

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Eko Wahyu (2014) melakukan penelitian tentang Studi Komparasi Emisi Gas Buang Bahan Bakar Solar dan Biodiesel dari *Crude Oil* Nyamplung Pada Mesin Diesel Nissan D22. Dia melakukan penelitian dengan variasi campuran solar dan biodiesel yang digunakan antara lain B5, B7, B10, B12,5, B15. Uji prestasi mesin dilakukan pada putaran 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa bertambahnya kadar presentase biodiesel minyak nyamplung mengakibatkan menurunnya persentase CO dan CO₂ gas buang yang dihasilkan namun meningkatnya kadar O₂ pada gas buang. Hal ini terjadi seiring bertambahnya putaran yang bekerja pada mesin diesel Nissan D22.

Pada penelitian Ashok (2017). Dia melakukan penelitian dengan mencampurkan biodiesel dan solar. Hasil dari penelitiannya yaitu penambahan biodiesel pada campuran dapat menekan kandungan CO dan HC pada emisi mesin diesel serta menurunkan opasitas emisi akan tetapi dapat meningkatkan kadar NO_x pada emisi mesin diesel

2.2 Motor Diesel

Motor diesel ditemukan oleh seorang ilmuwan Prancis bernama Rudolf Christian Karl Diesel di tahun 1880. Pada awalnya Diesel mengharapkan terciptanya sebuah mesin yang dapat bekerja dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batubara. Pada tahun 1900 dia mempertunjukkan hal tersebut dengan bahan bakar biodiesel minyak kacang.

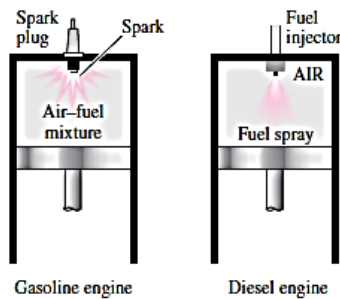
Motor diesel disebut juga dengan *compression ignition engine*. Dalam hal ini berarti motor diesel merupakan salah satu jenis *internal combustion engine* yang menggunakan tekanan tinggi untuk membakar bahan bakar yang dimasukkan ke ruang bakar.

2.2.1 Siklus Termodinamika Diesel

Siklus termodinamika adalah serangkaian proses termodinamika yang menggambarkan transfer panas dan kerja dalam berbagai keadaan (temperatur tekanan, dan keadaan lainnya) yang disederhanakan.

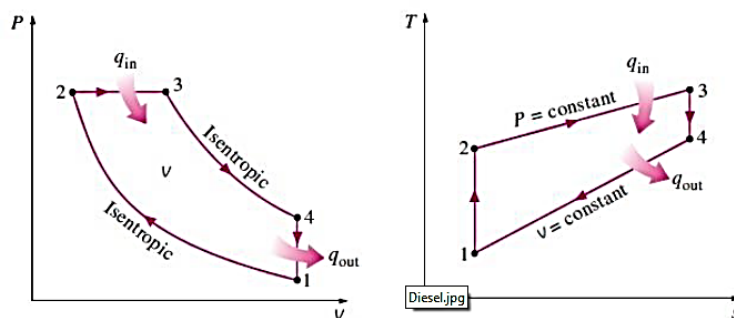
Siklus termodinamika diesel adalah siklus ideal untuk mesin reciprocating CI. Pada mesin penyalan busi (juga dikenal sebagai mesin bensin), campuran bahan bakar udara dikompresi ke suhu di bawah suhu autoignisi bahan bakar, dan proses pembakaran dimulai

dengan menembaki busi. Di mesin CI (juga dikenal sebagai mesin diesel), udara dikompres ke suhu yang berada di atas suhu autoignisi dari bahan bakar, dan pembakaran mulai kontak saat bahan bakar disuntikkan udara panas ini. Karenanya, busi dan karburator diganti dengan bahan bakar injektor pada mesin diesel (Thermodynamics, Cengel, 1994:464).



Gambar 2.1 Perbedaan mesin diesel dan mesin otto
Sumber: Thermodynamics, Cengel (1994:464)

Proses injeksi bahan bakar di mesin diesel dimulai saat piston mendekati TDC dan berlanjut selama bagian pertama dari serangan daya. Oleh karena itu, proses pembakaran di mesin ini berlangsung di atas interval yang lebih panjang. Karena durasi yang lebih lama ini, proses pembakaran di siklus Diesel yang ideal didekati sebagai penambahan panas tekanan konstan proses. Sebenarnya, inilah satu-satunya proses dimana Otto dan Diesel siklus berbeda Tiga proses yang tersisa sama untuk kedua ideal siklus. Artinya, proses 1-2 adalah kompresi secara isentropik, 2-3 proses memasukkan kalor secara isobarik, 3-4 ekspansi secara isentropik, dan 4-1 adalah pembuangan kalor pada volume konstan (Thermodynamics, Cengel, 1994:464). Siklus dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Siklus Termodinamika Diesel
Sumber: Thermodynamics, Cengel (1994:464)

2.2.2 Mesin Diesel 4 Langkah

Motor diesel 4 langkah bekerja bila melakukan empat kali gerakan (dua kali putaran engkol) menghasilkan satu kali kerja. Secara skematis prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Langkah Isap

Pada langkah ini katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara mengalir ke dalam silinder.

2. Langkah Kompresi

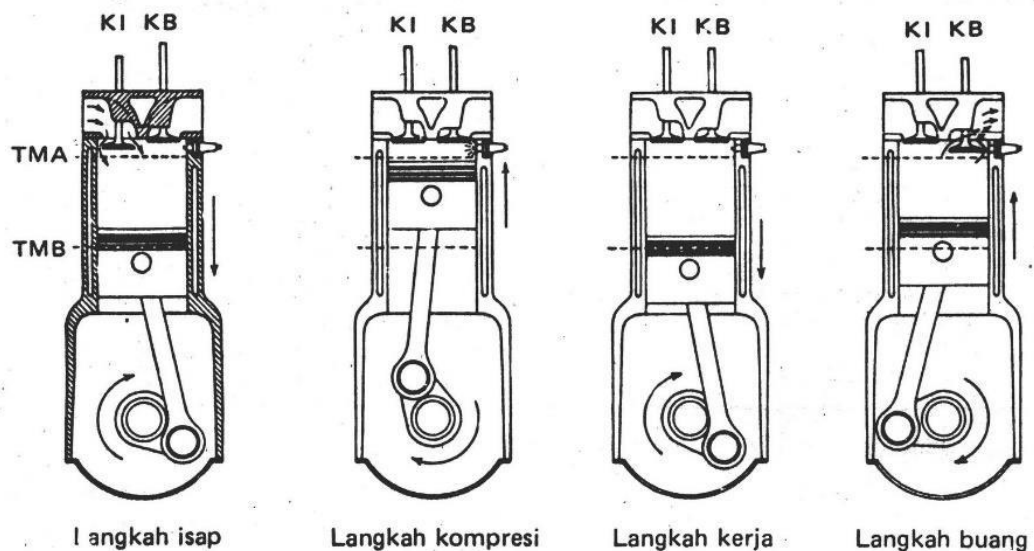
Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari titik TMB ke TMA menekan udara yang ada dalam silinder. 5° setelah mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan.

3. Langkah Ekspansi

Karena injeksi bahan bakar kedalam silinder yang bertemperatur tinggi, bahan bakar terbakar dan berekspansi menekan piston untuk melakukan kerja sampai piston mencapai TMB. Kedua katup tertutup pada langkah ini.

4. Langkah Buang

Ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Ketika piston bergerak menuju TMA sisa pembakaran terbuang keluar ruang bakar. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Skema dari langkah gerakan piston di dalam silinder pada motor bakar 4 langkah ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema motor diesel 4 langkah
Sumber: Arismunandar (2002:8)

2.2.3 Pembakaran

Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen yang kemudian membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan panas dan cahaya dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008).

Pada motor diesel minyak bakar yang disemprotkan ke dalam silinder berbentuk butir-butir cairan yang halus. Oleh karena udara di dalam silinder pada saat tersebut sudah bertemperatur dan bertekanan tinggi maka butir-butir tersebut akan menguap. Penguapan butir bahan bakar tersebut dimulai dari bagian permukaan luarnya, yaitu bagian yang terpanas. Uap bahan bakar yang terjadi itu selanjutnya bercampur dengan udara yang ada di sekitarnya. Proses penguapan itu berlangsung terus selama temperatur sekitarnya mencukupi. Jadi proses penguapan juga terjadi secara berangsur-angsur. Demikian juga dengan proses pencampurannya dengan udara. Maka pada suatu saat dimana terjadi campuran bahan bakar udara yang sebaik-baiknya, proses penyalaan bahan bakar dapat berlangsung dengan sebaik-baiknya. Sedangkan proses pembakaran di dalam silinder juga terjadi secara berangsur-angsur dimana proses pembakaran awal terjadi pada temperatur yang relatif lebih rendah dan laju pembakarannya pun akan bertambah cepat, hal itu disebabkan karena pembakaran berikutnya berlangsung pada temperatur tinggi (Arismunandar, 1996:12).

Secara umum syarat terjadinya pembakaran ada 3 yaitu bahan bakar, oksigen, dan energi aktivasi. Secara umum proses pembakaran terjadi ketika memenuhi ketiga unsur tersebut. jika terdapat salah satu dari ketiga unsur tersebut hilang maka pembakaran tidak akan terjadi atau api tidak akan muncul.



Gambar 2.4 Ilustrasi Pembakaran

Sumber : Wardana (2008, p.3)

Udara atmosfer berisi sekitar 21% volume oksigen (O_2). Sisanya yang 79% terdiri dari gas-gas lain yang sebagian besar adalah nitrogen (N_2). Jadi kita dapat menganggap udara terdiri dari oksigen 21% dan nitrogen 79%. Kerapatan udara atmosfer sedikit banyak berpengaruh pada proses pembakaran karena kerapatan udara dipengaruhi suhu dan ketinggian lokasi suatu tempat di atas permukaan laut. Berarti udara yang masuk ke mesin di lokasi berbeda dapat memiliki jumlah oksigen yang sangat berbeda.



Gambar 2.5 Proses Pembakaran Sempurna

Sumber: Kristanto (2015)

2.3 Bahan Bakar Motor Diesel

Bahan bakar adalah suatu materi yang akan diubah menjadi energi oleh reaksi eksotermal pada proses pembakaran. Kandungan utama dalam bahan bakar adalah karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan kandungan minoritas bahan bakar adalah nitrogen (N), Sulphur (S), oksigen (O_2), karbondioksida (CO_2), dan air (H_2O) (Wardana, 2008).

Bahan bakar diesel lebih berat dibanding bahan bakar bensin. Dengan kata lain, lebih banyak mengandung atom karbon dalam rantai yang lebih panjang. Secara teknis, bensin secara khas dinyatakan dengan C_8H_{18} sedang bahan bakar diesel secara khas dinyatakan dengan $C_{14}H_{30}$. Karena lebih berat, bahan bakar diesel jauh lebih stabil dibanding bensin dan menguap pada temperatur yang jauh lebih tinggi. Akibatnya, bahan bakar diesel memerlukan temperatur yang jauh lebih tinggi untuk menyala (Kristanto, 2015).

2.3.1 Bahan Bakar dan Karakteristik Solar

Minyak solar adalah suatu produk destilasi minyak bumi yang khusus digunakan untuk bahan bakar mesin Compression Ignition (udara yang dikompresi menimbulkan tekanan dan panas yang tinggi sehingga membakar solar yang disemprotkan Injector) dan di Indonesia minyak solar ditetapkan dalam peraturan Dirjend Migas No. 002/P/DM/MIGAS/2007.

Minyak solar berasal dari Gas Oil, yang merupakan fraksi minyak bumi dengan kisaran titik didih antara 2500°C sampai 3500°C yang disebut juga middle destilat. Komposisinya terdiri dari senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang ditemukan dalam minyak solar seperti parafinik, naftenik, olepin dan aromatik. Sedangkan untuk senyawa non-hidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur-unsur non-logam, yaitu sulfur, nitrogen, dan oksigen serta unsur logam seperti vanadium, nikel, dan besi.

2.3.1.1 Karakteristik Solar

Menurut kristanto (2015) karakteristik umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar diesel antara lain viskositas, angka cetana, berat jenis, nilai kalor pembakaran, volalitas, kadar residu karbon, kadar air dan sedimen, indeks diesel, titik embun dan kadar sulfur.

Syarat umum yang harus dimiliki oleh minyak solar adalah harus dapat menyala dan terbakar sesuai kondisi ruang bakar. Minyak solar sebagai bahan bakar memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh sifat-sifat seperti *Cetana Number* (CN), nilai panas, densitas, viskositas kinematik, dan titik nyala api.

1. Angka Cetana

Angka cetana menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menyala sendiri. Skala untuk angka cetana biasanya menggunakan referensi berupa campuran antara normal cetana ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) dengan *alpha methyl naphthalene* ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{CH}_3$) atau dengan *heptamethylnonane* ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$). Normal cetana memiliki angka cetana 100, *alpha methyl naphthalene* memiliki angka cetana 0, dan *heptamethylnonane* memiliki angka cetana 15. Angka cetana suatu bahan bakar biasanya didefinisikan sebagai persentase volume dari normal cetana dengan campuran tersebut.

Angka cetana yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah, dan sebaliknya angka cetana rendah menunjukkan bahan bakar baru dapat menyala pada temperatur yang relatif tinggi. Penggunaan angka cetana yang tinggi dapat mencegah terjadinya *knocking* karena begitu bahan bakar diinjeksikan kedalam silinder pembakaran, maka bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi. Jika angka cetana bahan bakar rendah, penundaan pengapian menjadi terlalu panjang hal ini bisa mengakibatkan efisiensi termal rendah dan motor beroperasi dengan kasar.

Penundaan penyalaan yang panjang dengan angka cetana dibawah 40 menghasilkan campuran bahan bakar-udara yang sangat kaya ketika pengapian terjadi. Hal ini mengakibatkan tingkat asap buangan yang tak dapat diterima (Kristanto,2015).

2. Nilai Panas

Nilai panas bahan bakar dapat diukur dengan menggunakan Bomb kalorimeter dan hasilnya dimasukkan kedalam rumus perhitungan.

$$\text{Nilai Panas} = \frac{8100C + 3400 (H-0/8)}{100} \text{ kkal/kg} \quad (2-1)$$

Nilai H,C, dan O dinyatakan dalam persentasi berat dalam setiap unsur yang terkadang dalam satu kilogram bahan bakar. Hasil perhitungan tersebut merupakan suatu nilai panas kotor (*gross heating value*) suatu bahan bakar dimana termasuk didalamnya panas *laten* dari uap air yang terbentuk pada pembakaran hidrogen dari bahan bakar. Selisih nilai panas kotor dan bersih umumnya berkisar antara 600-700 kkal/kg tergantung besar persentase hidrogen yang ikut terbakar.

3. Density

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat per satuan volume minyak solar dan satuannya yaitu kg/m³. Secara kasar nilai panas suatu bahan bakar dapat diperkirakan dari berat jenis yang bersangkutan.

Berat Jenis pada 15⁰C : 0,85; 0,87; 0,89; 0,91; 0,93

Nilai panas kotor (kkal/kg) : 10900; 10800; 10700; 10600; 10500.

Menurut spesifikasi minyak solar di indonesia mempunyai berat jenis antara 0,820 – 0.870 pada temperatur 600F, dengan demikian dapat diperkirakan mempunyai nilai panas kotor minimal 10800 kkal/kg karena semakin rendah berat jenisnya semakin tinggi nilai panas kotornya dan berdasarkan pengukuran laboratorium minyak solar berat jenisnya 0,8521 dengan panas kotor 10917 kkal/kg. Densitas yang disarankan untuk minyak solar berdasarkan *Masdent Point Refinery* untuk tahun 2000 yaitu 826 – 859 km/m3.

4. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik yaitu salah satu sifat dari cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi juga ketika adanya interaksi antar molekul cairan.

5. Titik Nyala

Titik nyala adalah suhu terendah dari suatu bahan bakar untuk membentuk uap untuk membentuk campuran yang dapat memicu api di udara.

2.3.2.2 Karakteristik Minyak Solar di Indonesia

Pada penelitian ini digunakan bahan bakar solar produk dari PT Pertamina. Solar salah satu bahan bakar mesin diesel yang paling murah namun memiliki karakteristik bahan bakar yang buruk. Salah satunya yaitu solar memiliki angka *cetane* yang rendah dibandingkan produk bahan bakar diesel yang lain. Sehingga angka *cetane* yang lebih tinggi pada biodiesel dapat memperbaiki sifat solar ini.

Tabel 2.1
Spesifikasi Solar di Indonesia

Sifat	Minimal	Maksimal	ASTM	Satuan
<i>Cetane Number</i>	48	-	D 613	-
	45	-	D 4737	-
Titik Nyala	52	-	D 93	°C
Viscosity @40°C mm/s	2	4,5	D 455	mm ² /s
Berat Jenis @40°C	815	860	D 1298 / D4052	Kg/m ³

Sumber: PT Pertamina

2.3.2 Biodiesel *Calophyllum Inophyllum*

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang dibuat dari minyak sayur, lemak hewan, atau minyak bekas melalui proses transesterifikasi dengan alkohol seperti metanol yang dapat digunakan secara langsung maupun dicampur dengan minyak diesel. Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat berpotensi besar dalam hal minyak nabati sebab berbagai macam minyak dari tumbuhan dapat diolah menjadi biodiesel. Dalam penelitian ini kita memakai biodiesel *calophyllum inophyllum*.

Calophyllum inophyllum adalah salah satu spesies tanaman mangrove dari famili *Calophyllaceae*. Tanaman ini tumbuh di pesisir pantai hampir di seluruh Indonesia, di Pulau Jawa tanaman ini biasa disebut nyamplung, sedangkan di Kalimantan biasa disebut bintangur, dan biasa disebut hatau di Ambon. Ciri-ciri tumbuhan ini antara lain, batang berkayu, bulat dan berwarna cokelat, bentuk daun tunggal, bersilang berhadapan, bulat memanjang atau bulat telur, ujung tumpul, pangkal membulat, tepi rata, pertulangan menyirip, panjang 10-21 cm, lebar 6-11 cm, tangkai 1,5-2,5 cm, mempunyai bunga yang merupakan bunga majemuk, berbentuk tandan, mempunyai buah berbentuk bulat seperti peluru, diameter 2,5-3,5 cm, warna hijau, kering menjadi cokelat, bijinya berbentuk bulat, tebal, keras, warna cokelat, pada intinya terdapat minyak berwarna kuning, mempunyai perakaran tunggang, serta tinggi pohon bisa mencapai 20 meter. Tanaman ini biasa dipanen antara bulan Juli-Desember tiap tahunnya (JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-5).

Calophyllum inophyllum memiliki kandungan lemak tidak jenuh yang lebih tinggi daripada lemak jenuh sehingga memungkinkan untuk dijadikan biodiesel. Berikut merupakan kandungan dari minyak nyamplung.

Tabel 2.2

Kandungan *Calophyllum inophyllum*

No	Jenis Asam Lemak	Presentase (%)
1	Asam lemak jenuh	29,41
	Asam Palmiat (C16:0)	14,31
	Asam Stearat (C18:0)	15,09
2	Asam lemak tidak jenuh	70,32
	Asam Palmitoleat (C16:1)	0,406
	Asam Oleat C18:1)	35,48
	Asam Linoleat (C18:2)	33,87
	Asam Linoleat (C18:3)	0,557

Sumber: Fatih Ridho Muhammad (2014)

Berikut merupakan 3 proses penting dalam pembuatan biodiesel *calophyllum inophyllum*.

1. *Degumming*

Tahap ini diawali dengan pemanasan minyak nyamplung pada suhu 800 °C kemudian dilanjutkan dengan penambahan asam fosfat sebanyak 0,3% (w/w) minyak nyamplung disertai dengan pengadukan selama 15 menit. Kemudian dilakukan pencucian menggunakan aquades hangat 400 °C serta pemisahan di dalam corong pemisah. Lapisan atas (minyak) kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 105 °C yang bertujuan mengurangi kadar air dalam minyak.

2. *Esterifikasi*

Tahap ini memiliki tujuan untuk mengkonversi asam lemak bebas (FFA) yang terkandung dalam minyak nyamplung menjadi metil ester dan air. Kadar FFA ini harus diturunkan hingga < 2% agar dapat dilanjutkan ke tahap trans-esterifikasi. Tahap ini dimulai dengan mencampur minyak dengan methanol (ratio mol minyak-metanol 1:40) dan katalis H₂SO₄ sebanyak 13% (v/v) didalam reaktor labu leher satu. Kemudian melakukan pemanasan didalam oven microwave selama 60 menit disertai pengadukan. Setelah melalui proses pemanasan, dilakukan pemisahan antara methanol,minyak dan katalis menggunakan corong pemisah, lapisan atas berupa methanol yang dapat dimurnikan lagi dan lapisan bawah adalah campuran minyak dan metil ester yang selanjutnya dilakukan pencucian dengan aquades hangat. Langkah terakhir adalah

proses pemanasan dalam oven bersuhu 105 °C dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dalam minyak.

3. Transesterifikasi

Trans-esterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol (pada saat ini sebagian besar produksi biodiesel menggunakan methanol dikarenakan lebih ekonomis) menghasilkan metil ester asam lemak atau *Fatty Acids Methyl Esters* (FAME) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping.

Berikut ini merupakan perbandingan karakteristik biodiesel *Calophyllum Innophyllum* dengan SNI 04- 7182-2006.

Tabel 2.3

Perbandingan biodiesel *Calophyllum Innophyllum* dengan SNI 04- 7182-2006.

No	Parameter	Satuan	Metode Uji	Nilai	Biodiesel Nyamplung
1	Massa Jenis pada 40 C	Kg / m ³	ASTM D 1298	850-890	888,6
2	Viskositas Kinematik pada 40 C	mm ² /s	ASTM D 445	2,3-6,0	2,724
3	Bilangan Setana	-	ASTM D 613	Min 51	71,9
4	Titik Nyala (Mangkup Tertutup)	C	ASTM D 93	Min 100	151
5	Titik Kabut	C	ASTM D 2500	Maks 18	38
6	Korosi Kepingan Tembaga (3 jam pada 50 C)	-	ASTM D 130	MAKS 3	1b
7	Residu Karbon Dalam Contoh Asli Dalam 10% Ampas Destilasi	% massa	ASTM D 4350	Maks 0,05 Maks 0,03	-0,434
8	Air Sedimen	% Volume	ASTM D 1796	Maks 0,05	0
9	Suhu Destilasi 90%	C	ASTM D 1160	Maks 360	340
10	Abu tersulfatkan	% massa	ASTM D 874	Maks 0,02	0,026
11	Belarang	ppm-m	ASTM D 1266	Maks 100	16
12	Fosfor	ppm-m mg-	ASTM D 1091	Maks 10	0,223
13	Bilangan Asam	KOH/gr	AOCS Cd 3d-63	Maks 0,8	0,76
14	Gliserol Total	% massa	AOCS Ca 14- 56 SNI 04-7182-	Maks 0,24	0,232
15	Kadar Ester Alkil		2006	Min 96,5	96,99
16	Bilangan Iodium		AOCS Cd 1-25	Maks 115	85

Sumber: Bustomi ,dkk (2009:60)

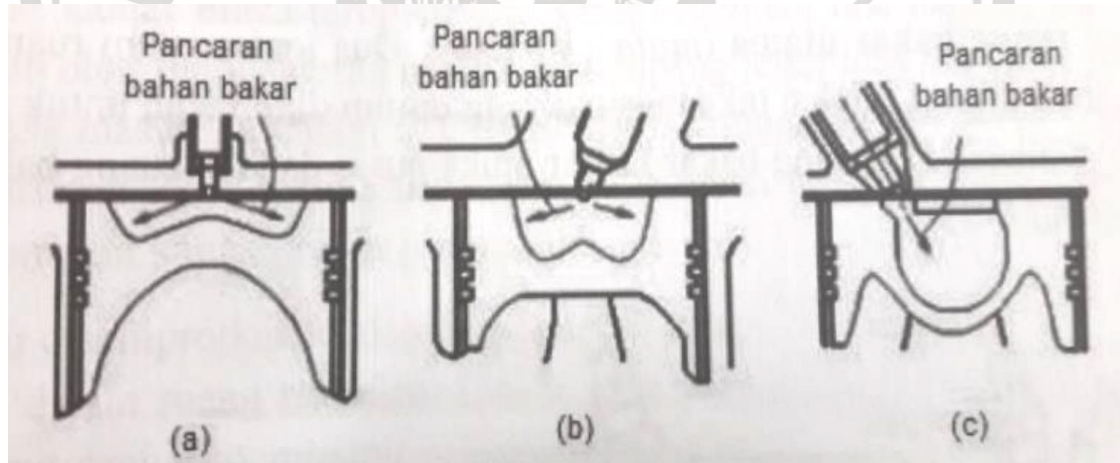
2.4 Ruang Bakar

Ruang bakar adalah area di dalam silinder di mana campuran bahan bakar/udara dimampatkan dan kemudian dinyalakan. Ruang bakar ini dibatasi oleh kepala silinder dan kepala torak dengan posisi torak di TMA pada langkah kompresi. Pada mesin diesel, kepala silinder biasanya datar dan ruang bakar terbentuk di kepala piston, meskipun beberapa mesin diesel memiliki ruang pra-pembakaran di kepala silinder.

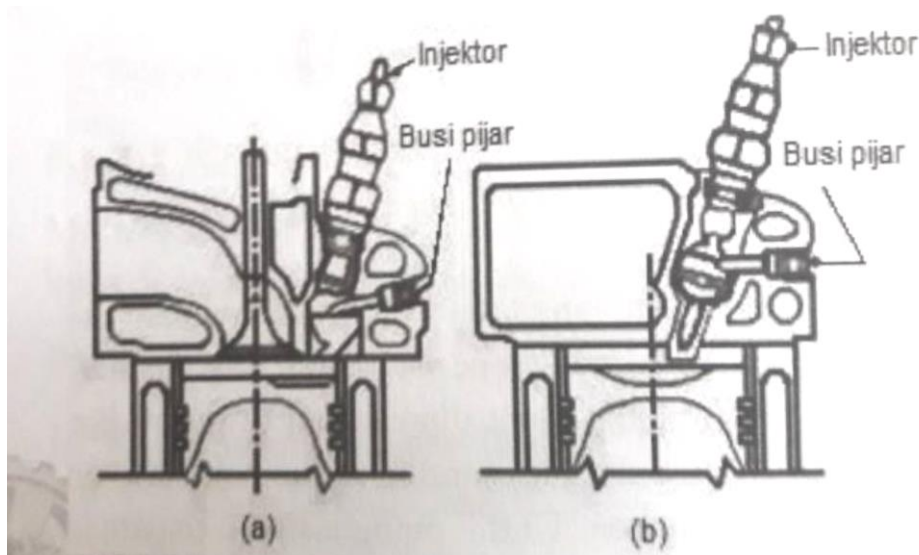
Ruang bakar yang lebih kecil menghasilkan rasio kompresi lebih tinggi dan karenanya akan menghasilkan tenaga lebih besar. Kompresi yang lebih tinggi juga menciptakan suhu yang lebih tinggi.

Berdasarkan kontruksi ruang bakarnya, motor diesel dibedakan menjadi:

1. Motor diesel injeksi langsung (*Direct Injection, DI*) dengan ruang bakar terbuka tunggal, dimana bahan bakar diinjeksikan secara langsung ke dalam ruang bakar.
2. Motor diesel injeksi tak langsung (*Indirect Injection, IDI*), di mana ruang bakar dibagi menjadi dua : ruang bakar utama (yang diposisikan di atas torak) dan ruang bakar kamar muka (*prechamber*) di mana kedua ruang ini dihubungkan melalui nosel dengan satu orifis atau lebih. Bahan bakar diinjeksikan ke ruang bakar kamar muka.



Gambar 2.6 Nosel Injektor dan Beberapa Jenis Ruang Bakar Injeksi Langsung
Sumber: Kristanto (2015)



Gambar 2.7 Nosel injektor dan beberapa jenis ruang bakar injeksi tak langsung
Sumber: Kristanto (2015)

Pada penelitian ini kami menggunakan mesin diesel injeksi langsung. Terdapat beberapa keuntungan dari injeksi langsung antara lain:

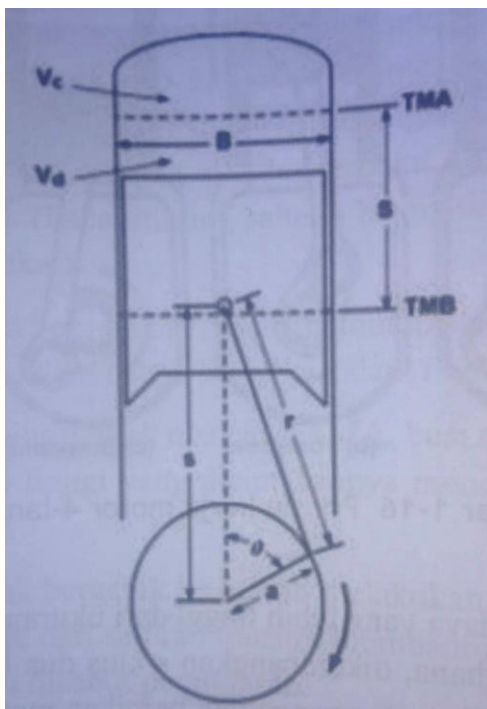
1. start awal lebih mudah karena tidak membutuhkan busi pijar (*glow plug*)
2. Bentuk ruang bakar sederhana
3. Efisiensi termal rendah
4. Konsumsi bahan bakar rendah
5. Cocok untuk diesel yang memiliki daya yang besar

Sedangkan beberapa kerugiannya adalah:

1. Membutuhkan pompa injeksi yang bertekanan tinggi
2. Kualitas bahan bakar harus tinggi
3. Karena harus menginjeksikan bahan bakar ke beberapa arah secara radial, maka dibutuhkanlah tipe nosel berlubang banyak dengan diameter yang kecil, agar bahan bakar memiliki tekanan yang tinggi.
4. Injektor rawan tersumbat.

2.5 Rasio Kompresi

Beberapa parameter penting yang berhubungan dengan geometri motor torak diantaranya adalah diameter silinder (B), radius engkol, panjang langkah (*stroke*) torak, S , yang menyatakan pergerakan torak dari TMA ke TMB dan sebaliknya, volume langkah (VL), yang menyatakan volume yang dipindahkan oleh torak ketika bergerak sepanjang satu langkah dan volume sisa (*clearance volume*), V_c , yang menyatakan volume silinder minimum ketika torak di TMA.



Gambar 2.8 Geometri Torak dan Silinder
Sumber: Kristanto (2015)

Langkah atau volume *displacement*, V_d , atau volume langkah V_L , adalah volume yang dipindahkan oleh torak ketika bergerak dari TMB ke TMA:

$$V_L = V_{TMB} - V_{TMA} \quad (2-2)$$

Sumber: Kristanto (2015)

Untuk satu silinder dinyatakan dengan

$$V_L = \left(\frac{\pi}{4}\right) B^2 S \quad (2-3)$$

Untuk motor dengan N silinder,

$$V_L = N_c \left(\frac{\pi}{4}\right) B^2 S \quad (2-4)$$

Dimana:

B = Diameter silinder (mm)

S = Panjang langkah (mm)

N_C = Jumlah silinder motor

Volume silinder minimum, dimana jika torak berada di TMA maka disebut dengan volume sisa atau volume *clearance*, V_c atau

$$V_c = V_{TMA} \quad (2-5)$$

$$V_{TMB} = V_c + V_L \quad (2-6)$$

Rasio Kompresi yaitu:

$$R_c = \left(\frac{V_{TMB}}{V_{TMA}}\right) = \left(\frac{V_c + V_L}{V_c}\right) \quad (2-7)$$

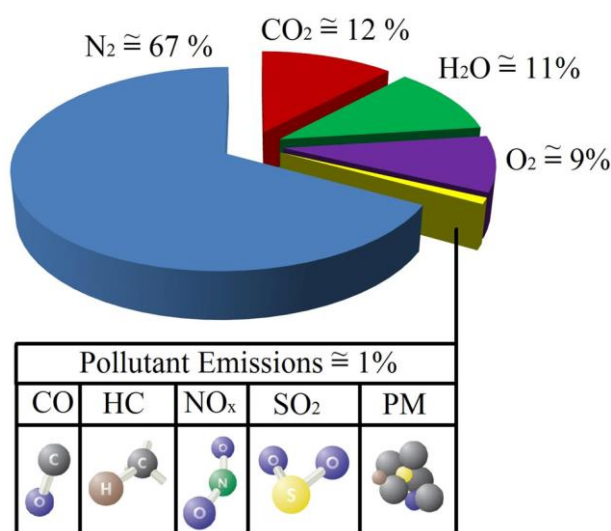
Pada umumnya motor bensin memiliki rasio kompresi antara 8-11 sedangkan pada motor diesel 12-24. Rasio kompresi merupakan suatu perbandingan antara volume titik mati bawah (TMB) dengan volume *clearance* atau volume ruang bakar di atas torak ketika torak berada pada posisi TMA. Sehingga besar kecilnya rasio kompresi dapat diatur pada volume ruang bakar yang ditambahi gasket pada head nya.

Gnanamoorthi (2014) menyatakan modifikasi dari kompresi mesin diesel akan berefek pada *ignition timing*, temperatur dan tekanan pada akhir proses kompresi. Meningkatkan rasio kompresi juga berefek pada naiknya temperatur volume udara masuk dan meningkatkan tekanan pada katup intake.

Menurut kristanto (2015) peningkatan rasio kompresi berpengaruh terhadap peningkatan tekanan pembakaran berdasarkan volume yang dipindahkan dari silinder (*swept volume*) dan berdasarkan pergerakan sudut engkol. Meningkatnya rasio kompresi motor akan meningkatkan tekanan kompresi silinder. Sehubungan dengan ini, tekanan maksimum silinder juga akan meningkat. Tekanan silinder yang lebih tinggi menyebabkan kenaikan temperatur silinder dengan peningkatan rasio kompresi yang sama. Meningkatnya temperatur silinder mengurangi periode penundaan pengapian untuk kecepatan motor yang sudah ditetapkan. Jadi, untuk motor yang berputar pada rentang kecepatan menengah, *ignition timing* semakin mendekat TMA jika rasio kompresi meningkat. Jika rasio kompresi ditingkatkan lebih lanjut, *volume clearance* silinder berkurang. Hal ini mengakibatkan menurunnya efisiensi volumetrik silinder karena lebih sedikit muatan segar yang ditarik kedalam silinder per langkah. Pada saat yang sama akan terdapat penurunan residu gas buang silinder.

2.6 Gas Buang

Kristanto (2015) berpendapat dari setiap proses pembakaran selalu dihasilkan produk pembakaran yang disebut emisi buang. Emisi gas ini mencemari lingkungan dan memberikan kontribusi terhadap pencemaran udara. Empat produk emisi utama motor pembakaran dalam adalah hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO_x) dan partikulat padat. Berikut merupakan persentase emisi yang kemungkinan di keluarkan oleh mesin diesel dapat dilihat pada gambar 2.9. pada gambar itu terlihat bahwa kandungan emisi mesin diesel terbanyak dikeluarkan oleh N₂ karena senyawa ini tidak ikut terbakar berbeda dengan C dan O. Serta N₂ didapat dari udara bebas sebesar lebih kurang 72% N₂ dan 28% O₂. Serta kandungan emisi polutan yang berada pada mesin diesel memiliki persentase terendah yaitu 1 % dari kandungan emisi total.



Gambar 2.9 Persentase Kandungan Emisi pada Mesin Diesel
Sumber: Majewski (2006)

Pada permasalahan gas buang ini terdapat dua macam solusi. Jika kita melihat dari sisi mesin diesel maka diperlukan peningkatan teknologi pada *engine* sehingga dapat mengontrol keluarnya gas buang yang dihasilkan. Jika kita melihat dari sisi bahan bakar maka kita harus memakai bahan bakar yang dapat menghasilkan jelaga seminimal mungkin sehingga resiko akan empat produk emisi tadi semakin sempit

Penelitian yang akan kami lakukan yaitu menguji gas buang dari *engine* diesel Yanmar L70N dengan menggunakan bahan bakar *Calophyllum Innophyllum*. sehingga kita dapat membandingkan banyaknya Hidrokarbon (HC), Karbon monoksida (CO), Karbondioksida (CO₂), dan opasitas emisi mesin diesel.

1. Hidrokarbon (HC)

Merupakan Ikatan kimia dari *Carbon* (C) dan *Hydrogen* (H). Sumber Penyebabnya diantaranya kendaraan bermotor 57%, Penyulingan minyak dan generator power 43% Sumber utamanya adalah gas buang dari kendaraan atau macam-macam alat pembakaran dan lain-lainnya. Seperti *Refinering Oil* (Pengilangan minyak) karena pemakaian pelarut.

Molekul bahan bakar yang tidak berhasil terbakar ketika proses kerja berlangsung dan partikel kecil yang tidak seimbang yang terbentuk dari sebagian bahan bakar. Hidrokarbon yang tidak terbakar dapat terbentuk tidak hanya karena campuran udara bahan bakar yang gemuk, tetapi bisa saja pada campuran kurus bila suhu pembakarannya rendah dan lambat serta bagian dari dinding ruang pembakarannya yang

dingin dan agak besar. Motor memancarkan banyak hidrokarbon jika baru saja dihidupkan atau berputar bebas atau pemanasan. Pemanasan dari udara yang masuk dengan menggunakan gas buang meningkatkan penguapan dari bahan bakar dan mencegah pemancaran hidrokarbon. Jumlah hidrokarbon tertentu selalu ada dalam penguapan bahan bakar ditangki bahan bakar dan dari kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dari torak masuk kedalam poros engkol yang disebut dengan *blow by gasses* (gas lalu). Pembakaran tak sempurna pada kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Hal ini pada motor diesel terutama disebabkan oleh campuran lokal udara bahan bakar tidak dapat mencapai batas mampu bakar.

2. Karbon Monoksida (CO)

Tidak berwarna dan tidak beraroma. Tidak mudah larut dalam air perbandingan berat terhadap udara (1 Atm °C) didalam udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi CO₂ (Karbon Dioksida). Berasal dari kendaraan bermotor 93% Power Generator 7% terutama sumbernya adalah pada kendaraan disaat *idling*.

Terbentuk ketika oksigen yang ada dalam proses pembakaran tidak cukup memadai untuk bereaksi dengan semua senyawa karbon yang akan dikonversi menjadi CO₂ atau bisa juga akibat ketidaksempurnaan dari campuran udara dengan bahan bakar disebabkan siklus dari *engine* yang terlalu pendek. Menurut Kristanto (2015) karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan beracun ketika dihisap. Jika masuk ke paru-paru, CO mampu bereaksi dengan *Haemoglobin* (HB) dalam darah, dan membentuk senyawa yang dapat menghalangi darah menyerap oksigen. CO biasanya dihasilkan ketika oksigen yang tersedia tidak cukup mengubah seluruh karbon menjadi karbondioksida (CO₂).

3. Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida merupakan salah satu kandungan emisi gas buang yang diharapkan dari proses pembakaran. Pada reaksi pembakaran atom C yang lepas ikatannya dari rantai hidrokarbon dapat teroksidasi secara sempurna sehingga menghasilkan CO₂. Semakin tinggi kandungan CO₂ merupakan indikasi dari reaksi pembakaran yang mendekati sempurna.

4. Opasitas

Opasitas salah satu parameter dari emisi kendaraan yang mengukur kepekatan dari gas buang yang dikeluarkan. Sehingga opasitas pada mesin diesel yang rendah merupakan

salah satu indikasi pembakaran yang mendekati sempurna. Alat yang digunakan untuk mengukur opasitas yaitu diesel *smoke analyzer*.

2.7 *Stargas Analyzer* dan *Diesel Smoke Analyzer*

Pembakaran yang sempurna dapat dianalisa dari kandungan gas sisa pembakaran yang dihasilkan oleh suatu motor bakar. Untuk menganalisa gas sisa pembakaran itu dapat kita gunakan alat yang bernama *Stargas Analyzer*. *Stargas Analyzer* merupakan suatu alat instrumentasi yang berfungsi untuk mengukur komposisi gas. Adapun gas yang diukur yaitu CO, CO₂, O₂, HC, putaran motor (rpm), temperatur mesin dan udara berlebih (*excess air*) yang keluar dari saluran gas buang. Alat ini telah dilengkapi dengan mesin printer, sehingga data hasil pengujian dapat langsung dicetak. Selain itu alat ini juga memiliki sistem *autozero* sehingga data pengujian bisa lebih akurat.

Indikasi pembakaran yang mendekati sempurna dapat diukur juga dengan menggunakan *Diesel smoke analyzer*. Dalam pemakaiannya alat ini dibantu dengan kompresor untuk mengalirkan gas buang ke saluran yang mengarah ke alat uji sehingga kepekatan gas buang dapat diukur dalam skala persentase.

2.8 Hipotesis

Semakin meningkatnya rasio kompresi pada motor diesel maka semakin meningkatnya tekanan dan temperatur pembakaran pada ruang bakar sehingga bahan bakar campuran antara solar dan biodiesel *calophyllum innophyllum* dapat terbakar secara sempurna. Sehingga meminimalisir kandungan emisi CO dan HC yang merupakan produk pembakaran yang tidak sempurna. Selain itu semakin tinggi kandungan biodiesel pada campuran bahan bakar dalam rasio kompresi yang sama, akan menurunkan kandungan emisi CO dan HC dan meningkatkan CO₂ yang dihasilkan. Serta opasitas emisinya semakin menurun. Hal ini disebabkan terkandung (*bounded Oksigen*) sehingga ikut bereaksi dan membuat pembakaran semakin sempurna .

