nabati, misalnya minyak kelapa sawit, minyak jarak dan minyak kemiri. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari kemungkinan penggunaan minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel. Pada penelitian ini dipelajari : 1). Sifat fisika-kimia minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel, 2). konsumsi bahan bakar (l/jam), 3). efek perubahan suhu dan RPM pada motor diesel dibandingkan dengan bahan bakar solar.



Penelitian dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama, penelitian pendahuluan terhadap viskositas minyak kemiri untuk disesuaikan dengan keperluan pengkabutan bahan bakar pada proses pembakaran. Tahap kedua, pengujian, pengamatan dan pengukuran minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel. Pengamatan dan pengukuran konsumsi bahan bakar, suhu gas buang, suhu air radiator dan RPM. Selama berlangsung pengujian dilakukan pengukuran kondisi udara percobaan sebelum, saat dan sesudah percobaan.

Hasil penelitian penyesuaian viscositas menunjukkan bahwa viskositas minyak kemiri pada suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$ lebih mendekati kebutuhan dibandingkan dengan minyak kemiri pada suhu normal, sehingga untuk penelitian utama diambil minyak kemiri pada suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$.

Hasil penelitian terhadap minyak diesel (solar) dan minyak kemiri murni yang dipanaskan menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dari kedua bahan bakar tersebut tidak jauh berbeda, yaitu untuk minyak diesel (solar) 0.275 l/jam ("gas" idle), 0.426 l/jam ("gas" medium) dan 0.680 l/jam ("gas" optimum), untuk minyak kemiri 0.310 l/jam ("gas" idle), 0.475 l/jam ("gas" medium) dan 0.726 l/jam ("gas" optimum). Begitu juga dengan suhu gas buang relatif sama, yaitu 47.2°C ("gas" idle), 50.5°C ("gas" medium) dan 56.8°C ("gas" optimum) untuk minyak diesel (solar), dan untuk minyak kemiri 47.1°C ("gas" idle), 50.5°C ("gas" medium) dan 56.7°C ("gas" optimum). Suhu air radiator untuk minyak diesel



pada "gas" idle, medium dan optimum berturut-turut adalah 56.9°C, 64.5°C dan 70.3°C, sedang untuk minyak kemiri 61.1°C, 65.5°C dan 69.8°C.

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa minyak kemiri dapat digunakan sebagai bahan bakar motor diesel. Akan tetapi jika ditinjau dari segi biaya bahan bakar, untuk saat ini penggunaan minyak kemiri masih jauh lebih mahal dibandingkan dengan minyak diesel (solar). Sedang dari segi efisiensi thermal, motor dengan bahan bakar minyak kemiri mempunyai efisiensi thermal lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar minyak diesel (solar).

Untuk tenaga motor, panas terbuang ke gas buang dan air pendingin serta efisiensi daya terpakai masih perlu dilakukan penelitian lanjutan. Oleh karena itu minyak kemiri cukup potensial dijadikan sebagai bahan bakar alternatif motor diesel di masa depan.

STUDI PENGGUNAAN MINYAK KEMIRI

(*Aleurites moluccana* WILLD)

SEBAGAI BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL

Oleh :

S A I P U L

F 26.0263

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada **JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN**

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

1994

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

STUDI PENGGUNAAN MINYAK KEMIRI
(*Aleurites moluccana* WILLD)
SEBAGAI BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor


Oleh :

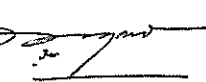
S A I P U L
F 26.0263


Dilahirkan pada tanggal 26 Juni 1970
di Rantau-Kasih

Tanggal lulus : 3 September 1994

Ditandatangani,
Bogor, 3 September 1994

 Ir. H. Kusen Morgan, MS.
Dosen Pembimbing

 Ir. Edy Mulyono, MS.
Pembimbing pendamping



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT semata atas berkat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan kesarjana (S1) di Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tinggi-tingginya kepada Bapak Ir. H. Kusen Morgan, MS. selaku Dosen Pembimbing dan Bapak Ir. Edy Mulyono, MS. sebagai Pembimbing Pendamping, Ayah dan Ibu tercinta, van Deventer Maas-Indonesia (Yayasan Pemberi Beasiswa Perguruan Tinggi), segenap staf Dosen dan Karyawan FATETA IPB, khususnya Jurusan Mekanisasi Pertanian serta semua pihak yang telah membina, membimbing dan membantu selama penulis menempuh pendidikan di Bogor.

Akhirnya, semoga ilmu yang telah didapat selama ini dapat senantiasa dikembangkan dan mendatangkan banyak manfaat bagi semua pihak.

Semoga Allah SWT senantiasa menyertai dan membimbing kita semua. Amien.

Bogor, Agustus 1994

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN PENELITIAN	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. BOTANI	4
B. MINYAK KEMIRI	5
1. Kondisi Fisik Minyak Kemiri	6
2. Penggunaan Minyak Kemiri sebagai bahan bakar motor diesel.....	8
C. MOTOR DIESEL	25
1. Prinsip Kerja Motor Diesel	29
2. Bahan Bakar	31
3. Diagram Kerja Motor	32
4. Proses Pembakaran	38
5. Injeksi Bahan Bakar	40
D. MINYAK DIESEL	42
Kondisi Fisik Minyak Diesel	42

III.	METODE PENELITIAN	45
A.	TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN	45
B.	PERALATAN DAN BAHAN PENELITIAN	45
C.	PROSEDUR PENELITIAN	49
1.	Penelitian Pendahuluan	49
2.	Penelitian Utama	50
D.	CARA PENGUKURAN DAN PENGAMATAN	52
E.	PERHITUNGAN	54
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	61
A.	PENGKABUTAN BAHAN BAKAR	61
B.	KEMAMPUAN BAHAN BAKAR	61
C.	PENENTUAN KONSUMSI BAHAN BAKAR, PANAS SETARA KONSUMSI BAHAN BAKAR, PUTARAN MOTOR (RPM), SUHU AIR RADIATOR, DAN SUHU KNALPOT	62
D.	PENGARUH KONDISI UDARA PERCOBAAN	64
E.	PERBANDINGAN KEDUA BAHAN BAKAR	67
F.	TINJAUAN EKONOMIS BAHAN BAKAR	71
G.	KONDISI FISIK BAHAN BAKAR	73
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	75
A.	KESIMPULAN	75
B.	SARAN	77
	LAMPIRAN	78
	DAFTAR PUSTAKA	92

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Ketentuan Panas (Heat) dan Kerja (Work)	33
Tabel 2. Hasil Perlakuan dengan Minyak Kemiri dan Mi- nyak Diesel (Solar).....	64

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar	1. Siklus kerja motor diesel empat langkah	30
Gambar	2. Diagram kerja motor diesel empat langkah	33
Gambar	3. P.V. Diagram untuk motor bensin 4 langkah	36
Gambar	4. P.V. Diagram untuk motor diesel 4 langkah	37
Gambar	5. Pengukuran dan pengamatan untuk mendapat- kan data primer	55
Gambar	6. Pengukuran dan pengamatan untuk mendapat- kan data sekunder	56
Gambar	7. Pengkabutan minyak diesel (solar)	59
Gambar	8. Pengkabutan minyak kemiri pada temperatur normal	60
Gambar	9. Pengkabutan minyak kemiri pada temperatur 45°C	60
Gambar	10. Motor diesel saat dicoba dengan bahan ba- kar minyak diesel (solar)	66
Gambar	11. Motor diesel saat dicoba dengan bahan ba- han bakar minyak kemiri	66
Gambar	12. Grafik hubungan konsumsi bahan bakar ba- kar dengan putaran motor	69
Gambar	13. Grafik hubungan panas setara konsumsi ba- han bakar terhadap RPM	70
Gambar	14. Grafik hubungan antara suhu gas buang terhadap RPM	70
Gambar	15. Grafik hubungan suhu air radiator terha- dap RPM	71

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Teknis Motor	79
Lampiran 2. Data Teknis Motor (lanjutan)	80
Lampiran 3. Data hasil pengukuran pada level "gas" idle dan ulangan pertama	81
Lampiran 4. Data hasil pengukuran pada level "gas" idle dan ulangan kedua	82
Lampiran 5. Data hasil pengukuran pada level "gas" idle dan ulangan ketiga.....	83
Lampiran 6. Data hasil pengukuran pada level "gas" medium dan ulangan pertama	84
Lampiran 7. Data hasil pengukuran pada level "gas" medium dan ulangan kedua	85
Lampiran 8. Data hasil pengukuran pada level "gas" medium dan ulangan ketiga	86
Lampiran 9. Data hasil pengukuran pada level "gas" optimum dan ulangan pertama	87
Lampiran 10. Data hasil pengukuran pada level "gas" optimum dan ulangan kedua	88
Lampiran 11. Data hasil pengukuran pada level "gas" optimum dan ulangan ketiga	89
Lampiran 12. Spesifikasi Minyak Kemiri	90
Lampiran 13. Spesifikasi Minyak Diesel	91



I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Dalam dasa warsa mendatang yang menjadi tantangan terbesar bagi suatu pembangunan adalah pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin membengkak. Hal yang demikian itu mengakibatkan kebutuhan akan energi semakin meningkat. Oleh karena itu kebijaksanaan energi merupakan bagian integral dari pembangunan secara menyeluruh.

Motor bakar untuk pertanian, industri dan transportasi merupakan sektor yang banyak menggunakan energi. Dalam pada itu minyak bumi merupakan sumber energi yang banyak digunakan oleh sektor ini. Dengan meningkatnya harga minyak bumi dan kesadaran akan perlunya diadakan penghematan dalam penggunaan energi, berbagai usaha dilakukan dalam konversi energi juga dalam sektor ini. Adapun upaya penghematan penggunaan minyak bumi berkisar pada usaha untuk mencari alternatif pengganti minyak bumi sebagai bahan bakar motor dan usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan minyak bumi dalam motor bakar.

Kebutuhan energi panas dalam bentuk bahan bakar yang berasal dari minyak bumi pada masa mendatang akan menjadi masalah yang cukup serius di dunia, hal ini disebabkan pemakaian bahan bakar minyak akan memuncak di suatu saat

dan melampaui sumber minyak bumi yang ada. Diramalkan pula bahwa untuk waktu-waktu mendatang penggunaan motor diesel dengan bahan bakar solar dari berbagai ukuran akan meningkat sebagai akibat pertimbangan ekonomis dari konsumen, sehubungan dengan efisiensi thermal yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis motor bakar lainnya (Daywin, F.J., et al, 1990). Oleh karena itu perlu dijajaki potensi sumber energi yang lain, terutama yang berasal dari minyak-minyak nabati, misalnya minyak kelapa sawit, minyak jarak dan minyak kemiri.

Tanaman kemiri banyak tersebar di wilayah Indonesia dan sebagian besar penanamannya diusahakan oleh petani. Luas areal pertanamannya diusahakan oleh rakyat dan perkebunan besar swasta sebesar 77 338 ha pada tahun 1989 dan menurun menjadi 72 093 ha pada tahun 1990 (BPS., 1990). Dari jumlah tersebut 99.97% diusahakan oleh rakyat dan menurun menjadi 99,96% pada tahun berikutnya.

Pada tahun 1925 Indonesia pernah mengeksport minyak kemiri dari pulau Jawa, tetapi industri minyak kemiri tidak berkembang seperti di Filipina. Untuk biji kemiri selama ini Indonesia hanya mengeksport dalam bentuk biji kemiri yang masih berkulit (*kemiri seed, in shell*) dan biji kemiri kupas (*kemiri seed, shelled*) (BPS., 1990).

Minyak kemiri pertama kali dipakai sebagai pengganti minyak biji lin (linseed oil) yaitu minyak yang dapat digunakan sebagai cat dan pernis, karena mempunyai sifat mudah mengering (Bailey, 1950 di dalam Ketaren, 1986). Kemudian berkembang penggunaannya menjadi minyak lampu, kosmetik, obat-obatan dan sabun.

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mempelajari kemungkinan penggunaan minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel. Dalam penelitian ini dipelajari : 1). Sifat fisika-kimia minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel, 2). Konsumsi bahan bakar (l/jam), 3). Efek penggunaan di tempat kerja motor diesel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Botani

Kemiri (*Aleurites moluccana* WILLD) termasuk famili Euphorbiaceae dengan nama daerah antara lain muncang (Sunda), kemiri atau mori (Jawa), komere (Madura). Tanaman ini tumbuh baik pada ketinggian 150 sampai 1200 meter di atas permukaan laut. Tinggi pohon kemiri dapat mencapai 40 meter dengan garis tengah batang 60 cm. Kemiri banyak ditanam oleh penduduk di kebun-kebun dan pekarangan sebagai penghasil buah, sedang sebagai bahan baku kayu ditanam pula oleh instansi kehutanan terutama di Jawa Timur (Hutajulu, 1967).

Tanaman kemiri beranting banyak, mempunyai tunas muda yang tertutup rapat oleh buluh yang berwarna putih keabuan atau coklat. Daun muda berlekuk tiga atau lima, sedang daun tua berbentuk bulat dengan ujung meruncing. Daun tersebut mengandung kelenjar berwarna hijau kekuning-kuningan. Bunga kemiri merupakan bunga majemuk berumah satu, berwarna putih dan bertangkai pendek. Buah kemiri berkulit kasar dan berdiameter 5 cm, didalamnya terdapat satu atau dua biji yang diselubungi oleh kulit yang keras dengan permukaan kasar dan beralur. Perbandingan berat antara tempurung dan daging buah adalah 7:3 (Ketaren, 1986). Berat satu biji kemiri bertempurung rata-rata 10-

14 gram, kemudian tebal tempurung 3-5 mm atau 65-75% dari berat biji (Heyne, 1950).

Sampai dengan tahun 1990 produksi kemiri yang diusahakan rakyat mencapai 28 773 ton, lebih besar 11.20% dari produksi tahun sebelumnya yang hanya mencapai 25 875 ton. Industri minyak kemiri dapat dikembangkan di Indonesia bila dilihat dari aspek bahan baku, karena tanaman kemiri mudah dibudidayakan.

B. Minyak Kemiri

Minyak kemiri dikenal dengan istilah *Gumbang Oil* di negara Filipina atau *Candle nut oil* di beberapa negara lainnya. Minyak kemiri diperoleh dari daging biji kemiri. Menurut Heyne (1950) daging biji kemiri yang belum diolah mengandung 55-65% minyak. Sedangkan Bolton (1928) menyebutkan kandungan minyak dalam daging biji kemiri sebesar 62-72%. Menurut Ketaren (1986) biji kemiri mengandung minyak sebesar 60-65%.

Ekstraksi minyak kemiri dapat dilakukan dengan cara pengempaan daging biji kemiri (Burkill, 1935). Dari daging biji dapat dihasilkan 55-60% minyak dan 30% bungkil (Jamieson, 1943).

Menurut Eckey (1954), asam lemak yang terkandung di dalam minyak kemiri terdiri dari :

- a. Asam lemak jenuh yaitu 5.5% asam palmitat dan 6.7% asam stearat.
- b. Asam lemak tak jenuh yaitu 10.5% asam oleat, 48.5% linoleat dan 28.5% asam linolenat.

Minyak kemiri tidak dapat dicerna karena bersifat laksatif dan biasanya digunakan sebagai bahan dasar cat atau pernis, tinta cetak, pembuatan sabun, kosmetik (minyak rambut) dan pengawet kayu (Ketaren, 1986).

Minyak kemiri mempunyai sifat mudah menguap sehingga digolongkan ke dalam minyak mengering (*drying oil*). Minyak kemiri tidak baik digunakan sebagai minyak makan karena terlalu banyak mengandung asam lemak tidak jenuh (*polyunsaturated fatty acid*). Asam-asam lemak ini pada proses pemasakan pada suhu tinggi akan terbentuk polimer karena oksidasi dan polimer ini sulit dicerna oleh sistem pencernaan tubuh.

1. Kondisi Fisik Minyak Kemiri

Minyak kemiri diperoleh dengan cara mengekstraksi minyak yang berasal dari daging biji kemiri, yaitu dengan pengempaan. Pengempaan ada dua macam, yaitu pengempaan dingin yang menghasilkan minyak berwarna

kuning, dan pengempaan panas yang menghasilkan minyak berwarna kuning sampai coklat (Ketaren, 1986).

Konsistensi dan *Melting Point* dari minyak kemiri tergantung pada kandungan asam lemak bebasnya, karena titik cair asam-asam lemak bebas lebih tinggi dari pada gliserida. Dalam perdagangan minyak dengan kandungan asam lemak yang relatif rendah dikenal sebagai *Soft Oil*, sedangkan minyak dengan kandungan asam lemak yang tinggi dikenal dengan *Hard Oil* (Formo et al, 1979). Untuk lebih jelasnya sifat-sifat fisika-kimia minyak kemiri dapat dilihat pada tabel 1. Sebagai standard digunakan tabel 2. yang merupakan spesifikasi minyak diesel (solar).

Sehubungan dengan penggunaan minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel perlu diperhatikan hal-hal pokok yang menimbulkan tenaga pada motor tersebut.

2. Penggunaan minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel

Satu-satunya keadaan dimana bahan bakar cair kasar diinjeksikan ke dalam silinder motor pada akhir langkah kompresi dan menyala secara spontan dalam udara panas yang disebabkan tekanan disebut sebagai keadaan penyalaan bertekanan (*compression-ignition*) pada motor diesel. Pada permulaan abad ke-19 suatu hal khusus dari motor diesel memperlihatkan bahwa bahan bakar yang diinjeksikan ke

dalam silinder mengatomisasi dan dengan pertolongan udara bertekanan tinggi, terbakar dalam silinder tersebut hampir tanpa adanya perubahan dalam tekanan. Dengan kata lain terjadi pada suatu tekanan konstan (menurut teorinya), sehingga motor tersebut merupakan motor injeksi udara yang dilengkapi dengan *compressor* khusus untuk mendapatkan udara bertekanan 50-60 atm. Dalam motor injeksi kurang udara (*airless injection engine*) bahan bakar disuplai ke dalam silinder dan diatomisasikan oleh suatu pompa bertekanan tinggi (Petrovsky, N, 1964).

Hal-hal pokok tersebut diantaranya :

- a. Sifat fisik yang terdapat pada minyak kemiri yang antara lain kalor sebesar 39,69 MJ/kg merupakan hal yang diperlukan sebagai bahan bakar seperti halnya solar sebesar 45,2 MJ/kg (Stout, 1984). Dengan pemanasan akan lebih meningkatkan nilai kalor minyak kemiri.
- b. Komposisi kimia minyak kemiri yaitu dari $C_{16}H_{32}O_2$ hingga $C_{20}H_{40}O_2$ (Jamieson, 1943), ternyata mendekati komposisi minyak diesel $C_{16}H_{34}$ (Petrovsky, 1972).
- c. Pengkabutan yang dibutuhkan oleh minyak kemiri pada saat meninggalkan *nozzle* setelah mendapatkan tekanan tinggi dari *injektor*. Pengkabutan didalam udara yang diberi tekanan tinggi menimbulkan pembakaran yang akan menghasilkan energi panas. Untuk mendapatkan pengka-

Keterangan :

Hg : Nilai panas tertinggi
Hn : Nilai panas terendah

Dari lampiran 11 dan 12 dapat dilihat Besarnya Densitas dari minyak kemiri pada suhu 25°C adalah 997 kg/mm³ dan specific gravitynya pada suhu 15°C adalah 0.920-0.927 kg/l. Sedangkan minyak diesel (solar), densitasnya 845 kg/mm³ dan specific gravity pada 15°C berkisar antara 0.820 kg/l dan 0.870 kg/l. Ini berarti bahwa minyak kemiri mempunyai nilai panas tertinggi lebih besar dibandingkan dengan minyak diesel, yang menguntungkan dalam proses pembakaran.

2. Viskositas (Viscosity)

Viscosity dari suatu fluida merupakan ukuran dari tahanan untuk mengalir atau merupakan besarnya gesekan dalam dari fluida tersebut. Viskositas dari minyak dinyatakan oleh jumlah detik dimana harga itu menyatakan suatu volume tertentu dari minyak untuk mengalir melalui suatu lubang dari suatu diameter kecil tertentu. Lebih kecil jumlah detik berarti lebih rendah viskositas (Maleev, 1954).

Menurut Barger et al (1963), bahan bakar diesel sebaiknya mempunyai viskositas tidak begitu rendah dan tidak begitu tinggi, sebab jika viskositas rendah akan banyak terjadi perawatan dan reparasi terhadap saluran injeksi, sedangkan jika viskositas terlalu tinggi maka tekanan tinggi secara berlebihan diperlukan oleh sistem injeksi. Oleh karena itu viskositas yang layak dan tahanan terhadap aliran aliran dalam bahan bakar diesel merupakan suatu kebutuhan.

Tujuan dari penentuan bilangan iod dan bilangan penyabunan pada tahap permulaan adalah untuk menentukan jenis minyak dalam mengontrol kemurnian bahan tersebut . Bilangan iod menggambarkan adanya asam lemak tidak jenuh (*unsaturated*) dalam minyak. Ketidakjenuhan ini mempengaruhi sifat fisik dan kimia. Makin besar bilangan iod makin rendah viskositas dari minyak tersebut ditinjau dari sifat minyak dan lemak (Stout, 1984).

Viskositas minyak diesel yang 2.4 pada suhu 38°C (lampiran 13) lebih rendah dibandingkan dengan viskositas minyak kemiri yang besarnya 40.4°C pada 21°C (lampiran 12). Oleh karenanya perlu dilakukan pemanasan atau pencampuran dengan bahan lain terhadap minyak kemiri sehingga dapat mendekati atau

menyamai bentuk dan sifat pengkabutannya dengan minyak diesel (solar).

3. Cetane Number

Cetane number adalah suatu indeks yang biasa dipergunakan bagi bahan bakar motor diesel untuk menunjukkan kepekaannya terhadap penyalaan (Daywin, F.J., et al, 1990). Bahan bakar mengumpul selama periode pemindahan ini, kemudian menyala secara explosive menghasilkan karakteristik knock diesel (*the characteristic diesel knock*).

Cetane normal ($C_{16}H_{34}$) dan m-methylnapthalene ($C_{16}H_{17}CH_3$) digunakan sebagai bahan standar pengukur, berturut-turut menunjukkan bahan bakar yang termudah dan tersulit penyalaannya. Persen volume cetane dalam campuran kedua bahan tersebut memberikan kelambatan penyalaan sama dengan bahan bakar yang diuji, dalam keadaan standar operasi tertentu, menyatakan *cetane number* bahan bakar tersebut. Makin tinggi nilai cetane dari bahan bakar makin baik sifat startnya, dan makin kecil kelambatan penyalaannya. Menurut jenisnya, minyak tumbuh-tumbuhan mempunyai cetane number dari 35 sampai dengan 40 (lampiran 12). Nilai ini sesuai dengan batasan cetan number untuk motor diesel yaitu anta-

ra 35 hingga 50 (lampiran 13). Dari perbandingan ini berarti minyak kemiri berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar motor diesel.

4. *Pour Point*

Jika temperatur bahan bakar dibawah *pour point*, maka bahan bakar tidak mengalir dari tangki bahan bakar ke pipa outlet. Dengan demikian motor otomatis tidak bisa hidup.

Menurut Petrovsky, N (1964), *Pour Point* adalah temperatur yang paling rendah dimana minyak itu berhenti mengalir atau membeku. Hal ini adalah penting dalam pengaruhnya terhadap starting dalam keadaan dingin selain untuk Bergeraknya minyak dari tangki ke motor (Barger, E.L. et al, 1963). Selain itu *pour point* juga dapat menentukan jenis dari pada minyak itu sendiri, yakni bila minyak itu mempunyai *pour point* yang tinggi, maka berarti bahwa minyak itu mempunyai kandungan yang tinggi (Daryanto, 1984). Untuk minyak diesel dengan cetane 45, *pour point*nya -10°C , minyak diesel dengan cetane number 50, *pour point*nya -15°C . Ini adalah temperatur maksimal *pour point* (Petrovsky, N., 1964).

5. Cloud Point

Stout (1984), menyebutkan bahwa *cloud point* suatu minyak bumi adalah temperatur dimana lilin parafin atau substansi padat lainnya makin mengkristal atau memisah dari cairan jika minyak itu didinginkan. Temperatur *cloud point* biasanya beberapa derajat lebih tinggi dari pada temperatur *pour point*. Jika temperatur keliling dibawah *cloud point*, maka lilin yang mengkristal akan menutup filter bahan bakar.

Cloud point dari minyak nabati berkisar antara 5°C dan 4°C (lampiran 12) lebih tinggi dibandingkan dengan *cloud point* dari minyak diesel yang hanya -17°C (lampiran 13). Hal ini disebabkan karena minyak nabati terdiri dari *trygliceride* dengan asam lemak jenuh mempunyai titik cair lebih tinggi dari pada *triglyceride* yang lebih banyak mengandung asam lemak tidak jenuh.

Umumnya *cloud point* terjadi kira-kira 8 hingga 10°F di atas *pour point* (Barger et al, 1963).

6. Flash Point

Menurut Maleev (1954), *Flash point* adalah temperatur paling rendah dari suatu bahan bakar yang

terbakar, dimana upaya terbakar sesaat pada waktu kontak dengan nyala (*flame*) dan mati dengan cepat (seketika). Sedangkan Menurut Daryanto (1984) *Flash Point* merupakan indikator suhu yang dapat dicapai oleh suatu fraksi minyak sebelum terjadi suatu letupan dengan kehadiran suatu nyala api kecil, suhu yang bertalian dengan *flash point* ini adalah *fire point* yang berada beberapa derajat di atas *flash point*.

Flash point untuk minyak kemiri adalah 250°C (lampiran 12), yang berarti lebih besar dari pada *Flash point* untuk minyak diesel yakni 65.5°C (lampiran 13). Hal ini disebabkan karena minyak nabati lebih terurai pada tekanan atmosfer dari pada penguapan yang akan mulai pada kira-kira suhu 300°C . *Flash point* akan lebih rendah dengan kehadiran pelarut dengan titik didih rendah, yang akan menyebabkan penguapan lebih besar dari asam lemak bebas dibandingkan dengan minyak.

7. Nilai Kalor

Jumlah dari kalor yang dihasilkan bila bahan bakar dibakar dengan lengkap, merupakan panas pembakaran suatu bahan bakar (Stout, 1984). Suatu bahan bakar dengan nilai energi yang rendah mengha-

silkan pembakaran yang kurang panas dan oleh karenanya powernya juga kurang dari bahan bakar yang nilai energinya tinggi dengan jumlah kalor yang sama.

Nilai kalor yang tinggi (*higher heating value*) menunjukkan kandungan panas bila produk pembakaran didinginkan ke temperatur keliling. Nilai kalor tertinggi ditentukan jika hasil (produk) pembakaran dilepaskan pada suatu temperatur tinggi seperti halnya pengeluar motor (*engine exhaust*).

Nilai kalor dari suatu bahan bakar adalah panas yang timbul bila 1 Kg bahan bakar tersebut terbakar sempurna. Nilai kalor dari minyak diesel bervariasi menurut komposisinya terutama menurut kandungan hidrogennya. Dengan adanya dua nilai kalor Q_h yang lebih tinggi dan Q_l yang lebih rendah, maka didapatkan hubungan berikut :

$$Q_l = Q_h - W_{H_2O} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

Q_l = nilai kalor terendah,

Q_h = nilai kalor tertinggi,

r = panas laten penguapan,

W_{H_2O} = jumlah uap yang terbentuk.

Dimana nilai panas terendah dari bahan bakar cair dihitung dengan suatu derajat pendekatan tertentu menurut persamaan D.I. Mendeleyev:

$$Q_1 = 8100C + 30000H - 2600(O-S) - 600 (W-9H) \quad (5)$$

dimana C, O, H, S dan W merupakan penyusun bahan bakar seperti karbon, oksigen, hidrogen, sulfur, dan air dalam satuan berat. Untuk minyak solar $Q_1 = 42.08 \text{ MJ/kg}$ (Petrovsky, 1964).

Nilai kalor minyak kemiri (39,69 MJ/kg) lebih rendah dibandingkan dengan nilai kalor minyak diesel (45.2 MJ/kg). Hal ini menunjukkan bahwa untuk membuat bentuk dan sifat pengkabutan minyak kemiri sama atau mendekati bentuk dan sifat pengkabutan minyak diesel (solar) perlu dilakukan pemanasan sampai dengan suhu tertentu terhadap minyak kemiri.

8. Nilai Iodine

Menurut Ketaren (1986), nilai Iod adalah jumlah (gram) iod yang dapat diikat oleh 100 gram lemak. Ikatan rangkap yang terdapat pada asam lemak yang tidak jenuh akan bereaksi dengan iod atau senyawa senyawa iod gliserida.

Bilangan iod dapat menyatakan derajat ketidakjenuhan dari minyak atau lemak dan dapat juga dipergunakan untuk menggolongkan jenis minyak "mengering" dan "bukan mengering". Minyak "mengering" mempunyai bilangan iod yang lebih dari 130. Sedangkan minyak yang mempunyai bilangan iod 100 sampai 130 bersifat setengah mengering (Ketaren, 1990).

Lebih tinggi nilai iodine menyebabkan lebih besar ketidakjenuhan (jumlah rantai double) dalam minyak nabati. Ketidakjenuhan adalah suatu sifat yang dikehendaki untuk memperhatikan sifat cair (*liquidity*) pada temperatur rendah (Stout, 1984).

9. Kadar Asam

Menurut Stout (1984) minyak nabati kasar biasanya mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*). Asam lemak bebas adalah minyak yang mempunyai nilai panas bahan bakar yang sebesar-besarnya tetapi akibatnya terhadap korosi untuk beberapa bagian-bagian motor belum diketahui. Pada temperatur yang tinggi asam lemak bereaksi dengan banyak metal-metal dan garam-garam metal, asam lemak dapat terjadi dalam silinder motor dan dapat menambah keausan. Asam lemak bebas bisa dihilangkan secara

physica dengan penguapan atau dengan prosedur penjernihan alkali atau bisa dinetralkan dengan amonia atau amina-amina untuk membentuk sabun ammonium.

Stanier (1966) dalam bukunya *Prime Movers* menyatakan bahwa asam (*acid*) yakni KOH yang dikandung bahan bakar disebabkan oleh sumber minyak dan metode pengolahannya. Umumnya asam yang dikandung bahan bakar (*fuel*) menyebabkan korosi terhadap metal. Karena itu harus dikurangi sekecil mungkin.

Kadar asam (*acids*) yang terkandung dalam minyak kemiri pada kondisi lemak bebas (*Free Fatty Acids*) berkisar antara 6.3% hingga 8.0% (Eckey, 1955). Sedangkan yang terkandung dalam minyak diesel (*solar*) merupakan asam (*acids*) pada kondisi KOH dengan jumlah yang cukup kecil yaitu hanya 0.0006% (Peraturan Dirjen. Migas., 1979). Oleh karena itu perlu dipikirkan usaha untuk mengurangi kadar asam pada minyak kemiri.

10. Kandungan kotoran (*dirty content*)

Kandungan kotoran di dalam minyak kemiri haruslah sekecil mungkin, kalau tidak akan mengakibatkan:

- a. Timbulnya penyumbatan di dalam pipa dan pada saringan-saringan bahan bakar yang dilewati

bahan bakar sebelum memasuki silinder motor. Disamping itu juga akan menimbulkan penyumbatan pada nozzle motor diesel yang mempunyai lubang sangat kecil.

- b. Meningkatkan asam lemak bebas (F.F.A) di dalam minyak kemiri bersama dengan kandungan air dan dengan waktu, seperti dijelaskan oleh Harley (1967), bahwa bila tidak bisa mendapatkan keadaan steril, maka formasi jumlah F.F.A akan berubah (bertambah) tergantung pada jumlah kotoran dan air yang terdapat dalam minyak.

Injektor motor diesel adalah unit-unit yang seluruhnya dibuat teliti yang menutup presisi satu dengan lainnya dan karenanya akan sensitif terhadap bahan pengikis yang terdapat dalam bahan bakar. Karena itu kandungan debu (*ash content*) secara langsung berhubungan dengan keausan dari sistem injeksi. Ini harus diusahakan sekecil mungkin (Barger et al, 1963).

Maksimum kandungan kotoran yang diijinkan adalah 0.01% (Maleev, 1954). Sedang untuk motor dengan kecepatan putar lebih tinggi, kandungan kotoran harus lebih kecil dari 0.02% (Stanier, 1966).

11. Kandungan Air

Efek yang bersifat negatif yang akan diperoleh jika terdapat air di dalam bahan bakar minyak kemiri adalah:

- a. Power yang dihasilkan berkurang, karena sebagian panas dari hasil pembakaran digunakan untuk menguapkan air.
- b. Air yang terdapat bersamaan dengan debu akan meningkatkan jumlah F.F.A, seperti dinyatakan oleh Surtiningsih et al (1986) bahwa tingginya kadar air dan terdapatnya kotoran serta tidak permanennya proses pemucatan akan menyebabkan tingginya asam lemak bebas (F.F.A).

Jika bahan bakar berisi air, khususnya air garam, maka keausan makin bertambah sehingga menyebabkan korosi. Oleh karenanya kandungan air dan sedimen yang diijinkan maksimum adalah 0.05% (Maleev, 1954). Sedangkan kandungan air di dalam minyak kemiri sebesar 0.12% (Aprianita, N., et al, 1993). Oleh karena itu dalam pemakaiannya pada motor diesel perlu dilakukan pemanasan

pada suhu tertentu sehingga kandungan air-nya tidak melebihi 0.05%.

12. Kandungan Sulfur

Unsur sulfur tidak terdapat dalam minyak kemiri, karenanya tidak mengkorosi metal terutama tembaga (Aprianita, N., et al, 1993).

Menurut Petrovsky (1964), senyawa-senyawa sulfur dalam bahan bakar merugikan pembakaran dan menyebabkan korosi pada bagian-bagian sistem pengeluaran (exhaust). Bahan bakar diesel yang dihasilkan soviet mengandung sulfur tidak lebih dari 1%.

Di dalam bahan bakar, sulfur terbakar bersama dengan minyak dan menghasilkan gas-gas korosi yang kuat yang akan lebih dikentalkan oleh dinding-dinding silinder yang didinginkan, khususnya bila motor bekerja pada beban ringan dan menurun di saat-saat tertentu. Selain itu juga didapatkan dalam sistem pengeluaran (exhaust) dari motor diesel. Kandungan sulfur yang diijinkan bervariasi dari 0.5 hingga 1.5 persen (Maleev, 1954).

Menurut Barger et al (1963), beberapa senyawa sulfur menyebabkan korosinya metal-metal

tertentu khususnya tembaga. Untuk menyatakan keadaan (nilai) korosi sulfur boleh dengan mencelupkan suatu lempeng tembaga yang dikilapkan ke dalam bahan bakar selama 3 jam pada 121°F , lempeng sederhana itu kemudian dibandingkan dengan tembaga mengkilap yang belum terganggu. Kehadiran sulfur yang mengkorosi dapat dilihat dengan adanya kelunturan dari lempeng tembaga itu.

13. Kandungan Besi

Kandungan besi di dalam minyak kemiri pada saat terjadi pembakaran akan membentuk besi oksida yang akan keluar bersama-sama sisa pembakaran. Sifatnya akan mengurangi besarnya panas hasil pembakaran karena mengikat oksigen.

Namun demikian dalam penelitian yang dilakukan oleh Aprianita, N., et al (1993) ternyata kandungan besi dalam minyak kemiri tidak tentu. Begitu juga dengan kandungan besi dalam minyak diesel (Peraturan Dirjen. Migas., 1979).

14. Kandungan Tembaga (*cuprum content*)

Pada waktu terjadi pembakaran kandungan tembaga di dalam bahan bakar akan membentuk tem-

baga oksida yang akan keluar bersama-sama sisa pembakaran. Sifatnya akan mengurangi besarnya panas hasil pembakaran karena mengikat oksigen.

15. Kondisi Kimia

Ketentuan-ketentuan di atas semuanya sangat dipengaruhi komposisi kimia. Minyak kemiri mengandung sebagian besar asam lemak tidak jenuh dan hanya sejumlah kecil asam lemak jenuh. Menurut Jamieson (1943), asam-asam lemak tersebut adalah:

- * palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) saturated 4.38%.
- * Stearat ($C_{18}H_{36}O_2$) saturated 3.93%.
- * Arakhidat ($C_{20}H_{40}O_2$) saturated 0.08%
- * Oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) unsaturated 26.23%
- * Linoleat ($C_{18}H_{32}O_2$) unsaturated 39.62%.
- * Linolenat ($C_{18}H_{30}O_2$) unsaturated 20.76%.

Sedangkan komposisi kimia dari minyak diesel (solar) adalah $C_{16}H_{34}$ (Petrovsky, 1964). Komposisi ini hampir sama dengan komposisi kimia minyak kemiri. Oleh karena itu bisa diduga bahwa minyak kemiri dapat digunakan sebagai bahan bakar motor diesel.



C. MOTOR DIESEL

Motor diesel merupakan motor bakar internal yang berfungsi mengubah energi kalor menjadi energi mekanik. Energi kalor ini didapatkan dengan jalan memanfaatkan udara yang masuk silinder sampai menjadi suatu tekanan tertentu dan diikuti dengan penyemprotan bahan bakar diesel (solar), sehingga menimbulkan pembakaran. Dengan gerakan torak energi kalor berubah menjadi mekanik, sehingga motor diesel berfungsi sebagai sumber tenaga atau penggerak mula (*primer move*). Untuk pemasukan udara dan pengeluaran sisa-sisa pembakaran digunakan katup-katup, sedangkan untuk penyemprotan bahan bakar digunakan pompa dan injektor.

Menurut Daywin, F.J et al (1990), diantara perbedaan motor diesel dengan motor sistem karburasi adalah sebagai berikut:

- a. Tekanan kompresi (*kompression-pressure*) pada motor diesel lebih besar dari pada motor sistem karburasi.
- b. Gerakan pemasukan (*intake*) dan pemampatan (*compression*) pada motor diesel hanya udara saja, sedangkan pada motor sistem karburasi berupa campuran udara dan bahan bakar.
- c. Terjadinya pembakaran pada motor diesel dengan cara menyemprotkan (*injection*) bahan bakar pada udara

panas hasil pemampatan (*compression*), sedangkan pada motor sistem karburasi dengan loncatan bunga api listrik.

Motor sistem karburasi yang banyak digunakan adalah motor bensin. Baik motor bensin maupun motor diesel masing-masing dapat digunakan sistem 2-langkah atau 4-langkah dari torak. Untuk industri dan pertanian umumnya lebih banyak menggunakan motor diesel. Hal ini disebabkan oleh antara lain :

a. Lebih ekonomis, hal ini karena :

i. Pemakaian bahan bakar (solar) oleh motor diesel lebih irit dibandingkan dengan pemakaian bensin oleh motor bensin. Harga bensin hampir 2 kali harga solar, yaitu harga bensin Rp. 700 sedangkan harga solar Rp. 380.

ii. Efisiensi motor diesel (25%-30%) lebih tinggi dari pada motor bensin (15%-30%).

b. Lebih aman

Timbulnya bahaya kebakaran yang ditimbulkan oleh motor diesel lebih kecil terutama untuk di tempat-tempat penyimpanan bahan bakar. Hal ini disebabkan karena bensin muda menyala pada suhu biasa, karena titik nyala (*flash point*) dari motor bensin hanya 20°C, sedangkan titik nyala (*flash point*) dari solar 80°C.

Pada motor diesel, sisa gas pembakarannya hampir tidak mengeluarkan gas CO. Sedang pada motor bensin mudah terjadi gangguan pada karburator atau sistem listriknya yang dapat menimbulkan gas CO, karena pembakaran tidak sempurna. Gas ini cukup berbahaya bagi manusia.

c. Pemeliharaan lebih sederhana

Sistem penyalaan kompresi motor diesel lebih sederhana dari pada sistem penyalaan listrik pada motor bensin. Perlengkapan sistem listrik ini seperti coil, platina (breaker), rotor, kondensor dan busi umumnya mudah aus atau rusak, sehingga saat penyalaan listrik yang tepat mudah terganggu. Dengan memelihara kebersihan bahan bakar serta sistem penyalurannya, gangguan kelancaran motor pada motor diesel jarang terjadi.

d. Lebih tahan lama

Dibandingkan motor bensin, motor diesel umumnya bekerja dengan putaran (rpm) lebih rendah, sehingga bagian yang bergerak dan bergesekan tidak cepat aus. Dengan demikian penggantian suku cadang atau onderdil motor diesel dapat lebih lama dari pada motor bensin.

Periode waktu operasi motor diesel dapat lebih lama dari pada motor bensin, karena motor diesel tidak mudah menjadi panas. Hal ini terutama disebabkan

efisiensi daya panas motor diesel lebih tinggi dari pada motor bensin.

Disamping kelebihan yang dipunyainya, motor diesel juga mempunyai beberapa kekurangan/kelemahan, yaitu:

*. Berat per kW lebih besar

Akibat berat motor diesel per kW lebih besar dari pada motor bensin, motor diesel tidak tepat digunakan sebagai daya penggerak mesin-mesin *portable* kecil atau penggunaan lainnya, dimana berat total mesin menjadi faktor penghambat.

*. Lebih sukar dihidupkan

Untuk menghidupkan motor diesel memerlukan tenaga yang lebih besar dibandingkan dengan untuk menghidupkan motor bensin. Hal ini disebabkan karena perbandingan kompresi (*compression ratio*) motor diesel kira-kira dua kali lipat motor bensin. Selain itu sifat bahan bakar motor diesel (solar) tidak mudah terbakar seperti bensin. Sehingga motor dalam keadaan dingin lebih sukar untuk dihidupkan.

*. Getaran motor lebih besar

Getaran motor diesel lebih besar dari pada motor bensin, disebabkan langkah gerak torak lebih besar. Pada putaran rendah dan perubahan putaran

yang cepat seringkali terjadi detonasi atau suara berdetak (Daywin, F.J et al, 1990).

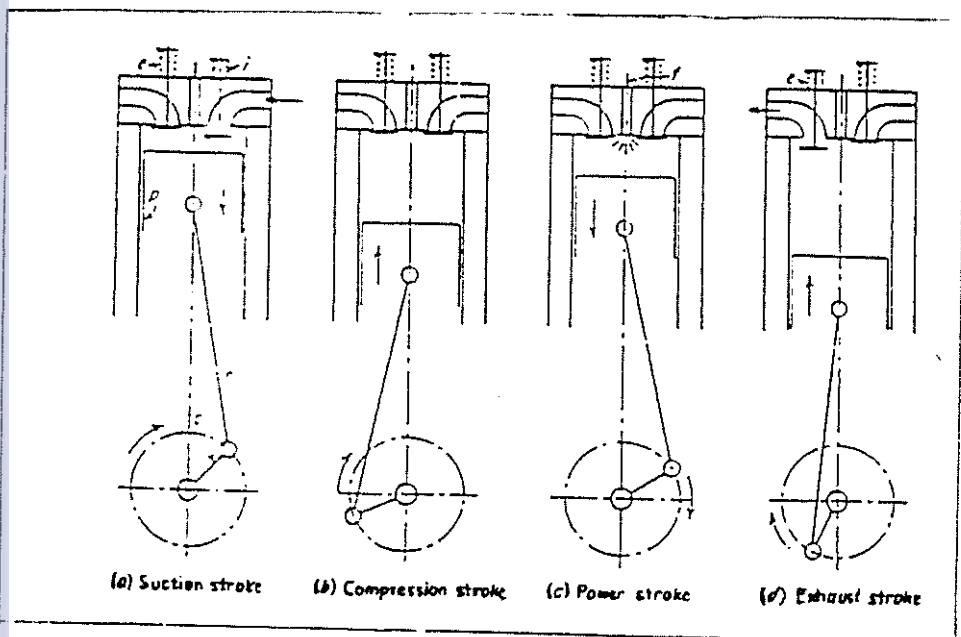
1. Prinsip kerja Motor Diesel

Sebuah pelaksanaan lengkap dari berbagai jenis perubahan pada suatu sistem dimana lengkaplah pekerjaan pelaksanaan tersebut bila telah kembali ke posisinya yang semula disebut siklus (PT. YADIN, 1990). Kejadian-kejadian berikut ini membentuk siklus dalam sebuah motor diesel (Maleev, 1954):

- a. Pengisian silinder motor dengan udara luar, dengan cara pengisapan disebut juga dengan langkah pemasukan (*suction stroke*).
- b. Kompresi sejumlah udara yang menyebabkan naiknya tekanan dan temperatur udara tersebut untuk dapat dinyalakan (*compression stroke*).
- c. Pembakaran bahan bakar oleh udara sehingga menimbulkan ekspansi dari gas panas hasil pembakaran yang disebut dengan langkah kerja (*power stroke*).
- d. Pembersihan dan pengosongan terhadap sisa pembakaran dari silinder motor, disebut dengan langkah pengeluaran (*exhaust stroke*).

Keempat langkah tersebut (dapat dilihat pada gambar 1.) memerlukan 4 kali gerak torak atau sama

dengan 2 putaran poros engkol. Cara ini dinamakan sistem motor empat langkah (*four-stroke-cycle-engine*) sedangkan sistem motor dua langkah (*two-stroke-cycle-engine*) jika dirangkap dalam dua gerak torak atau sama dengan satu putaran poros engkol. Peristiwa pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder ada dua cara. Pertama dengan cara menggunakan bunga api listrik (*spark ignition/SI*) yang digunakan pada motor sistem karburasi dan cara yang kedua dengan menyemprotkan (*injection*) bahan bakar ke udara yang telah dimampatkan di dalam silinder (*compression ignition/CI*) yang digunakan pada motor diesel.



Gambar 1. Siklus kerja motor diesel empat langkah (Maleev, 1954)

2. Bahan bakar

Bahan bakar diesel harus mempunyai sifat-sifat fisik sebagai berikut (PT. YADIN, 1990) :

1. Ketepatan kekentalan (viskositas)

Bila bahan bakar terlampau kental (viskositas rendah) penyebarannya kurang baik dan waktu pembakaran panjang dengan asap yang keluar. Tetapi bila bahan bakar terlalu encer (viskositas tinggi), pelumasan dari *plunyer* atau *nozzle* kurang baik dan keausan mesin lebih cepat terjadi.

2. Kadar sulfur yang rendah

Bila terlampau banyak sulfur dalam bahan bakar, maka selama pembakaran akan terbentuk SO_2 dan SO_3 . Kedua campuran sulfur ini akan menyebabkan karat pada mesin.

3. Sifat pembakaran

Bahan bakar memiliki sifat pembakaran yang baik apabila bahan bakar tersebut suhu penyalaannya rendah dan pembakarannya cepat.

4. Nilai cetan yang tinggi

Nilai cetan berhubungan erat dengan sifat kecepatan start dan kelambatan penyalaan. Makin tinggi nilai cetan dari bahan bakar makin baik

sifat startnya dan makin kecil kelambatan penyalanya (PT. YADIN, 1990).

5. Bebas dari kotoran/debu atau air.

Bila debu atau air bercampur dengan bahan bakar, ini akan menyebabkan terbentuknya lumpur dan turunnya daya yang dihasilkan mesin dan menyebabkan pula tidak sempurnanya pembakaran. Lebih lanjut keadaan ini akan menyebabkan rusaknya *plunyer* dan *nozzel-nozzel*, maka sebaiknya pilih bahan baku yang bersih dan bebas dari air.

6. Sisa-sisa hasil pembakaran yang sedikit

Bila terdapat banyak sisa-sisa hasil pembakaran seperti Va , Na , Al , Ca , Mg , Si , Zn di dalam ruang bakar, ini menyebabkan daya kemampuan mesin merosot. Vanadium dan Sodium akan membentuk kerak-kerak pada daerah permukaan kepala piston yang terpanas dan menyebabkan pula daerah gesekan pada katup buang berkarat. Jenis karat ini dinamakan karat pada suhu tinggi atau "serangan vanadium" (*vanadium attack*).

3. Diagram Kerja Motor

Pada gambar 2 (Ballaney, 1984), dapat dilihat diagram kerja motor yang menunjukkan kemampuan teoritis dari suatu motor diesel dalam bentuk diagram Tempera-

Berdasarkan analisis matematik, panas yang ditambahkan selama siklus = $q_A = C_v(T_3 - T_2)$. Sedangkan kerja yang dibuat selama siklus adalah :

Berdasarkan analisis matematik, panas yang ditambahkan selama siklus = $q_A = C_v(T_3 - T_2)$. Sedangkan kerja yang dibuat selama siklus adalah :

$$\begin{aligned}
 W &= C_v(T_3-T_4) + R(T_3-T_2) - C_v(T_2-T_1) \\
 &= C_v(T_3-T_4) + (C_p-C_v)(T_3-T_2) - C_v(T_2-T_1) \\
 &= C_vT_3 - C_vT_4 + C_pT_3 - C_pT_2 - C_vT_3 + C_vT_2 - C_vT_2 \\
 &\quad + C_vT_1 \\
 &= C_p(T_3-T_2) - C_v(T_4-T_1) \dots\dots\dots (6) \\
 &= \text{panas ditambahkan} - \text{panas dilepaskan}
 \end{aligned}$$

Efisiensi kerja dari motor ialah :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{C_p(T_3-T_2) - C_v(T_4-T_1)}{C_p(T_3-T_2)} \\
 &= 1 - \frac{C_v}{C_p} \left(\frac{T_4-T_1}{T_3-T_2} \right) = 1 - \frac{1}{\delta} \left(\frac{T_4-T_3}{T_3-T_2} \right) \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

dimana :

C_v = Koefisien panas spesifik pada volume konstan

C_p = Koefisien panas jenis pada tekanan konstan

$$\delta = \frac{C_p}{C_v}$$

T_1 = Temperatur mutlak udara luar

T_2 = Temperatur mutlak pada akhir kompresi

T_3 = Temperatur mutlak hasil pembakaran

T_4 = Temperatur mutlak akhir langkah kerja

Perbandingan C_v dan C_p ini semakin besar jika pertambahan tekanan adalah konstan.

Hukum Boyle : Jika sejumlah berat gas tertentu ditekan atau dikembangkan pada temperatur yang tetap, maka tekanan akan berbanding terbalik dengan volumenya. Hal ini dikenal sebagai *isothermal compression* atau *expansion*.

Penekanan dan pengembangan gas pada suatu sistem tertutup sesuai dengan Hukum Charles (tidak ada yang keluar atau masuk pada sistem tersebut) dikenal sebagai adiabatik. Pada suatu motor bakar internal, karena prosesnya terjadi demikian cepat, dapat dianggap adiabatik.

Dalam praktek, persamaan kurva yang menggambarkan proses adiabatik, adalah:

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \text{ atau } P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k \dots \dots \dots (8)$$

Jika $P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$, maka $TV^{k-1} = C$ atau

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_2^{k-1}}{V_1^{k-1}} \dots \dots \dots (9)$$

Compression Ratio dan Tekanan

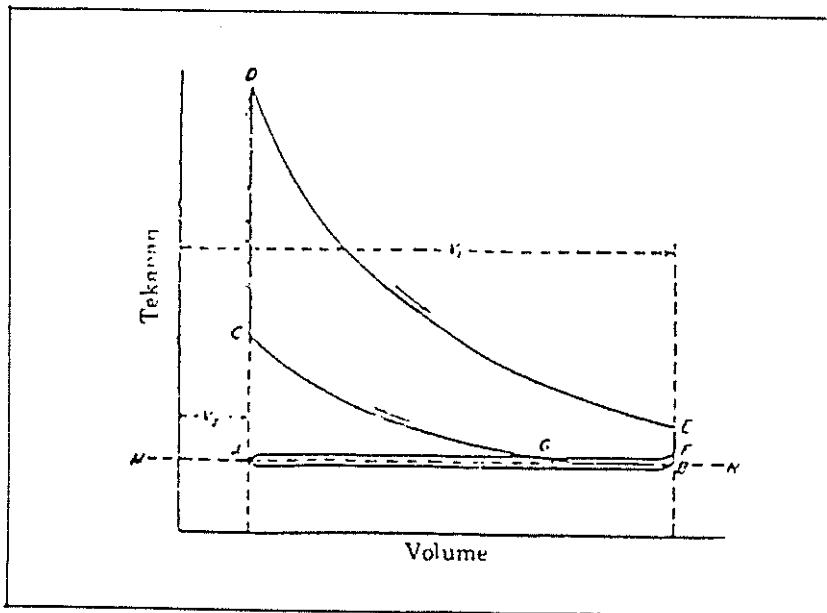
Volume silinder terbesar dibagi volume silinder terkecil (V_1/V_2) dinamakan sebagai C.R (*Compression Ratio*). Makin besar C.R makin tinggi tekanan dalam silinder, untuk adiabatik $P_2 = P_1 (V_1/V_2)^k$

Kerja dan tekanan gas

Apabila dalam suatu silinder dengan penampang A dan tekanan gas P, maka $P = A \cdot p$ (p = unit tekanan per satuan luas). Jika torak ditekan sejauh D maka P akan bertambah besar. Dalam hal ini kerja adalah

$p \cdot \Delta V$ dimana ΔV adalah perubahan volume, maka kerja adalah sama dengan $P_1(V_1 - V_2)$ (Daywin, F.J., et al, 1990).

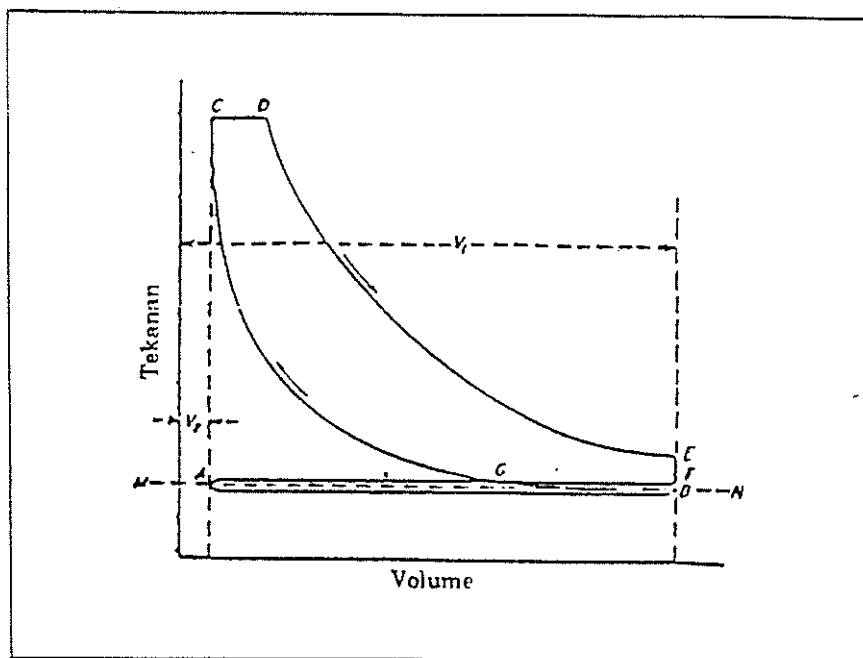
Pada volume tetap, maka internal energy = $C_v(T_2 - T_1)$ MJ. Pada tekanan tetap energi = $C_p(T_2 - T_1)$ MJ dan di sini telah termasuk energi untuk dinaikkan temperatur pada volume konstan dan kerja luar. Karena itu $C_p(T_2 - T_1)$ menyebabkan kerja luar = $(C_p - C_v)(T_2 - T_1)$ atau kerja luar = $(C_p - C_v)(T_2 - T_1)$ MJ. Untuk setiap gas = $(778) \cdot (C_p - C_v) = R$ (gas constant).



Gambar 3. P.V. Diagram untuk motor bensin 4 langkah (Daywin, F.J., et al, 1990)

Efisiensi Thermal motor bensin :

$$1 - \frac{T_B}{T_C} = 1 - \left(\frac{P_C}{P_B}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1 - \left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{k-1} \dots (10)$$



Gambar 4. P.V. Diagram untuk motor diesel 4 langkah (Daywin, F.J., et al, 1990)

Efisiensi termal motor diesel :

$$1 - \left(\frac{P_B}{P_C}\right)^{\frac{k-1}{k}} \left\{ \frac{[(V_D/V_C)^{k-1} - 1]}{k(V_D/V_C - 1)} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

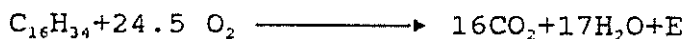
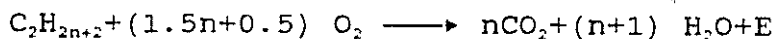
Sedangkan menurut PT. YADIN (1990), efisiensi thermal dari motor diesel merupakan perbandingan antara **panas yang terpakai/digunakan** dan **panas yang hilang**.

Efisiensi thermal dari suatu motor diesel lebih tinggi dari jenis motor lainnya termasuk motor bensin. Hal ini disebabkan oleh (PT.YADIN, 1990):

1. Perbandingan kompresi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis motor lainnya, yang mengakibatkan konsumsi bahan bakar lebih rendah.
2. Kondisi pembakaran yang lebih baik dibandingkan jenis motor lainnya.

4. Proses Pembakaran

Bahan bakar untuk motor diesel harus dapat menyala sendiri pada temperatur yang relatif rendah terhadap udara yang ditekan dalam silinder, dimana hal ini merupakan sesuatu yang penting untuk starting motor. Besarnya panas yang timbul sebagai akibat reaksi bahan bakar dalam proses pembakaran dari bahan bakar motor diesel adalah sebagai berikut (Petrovsky, 1964):



Oksigen yang diperlukan diambil dari udara yang terdiri dari $\pm 79\% \text{N}_2$, $\pm 20\% \text{O}_2$ dan 1% lainnya.

Perbandingan berat dari bahan bakar dan udara disebut *air-fuel-ratio*. Untuk motor diesel perban-

dengan tersebut ialah 20:1, artinya setiap 20 bagian udara dibutuhkan 1 bagian bahan bakar.

Menurut PT. YADIN (1990), eksese udara bahan bakar adalah perbandingan antara **campuran udara-bahan bakar sebenarnya** dengan **campuran udara-bahan bakar secara tertulis** dimana untuk motor diesel nilai tersebut adalah 1.6-1.9.

Minyak bakar yang disemprotkan ke dalam silinder berbentuk butir-butir cairan yang halus. Butir-butir tersebut akan segera menguap akibat udara di dalam silinder pada saat tersebut sudah bersuhu dan bertekanan tinggi. Penguapan butir bahan bakar itu dimulai pada bagian permukaan luarnya, yaitu pada bagian yang terpanas. Uap bahan bakar tersebut selanjutnya bercampur dengan udara yang ada di sekitarnya. Proses penguapan itu berlangsung terus selama temperatur sekitarnya mencukupi. Jadi proses penguapan juga berlangsung secara bertahap. Maka pada suatu saat dimana terjadi campuran bahan bakar udara yang sebaik-baiknya, proses penyalaan bahan bakar dapat bertahap dengan sebaik-baiknya pula. Sedangkan proses pembakaran di dalam silinder juga terjadi secara bertahap, dimana proses pembakaran awal terjadi pada temperatur yang relatif lebih rendah dan laju pembakarannya pun akan bertambah

cepat. Hal ini disebabkan karena pembakaran berikutnya berlangsung pada temperatur lebih tinggi.

Setiap butir bahan bakar mengalami proses tersebut di atas. Hal ini juga menunjukkan bahwa proses penyalaan bahan bakar di dalam motor diesel terjadi pada banyak tempat yaitu di tempat-tempat dimana terdapat campuran bahan bakar dan udara yang sebaik-baiknya untuk penyalaan. Sekali penyalaan dapat dilakukan, baik temperatur maupun tekanannya akan naik sehingga pembakaran akan dilanjutkan dengan lebih cepat ke semua arah.

5. Injeksi bahan bakar

Syarat utama dari sistem bahan bakar harus memenuhi hal-hal sebagai berikut (Maleev, 1954) :

1. Ukuran atau jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam silinder motor harus menghasilkan energi yang sesuai dengan beban motornya.
2. Waktu yang tepat untuk permulaan injeksi bahan bakar adalah pada keadaan yang diperlukan, dengan tujuan untuk mendapatkan power maksimum dari bahan bakar.
3. Debit dari injeksi bahan bakar berarti volume jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam

ruang pembakaran dalam satu satuan derajat gerakan engkol.

4. Pengabutan (atomisasi), dimana bahan bakar seperti berkabut yang harus disesuaikan dengan tipe ruang pembakaran. Ada beberapa tipe ruang pembakaran memerlukan atomisasi yang baik, tapi ada juga yang dapat bekerja dengan atomisasi yang lebih kasar.
5. Perataan bahan bakar ke seluruh ruang pembakaran. Jika tidak merata terdapat bahan bakar yang tidak terbakar yang menyebabkan tenaga menjadi rendah.

Menurut Maleev (1954), pada beban penuh volume bahan bakar yang diinjeksikan kira-kira 1/20000 kali volume normal, volume bahan bakar yang diperlukan kira-kira 1/100000 kali volume perpindahan torak. Injeksi bahan bakar memerlukan ketelitian waktu tidak melebihi 20 derajat gerakan engkol setelah titik mati atas. Bila putaran motor engkol 2000 rpm, maka periode injeksi bahan bakar mendekati :

$$\frac{60 \text{ sec/menit} \times 20^\circ/360^\circ}{2000 \text{ rpm}} = 1/600 \text{ second}$$

Pada saat jalan normal, tekanan enjeksi bahan bakar antara 2400 - 3000 psi, dan 6000 psi pada saat kecepatan setinggi-tingginya.



D. MINYAK DIESEL

Bahan bakar diesel (minyak solar) yang digunakan dalam abad ini didapatkan dari penyulingan minyak bumi (*petroleum*) atau minyak mentah (*Crude Oil*). Minyak mentah merupakan cairan sawo matang yang gelap (*a dark brown liquid*) yang merupakan campuran dari sejumlah besar bermacam-macam senyawa. Unsur kimia utama yang membentuk seluruh senyawa ini adalah karbon (C) dan hidrogen (H), sehingga senyawa ini disebut hidrokarbon (*hydrocarbon*). Menurut Maleev (1954), banyaknya hidrogen dalam senyawa ini bervariasi dari 11% hingga 15% berat total. Sedangkan olifine, diolefins dan acetylene hanya sedikit terkandung dalam minyak bumi. Pada umumnya minyak bumi terdiri dari 84-85% carbon, 12-14% hiddrogen dan yang lain-lainnya seperti nitrogen, oksigen, dan sulphur. Satu molekul hidrokarbon dalam bahan bakar berisi 5-30 atom karbon, yaitu 5-12 atom dalam bensin sampai 30 atom dalam solar (Khovakh, M., 1976).

Kondisi fisik minyak diesel

Menurut Khovakh, M., (1976), Komposisi bahan bakar diesel terdiri dari komposisi dasar menurut massanya yaitu 0,870 untuk C, 0.126 Untuk H dan 0.004 untuk O. Sedangkan menurut analisa komposisi beratnya minyak

diesel terdiri dari 86.3% untuk C, 12.8% untuk H, dan 0.9% untuk S (Ballaney, P.L., 1984).

Sifat-sifat bahan bakar yang mempengaruhi penampilan (*performance*) dan keyakinan (*reliability*) terhadap motor diesel yaitu :

- (a). Kemudahan menguap (*volatility*) dari bahan bakar diesel, dimana 90% dari bahan bakar menguap pada temperatur penyulingan (*distillation temperature*)
- (b). Sisa karbon (*carbon residu*) adalah karbon yang tertinggal setelah penguapan dan pembakaran minyak, dimana sisa karbon maksimal yang diijinkan adalah 0.10%.
- (c). Pada 37.7°C spesifikasi umumnya untuk viskositas bahan bakar adalah 2.4 - 6.4 mm²/cc
- (d). Kandungan sulfur (*sulfur content*) yang menyebabkan timbulnya penggerogotan (*corrosive*), dimana spesifikasi yang diijinkan antara 0.5 - 1.5%
- (e). Kotoran (*ash*) merupakan sumber kerusakan terhadap bahan yang menimbulkan keausan pada motor, sehingga abu (*ash*) yang diijinkan maksimal 0.01%.
- (f). Air dan endapan yang diijinkan maksimum 0.05%.
- (g). *Flash point* 150°F (65.5 °C).
- (h). Keasaman (*acidity*) akan menggerogoti permukaan metal, sehingga diusahakan supaya bahan bakar tidak mengandung asam-asam bebas (*free acids*).

- (i). Kualitas pembakaran (*ignition quality*) bahan bakar sangat menentukan kemampuan bahan bakar dalam hal pembakaran saat diinjeksikan ke dalam udara yang bertekanan dalam silinder motor diesel, terhadap start motor dalam keadaan dan temperatur dingin serta terhadap kebisingan motor, juga waktu penyalan singkat. Kualitas pembakaran diukur dari suatu indeks yang disebut dengan angka cetane (*cetane number*) yaitu persentase dari cetane atau ($C_{16}H_{34}$) terhadap volume total dari campuran antara cetane dengan alphas-methyl - naphthalene ($C_{11}H_{10}$).



III. METODE PENELITIAN

A. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Alat dan Mesin Budidaya Pertanian Jurusan Mekanisasi Pertanian dan Laboratorium AP-4 Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. Penelitian ini dilakukan selama tiga bulan yaitu mulai tanggal 20 Juni sampai dengan 20 Agustus 1994, yang meliputi penelitian pendahuluan, penelitian utama, studi pustaka serta pengolahan dan analisa data dengan perhitungan tertentu.

B. PERALATAN DAN BAHAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Motor Diesel

Motor diesel yang digunakan adalah motor diesel gen-set tanpa beban dengan silinder berjumlah satu dan daya maksimum 10 HP. Alat ini digunakan untuk menguji kemampuan "starting motor" apabila menggunakan bahan bakar minyak diesel (solar) dan minyak kemiri murni pada temperatur tertentu. Selain itu juga digunakan untuk mengetahui/mengukur konsumsi kedua bahan bakar tersebut serta suhu gas buang

(°C), suhu air radiator (°C) dan RPM. Data teknis motor diesel ini tertera pada lampiran 1 dan 2.

2. Diesel Injection Nozzle Tester

Diesel Injection Nozzle Tester yang dalam hal ini menggunakan merk DIN of owatama tool Co. dengan menggunakan nozzle motor bakar adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengetahui sifat-sifat pengkabutan dari diesel (solar) dan minyak kemiri murni pada suhu normal serta minyak kemiri murni pada suhu diatas 40°C.

3. Gelas Ukur

Gelas ukur ini berfungsi sebagai tempat penampungan sekaligus sebagai alat pengukur volume bahan bakar yang susut dari gelas ukur dan volume sisa pemakaian bahan bakar baik bakar solar maupun minyak kemiri. Gelas ukur yang yang dipergunakan sebanyak tiga buah, dua buah mempunyai kapasitas 500 ml untuk volume bahan bakar yang susut dari gelas ukur dan satu buah berukuran 10 ml untuk mengukur sisa pemakaian kedua bahan bakar tersebut.

4. Stopwatch

Stopwatch digunakan sebagai alat pengukur waktu selama pengambilan data dalam percobaan yang dilaku-

kan, sehingga konsumsi kedua bahan bakar dalam ltr/jam dapat diketahui disamping data-data lain yang dibutuhkan.

5. Thermo-Hygrometer

Thermo- Hygrometer dipergunakan untuk mengukur suhu udara dan kelembaban udara ruangan laboratorium. Kondisi yang diukur adalah sebelum, saat dan sesudah percobaan. Satuan pengukur suhu $^{\circ}\text{C}$ sedangkan satuan pengukur kelembaban udara adalah %.

6. Barometer

Barometer digunakan untuk mengukur tekanan udara ruangan laboratorium. Pengukurannya dilakukan pada saat sebelum, saat dan sesudah percobaan. Satuan yang dipakai alat ini adalah Pascal (Pa). Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk melihat pengaruh percobaan terhadap tekanan udara ruangan percobaan.

7. Thermometer

Ada empat termometer yang dipakai dalam percobaan ini. Keempat thermometer tersebut masing-masing digunakan untuk mengukur suhu air radiator ($^{\circ}\text{C}$), suhu gas buang ($^{\circ}\text{C}$), suhu minyak kemiri ($^{\circ}\text{C}$) dan suhu solar ($^{\circ}\text{C}$).

8. Thermometer Bola Basah dan Bola Kering

Alat ini digunakan masing-masing untuk mengukur suhu bola basah dan suhu bola kering dalam ruangan

laboratorium. Satuannya sama dengan Thermometer biasa yaitu derajat celcius. Pengukuran dilakukan bersamaan waktunya dengan pengukuran tekanan udara, suhu udara dan kelembaban dalam ruangan laboratorium.

9. Tachometer

Tachometer merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur besarnya putaran poros engkol dari motor diesel per menit, atau lazim disebut sebagai RPM. Pengukurannya dilakukan pada setiap level "gas", baik "gas" idle (gas rendah tapi motor hidup), medium maupun optimum. Disamping itu pengukuran juga dilakukan pada setiap perlakuan.

10. Kamera

Dalam setiap kegiatan, dokumentasi itu diperlukan. Oleh karena itu kamera dimasukan sebagai alat disini, yang dalam hal ini digunakan untuk mengambil gambar hasil pengkabutan dari kedua bahan bakar yang digunakan.

Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai bahan bakar motor diesel adalah :

1. Minyak diesel (solar) murni

Bahan bakar minyak diesel (solar) ini merupakan ketentuan standar dalam penelitian ini. Hal ini

didasarkan pada komposisinya $C_{16}H_{34}$, pada pengkabutan untuk mendapatkan sifat atomisasi, pada nilai kalornya sebesar 45.2 MJ/kg.

2. Minyak Kemiri Murni

Minyak kemiri yang digunakan sebagai bahan bakar dalam penelitian ini yang sekaligus sebagai obyek penelitian adalah minyak kemiri murni tanpa campuran bahan lain dan dipanaskan sampai temperatur minimal 40°C , sehingga diperoleh pengkabutan yang diperlukan.

C. PROSEDUR PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan terdiri dari penelitian pendahuluan dan penelitian utama.

1. Penelitian Pendahuluan

Dilakukannya penelitian pendahuluan bertujuan untuk mempersiapkan dan mematangkan hal-hal yang akan dilaksanakan pada saat pengambilan data atau penelitian yang sebenarnya, sehingga permasalahan yang akan timbul pada saat pengambilan data dapat diprediksi dan dicari pemecahannya.

Kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada tahap penelitian pendahuluan ini antara lain adalah :

- (1). Mempelajari serta mencoba pengkabutan minyak diesel sebagai standar pengkabutan dengan

menggunakan alat *Diesel Injection Nozzle Tester*. Pengkabutan sebagai hasil percobaan dari alat tester ini dipelajari gambaran teknisnya dan sifat atomisasinya serta dibandingkan untuk beberapa kali percobaan sehingga didapatkan gambaran dan sifat atomisasinya sebagai pengkabutan standar.

- (2). Mempelajari serta mencoba pengkabutan minyak kemiri pada temperatur normal dengan alat tester diatas, sehingga diperoleh sifat dan gambaran pengkabutannya. Dari hasil pengkabutan, ternyata sifat dan gambarannya kurang mendekati sifat dan gambaran dari pengkabutan bahan bakar diesel (solar) sebagai pengkabutan standar.
- (3). Berdasarkan hasil uji minyak kemiri murni pada temperatur normal, maka untuk mendapatkan pengkabutan minyak kemiri yang lebih mendekati pengkabutan minyak diesel (solar) dilakukan percobaan pengkabutan dengan minyak kemiri yang dipanaskan pada beberapa level suhu.

2. Penelitian Utama

Prosedur dari penelitian utama adalah sebagai berikut :

(1). Uji kemampuan starting

Dalam hal ini uji kemampuan starting dari motor diesel dengan menggunakan bahan bakar minyak kemiri pada berbagai kondisi, yaitu :

- suhu minyak kemiri normal dan motor panas
- suhu minyak kemiri $\geq 40^{\circ}\text{C}$ dan motor panas
- suhu minyak kemiri normal dan motor dingin
- suhu minyak kemiri $\geq 40^{\circ}\text{C}$ dan motor dingin

(2). Perlakuan

Percobaan dalam penelitian utama ini dilakukan dengan perlakuan bahan bakar solar dan minyak kemiri serta posisi "gas", yang terdiri dari :

- Posisi **Idle** ("gas" rendah tetapi motor tetap hidup)
- Posisi **Medium**
- Posisi **Optimum**

Setiap perlakuan di atas dilakukan sebanyak tiga ulangan. Dengan demikian total perlakuan yang dilakukan ada 18 perlakuan.

(3). Pengambilan data

Data yang diambil dari penelitian utama adalah data primer dan data sekunder:

* Data primer

Data primer di sini meliputi volume bahan bakar yang susut dari gelas ukur (cc), volume sisa pemakaian bahan bakar (cc); suhu air radiator ($^{\circ}\text{C}$) dan suhu gas buang ($^{\circ}\text{C}$). Data ini diambil pada setiap perlakuan.

* Data sekunder

Data sekunder meliputi suhu bola basah ($^{\circ}\text{C}$), suhu bola kering ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban (%) dan tekanan udara (pa). Data ini diambil sebelum, saat dan sesudah percobaan pada setiap perlakuan.

D. CARA PENGUKURAN DAN PENGAMATAN

1. Pengukuran volume (cc) bahan bakar solar dan minyak kemiri yang susut dari gelas ukur. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan dua buah gelas ukur sebagai wadah sekaligus sebagai alat pengukur volume kedua bahan bakar yang susut dari gelas ukur. Pengukuran ini dimulai dengan membaca volume awal bahan bakar yang dipakai saat itu, kemudian setelah 30 menit volume bahan bakar tersebut dibaca kembali. Dengan demikian volume bahan bakar yang susut dari

gelas ukur merupakan volume bahan bakar terbaca awal dikurangi volume bahan bakar terbaca akhir.

2. Pengukuran volume (cc) sisa pemakaian bahan bakar, yaitu dengan menggunakan sebuah gelas ukur ukuran kecil sebagai wadah penampung sekaligus sebagai alat pengukur volume sisa pemakaian bahan bakar. Pembacaannya dilakukan bersamaan dengan pembacaan volume bahan bakar akhir.
3. Pengukuran RPM, dengan cara mengukur putaran pada poros engkol pada setiap perlakuan, dimana setiap perlakuan dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali yaitu awal, pertengahan dan akhir perlakuan.
4. Pengukuran suhu gas buang ($^{\circ}\text{C}$), dengan cara menempatkan termometer di depan corong knalpot pada jarak ± 4 cm. Pembacaannya dilakukan pada saat 5 menit setelah mulai perlakuan dan 5 menit sebelum selesai perlakuan pada setiap perlakuan.
5. Pengukuran suhu air radiator ($^{\circ}\text{C}$), dengan cara mencelupkan ujung termometer ke dalam air radiator. Pembacaannya dilakukan pada saat 5 menit setelah mulai perlakuan dan 5 menit sebelum selesai perlakuan pada setiap perlakuan.
6. Pengukuran kondisi udara percobaan, yang terdiri dari suhu bola basah ($^{\circ}\text{C}$), suhu bola kering ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban udara (%) dan tekanan udara (pa). Pengu-

kuran dilakukan sebelum, saat dan sesudah percobaan pada setiap perlakuan. Selang waktu pengukuran pada saat percobaan adalah 5 menit.

E. PERHITUNGAN

a. Volume bahan bakar terpakai

Volume bahan bakar yang terpakai (cc) pada setiap perlakuan adalah volume bahan bakar yang susut dari gelas ukur (cc) dikurangi volume sisa pemakaian bahan bakar (cc).

$$V_t = V_s - V_e \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

- V_t : Jumlah bahan bakar terpakai (cc),
- V_s : Volume bahan bakar yang susut dari gelas ukur(cc),
- V_e : Volume sisa pemakaian bahan bakar (cc)

b. Konsumsi bahan bakar

Untuk menghitung konsumsi bahan bakar digunakan rumus sebagai berikut (Hermawan, W., et al, 1990):

$$F = 3.6 V_t/t \dots\dots\dots(13)$$

dimana :

- F : Konsumsi bahan bakar (l/jam),
- V_t : Volume bahan bakar terpakai (cc),
- t : Waktu pengukuran (detik).

c. Panas setara konsumsi bahan bakar

Panas setara konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan rumus (Hermawan, W., et al, 1990):

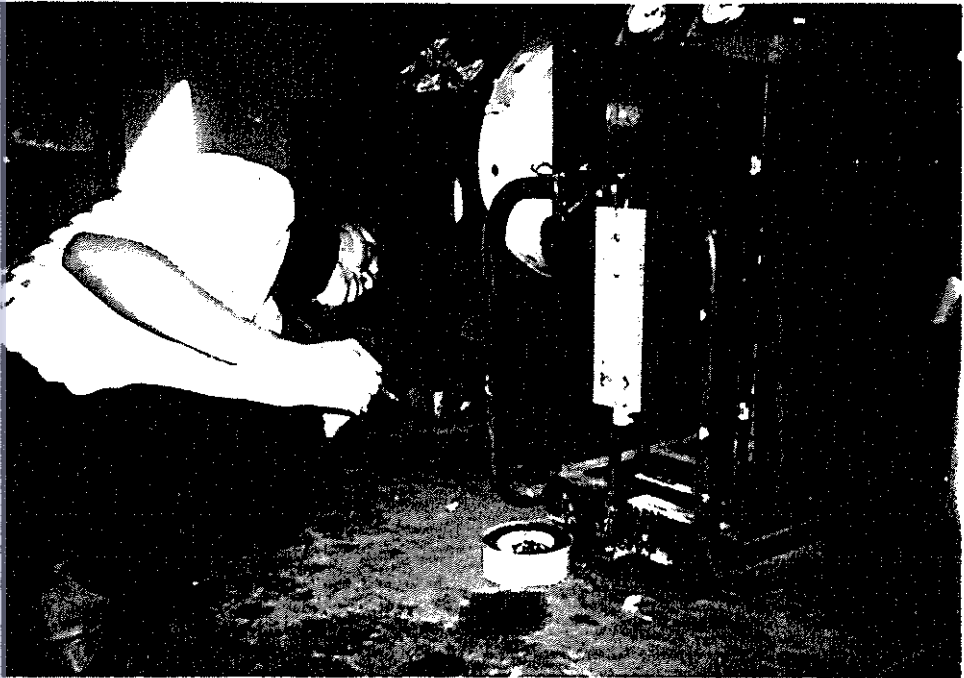
$$Q_f = H.F.\gamma \dots\dots\dots (16)$$

dimana :

- Q_f : Panas setara konsumsi bahan bakar (kkal-/jam),
- H : Nilai kalor bahan bakar 45.2 MJ/kg untuk minyak diesel dan 39.69 MJ/kg untuk minyak kemiri murni.
- γ : Massa jenis bahan bakar (kg/l), 0.8114 kg/l untuk solar dan 0.9266 kg/l untuk minyak kemiri.



Gambar 5. Pengukuran dan pengamatan untuk mendapatkan data primer



Gambar 6. Pengukuran dan Pengamatan untuk mendapatkan data sekunder

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENGKABUTAN BAHAN BAKAR

Sebelum dicoba langsung pada motor diesel, sebagai bahan bakar motor diesel, minyak kemiri murni pada suhu normal dan minyak kemiri pada beberapa level suhu perlu dipelajari pengkabutannya dengan *Diesel Injection Nozzle Tester*. Hal ini sangat diperlukan karena sifat atomisasi yang dibutuhkan pada motor diesel untuk menimbulkan pembakaran pada tekanan dan suhu yang tinggi diperlukan oleh pengkabutan yang langsung begitu bahan bakar keluar dari *Diesel Injection Nozzle* dari suatu motor diesel. Tanpa pengkabutan (atomisasi) tidak akan terjadi pembakaran dalam motor diesel. Dengan demikian berarti pengkabutan (atomisasi) merupakan syarat utama dari suatu bahan bakar motor diesel.

Hasil pengkabutan tersebut perlu diamati, dipelajari dan dibandingkan dengan hasil pengkabutan minyak diesel pada tekanan yang sama dan tertentu. Karena bila tekanan rendah, atomisasinya kurang baik dan bahan bakar akan mengalir keluar melalui *nozzle* dalam bentuk pancuran yang mengakibatkan kesulitan proses pembakaran. Sebaliknya bila kabut terlalu halus, proses pembakaran juga kurang baik. Alasannya adalah bila aliran bahan terlampau halus dan dalam perjalanannya ke ruang bakar, bahan bakar

tersebut bertemu dengan udara pekat, maka kedua zat itu berubah menjadi gas.

Dari pengamatan terhadap hasil pengkabutan minyak kemiri ternyata minyak kemiri yang dipanasi pada suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$ memberikan sifat dan bentuk pengkabutan yang lebih mendekati sifat dan bentuk pengkabutan minyak diesel (solar). Oleh karena itu pada penelitian utama bahan bakar yang dipakai sebagai obyek penelitian adalah minyak kemiri pada suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$.

Pada gambar 7 dapat dilihat bentuk pengkabutan dari minyak diesel (solar), yang memperlihatkan bahwa kabut minyak diesel tersebar merata dan berkembang ke seluruh bagian ujung dari daerah penyemprotan. Hal ini disebabkan karena sifat partikel kabutnya yang halus dan rata, sehingga memperbesar luas permukaan penyebaran bahan bakar dan beralih ke bentuk panas yang memperbaiki sifat penyalaan dan pembakaran. Bentuk pengkabutan dari minyak kemiri murni pada temperatur normal dan minyak kemiri murni pada temperatur $\geq 40^{\circ}\text{C}$ masing-masing dapat dilihat pada gambar 8 dan 9.

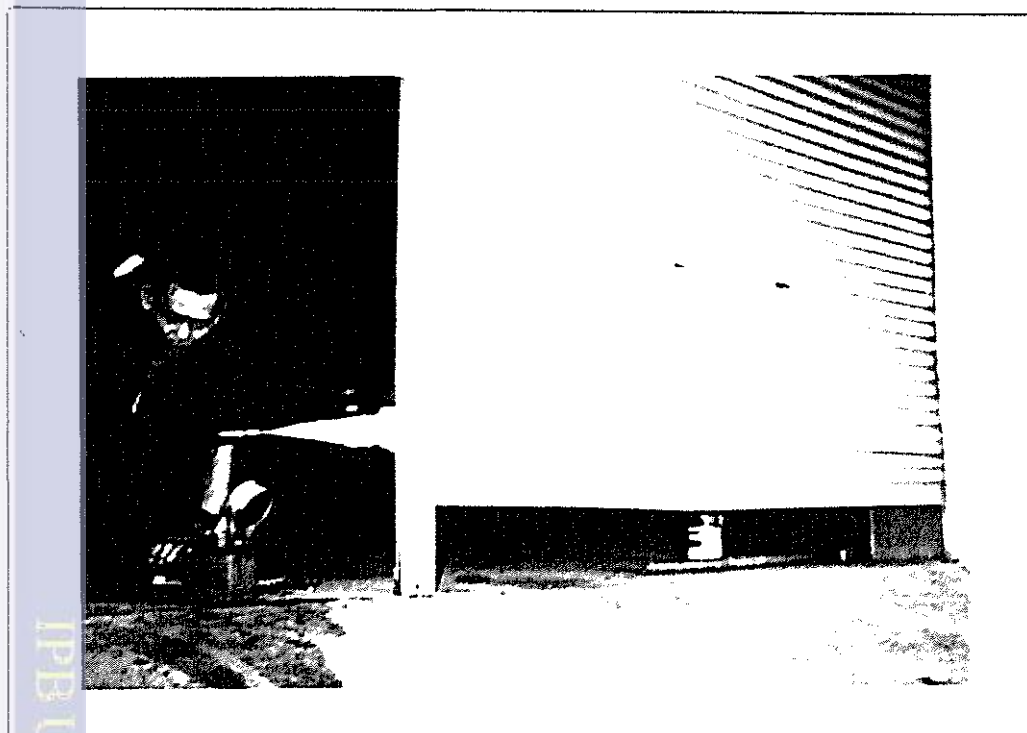
Berdasarkan gambar-gambar tersebut dapat dinyatakan bahwa :

1. Minyak kemiri pada temperatur normal dan temperatur $\geq 40^{\circ}\text{C}$ mampu memberikan pengkabutan yang dibutuhkan

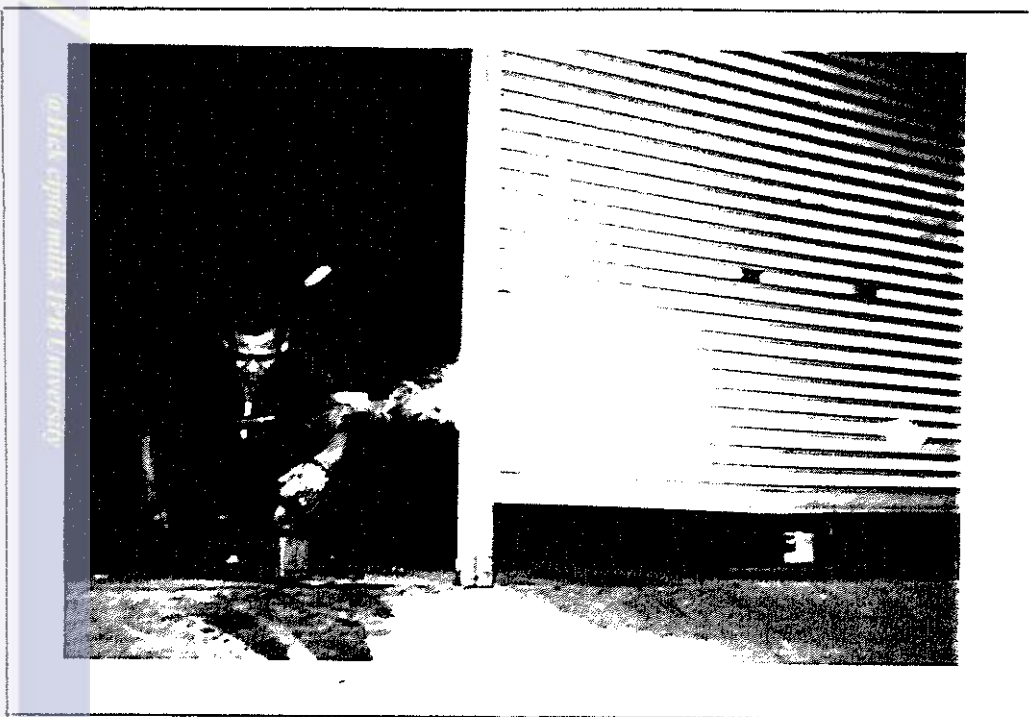
seperti yang terjadi pada minyak diesel (solar), walaupun tidak sama persis.

2. Sifat dan bentuk pengkabutan minyak kemiri murni pada suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$ lebih mendekati sifat dan bentuk pengkabutan minyak diesel (solar) dibandingkan dengan sifat dan bentuk pengkabutan minyak kemiri murni pada suhu normal dan suhu di bawah 40°C .

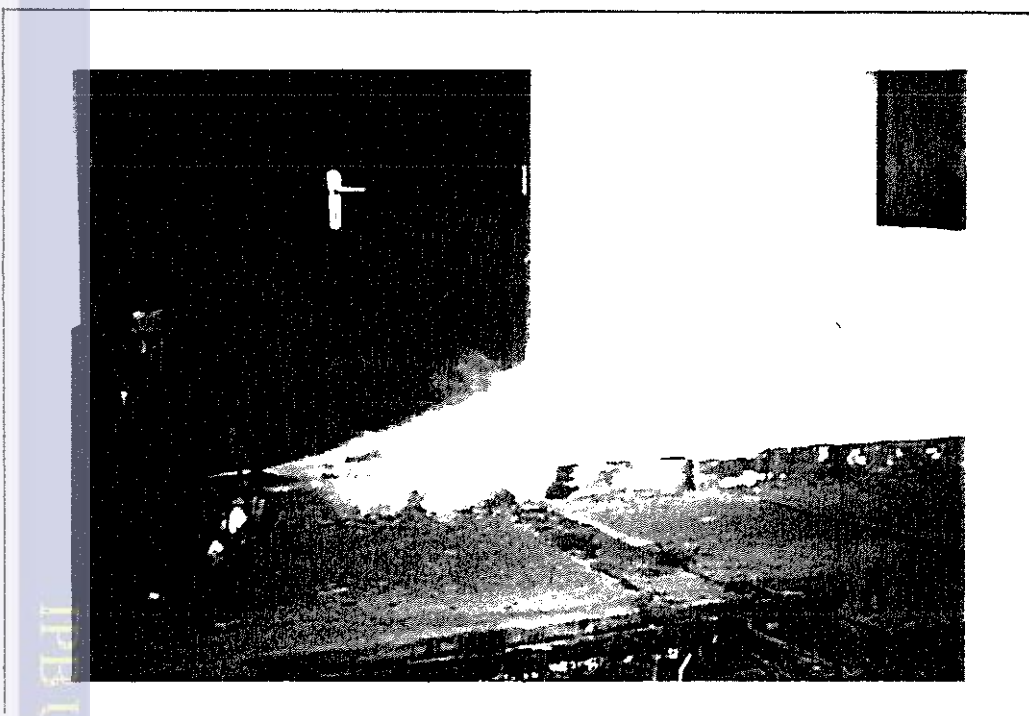
Hal ini disebabkan karena viskositas minyak kemiri akan mendekati viskositas minyak diesel jika minyak kemiri tersebut dipanasi terlebih dahulu, sebab dengan pemanasan berarti melarutkan lemak yang terkandung dalam minyak kemiri.



Gambar 7. Pengkabutan minyak diesel (solar)



Gambar 8. Pengkabutan minyak kemiri pada temperatur normal



Gambar 9. Pengkabutan minyak kemiri pada temperatur 45°C



B. KEMAMPUAN BAHAN BAKAR

Sebagai bahan bakar yang diteliti, minyak kemiri murni perlu diuji kemampuannya dalam melakukan starting dan dalam menggerakkan motor diesel. Percobaan ini dilakukan pada berbagai kondisi yaitu pada temperatur minyak kemiri normal dan motor panas, temperatur minyak kemiri normal dan suhu motor dingin, temperatur minyak kemiri $\geq 40^{\circ}\text{C}$ dan motor panas serta temperatur minyak kemiri $\geq 40^{\circ}\text{C}$ dan motor dingin. Dengan menggunakan motor diesel mitsubishi 10 HP satu silinder dilakukan percobaan menggunakan minyak kemiri pada setiap kondisi tersebut.

Setelah dilakukan percobaan selama 5 menit untuk masing-masing kondisi tersebut dan bergantian antara start, jalan normal dan jalan optimal seperti halnya menggunakan minyak diesel, didapatkan hasil yang sangat memuaskan baik dalam start, jalan normal ataupun jalan optimal. Dengan memperhatikan kelancaran gerakan flywheel akibat menggunakan minyak kemiri murni temperatur normal dan temperatur tinggi sebagai bahan bakar dapat dinyatakan bahwa kemampuan menggunakan minyak kemiri tidak berbeda dari minyak diesel (solar).

Berdasarkan hasil penelitian di atas, maka untuk selanjutnya dilakukan penelitian utama dengan menggunakan bahan bakar minyak diesel (solar) dan minyak kemiri pada

bahan bakar minyak diesel (solar) dan minyak kemiri pada temperatur $\geq 40^{\circ}\text{C}$.

C. PENENTUAN KONSUMSI BAHAN BAKAR, PUTARAN MOTOR (RPM), SUHU AIR RADIATOR DAN SUHU GAS BUANG

Sebagai tindak lanjut dari tahap sebelumnya, yakni tahap pengkabutan dan uji kemampuan starting serta gerak dari motor diesel dengan kedua bahan bakar tersebut, maka untuk lebih melihat kemampuan minyak kemiri sebagai bahan bakar motor diesel dilakukan penentuan konsumsi bahan bakar (l/jam), panas setara konsumsi bahan bakar (watt), putaran motor (RPM), suhu air radiator ($^{\circ}\text{C}$) dan suhu gas buang ($^{\circ}\text{C}$) dengan menggunakan kedua bahan bakar tersebut.

Penentuan konsumsi kedua bahan bakar tersebut bertujuan untuk membandingkan bahan bakar yang mana dari kedua bahan bakar tersebut yang lebih irit dalam hal pemakaian bahan bakar. Dari percobaan yang dilakukan diperoleh data volume bahan bakar yang susut dari gelas ukur. Dengan demikian volume bahan bakar terpakai merupakan volume bahan bakar yang susut dari gelas ukur dikurangi volume sisa pemakaian bahan bakar. Sehingga konsumsi bahan bakar merupakan volume bahan bakar terpakai per waktu pemakaian bahan bakar.

Penentuan panas setara konsumsi bahan bakar bertujuan untuk menentukan berapa panas yang dipakai dalam mengkon-

sumsi bahan bakar yang dipakai pada selang waktu tertentu. Panas setara konsumsi bahan bakar nilainya tergantung konsumsi bahan bakar yang bersangkutan. Oleh karena itu panas setara konsumsi bahan bakar baru dapat diketahui setelah terlebih dahulu mengetahui konsumsi bahan bakarnya.

Suhu air radiator ditentukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan kehilangan panas hasil pembakaran melalui pendinginan bagian-bagian mesin kedua bahan bakar tersebut. Hal ini dapat dilihat dari temperatur air radiator selama percobaan, dimana semakin tinggi suhu air radiator menunjukkan semakin besar panas yang hilang dari hasil pembakaran melalui pendingin bagian-bagian mesin. Dengan semakin banyaknya panas yang hilang melalui pendingin bagian-bagian mesin tersebut akan menyebabkan efisiensi thermal dari motor semakin berkurang.

Dari proses pembakaran yang terjadi menghasilkan gas buang yang melewati knalpot. Kehilangan panas hasil pembakaran dari motor juga bisa melalui gas buang hasil pembakaran itu sendiri. Kehilangan panas ini juga diusahakan sekecil mungkin, karena dengan banyaknya panas yang hilang melalui gas buang, akan menyebabkan efisiensi thermal semakin kecil. Disamping dua hal tersebut, kehilangan panas dapat juga disebabkan oleh gesekan-gesekan bagian-bagian mesin. Dalam hal ini kehilangan

panas akibat gesekan-gesekan bagian mesin kedua bahan bakar yang digunakan diasumsikan sama.

Perbandingan hasil perlakuan dengan Minyak kemiri dan Minyak Diesel (solar)

Tabel 2. Hasil Perlakuan dengan Minyak Kemiri dan minyak diesel

Parameter	Posisi "gas"					
	idle		medium		optimum	
	solar	m.kemiri	solar	m.kemiri	solar	m.kemiri
RPM	500	513	777	781	1053	1057
Trdt (°C)	56.9	61.1	64.5	65.5	70.3	69.8
Tkpt (°C)	47.2	47.1	50.5	50.5	56.8	56.7
Vt (cc)	137.7	155.1	212.9	237.7	340.0	362.9
F (l/jam)	0.275	0.310	0.426	0.475	0.680	0.726
Qf (watt)	2801.6	3166.9	4339.9	4852.5	6927.6	7416.6

Keterangan :

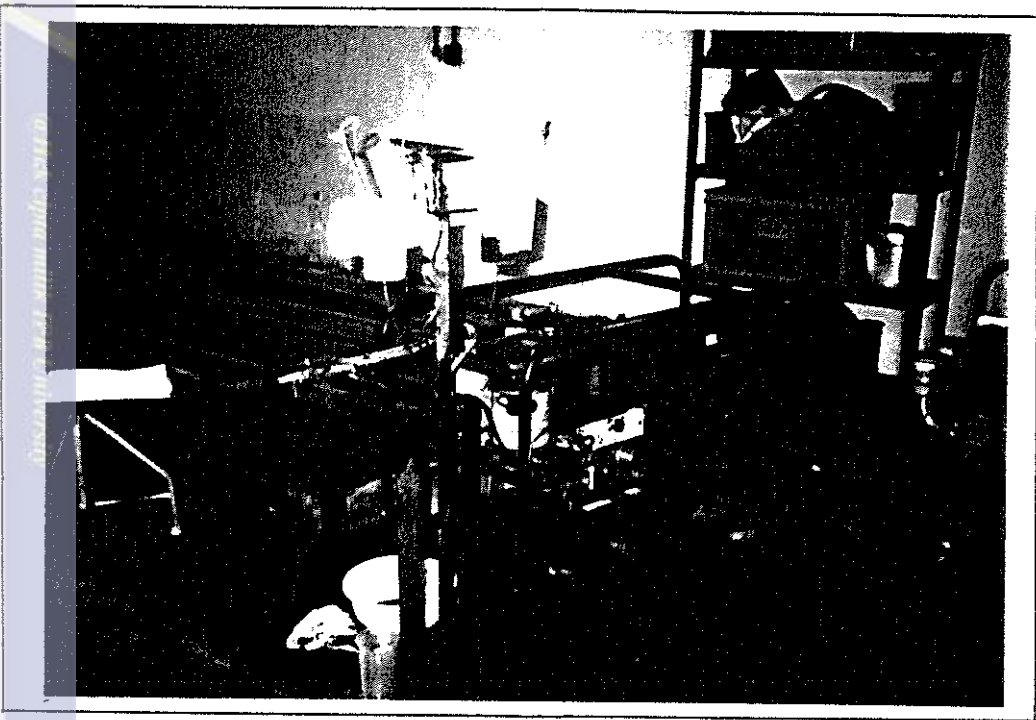
- Trdt : suhu air radiator (°C)
- Tkpt : suhu gas buang (°C)
- Vt : volume bahan bakar terpakai (cc)
- F : konsumsi bahan bakar (l/jam)
- Qf : panas setara konsumsi bahan bakar (watt)

D. PENGARUH KONDISI UDARA PERCOBAAN

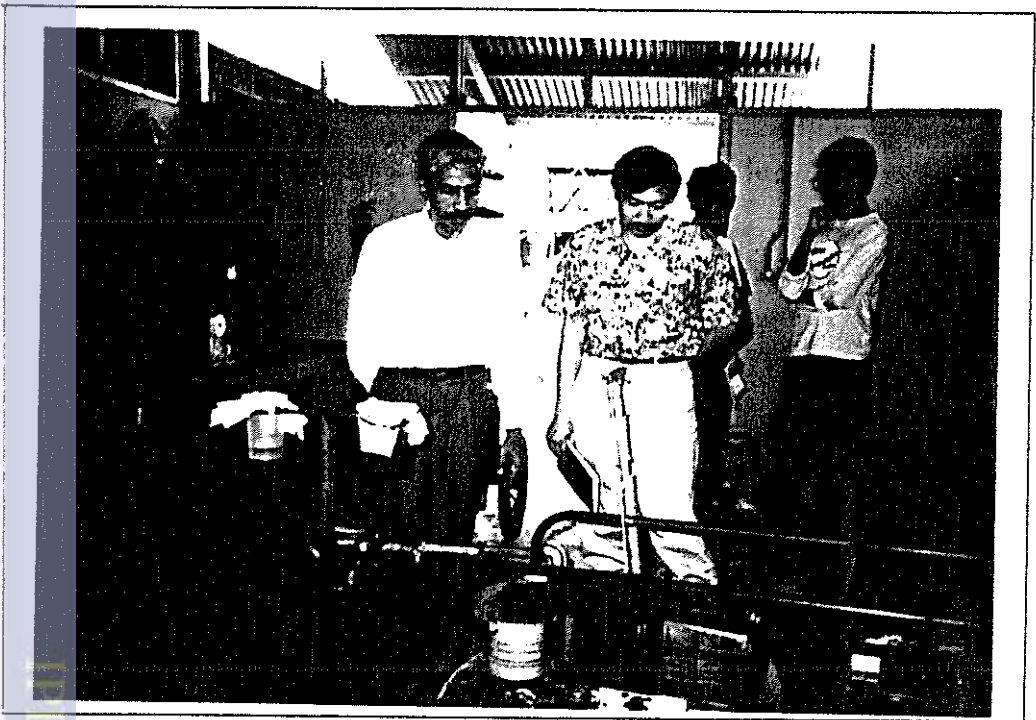
Dalam penelitian ini kondisi udara percobaan yang dimaksud adalah tekanan, suhu dan kelembaban udara di lingkungan tempat dilakukannya percobaan. Adapun pengaruhnya terhadap hasil percobaan tidak begitu nampak. Pengaruh tersebut dapat disebutkan seperti suhu udara di

lingkungan tempat dilakukannya percobaan. Adapun pengaruhnya terhadap hasil percobaan tidak begitu nampak. Pengaruh tersebut dapat disebutkan seperti suhu udara di lingkungan percobaan dapat mempengaruhi suhu gas buang dan suhu air radiator, karena pengukuran suhu air radiator dan suhu gas buang dengan menggunakan thermometer, dimana saat pengukuran alat tersebut berhubungan langsung dengan udara luar. Demikian juga halnya dengan pengaruh tekanan dan kelembaban udara terhadap hasil percobaan, sebab tekanan dan kelembaban udara relatif konstan. Oleh karena percobaan dilakukan dari pukul ± 10.00 WIB s.d pukul ± 15.00 WIB, dimana saat itu tekanan dan kelembaban udara ruangan percobaan relatif konstan.

Kondisi udara percobaan juga dapat dipengaruhi oleh percobaan yang dilakukan. Panasnya motor saat dijalankan cukup mempengaruhi suhu udara lingkungan percobaan, ditambah lagi dengan suhu gas buang yang melewati knalpot, yang secara otomatis bercampur dengan udara luar. Hal ini ditunjukkan pada lampiran 3 dan seterusnya, pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa secara keseluruhan suhu bola basah, suhu bola kering dan suhu yang terbaca pada Thermo-Hyrometer menunjukkan peningkatan. Peningkatan ini relatif kecil, hal ini disebabkan karena suhu motor diesel dan suhu gas buang tidak begitu mempengaruhi suhu udara ruangan yang cukup luas tersebut.



Gambar 10. Motor diesel saat dicoba dengan Minyak Diesel



Gambar 11. Motor diesel saat dicoba dengan Minyak Kemiri

Hak Cipta: Ditanggung Jawab Universitas
 1. Dilarang mengutip, salin, atau menyebarluaskan karya tulis ini tanpa izin dari Universitas
 2. Diperbolehkan untuk mengutip, salin, atau menyebarluaskan karya tulis ini untuk keperluan pendidikan, penelitian, dan pengabdian masyarakat
 3. Diperbolehkan untuk mengutip, salin, atau menyebarluaskan karya tulis ini untuk keperluan lain dengan izin dari Universitas



E. PERBANDINGAN KEDUA BAHAN BAKAR

Perbandingan dari kedua bahan bakar sebagai bahan bakar motor diesel dapat digambarkan pada grafik konsumsi bahan bakar, panas setara konsumsi bahan bakar, suhu gas buang dan suhu air radiator terhadap putaran motor. Perbandingan ini merupakan perbandingan dari hasil percobaan yang telah dilakukan.

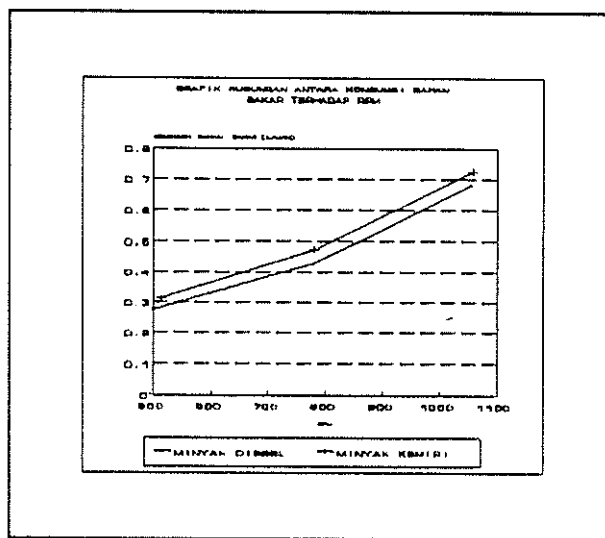
Berdasarkan level "gas" yang terdiri dari "gas" idle (dengan RPM 500 dan 513), "gas" medium (dengan RPM 777 dan 781) dan "gas" optimum (dengan RPM 1053 dan 1057), perbandingan kedua bahan bakar tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Dari gambar 12, dan 13 dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar (l/jam) dan panas setara konsumsi bahan bakar (watt) minyak kemiri sedikit lebih besar dibandingkan minyak diesel (solar). Hal ini disebabkan karena putaran motor, massa jenis dan nilai kalor dari bahan bakar minyak kemiri lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar minyak diesel (solar). Semakin besar putaran motor, massa jenis dan nilai kalor bahan bakar maka konsumsi bahan bakar semakin besar.
2. Karena panas setara konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar itu sendiri, maka bentuk grafiknya menyerupai bentuk grafik hubungan

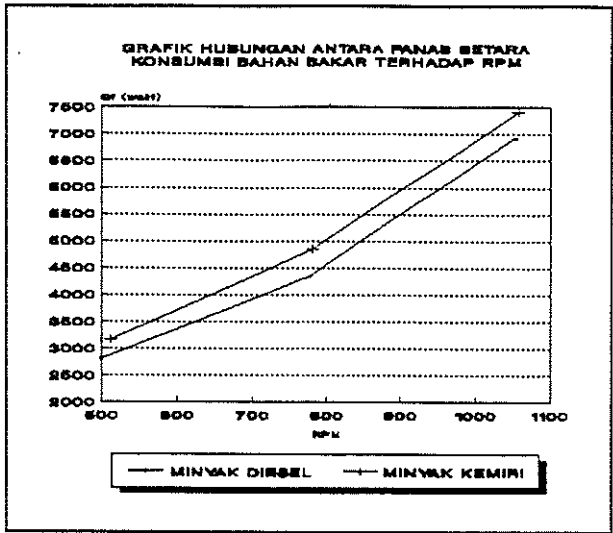
antara konsumsi bahan bakar terhadap putaran motor, demikian juga penjelasannya. Dimana panas setara konsumsi bahan bakar akan meningkat sejalan dengan meningkatnya putaran motor, massa jenis bahan bakar dan atau nilai kalor bahan bakar. Hal ini dapat dilihat pada gambar 10.

3. Hubungan suhu gas buang dan suhu air radiator terhadap putaran motor dari kedua bahan bakar relatif sama. Hal ini dapat dilihat pada gambar 14 dan 15. Ini menunjukkan panas yang hilang melalui gas buang dan pendingin mesin-mesin dari hasil pembakaran kedua bahan bakar tersebut relatif sama. Banyaknya panas yang hilang melalui kedua sumber ini akan menurunkan efisiensi thermal dari motor yang dipakai.
4. Dari 2 dan 3 dapat dilihat bahwa secara umum panas setara konsumsi bahan bakar, yang selanjutnya dapat disebut sebagai panas yang terpakai dari hasil pembakaran dengan menggunakan minyak kemiri lebih besar dari pada dengan menggunakan minyak diesel (solar). Dan panas yang hilang melalui pendingin bagian-bagian mesin (oleh air radiator) serta panas yang hilang melalui gas buang dari proses pembakaran dengan kedua bahan bakar tersebut relatif sama. Dari dua hal tersebut dapat disimpulkan bahwa efisiensi thermal dari motor dengan menggunakan bahan bakar minyak kemiri lebih tinggi

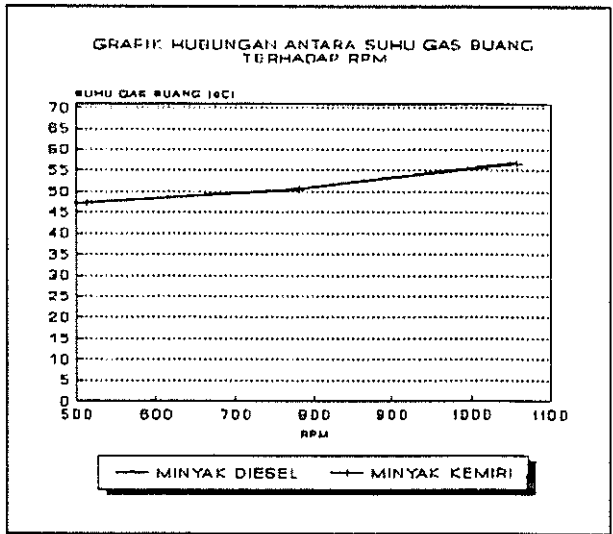
dibandingkan dengan efisiensi thermal dari motor dengan menggunakan bahan bakar minyak diesel (solar). Sebab efisiensi thermal dari motor adalah perbandingan antara panas yang terpakai/digunakan dengan panas yang hilang.



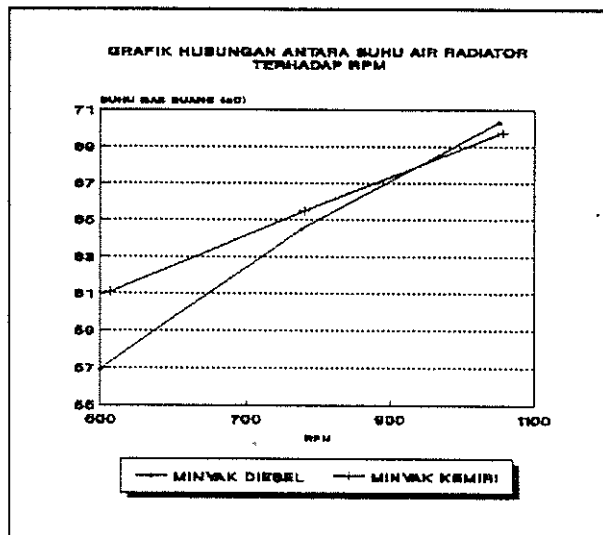
Gambar 12. Grafik hubungan konsumsi bahan bakar dengan putaran motor



Gambar 13. Grafik hubungan panas setara konsumsi bahan bakar terhadap RPM



Gambar 14. Grafaik hubungan antara suhu gas buang terhadap RPM



Gambar 15. Hubungan suhu air radiator terhadap RPM

E. TINJAUAN EKONOMIS BAHAN BAKAR

Untuk saat ini minyak kemiri murni belum ada di pasaran, oleh karena itu harga minyak kemiri dapat diperkirakan dari harga daging biji kemiri yang terdapat di pasaran. Di pasaran harga daging biji kemiri Rp. 5000/kg, dimana kandungan minyak kemiri dalam daging biji kemiri sebesar 60% dan massa jenis minyak kemiri 0.9266 kg/l. Dengan demikian untuk setiap 1 kg daging biji kemiri akan diperoleh minyak sebanyak :

$$60\% * 1 \text{ kg} / (0.9266 \text{ kg/l}) = 0.65 \text{ liter}$$

Jika diasumsikan biaya pengolahan minyak kemiri Rp. 500 per liter, keuntungan yang harus diambil pihak pabrik Rp. 200 per liter, keuntungan yang harus diambil oleh agen -

(distributor) Rp. 200 per liter dan keuntungan yang harus diambil oleh pedagang Rp. 150 per liter, maka harga minyak kemiri di pasaran diperkirakan :

$$[\text{Rp. } 5000/\text{kg} * 1 \text{ kg}/(0.65 \text{ lt})] + \text{Rp. } 500/\text{lt} + \text{Rp. } 200/\text{lt} + \text{Rp. } 150/\text{lt} = \text{Rp. } 8.542,3 \text{ lt} = \text{Rp. } 8.542 \text{ per liter}$$

sedangkan harga minyak diesel dewasa ini adalah Rp. 380 per liter.

Dari perbandingan harga kedua bahan bakar diatas, dimana perbedaannya cukup menyolok, untuk saat ini dirasakan minyak kemiri kurang ekonomis jika dipakai sebagai bahan bakar motor diesel. Oleh karenanya masyarakat perlu menunggu lahan kemiri bertambah luas, dimana hal ini akan menjadi kenyataan terutama untuk Indonesia yang notabene lahan yang tersedia masih sangat luas untuk penanaman kemiri yang menyebabkan lebih ekonomisnya minyak kemiri dari pada minyak diesel (solar) untuk masa mendatang, apabila diikuti dengan adanya sistem pengolahan kemiri menjadi minyak kemiri yang baik dan ekonomis.

Bila ditinjau dari sumber minyak kemiri yang tidak pernah habisnya dan bahkan bertambah luas dibandingkan dengan minyak diesel yang sangat sulit pertambahannya bahkan menunjukkan berkurangnya cadangan minyak bumi, maka minyak kemiri sebagai bahan bakar pengganti minyak diesel (solar) memberikan harapan yang sangat besar. Namun demikian hal ini harus ditunjang dengan sifat fabrikasi

(kwalitas) minyak kemiri yang makin meningkat dalam hal mengurangi kandungan-kandungan yang tidak menguntungkan.

Dengan meningkatnya kebutuhan penggunaan motor diesel dibandingkan dengan motor lainnya, untuk pertanian, industri dan transportasi, maka meningkat pula permintaan akan bahan bakar motor tersebut, sedangkan cadangan minyak bumi yang ada tidak mungkin mampu memenuhi kebutuhan bahan bakar motor diesel, sehingga hal itu akan membuka lapangan kerja baru dalam bentuk penanamannya, pembuatannya dan penjualannya.

Kalau hal ini berkembang menjadi kebutuhan internasional, maka akan merupakan devisa bagi negara, sehingga dapat meningkatkan pembangunan dan kemakmuran.

F. KONDISI FISIK BAHAN BAKAR

Kondisi fisik bahan bakar sangat diperlukan karena selain menentukan unjuk kerja motor, juga menyangkut kelancaran kerja motor, kerusakan motor dan umur motor. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, bahwa kandungan asam (*acid*) menyebabkan korosif terhadap metal, kandungan debu (*ash*) menyebabkan keausan pada sistem injeksi dan kandungan air (*water*) pada tempat yang aus menimbulkan korosif pada waktu terjadinya pembakaran bahan bakar di dalam motor.

Yang merupakan standard kondisi fisik bahan bakar dalam bentuk kandungan-kandungan di atas adalah batasan yang terdapat pada spesifikasi minyak solar untuk motor diesel yang dapat dilihat pada tabel 2. Nilai-nilai tersebut merupakan hasil perbaikan-perbaikan dari penelitian-penelitian sejak dimulainya penggunaan minyak solar untuk bahan bakar motor diesel. Oleh karenanya kondisi fisik bahan bakar alternatif terutama dalam hal kandungan-kandungan di atas harus diusahakan mendekati atau bahkan sama dengan kondisi fisik solar. Adapun dalam hal kondisi kimia tidak mungkin untuk disamakan atau didekatkan karena tidak mungkin merubah massa suatu benda.

Batasan-batasan kondisi minyak kemiri untuk kandungan-kandungan di atas sebagai bahan bakar motor diesel dibandingkan dengan minyak solar sebagai standard ternyata memperlihatkan perbedaan yang sangat menyolok. Perbedaan tersebut antara lain menyangkut kandungan-kandungan asam (*acid*) dan air (*water*) dimana untuk solar berturut-turut 0.006% dan 0.05%, sedangkan untuk minyak kemiri berturut-turut 6.3%-8% dan 0.12%. Dari komposisi kandungan yang ada sangat mungkin minyak kemiri murni pada temperatur normal dan minyak kemiri murni pada temperatur tinggi untuk pemakaian dalam waktu lama akan mengganggu kelancaran kerja motor, menimbulkan kerusakan moto dan memperpendek umur motor.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Minyak kemiri murni pada temperatur normal dan minyak kemiri murni dipanaskan pada suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$ dapat digunakan sebagai bahan bakar motor diesel. Pada pengambilan data digunakan minyak kemiri murni yang dipanaskan pada suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$, karena pada kondisi ini pengkabutannya lebih mengekati pengkabutan minyak diesel.
2. Konsumsi bahan bakar terpakai untuk kedua bahan bakar tidak jauh berbeda yaitu pada putaran motor idle 0.275 l/jam, medium 0.426 l/jam dan optimum 0.680 l/jam untuk motor diesel, sedangkan untuk minyak kemiri pada putaran motor idle, medium dan optimum berturut-turut 0.310 l/jam, 0.475 l/jam dan 0.726 l/jam.
3. Putaran motor jika menggunakan bahan bakar minyak kemiri sedikit lebih besar dibandingkan jika menggunakan bahan bakar minyak diesel (solar). Untuk minyak kemiri pada "gas" idle, medium dan optimum berturut-turut 513, 781 dan 1057. Sedangkan minyak diesel berturut-turut 500, 777 dan 1053.
4. Sama dengan konsumsi bahan bakar, untuk panas setara konsumsi bahan bakar minyak kemiri tidak jauh berbeda dengan bahan bakar minyak diesel (solar), yaitu pada

putaran motor idle, medium dan optimum, untuk minyak kemiri masing-masing 3166.9 watt, 4852.5 watt dan 7416.6 watt. Sedangkan untuk minyak diesel masing-masing 2801.6 watt, 4339.9 watt dan 6927.6 watt.

5. Suhu gas buang dan air radiator jika menggunakan bahan bakar minyak kemiri relatif sama dengan jika menggunakan bahan bakar minyak diesel (solar). Hal ini dapat dilihat pada "gas" idle, medium dan optimum untuk minyak kemiri berturut-turut:
 - suhu gas buang : 47.1°C, 50.5°C dan 56.7°C
 - suhu air radiator : 61.1°C, 65.5°C dan 69.8°C, dengan minyak diesel (solar) berturut-turut:
 - suhu gas buang : 47.2°C, 50.5°C dan 56.8°C
 - suhu air radiator : 56.9°C, 64.5°C dan 70.3°C
6. Efisiensi thermal dari motor dengan menggunakan minyak kemiri lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan minyak diesel (solar). Hal ini dapat dilihat dari panas setara konsumsi bahan bakar (panas terpakai) dan panas yang hilang melalui gas buang dan melalui pendingin bagian-bagian mesin.
7. Ditinjau dari segi ekonomis dan cara pemakaiannya pada saat ini, minyak solar masih lebih baik dari pada minyak kemiri. Dengan demikian minyak kemiri pada motor diesel sangat tepat sebagai bahan bakar alternatif di masa depan.

B. SARAN

1. Sebagai bahan bakar motor diesel, minyak kemiri perlu dilakukan peningkatan kualitasnya, sehingga kandungan-kandungan yang dapat merusak dapat dihilangkan.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai minyak kemiri sebagai bahan bakar alternatif motor diesel, terutama mengenai pemanfaatan panas yang terbuang untuk memanasi bahan bakar minyak kemiri dalam tangki bahan bakar sehingga lebih ekonomis dan praktis dalam pemakaiannya.
3. Perlu dipikirkan usaha-usaha untuk memperluas areal perkebunan kemiri dan sistem pengolahan kemiri menjadi minyak kemiri yang teroganisir dengan baik dan memerlukan biaya pengolahan yang murah.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Teknis Motor

Hari/tanggal/pukul : Kamis/30-6 s.d 2-7-1994/11.00 WIB	
Judul : Pengujian Prestasi Motor	
Data Teknis Motor	
Nama penguji : Saipul	
Waktu/tempat : /FATETA IPB	
1. Data Motor	Merk/model : Mitsubishi/NM10
	Bahan bakar : Minyak Kemiri
	Daya maksimum : 10 PS
	Putaran poros : 2200 ppm (maksimum)
	Jenis motor : Diesel
	Jumlah silinder : 1
	Diameter silinder : 8.8 cm
	Panjang langkah : 9.5 cm
	Volume langkah : 577 cc (0.577 liter)
	Pendingin motor : air
2. Data bahan bakar	Kerapatan (γ) : 0.8114 kg/l
	Nilai kalor (H) : 10 500 kkal/kg
	Unsur C dan H : 16 C, 34 H

Lampiran 2. Data Teknis Motor

Hari/tanggal/pukul : Kamis/30-6 s.d 2-7-1994/10.00 WIB	
Judul : Pengujian Prestasi Motor	
Data Teknis Motor	
Nama penguji : Saipul	
Waktu/tempat : /FATETA IPB	
1. Data Motor	Merk/model : Mitsubishi/NM10
	Bahan bakar : Minyak Kemiri murni
	Daya maksimum : 10 PS
	Putaran poros : 2200 ppm (maksimum)
	Jenis motor : Diesel
	Jumlah silinder : 1
	Diameter silinder : 8.8 cm
	Panjang langkah : 9.5 cm
	Volume langkah : 577 cc (0.577 liter)
	Pendingin motor : air
2. Data bahan bakar	Kerapatan (γ) : 0.9266 kg/l
	Nilai kalor (H) : 9450 kkal/kg
	Unsur C dan H : C, H

Lampiran 3. Data hasil pengukuran pada level "gas" idle dan ulangan pertama

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	24.5	28.0	56	27.8	753
	05	52.0	38.0	24.0	28.0	52	27.8	753
	10	-	-	24.0	28.0	54	28.0	753
	15	-	-	24.0	28.0	53	28.0	753
	20	-	-	24.0	28.0	52	27.9	753
	25	51.2	40.0	24.0	28.0	53	27.5	753
	30	-	-	24.0	28.5	53	27.5	753
Minyak kemiri	00	-	-	24.0	28.5	53	27.5	753
	05	46.0	42.0	24.0	28.5	52	27.5	753
	10	-	-	24.0	28.5	51	28.0	753
	15	-	-	24.0	28.5	50	28.0	752
	20	-	-	24.0	28.5	50	28.0	752
	25	49.9	42.0	24.0	29.0	52	28.0	752
	30	-	-	24.5	29.0	52	28.0	752

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 24.8°C
 * Tbk : 28.0°C
 * RH : 58%
 * Thyg : 27.5°C
 * P : 753 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 25°C
 * Tbk : 30.0°C
 * RH : 52%
 * Thyg : 29.0°C
 * P : 752 pa

Waktu start pada pukul 11.00 WIB
 Selesai pada pukul 12.10 WIB

Lampiran 4. Data hasil pengukuran pada level "gas" idle dan ulangan kedua

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	22.5	27	47	27.5	753
	05	45.9	56.0	22.5	27.5	46	28.0	753
	10	-	-	22.5	28.0	46	28.0	753
	15	-	-	23.0	28.0	46	28.0	753
	20	-	-	23.0	28.0	46	28.0	753
	25	44.5	57.0	23.0	28.5	44	28.0	753
	30	-	-	23.0	28.5	44	28.0	753
Minyak kemiri	00	-	-	23.0	28.5	44	28.0	752
	05	48.5	61.0	23.0	28.5	45	28.5	752
	10	-	-	23.5	29.0	45	29.0	752
	15	-	-	24.0	29.0	45	29.0	752
	20	-	-	24.0	29.0	45	29.0	752
	25	49.9	61.0	24.0	29.0	46	29	752
	30	-	-	24.0	29.5	46	29.0	752

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 22.5°C
 * Tbk : 27.0°C
 * RH : 48%
 * Thyg : 28.0°C
 * P : 753 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 24°C
 * Tbk : 29.5°C
 * RH : 46%
 * Thyg : 29°C
 * P : 752 pa

Waktu start pada pukul 10.57 WIB
 Selesai pada pukul 11.50 WIB

Lampiran 5. Data hasil pengukuran pada level gas "idle" dan ulangan ketiga

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	23.5	27.5	54	27.0	753
	05	44.0	54.5	23.5	27.5	54	27.2	753
	10	-	-	23.5	28.0	54	27.5	753
	15	-	-	23.5	28.0	53	27.5	753
	20	-	-	24.0	28.0	53	27.5	753
	25	44.3	60.0	24.2	28.3	53	27.5	753
	30	-	-	24.3	28.5	53	27.5	753
Minyak kemiri	00	-	-	24.0	28.5	54	28.0	753
	05	44.8	60.0	24.0	28.5	51	28.0	753
	10	-	-	24.0	29.0	50	28.3	753
	15	-	-	24.0	29.0	49	28.3	753
	20	-	-	24.0	29.0	49	28.3	753
	25	46.0	62.5	24.0	29.0	49	28.3	753
	30	-	-	24.0	29.0	49	28.5	753

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 23.5°C
 * Tbk : 28 °C
 * RH : 55%
 * Thyg : 26.5°C
 * P : 753 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 24.0°C
 * Tbk : 29.0°C
 * RH : 49%
 * Thyg : 28.5°C
 * P : 753 pa

Waktu start pada pukul 10.20 WIB
 Selesai pada pukul 11.23 WIB

Lampiran 6. Data hasil pengukuran pada level "gas" medium dan ulangan pertama

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	25.0	29.0	53	28.5	752
	05	49.5	43.0	25.0	29.5	52	29.0	752
	10	-	-	25.0	29.5	52	29.0	752
	15	-	-	25.0	29.5	52	29.0	752
	20	-	-	25.0	29.5	52	29.0	752
	25	49.5	43.0	25.0	29.5	52	29.0	752
	30	-	-	25.0	29.5	52	29.0	752
Minyak kemiri	00	-	-	24.5	29.0	53	28.0	752
	05	48.5	41.0	24.5	29.0	53	28.0	752
	10	-	-	24.5	29.0	52	27.5	752
	15	-	-	24.5	29.0	54	28.0	752
	20	-	-	25.0	29.0	54	28.0	752
	25	49.8	42.8	25.0	29.5	55	29.0	752
	30	-	-	25.0	29.5	54	29.0	752

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 24.5°C
 * Tbk : 29.0°C
 * RH : 53%
 * Thyg : 28.0°C
 * P : 752 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 25°C
 * Tbk : 29.5°C
 * RH : 52%
 * Thyg : 29°C
 * P : 752 pa

Waktu start pada pukul 12.15 WIB
 Selesai pada pukul 13.22 WIB

Lampiran 7. Data hasil pengukuran pada level "gas" medium dan ulangan kedua

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	25.0	30.5	45	30.0	751
	05	52.0	60.5	25.0	31.0	44	30.0	751
	10	-	-	25.0	31.0	44	30.0	751
	15	-	-	25.0	31.0	44	30.0	751
	20	-	-	25.0	31.0	43	30.0	751
	25	53.5	66.1	25.0	31.0	43	30.0	751
	30	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
	30	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
Minyak kemiri	00	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
	05	53.0	66.0	25.0	31.5	41	31.0	751
	10	-	-	25.0	31.5	41	31.0	751
	15	-	-	25.0	31.5	41	31.0	751
	20	-	-	25.0	31.5	40	31.0	751
	25	49.9	61.0	25.0	31.5	40	31.0	751
	30	-	-	25.0	31.5	40	31.0	751
	30	-	-	25.0	31.5	40	31.0	751

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 25.0°C
 * Tbk : 30.5°C
 * RH : 46%
 * Thyg : 30.0°C
 * P : 751 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 25°C
 * Tbk : 31.5°C
 * RH : 40%
 * Thyg : 31°C
 * P : 751 pa

Waktu start pada pukul 13.13 WIB
 Selesai pada pukul 14.19 WIB

Lampiran 8. Data hasil pengukuran pada level "gas" medium dan ulangan ketiga

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	24.2	29.5	48	28.8	753
	05	49.7	65.0	24.5	29.9	48	29.0	753
	10	-	-	24.6	29.9	48	29.0	753
	15	-	-	24.5	29.9	47	29.1	753
	20	-	-	24.5	30.0	47	29.5	753
	25	50.3	66.5	24.6	30.1	47	29.5	753
	30	-	-	24.7	30.1	47	29.5	752
Minyak kemiri	00	-	-	24.7	30.3	47	29.8	752
	05	49.5	65.0	24.5	29.9	47	29.9	752
	10	-	-	25.0	30.5	47	30.0	752
	15	-	-	24.9	30.6	46	30.0	752
	20	-	-	24.9	30.9	45	30.1	752
	25	52.5	66.5	25.0	31.0	45	30.1	752
	30	-	-	25.0	31.0	45	30.1	752

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 24.2°C
 * Tbk : 29.5°C
 * RH : 48%
 * Thyg : 28.8°C
 * P : 753 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 25°C
 * Tbk : 31.0°C
 * RH : 45%
 * Thyg : 30.1°C
 * P : 752 pa

Waktu start pada pukul 11.39 WIB
 Selesai pada pukul 12.47 WIB



Lampiran 9. Data hasil pengukuran pada level "gas" optimum dan ulangan kedua

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	25.0	29.5	53	28.5	751
	05	55.5	42.0	25.0	29.5	52	29.0	751
	10	-	-	25.0	30.0	52	29.0	751
	15	-	-	25.0	30.0	52	29.0	751
	20	-	-	25.0	30.0	52	29.0	751
	25	56.6	43.8	25.0	30.0	52	29.0	751
	30	-	-	25.0	30.0	52	29.0	751
Minyak kemiri	00	-	-	25.0	30.0	52	29.0	751
	05	57.3	44.0	25.0	30.0	52	29.0	751
	10	-	-	25.0	30.0	52	29.0	751
	15	-	-	25.0	30.0	52	29.0	751
	20	-	-	25.0	29.5	52	29.0	751
	25	49.9	61.0	25.0	29.5	52	29.0	751
	30	-	-	25.0	29.5	54	29.0	751

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 25.0°C
 * Tbk : 29.0°C
 * RH : 53 %
 * Thyg : 28.5°C
 * P : 751 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 25°C
 * Tbk : 29.5°C
 * RH : 54 %
 * Thyg : 28.5°C
 * P : 751 pa

Waktu start pada pukul 14.40 WIB
 Selesai pada pukul 15.45 WIB

Lampiran 10. Data hasil pengukuran pada level "gas" optimum dan ulangan kedua

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	25.0	31.5	41	31.0	751
	05	59.8	71.5	25.0	31.5	41	31.0	751
	10	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
	15	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
	20	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
	25	58.0	70.5	25.0	31.5	42	31.0	751
	30	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
Minyak kemiri	00	-	-	25.0	31.5	42	31.0	751
	05	58.3	68.5	25.0	31.5	42	31.0	751
	10	-	-	25.5	31.5	43	31.0	751
	15	-	-	25.5	31.5	43	31.0	751
	20	-	-	25.5	31.5	43	31.0	751
	25	58.8	70.0	25.5	31.5	43	31.0	751
	30	-	-	25.5	31.5	43	31.0	751

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 25.0°C
 * Tbk : 31.5°C
 * RH : 40%
 * Thyg : 31.0°C
 * P : 751 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 25.5°C
 * Tbk : 31.5°C
 * RH : 43%
 * Thyg : 31°C
 * P : 751 pa

Waktu start pada pukul 14.27 WIB
 Selesai pada pukul 15.03 WIB

Lampiran 11. Data hasil pengukuran pada level "gas" optimum dan ulangan ketiga

Jenis Bahan Bakar	Waktu (mnt)	Tkpt (°C)	Trdt (°C)	Tbb (°C)	Tbk (°C)	RH (%)	Thyg (°C)	P (pa)
Minyak diesel (solar)	00	-	-	24.2	29.5	48	28.8	753
	05	49.5	65.0	24.5	29.9	48	29.0	753
	10	-	-	24.6	29.9	48	29.0	753
	15	-	-	24.5	29.9	47	29.1	753
	20	-	-	24.5	30.0	47	29.1	753
	25	50.3	66.5	24.6	30.0	47	29.5	753
	30	-	-	24.7	30.1	47	29.5	752
Minyak kemiri	00	-	-	24.7	30.3	47	29.8	752
	05	51.5	61.1	24.9	30.3	47	29.8	752
	10	-	-	25.0	30.5	47	30.0	752
	15	-	-	24.9	30.6	46	30.0	752
	20	-	-	24.9	30.9	45	30.1	752
	25	52.5	66.5	25.0	31.0	45	30.1	752
	30	-	-	25.0	31.0	45	30.1	752

Kondisi udara
sebelum percobaan :

* Tbb : 24.2°C
 * Tbk : 29.5°C
 * RH : 48%
 * Thyg : 28.8°C
 * P : 753 pa

Kondisi udara
sesudah percobaan:

* Tbb : 25°C
 * Tbk : 31.0°C
 * RH : 45%
 * Thyg : 30.1°C
 * P : 752 pa

Waktu start pada pukul 11.39 WIB
 Selesai pada pukul 12.47 WIB

Lampiran 12. Spesifikasi Minyak Kemiri

No.	Sifat	Satuan	Kondisi	Batasan	
1.	Density	Kg/mm ³	pada 25°C	997	a
2.	Specific gravity	Kg/l	pada 15°C	0.920-0.927	b
3.	Viscosity	mm ² /sec	pada 21°C	40.4	c
4.	Cetane Number	-	-	35-40	c
5.	Pour Point	°C	-	-	-
6.	Cloud Point	°C	-	4-5	c
7.	Melting Point	°C	-	20.6	b
8.	Flash Point	°C	-	250	d
9.	High Heating Value	°C	pada 15°C	392.69	c
10.	API Gravity	-	pada 15°C	22	e
11.	Iodine Value	-	-	140-164	b
12.	Acids	%	Free Fatty	6.3-8.0	f
13.	Dirty (kotoran)	%	-	-	g
14.	Air (Water)	%	H ₂ O	0.12	g
15.	Sulfur	%	S	-	g
16.	Iron	mg/gram	Fe	-	g
17.	Copper	mg/gram	Cu	-	g
18.	Saponification Value	-	-	190-193	b
19.	Komposisi Kimia	%	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	4.38	b
		%	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	3.39	b
		%	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.08	b
		%	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	26.23	b
		%	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	39.62	b
		%	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	20.76	b

Diambil dari : a. Mulyono, E., *et al* (1993) e. Staniar (1966)
 b. Jamieson (1943). f. Eckey (1955)
 c. Stout (1984). g. Aprianita, N., *et al* (1993)
 d. Othmer (1965).

Lampiran 13. Spesifikasi minyak diesel

No.	Sifat	Satuan	Kondisi	Batasan	
1.	Density	Kg/mm ³	-	845	a
2.	Spesifie gravity	Kg/l	pd 15°C	0.820-0.870	b
3.	Viscosity	mm ² /Sec	pd 38°C	2.4	a
4.	Cetane Number	-	-	35-50	c
5.	Pour Point	°C	-	-18	d
6.	Cloud Point	°C	-	-17	d
7.	Melting Point	°C	-	< 1	a
8.	Flash Point	°C	-	65.5	d
9.	High heating value	MJ/Kg	-	45.2	a
10.	Api gravity	-	pd 15°C	35	a
11.	Jodine value	-	-	-	b
12.	Acids	%	KOH	0.0006	b
13.	Dirty (kotoran)	%	-	0.01	b
14.	Air (water)	%	H ₂ O	0.05	b
15.	Sulfur	%	S	0.5	b
16.	Iron	mg/gram	Fe	-	b
17.	Copper	mg/gram	Cu	-	b
18.	Saponification value	-	-	-	b
19.	Komposisi kimia	%	C ₁₆ H ₃₄	48	d
		%	C ₁₁ H ₁₀	52	

Diambil dari :

- Khovakh (1976)
- Peraturan Dirjen Migas No.002/p/DM/Migas /1979
- Stout (1954)
- Maleev (1954)
- Petrovsky (1972)

DAFTAR PUSTAKA

- Aprianita, N., et al. 1993. Penelitian dan Pengembangan Minyak Kemiri sebagai Bahan Baku Kosmetik (Lanjutan). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian. Departemen Perindustrian. Jakarta.
- Bailey, A.E. 1950. Industrial Oil and Fat Product. Inter-scholastic Publ. Inc., New York.
- Ballaney, P.L. 1984. Thermal engineering. Khanna Publishers. New Delhi.
- Barger, E.L., J.B. Liljedahl, W.N. Carleton and E.G. McKibben. Tractors and Power Units. John Willey and Sons Inc. New York. London. Sydney.
- Bolton, E.R. 1928. Oils, Fat and Fatty Food. J.A. Churchill, London.
- BPS., 1990. Statistik Perkebunan Indonesia 1988-1990. Direktorat Jenderal Perkebunan Jakarta. Jakarta.
- Burkill, I.H. 1935. A Dictionary of Economic Product of The Malay Peninsula. Crown Agent for Colonies Millbank, London S. W.
- Daryanto, 1984. Pengetahuan tentang Minyak Bumi. Ind Hill Co. Jakarta.
- Dasril Sajoeti. 1991. Studi Penggunaan Minyak Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar Alternatif Motor Diesel. Tesis. Fakultas Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Indonesia.
- Daywin, F.J., et al 1990. Motor Bakar dan Tenaga di Bidang Pertanian. Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi, IPB. Tahun anggaran 1990/1991.
- Eckey, E.W. 1954. Vegetable Fats and Oils Reintol Publishing Corporation, New York.
- Formo, M.W., et al. 1979. Baileys Industrial Oil and Fat Products. Vol. 1. 4th edition. John Willey and Sons. New York. Chichester. Brisbane. Toronto.
- Hartley, C.W.S. 1967. The Oil Palm. Longman Group Limited. London.
- Heyne, K. 1950. De Nuttige Planten Van Indonesia (*Aleurites moluccana*). Gravenhage, Van Hoeve, Bandung.

- Hutajulu, S. 1967. Tabel Isi Sementara untuk Kemiri. Lembaga Penelitian Hutan. Pengumuman No. 91, Bogor.
- Jamieson, G.S. 1943. Vegetable Fats and Oil. Edisi II. D. Van Nostrand Co. Princeton, New York.
- Ketaren, S. 1980. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. UI Press, Jakarta.
- Khovakh, M. 1976. Motor Vehisel Engines. English Translation, Mir Publisher. Moscow.
- Maleev, V.L. 1954. Diesel Engine Operation And Maintenance. Mc Graw-Hill Book company. New York, St.Louis, San Fracisco, Dallas, London, Sydney.
- Mohsenin, N.N. 1980. Physical Properties of Plat and Animal Materials. Third Printing. Gordon and Breach Science Publisher, New York.
- Mulyono, E., et al. 1993. Physico-chemical Charateristic of Candle-nut and Its Processing Method di dalam Journal of Spice and Medical Crops. Vol. 2. No. 1. Bogor.
- Othmer, D.F. 1965. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 8. John Willey and Sons, Inc. New York. London. Sydney.
- Petrovsky, N. 1972. Marine Internal Combustion Engines. English Translation, Mirr Publishers. Moscow.
- PT. YADIN , 1990. Motor Diesel Yanmar Buku Petunjuk 1. Kotip Depok. Bogor.
- Stanlar, W. 1966. Prime Movers. Mc Graw - Hill Book Company. New York, San Fransisco, Toronto, london, Sydney.
- Stout, B.A. 1984. Energy Use and Management in Agriculture. Agriculture Engineering Departemen Texas A & M Univversity. Breton Publisher.
- Surtiningsih, N. 1986. Pengembangan Pengawetan Minyak Makan Asal Kelapa Sawit. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian. Bogor.