

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Energi fosil minyak bumi, merupakan sumber energi utama dan sumber devisa negara. Namun cadangan minyak bumi yang dimiliki Indonesia jumlahnya sangat terbatas. Sementara itu, kebutuhan manusia akan energi (bahan bakar) semakin meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Oleh karenanya berbagai upaya telah dilakukan untuk mencari bahan bakar alternatif yang memiliki sifat dapat diperbaharui (*renewable*) dan ramah lingkungan.

Timu, *et al.* (2012) melakukan penelitian dan pengujian tentang analisa penggunaan minyak jarak pagar sebagai campuran bahan bakar biodiesel. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah dari nilai torsi, pencampuran variasi bahan bakar biodiesel terhadap minyak jarak pagar (*jatropha oil*) memiliki sifat karakter yang baik. Dimana pada putaran mesin 2053 rpm dan mendapat beban sebesar 5 kg nilai torsi bisa dikatakan tinggi. Dari segi bahan bakar spesifik didapat bahwa pemakaian bahan bakar pada putaran 2053 rpm baik jika menggunakan bahan bakar campuran biodiesel dari minyak jarak pagar (*jatropha oil*) dengan berbagai persentase, namun jika bergerak pada putaran tinggi lebih baik jika menggunakan bahan bakar biodiesel murni. Kemudian dilihat dari temperature bahwa penggunaan campuran bahan bakar biodiesel dengan minyak jarak pagar (*jatropha oil*) mengalami penurunan yang cenderung kecil dibanding dengan campuran bahan bakar biodiesel murni memiliki nilai temperature rata - rata diatas 50°C. Selanjutnya pengaruh terhadap torsi dan daya adalah pada putaran mesin tinggi daya mesin paling tinggi dihasilkan oleh biodiesel murni 100%. Sedangkan untuk pencampuran bahan bakar biodiesel dengan minyak jarak pagar (*jatropha curcas oil*) baik yang 90% biodiesel + 10% minyak jarak pagar (*jatropha curcas oil*) sampai 70% berbanding 30% mengalami penurunan daya mesin, sehingga daya yang dihasilkan pada penggunaan bahan bakar dengan perbandingan tersebut lebih rendah.

Darmanto, (2006) melakukan penelitian tentang pembuatan biodiesel dari minyak kelapa. Minyak biodiesel yang bersumber dari minyak kelapa dapat dibuat secara mudah dengan cara mereaksikan (mencampurkan) minyak kelapa dengan methanol dan katalis NaOH yang akan menghasilkan biodiesel dan gliserin. Untuk tingkat keberhasilan dalam proses pembuatan biodiesel dipengaruhi oleh putaran pengadukan, temperatur pemanasan dan kadar katalis serta kandungan air ketika pembuatan sodium metoksid. Selanjutnya bahan bakar biodiesel minyak kelapa mempunyai potensi besar untuk di aplikasikan sebagai bahan bakar pengganti minyak diesel/solar. Flash point dari biodiesel kelapa lebih rendah dari pada solar. Nilai kalor bahan bakar biodiesel minyak kelapa setara dengan solar.

Ratnawati *et all*, (2012) melakukan penelitian tentang pemanfaatan *cocodiesel* berbahan baku minyak kelapa sebagai bahan bakar mesin diesel menggunakan mesin diesel stationer Mitsubishi Model D2700. Hasil dari penelitian yang dilakukan untuk konsumsi *cocodiesel* spesifik (kg/kW.jam) pada berbagai beban dan jam operasi, beban 75% pada awalnya (0 jam hingga 50 jam) pembakaran *cocodiesel* belum optimal. Pembakaran juga cenderung tidak optimal jika beban yang diberikan terlalu rendah. Beban mesin dinyatakan dalam persen terhadap *output* maksimum generator. Pada beban 25%, 50% dan 75% menunjukkan daya sekitar 3 kW, 5 kW dan 10 kW. Untuk Pembakaran *cocodiesel* paling efisien terjadi pada beban 75 %, hal ini berlaku untuk semua jam operasi yaitu : 0 jam, 50 jam dan 100 jam. Konsumsi *cocodiesel* spesifik paling rendah terjadi setelah mesin beroperasi selama 100 jam.

Kurdi, (2006) melakukan penelitian tentang uji kinerja (*performance*) mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel dari bahan baku minyak jarak. Pengujian awal dilakukan dengan melakukan pembuatan biodiesel dari minyak jarak. Minyak jarak dengan metanol ditetapkan rasio sebesar 5:1. Biodiesel yang dihasilkan dari reaksi metanolisis ini kemudian diuji sifat fisiknya antara lain kandungan energi, viskositas dan angka setana (*Cetane Number*). Hasil pengujian sifat fisik, didapatkan nilai kandungan energi pada biodiesel 9.4% lebih kecil dibandingkan dengan minyak solar, sedangkan hasil dari pengujian biodiesel pada mesin diesel menunjukkan adanya penurunan daya sebesar 4.5% pada putaran 3500

rpm dengan bahan bakar B10. Penurunan daya tersebut terjadi karena kandungan energi yang terdapat pada B10 lebih rendah sebesar 9.4% dibanding minyak solar. Meskipun kandungan energi yang terdapat pada biodiesel lebih rendah dari minyak solar, namun minyak solar yang dicampurkan dengan biodiesel pada komposisi tertentu dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik dari minyak solar murni itu sendiri. Diketahui bahwa efisiensi bahan bakar campuran minyak solar - biodiesel lebih baik 1.7% dibandingkan minyak solar murni, dengan efisiensi terbaiknya berada pada putaran mesin sekitar 2500 rpm.

Fajar, *et al.* (2006) melakukan penelitian tentang efek komposisi biodiesel terhadap parameter kualitas bahan bakar dan unjuk kerja mesin perbandingan dengan biodiesel sawit dengan biodiesel jarak *castor*, pengujian awal yang dilakukan dengan mencampur B30 sawit (solar 70% + methyl ester sawit 30%) dan B30 jarak (solar 70% + methyl ester jarak 30%). Hasil pengujian secara umum bahan bakar B-30 sawit dan B-30 jarak *castor* mengeluarkan emisi gas buang yang lebih rendah dibandingkan dengan solar, (*smoke*, *hidrokarbon* dan *karbonmonoksida*) kecuali emisi NOx yang sedikit lebih tinggi. Terbentuknya NOx kemungkinan disebabkan oleh adanya ikatan rangkap, kandungan oksigen berlebih dan tingginya viskositas dari biodiesel, dan meskipun viskositas biodiesel jarak *castor* sangat tinggi ternyata tidak terlalu berpengaruh besar terhadap unjuk kerja mesin maupun emisi gas buang. Keunggulan dari biodiesel jarak *castor* yang penting adalah dapat meningkatkan sifat pelumasan (asam lemak *ricinoleat*) dan memiliki sifat aliaran yang baik pada temperatur rendah.

Sudarmanta dan Sungkono, (2005) meneliti tentang transesterifikasi *crude palm oil* dan uji karakteristik semprotan menggunakan injektor motor diesel penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan menggunakan simulasi komputer. Eksperimental dilakukan untuk mendapatkan biodiesel hasil transesterifikasi serta uji karakteristik semprotan bahan bakar solar dan biodiesel, sedangkan simulasi komputer untuk visualisasi dari semprotan bahan bakar. Simulasi komputer dengan *computational fluid dynamics* untuk daerah pemodelan daerah semprotan dan software *FLUENT 6.0* untuk simulasi semprotan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodiesel hasil transesterifikasi, dalam hal ini

viskositas, densitas serta flash point masih memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding minyak solar. Uji karakteristik semprotan secara eksperimental maupun simulasi komputer menunjukkan bahwa bahan bakar dengan viskositas yang lebih tinggi menghasilkan karakteristik pengabutan atau atomisasi yang kurang baik, yaitu berupa evaporasi yang miskin.

Hadi, *et all*, (1999) melakukan penelitian tentang Dampak Liberalisasi Perdagangan Terhadap Profitabilitas dan Keunggulan Komparatif Agroindustri Minyak Kelapa Indonesia. Di antara negara-negara pengeksport minyak kelapa, Indonesia secara konsisten menempati urutan kedua setelah Filipina. Pangsa ekspor minyak kelapa sendiri, di antara 11 jenis minyak nabati di pasar dunia menempati urutan kelima setelah minyak sawit, minyak kedele, minyak biji bunga matahari dan minyak *rape/mustard*. Laju peningkatan volume ekspor dunia minyak kelapa beradajauh di bawah minyak kedele dan minyak kastor, tetapi sedikit di bawah minyak sawit. Laju peningkatan ekspor minyak kelapa juga lebih cepat dibanding laju peningkatan produksi yang menyebabkan pengurusan stok. Hal tersebut menunjukkan bahwa minyak kelapa masih mempunyai prospek pasar yang cukup baik. Penggantian minyak kelapa oleh konsumen dengan jenis minyak lain tidak mudah karena alasan selera seperti warna dan aroma minyak kelapa yang lebih unggul dibanding minyak lainnya dan alasan lain seperti penggunaan santan untuk kebutuhan masak dan pembuatan makanan jadi. Demikian pula, penggantian tanaman kelapa oleh petani tidak mudah karena berbagai limitasi dalam aspek budaya, kecocokan agroekologi, modal, dan lain-lain.

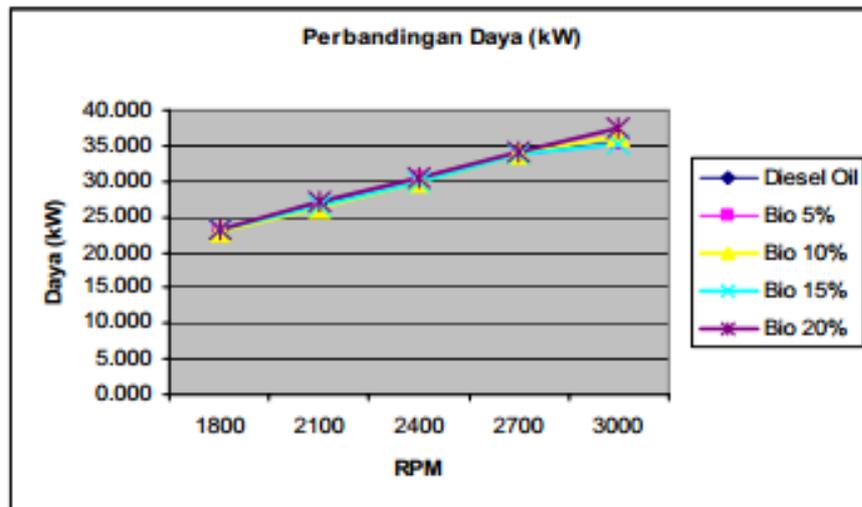
Julianti, (2006) melakukan penelitian tentang Pengembangan Minyak Jarak Pagar sebagai Biodisel. Jarak pagar (*Jatropha curcas*) merupakan tanaman yang sejak 50 tahun lalu sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah untuk lampu petromaks. Saat ini, di tengah kondisi ketersediaan bahan bakar minyak yang berasal dari minyak bumi semakin menipis serta harganya yang semakin meningkat, maka penggunaan jarak pagar sebagai sumber bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah maupun solar (biodisel) akan sangat membantu mengatasi masalah ini. Proses pengolahan minyak biji jarak dari biji buah jarak meliputi pengeringan buah jarak untuk mengeluarkan biji dari buah

jarak, pengeringan biji jarak hingga diperoleh kadar air biji 6%, pemisahan kulit biji (cangkang) dengan daging biji yang dapat dilakukan secara manual atau menggunakan mesin pemisah biji jarak. Sebelum dilakukan pengepresan biji jarak, maka dilakukan pemanasan pendahuluan berupa pemanasan dengan menggunakan oven pada suhu 105o C selama 30 menit. Dengan cara ini akan dihasilkan minyak jarak dengan mutu yang baik. Kemudian dilakukan penghancuran daging biji, pengepresan minyak dengan menggunakan mesin pengepres dan penyaringan minyak.

Suhartanta, *et all*, (2006) melakukan penelitian tentang Pemanfaatan Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel. Minyak biodiesel yang dikembangkan sebagai bahan bakar mesin diesel yang berasal dari minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas*) memiliki karakteristik yang sama bahkan pada beberapa item terutama pada hasil perhitungan nilai kalor memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan solar. Adapun hasil uji sifat fisik biodiesel yaitu :

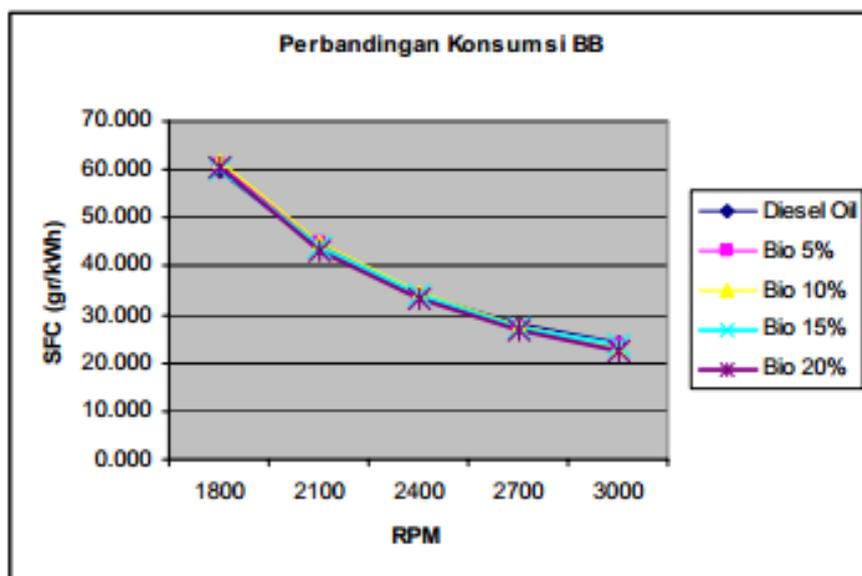
Table 2.1 Hasil uji karakteristik bahan bakar

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan				Metode Pemeriksaan
		Diesel Oil 100%	Bio Diesel 100%	Bio Diesel 5%	Bio Diesel 10%	
1	Specific Gravity at 60/60°F	0.8519	0.8736	0.8538	0.8549	ASTM D 1298
2	Flash Point P.M.c.c., °F	165	174	166	170	ASTM D 93
3	Viscosity Kinematic 40°C cSt	3.478	9.4221	3.634	3.777	ASTM D 445
4	Viscosity Kinematic 100°C cSt	3.614	-	-	-	ASTM D 445
5	Conradson Carbon Residue, % wt	0.005	0.558	0.022	0.03	ASTM D 189
6	Water Content % vol	Trace	0.2	Trace	Trace	ASTM D 95
7	Cloud Point °C	4	10	5	5	ASTM D 97
8	Copperstrip Corrosion (3hrs/100°C)	1b	1b	1b	1b	ASTM D 130
9	Sediment, % wt	0.014	0.048	0.02	0.018	ASTM D 473
10	Distillation 90% vol evap to °C	340	337	346	346	ASTM D 86
11	Gross Heating value, Kcal/ltr	9256	9423	9271	9279	Kalkulasi/ Hitungan



Gambar 2.1 Grafik perbandingan daya pada berbagai campuran bio diesel

Sementara dari grafik di atas dapat diamati besarnya daya yang dihasilkan oleh hasil pembakaran bahan bakar biodiesel pada berbagai tingkat rpm dan berbagai fraksi diperoleh hasil yang lebih baik dari pada minyak diesel murni (100%) terutama pada fraksi 20%, hal ini dapat dipahami besarnya daya ini akan semakin baik terutama apabila didapatkan torsi yang baik pula.



Gambar 2.2 Grafik konsumsi bahan bakar pada berbagai campuran biodiesel

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui besarnya konsumsi bahan bakar spesifik pada semua fraksi bahan bakar biodiesel berhimpitan dengan bahan bakar

diesel murni, sementara konsumsi bahan bakar terendah terdapat pada bahan bakar biodiesel dengan fraksi 20%. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa bahan bakar biodiesel minyak jarak memiliki kecenderungan yang lebih baik jika digunakan pada mesin diesel.

Dari beberapa jurnal yang telah meneliti biodiesel minyak jarak dan minyak kelapa sangat baik untuk dijadikan biodiesel pengganti bahan bakar solar. Dan karena penelitian unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel campuran minyak jarak dan minyak kelapa belum pernah dilakukan maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan penelitian-penelitian biodiesel yang pernah dilakukan.

2.2 LANDASAN TEORI

Landasan teori merupakan teori yang digunakan untuk menjelaskan tentang variabel yang akan digunakan untuk penelitian atau yang akan diteliti. Adapun beberapa variabel yang akan digunakan untuk penelitian sebagai berikut :

2.2.1 Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar minyak adalah bahan bakar mineral cair yang di peroleh dari hasil tambang pengeboran sumur - sumur minyak, dan hasil pengeboran yang diperoleh di sebut dengan minyak mentah atau *crude oil*. Hasil dari pengolahan minyak mentah ini akan menghasilkan bermacam bahan bakar yang memiliki kualitas yang berbeda - beda. Bahan bakar minyak di Indonesia merupakan bahan bakar yang pemakaiannya telah lama kita pergunakan dalam kehidupan sehari - hari.

2.2.2 Biodiesel

Biodiesel merupakan bentukan dari rantai panjang asam lemak dengan alkohol. Pada umumnya asam lemak tersebut berasal dari minyak nabati. Biodiesel dihasilkan melalui reaksi antara minyak nabati dengan *methyl alcohol* atau *ethyl alcohol* dalam suatu lingkungan yang diberi katalis. Katalis yang biasa dipakai adalah *pottassium hydroxide* (KOH) atau *sodium hydroxide* (NaOH). Proses kimiawi tersebut dinamakan transesterifikasi yang hasil akhirnya adalah biodiesel dan gliserin. Secara kimiawi, biodiesel disebut *methyl ester* jika alkohol

yang digunakan adalah metanol dan *ethyl ester* jika yang digunakan etanol. Biodiesel dapat digunakan dalam bentuk murni (100 biodiesel) atau dicampur dengan minyak solar pada saat digunakan di mesin diesel. (Khurdi, 2006)

Bahan bakar biodiesel mempunyai potensi besar untuk diaplikasikan sebagai bahan bakar pengganti solar dan *flash point* dari biodiesel lebih rendah dari pada solar. Biodiesel dapat dicampur dengan minyak solar ataupun dengan minyak diesel. Biodiesel dapat disintesis dari minyak jelantah kelapa sawit melalui dua tahapan reaksi yaitu reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Biodiesel diproses berdasarkan reaksi kimia yang disebut dengan transesterifikasi untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah katalis basa, baik Kalium Hidroksida atau Natrium Hidroksida.

Bahan bakar dengan viskositas tinggi, seperti minyak nabati, akan menghasilkan butiran yang lebih besar di dalam ruang bakar sehingga pembakaran tidak sempurna. Oksidasi karena tidak sempurnanya pembakaran akan terakumulasi menempel di sekitar katup, ujung injektor dan pada muka piston serta ring. Akumulasi tersebut dapat menyebabkan mesin tidak dapat beroperasi secara normal atau bahkan berhenti.

Angka cetane bervariasi antara 45 - 50 untuk minyak solar, sedangkan biodiesel biasanya antara 50 - 60. Kualitas penyalaan akan mempengaruhi performa mesin, pengoperasian awal atau *starting*, pemanasan dan suara mesin yang kasar. Angka cetane berhubungan dengan sifat mudah terbakarnya bahan bakar. Bahan bakar dengan angka cetane tinggi akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna, dan berasap jika penyalaan terlalu dini sehingga tidak ada cukup waktu untuk terjadinya percampuran bahan bakar dengan udara untuk pembakaran yang sempurna.

2.2.3 Minyak Jarak (*Jatropha Curcas Oil*)

Minyak dari tanaman jarak pagar termasuk minyak lemak. Minyak lemak yang menjadi bahan baku biodiesel adalah bahan bakar terbarukan, karena berasal dari tumbuh - tumbuhan. Di Indonesia banyak sekali terdapat tumbuh - tumbuhan penghasil minyak lemak. Tak kurang dari 50 jenis tumbuhan bisa diolah menjadi

sumber bahan bakar alami, contoh paling populer adalah sawit, kelapa, jarak pagar, dan kapok atau randu (Khurdi , 2006).

Minyak yang dihasilkan dari biji jarak pagar termasuk dalam minyak lemak (*fatty oil*). Minyak ini berwujud cairan bening berwarna kuning dan tidak menjadi keruh meski disimpan dalam waktu yang lama. Minyak jarak pagar juga dapat digunakan untuk pembangkit genset, kendaraan diesel dan kompor jarak pagar dengan melalui proses esterifikasi transesterifikasi.

Biodiesel yang diperoleh dari tanaman jarak berupa minyak jarak yang diperoleh dari biji jarak. Biodiesel yang dihasilkan dari tanaman Jarak Pagar merupakan minyak lemak semimulus (*semi refined fatty oil*), yang telah dibersihkan dari fosfor dan asam-asam lemak. Dalam hal ini fosfor merupakan zat yang merugikan karena mesin diesel dapat mengubah fosfor ini menjadi garam atau asam fosfat yang mengendap menjadi kerak di dalam kamar pembakaran atau terbawa keluar sebagai pencemar udara oleh emisi gas buang. Dibandingkan dengan minyak solar, biodiesel memiliki angka cetane yang lebih tinggi dan daya lumas yang lebih baik. Minyak jarak pagar memiliki angka setana 51 sedangkan solar 45. Angka setana (*cetane rating*) adalah tolak ukur kemudahan menyala atau terbakar dari suatu bahan bakar di dalam mesin diesel. Semakin tinggi angka setane semakin aman emisi gas buangnya, karena bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna, sehingga kadar emisi gas sulfur (Sox), nitrogen (NOx) dan karbon yang termasuk dalam gas - gas rumah kaca lebih rendah.

2.2.4 Minyak Kelapa (*Virgin Coconut Oil*)

Komponen minyak kelapa adalah asam lemak jenuh sekitar 90% dan asam lemak tak jenuh 10%. Asam lemak jenuh minyak kelapa dinominasi oleh asam laurat yaitu 52%, memiliki rantai karbon 12, termasuk asam lemak rantai menengah.

Karakteristik minyak kelapa yang bersifat padat pada suhu dibawah 25°C menyebabkan dapat terjadinya penyumbatan pada *filter engine*, namun pencampuran minyak kelapa dengan 50% solar dapat menurunkan suhu pematangan hingga pada suhu 15°C. Penggunaan dalam jangka waktu lama menghasilkan deposit pada injektor. Bila digunakan dalam pengawasan teknis

yang baik, minyak kelapa sangat layak digunakan secara teknis dan ekonomis. Bilangan iod dari minyak kelapa lebih rendah dari minyak lainnya, sehingga deposit hasil pembakaran minyak kelapa relatif lebih rendah.

Minyak kelapa dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif atau bahan campuran minyak solar karena minyak kelapa memiliki asam - asam yang mengandung unsur karbon sebagai salah satu komponen pembakaran dalam mesin diesel. Tiga macam asam tersebut adalah asam oleic, asam linoleic, dan asam lauric. Adapun kelebihan minyak kelapa di bandingkan minyak solar murni yaitu diantaranya berat jenis dan viskositas minyak kelapa sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar, angka setana dari minyak kelapa lebih rendah dari pada minyak solar dan nilai panas atau nilai kalor minyak kelapa relatif lebih rendah di bandingkan dengan minyak solar.

2.2.5 Minyak Solar

Minyak solar adalah suatu produk destilasi minyak bumi yang khusus digunakan untuk bahan bakar mesin *Compretion Ignation* (udara yang dikompresi menimbulkan tekanan dan panas yang tinggi sehingga membakar solar yang disemprotkan *Injector*). Minyak solar berasal dari Gas Oil, yang merupakan fraksi minyak bumi dengan kisaran titik didih antara 250°C sampai 350°C yang disebut juga *middle destilat*. Komposisinya terdiri dari senyawa hidrokarbon dan nonhidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang ditemukan dalam minyak solar seperti parafinik, naftenik, olepin dan aromatik. Sedangkan untuk senyawa nonhidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur - unsur nonlogam, yaitu sulfur, nitrogen, dan oksigen serta unsur logam seperti vanadium, nikel, dan besi.

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), *Cetana Index* (CI), nilai panas, densitas, titik anilin dan kandungan sulfur.

Cetana Index merupakan perkiraan matematis dari CN dengan basis suhu destilasi, densitas, titik anilin dan lain-lain. Apabila terdapat aditif yang bersifat

meningkatkan CN maka perhitungan CI tidak dapat langsung digunakan tetapi variabel-variabel seperti API *gravity* dan suhu destilasi harus disesuaikan karena karakteristik bahan bakar akan berubah.

2.2.6 *Flash Point* (Titik Nyala)

Flash point adalah temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar (biodiesel) akan terbakar dengan cepat (meledak). *Flash point* menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Makin tinggi *flash point*, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Makin mudah bahan bakar untuk terbakar maka *flash point*-nya menurun dan bahan bakar lebih efisien. (Wibawa, *et al*, 2015)

2.2.7 Densitas

Adalah perbandingan antara massa bahan bakar dengan volume bahan bakar. Density bahan bakar dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur, maka density semakin turun dan sebaliknya. Kenaikan temperatur akan menyebabkan volume suatu zat meningkat, sehingga densitas dengan volume suatu zat memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Densitas dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- ρ = densitas (Kg/m³)
- m = massa benda (Kg)
- v = volume benda (m³)

2.2.8 Viskositas (Kekentalan)

Kekentalan suatu bahan bakar menunjukkan sifat menghambat terhadap aliran, dan menunjukkan sifat pelumasannya pada permukaan benda yang dilumasi. Kekentalan bisa didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menggerakkan suatu bidang dengan luas tertentu pada jarak tertentu dan dalam waktu yang tertentu pula. Viskositas bahan bakar mempunyai pengaruh yang besar terhadap bentuk semprotan bahan bakar. Dimana untuk bahan bakar dengan viskositas yang terlalu tinggi akan memberikan atomisasi yang rendah sehingga

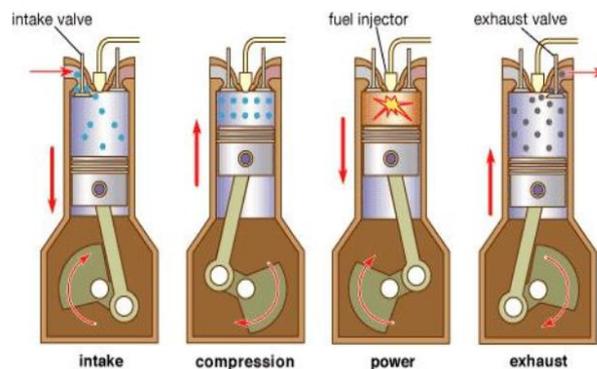
mengakibatkan mesin sulit di start. Selain itu, gas buang yang dihasilkan juga akan menjadi hitam dengan smoke density yang cukup tinggi. Jika viskositas bahan bakar terlalu rendah maka akan terjadi kebocoran pada pompa bahan bakarnya dan mempercepat keausan pada komponen pompa dan injektor bahan bakar. (Wibawa, dkk, 2015)

2.2.9 Nilai Kalori

Nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar di dalam zat asam. Makin tinggi berat jenis minyak bakar, makin rendah nilai kalori yang diperolehnya.

2.2.10 Mesin Diesel

Motor diesel adalah motor bakar dengan pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Motor diesel berbeda dengan motor bensin yang menggunakan busi untuk langkah penyalannya. Motor diesel memiliki efisiensi termal yang lebih unggul bila dibandingkan dengan motor pembakaran dalam dan motor pembakaran luar lainnya, karena motor diesel memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi.



Gambar 2.1 Prinsip kerja motor diesel empat-langkah
(Simarmata, 2017)

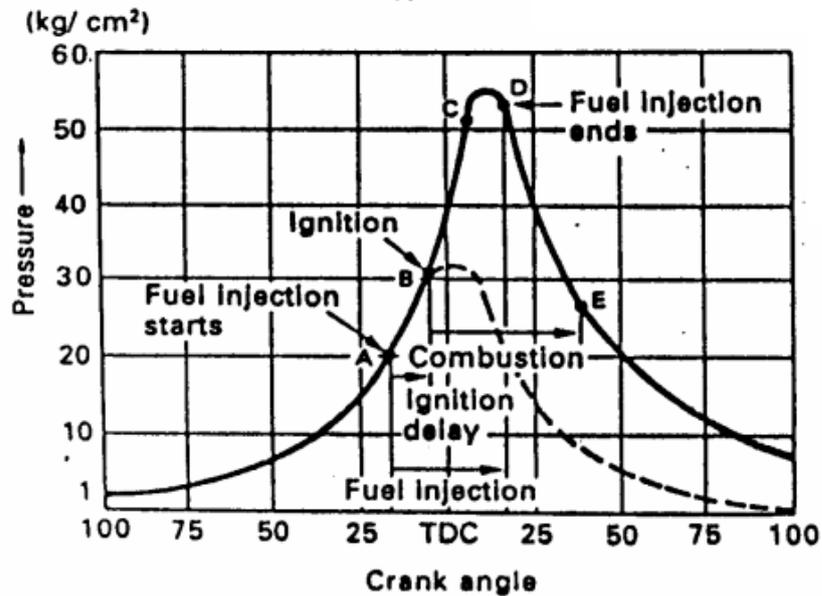
Adapun prinsip kerja motor diesel empat-langkah dimulai dari langkah isap (*intake*) dimana udara masuk kedalam silinder melalui katup masuk karena hisapan piston yang bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB) sementara katup buang tertutup pada langkah ini, kemudian selanjutnya langkah kompresi (*compression*) pada langkah ini piston bergerak dari titik mati

bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA), udara dalam silinder dikompresi sehingga mengakibatkan temperatur udara tersebut meningkat. Untuk menghindari detonasi beberapa saat sebelum piston menjelang titik mati atas (TMA), bahan bakar diesel diinjeksikan ke dalam ruang bakar melalui nozzle sehingga bahan bakar tersebut bercampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. Akibatnya terjadi sebuah ledakan yang sangat dasyat sehingga bahan bakar yang bercampur dengan udara panas tersebut terbakar dengan sendirinya dengan sangat cepat. Langkah selanjutnya yaitu langkah kerja (*Expasion*), ledakan yang terjadi menyebabkan gas dalam ruang pembakaran mengembang sehingga piston terdorong dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB) dan menghasilkan tenaga linear. Kemudian langkah terakhir yaitu langkah buang (*exhaust*), pada langkah ini katup buang terbuka dan katub masuk tertutup, piston bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas mendorong gas hasil pembakaran melalui katup buang menuju udara luar. (Simarmata, 2017)

2.2.11 Proses Pembakaran Mesin diesel

Proses pembakaran merupakan suatu proses perubahan tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanik yang terjadi pada suatu mesin. Saat proses pembakaran di dalam silinder terjadi pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen yang berasal dari udara. Gas yang dihasilkan oleh proses pembakaran mampu menggerakkan torak yang dihubungkan dengan poros engkol (*crankshaft*) oleh batang penggerak (*connecting rod*). Gerak translasi yang terjadi pada torak menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi tersebut mengakibatkan gerak naik - turun pada torak.

Proses pembakaran pada motor diesel berlangsung dalam empat periode sebagai berikut :



Gambar 2.2 Diagram proses pembakaran motor diesel
(Isuzu Training Center, 2011)

1. Periode pertama : kelambatan pembakaran / *ignition delay* (A – B)
Periode ini sering disebut dengan fase persiapan pembakaran, karena pada tahap ini bahan bakar yang diinjeksikan baru bercampur dengan udara di dalam silinder agar terbentuk campuran yang homogen sehingga mudah terbakar.
2. Periode kedua : saat perambatan api / *flame propagation* (B – C)
Campuran bahan bakar dan udara mulai terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi seolah – olah campuran bahan bakar terbakar sekaligus, sehingga mengakibatkan terjadinya letupan api pada silinder yang menyebabkan kenaikan tekanan dan temperatur secara drastis. Periode ini sering disebut periode pembakaran letup.
3. Periode ketiga : saat pembakaran langsung / *direct combustion* (C – D)
Akibat nyala api di dalam silinder, maka bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan langsung terbakar. Pembakaran pada periode ini dapat dikontrol dengan sejumlah bahan bakar yang disemprotkan, oleh

karena itu periode ini sering disebut juga dengan periode pembakaran terkontrol.

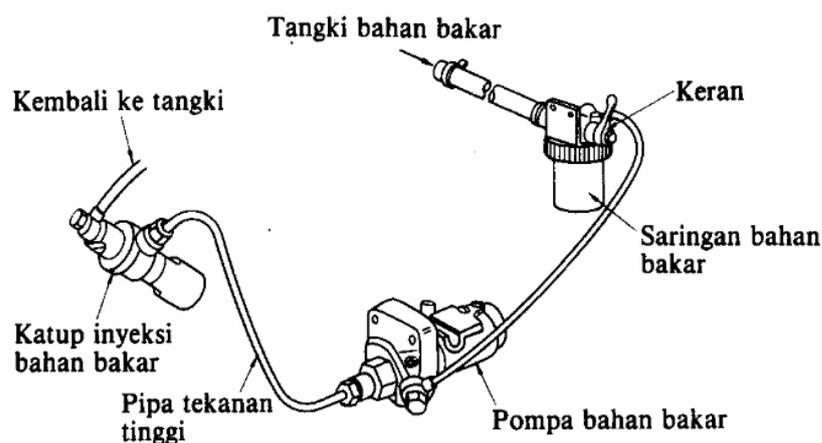
4. Periode keempat : saat pembakaran lanjut / *after burning* (D – E)

Meskipun injeksi bahan bakar telah selesai, keadaan proses pembakaran sempurna belum sepenuhnya tercapai pada titik D sehingga masih ada proses pembakaran pada titik D – E. Pembakaran pada periode ini berfungsi untuk membakar sisa campuran bahan bakar dan udara yang belum sepenuhnya terbakar.

2.2.12 Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar (*fuel system*) pada motor diesel memiliki peranan yang sangat penting dalam menyediakan dan menyuplai bahan bakar ke dalam ruang bakar sesuai dengan kapasitas mesin, putaran mesin dan pembebanan mesin. Oleh karena itu, performa dari *fuel system* akan sangat mempengaruhi kinerja dari motor diesel.

Komponen utama dari sistem bahan bakar motor diesel 4 tak silinder tunggal (horizontal) diantaranya yaitu : tangki bahan bakar, keran, saringan bahan bakar (fuel filter), pompa injeksi bahan bakar, pipa tekanan tinggi dan pengabut (*nozzle*).



Gambar 2.3 Skema aliran bahan bakar motor diesel
(Dikmenjur, 2004)

Adapun cara kerja dari sistem bahan bakar pada motor diesel tersebut secara umum yaitu, ketika keran bahan bakar di putar ke posisi membuka maka

bahan bakar akan mengalir ke pompa injeksi melalui saringan bahan bakar (*fuel filter*) terlebih dahulu. Saat mesin mulai beroperasi, pompa injeksi juga turut bekerja atau memompakan bahan bakar menuju injektor melalui pipa tekanan tinggi. Tekanan bahan bakar yang tinggi mengakibatkan pegas penahan katup nosel di dalam injektor terdesak naik (membuka nosel) kemudian bahan bakar akan terinjeksikan ke dalam ruang bakar dalam bentuk kabut. Setelah bahan bakar diinjeksikan atau setelah proses injeksi bahan bakar selesai, maka katup nosel akan menutup kembali karena terdorong oleh tekanan pegas pengembali.

2.2.13 Injektor dan Nosel

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

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

Prinsip kerja injector, bahan bakar yang ditekan oleh pompa injeksi masuk ke *injector* melalui saluran tekan. Tekanan bahan bakar akan mendorong jarum pengabut keatas melawan tegangan pegas, sehingga jarum pengabut terangkat membuka lubang *injector* dan bahan bakar masuk kedalam silinder. Pada saat

proses penekanan ini, kemungkinan ada bahan bakar yang merembes melalui celah antara jarum dan rumah nosel, maka kebocoran ini kemudian akan disalurkan kembali ketangki melalui saluran balik.

2.2.14 Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar Mesin Diesel

Daya listrik dan konsumsi bahan bakar mesin diesel dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

1. Daya Listrik

Daya listrik merupakan besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh sumber setiap detik atau besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan dalam 1 detik. Apabila dalam waktu t detik sumber tegangan telah melakukan usaha sebesar W , maka daya alat tersebut dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut (Toyib, 2016).

$$P = \frac{W}{t}$$

Dimana :

P = Daya (Joule/detik) atau Watt

W = Usaha (Joule)

t = Waktu (detik)

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

Karena $W = VIt$, maka :

$$P = \frac{VIt}{t} \text{ atau } P = V \times I \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : P : Daya (Watt)

V : Tegangan / beda potensial (Volt)

I : Arus (Ampere)

2. Konsumsi bahan bakar spesifik (*Spesifik Fuel Consumption, SFC*)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu. Turnip, (2009)

Bila daya rem dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka :

$$Sfc = \frac{m_f \times 10^3}{P} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : Sfc : Konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.jam)

m_f : Laju aliran bahan bakar (kg/jam)

P : Daya (watt)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan berikut :

$$m_f = \frac{V_f \times \rho_f}{t} \times \frac{3600}{1000} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana : m_f : Laju aliran bahan bakar (kg/jam)

V_f : Volume bahan bakar yang diuji (ml)

ρ_f : Densitas bahan bakar (g/ml)

t : Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume yang diuji (s)

2.2.15 Panjang dan Besar Sudut Injeksi Bahan Bakar

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

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

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

$$\frac{L}{L_b} = 0.0349 \times \left(\frac{\rho_a}{\rho_f}\right) \times \left(\frac{t}{d_o}\right) \times \left(\frac{\Delta P}{\rho_f}\right)$$

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

$$L_b = 15.8 \times d_o \times \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_a}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- L_b : Panjang semprotan (mm)
- ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m^3)
- ρ_a : Densitas udara (kg/m^3)
- ΔP : Tekanan injeksi (Pa)
- d_o : Diameter lubang nosel (mm)

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

$$\theta = 0.05 \times \left(\frac{\Delta P \times (d_o)^2}{\rho_f \times (V_f)^2}\right)^{1/4} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

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