

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan pustaka

Biodiesel merupakan bahan bakar rendah emisi pengganti bahan bakar diesel (minyak solar) yang dibuat dari sumber daya terbarukan dan limbah lemak (Leung *et al.* 2009). Salah satu sumber daya terbarukan yaitu biodiesel yang terbuat dari minyak nabati. Beberapa bahan baku yang dapat digunakan untuk pembuatan biodiesel antara lain jarak dan kelapa sawit.

Syakir (2010) melakukan penelitian tentang prospek dan kendala pengembangan Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*) sebagai bahan bakar nabati di Indonesia. Penelitian dilakukan di seluruh wilayah Indonesia melalui Lembaga Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. Hasilnya menunjukkan bahwa ketersediaan lahan untuk pengembangan jarak pagar di Indonesia yang sangat sesuai mencapai 14.2 juta hektar dengan ketersediaan saat ini sekitar 5 juta hektar. Saat ini total produksi biji jarak di seluruh Indonesia masih tergolong rendah dengan total produksi sebesar 7.852 ton pada tahun 2007 dari luas areal 68.200 ha, meningkat menjadi 7.925 ton tahun 2008 dari areal 69.221 ha, dan terus mengalami peningkatan produksi hingga 8.013 dari luas areal 69.315 ha pada tahun 2009. Dapat disimpulkan bahwa produksi jarak di Indonesia cukup potensial, karena kapasitas produksinya semakin meningkat dari tahun ke tahun.

Susila (2005) melakukan analisa terkait peluang pengembangan kelapa sawit di Indonesia. Proses analisa dilakukan di Lembaga Riset Perkebunan Indonesia melalui pengumpulan dan analisis data dari lembaga – lembaga lain yang terkait. Didapat kesimpulan bahwa produksi sawit Indonesia pada tahun 2004 mencapai 25.67 juta ton, dengan peluang peningkatan produksi sampai tahun 2025 berkisar antara 15.78 – 18.78 juta ton. Produksi sawit diperkirakan akan memperoleh peluang produksi sekitar 6.31 – 7.51 juta ton dengan perluasan areal antara 1.80 – 2.15 juta ha sampai tahun 2025.

Leung *et al.* (2009) melakukan penelitian tentang proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati atau yang biasa disebut ester. Ester yang terdapat

pada minyak nabati ini disebut trigliserida, yang dapat bereaksi dengan alkohol yang digunakan sebagai katalis, atau lebih dikenal sebagai proses transesterifikasi. Transesterifikasi yang digunakan pada metode ini adalah transesterifikasi alkoholisis, dengan menggunakan jenis alkohol yang berupa metanol. Pemilihan metanol dikarenakan memiliki biaya yang lebih rendah dibanding alkohol jenis lain. Biodiesel hasil transesterifikasi tersebut dinamakan *methyl ester* karena alkohol yang digunakan adalah metanol. Biodiesel *methyl ester* inilah yang akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel.

Kurdi (2006) melakukan pengujian 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.* (2009) melakukan kaji ekperimental pengaruh temperatur biodiesel minyak sawit terhadap performansi mesin diesel *direct injection* dengan putaran konstan. Pengujian dilakukan dengan variasi temperatur biodiesel mulai dari temperatur 33°C hingga 90°C dengan variasi beban dimulai dari tanpa beban kemudian berturut-turut diberi beban 1000 watt, 2000 watt, 3000 watt, 4000 watt, 5000 watt, dan 6000 watt pada mesin diesel merk Dong Feng dengan putaran

konstan 1500 rpm. Hasil dari pengujian tersebut diketahui bahwa konsumsi bahan bakar mesin diesel akan menurun jika temperatur biodiesel dan minyak solar dinaikkan. Namun jika kedua bahan bakar tersebut temperaturnya terus dinaikkan maka konsumsi bahan bakarnya perlahan akan kembali meningkat. Diketahui temperatur pemanasan biodiesel yang terbaik terjadi pada temperatur 70°C, dimana pada temperatur ini terjadi penurunan konsumsi bahan bakar (SFC) sebesar 8% serta peningkatan efisiensi termal sebesar 25.3%.

Nagar *et al.* (2015) melakukan studi ekperimental perbandingan antara biodiesel dari jarak dan biodiesel dari sawit berdasarkan kinerja (*performance*) dan emisi pada mesin diesel empat langkah. Biodiesel dihasilkan dengan cara transesterifikasi dikatalisasi asam dan transesterifikasi dikatalisasi basa. Transesterifikasi dikatalisasi asam dilakukan pada temperatur 60°C selama 1 jam dengan katalis asam sulfat (H₂SO₄) dan methanol. Selanjutnya dilakukan transesterifikasi dikatalisasi basa yang dilakukan pada temperatur 60°C selama 1 jam menggunakan katalis kalium hidroksida (KOH) dan metanol. Sebanyak empat sampel bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini, yaitu

1. 100% minyak solar (D100)
2. 20% biodiesel jarak dan minyak solar 80% (JB20)
3. 20% biodiesel sawit dan minyak solar 80% (PB20)
4. 10% biodiesel jarak dan 10% biodiesel sawit dengan minyak solar 80% (JPB20)

Sampel bahan bakar tersebut digunakan untuk menganalisis kinerja dari *brake specific fuel consumption (BSFC)*, *thermal efficiency*, suhu gas buang dan emisi gas buang. Tes kinerja mesin dilakukan pada mesin diesel Kirloskar satu silinder, empat langkah, dengan variasi beban 0, 2, 4, 6, 8 Kg. Hasilnya, tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara biodiesel dan minyak solar dalam hal kinerja (*performance*). Variasi biodiesel JPB20 merupakan yang terbaik dari variasi biodiesel lainnya bahkan lebih baik dibandingkan dengan minyak solar. Efisiensi termal JPB20 2.48% lebih tinggi dari D100, BSFC pada JPB20 lebih kecil 2.5% dari D100. Untuk emisi gas buang, JPB20 memiliki emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) yang lebih kecil dari D100. Namun, nitrogen

oksida (NO_x) pada JPB20 ditemukan lebih tinggi dibanding minyak solar, akan tetapi perbedaannya tidak terlalu signifikan.

Sudarmanta dan Sungkono, (2005) meneliti tentang transesterifikasi *crude palm oil* dan uji karakteristik semprotan menggunakan injektor motor diesel. Hasil penelitian dilakukan secara eksperimental dan 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 flashpoint 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.

Dari seluruh tinjauan pustaka tersebut dapat disimpulkan bahwa bahan baku biodiesel di Indonesia khususnya minyak sawit dan jarak tersedia sangat melimpah. Walaupun produksi jarak saat ini tidak sebesar minyak sawit, akan tetapi jarak memiliki prospek yang baik terlihat dari jumlah produksi yang terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun.

Biodiesel merupakan bahan bakar pengganti minyak bumi terbuat dari minyak nabati maupun hewani melalui proses transesterifikasi dengan katalisasi alkohol.

Biodiesel yang dihasilkan dari proses tersebut secara umum memiliki nilai sifat fisik yang lebih tinggi dari bahan bakar solar, seperti nilai viskositas, densitas, serta flashpoint yang memiliki angka diatas bahan bakar solar. Tingginya nilai viskositas akan mengakibatkan bahan bakar sulit untuk dialirkan, sehingga akan mengakibatkan pompa bekerja lebih berat. Efek dari bahan bakar yang sulit dialirkan akan mempengaruhi daya yang dikeluarkan oleh mesin, seperti pada pengujian yang dilakukan Kurdi (2006) menunjukkan bahwa mesin mengalami

penurunan daya sebesar 4.5 % saat menggunakan bahan bakar biodiesel jarak pada putaran mesin 3500 rpm. Akan tetapi, mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel memiliki nilai konsumsi bahan bakar serta emisi yang lebih rendah dibandingkan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar solar.

Pengujian kinerja mesin diesel menggunakan bahan bakar solar dan campuran biodiesel jarak – sawit sudah pernah dilakukan. Perbedaan penelitian tersebut terletak pada proses transesterifikasi biodiesel, variasi biodiesel yang diujikan dan mesin diesel yang digunakan. Adapun biodiesel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah biodiesel dengan satu kali proses transesterifikasi dan menggunakan mesin diesel Jiang Dong tipe R180N.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar mineral atau bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Bahan bakar fosil tidak dianggap sebagai sumber energi terbarukan, karena untuk menghasilkan bahan bakar yang bersumber dari fosil tersebut membutuhkan waktu yang sangat lama, akan tetapi bahan bakar fosil sering dibandingkan dan dikontraskan dengan energi terbarukan dalam konteks pengembangan energi masa depan. Cadangan minyak bumi yang berasal dari fosil terus menurun dari waktu ke waktu seiring penggunaannya yang semakin meningkat, sehingga konsumsi terhadap minyak bumi perlu dikurangi dengan mengalihkan ke bahan bakar lain yang memiliki sifat dapat diperbaharui (*renewable*) serta ramah lingkungan.

Salah satu energi terbarukan adalah bahan bakar bio cair, yang termasuk ke dalam kelompok bahan bakar bio cair yaitu bioalkohol, seperti metanol, etanol dan biodiesel. Salah satunya yang sedang banyak dikembangkan yaitu biodiesel, yang digunakan untuk menggantikan bahan bakar minyak solar (Sari dan Pramono, 2012).

2.2.2 Minyak Jarak

Tanaman jarak dari spesies *Jatropha curcas L.* atau yang lebih dikenal sebagai jarak pagar merupakan tanaman semak yang dapat tumbuh dengan cepat hingga mencapai ketinggian 3-5 meter. Tanaman ini tahan terhadap kekeringan serta bisa tumbuh pada tempat dengan curah hujan 200 mm hingga 1500 mm per tahun. Tanaman jarak dapat dimanfaatkan seluruh bagiannya, mulai dari daun, buah, kulit, dan batangnya. Daunnya dapat di ekstraksi menjadi pakan ulat sutera sebagai pengganti daun murbei dan obat-obatan herbal. Ekstrak daun jarak pagar dapat digunakan sebagai anti bakteri dan anti cacing, sedangkan biji dan batang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar (Hambali *et al.*, 2006 di dalam repository.ipb.ac.id).

Tanaman jarak pagar menghasilkan biji yang memiliki kandungan minyak sekitar 30 – 50%. Minyak jarak pagar mengandung 16 – 18 atom karbon sedangkan minyak bumi yang digunakan untuk bahan baku minyak solar mengandung 8 – 10 atom karbon. Tingginya kandungan atom karbon pada suatu minyak akan berpengaruh terhadap tingkat viskositas, semakin tinggi nilai atom karbon maka viskositasnya juga akan semakin tinggi. Salah satu kekurangan yang dimiliki minyak jarak pagar yaitu daya pembakaran yang masih rendah untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung (Said *et. al.*, 2010). Cara yang paling banyak digunakan untuk menurunkan viskositas minyak jarak pagar dan meningkatkan daya pembakarannya sehingga sesuai dengan standar minyak diesel untuk kendaraan bermotor yaitu dengan transesterifikasi. Proses transesterifikasi minyak jarak dilakukan menggunakan alkohol agar trigliserida berubah menjadi metil ester (biodiesel) dan gliserol.

2.2.3 Minyak Sawit

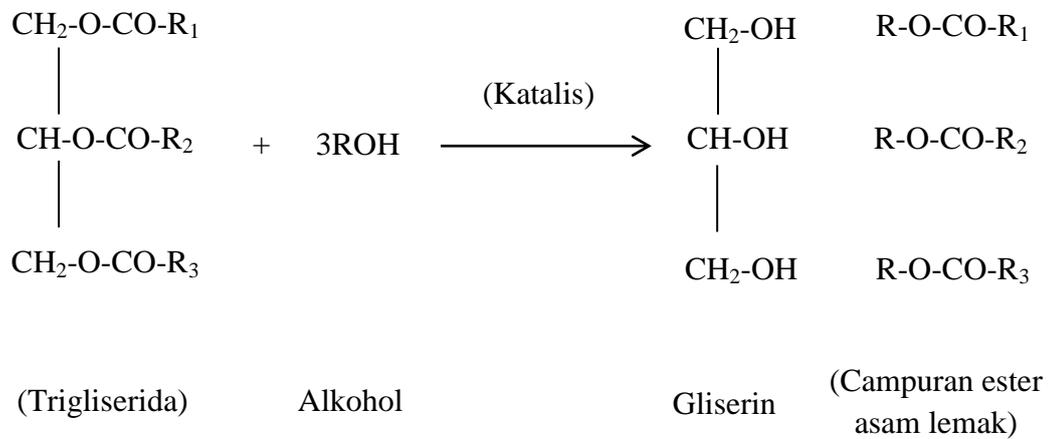
Kelapa sawit (*elaeis*) termasuk ke dalam golongan tumbuhan palma (Sari dan Pramono, 2012). Minyak kelapa sawit didapatkan dari pengolahan buah kelapa sawit. Secara umum buah kelapa sawit memiliki dua bagian yaitu serabut buah (pericarp) dan inti (kernel). Serabut buah itu sendiri terdiri dari kulit buah atau lapisan luar (pericarp), lapisan sebelah dalam (mesocarp atau pulp), dan

lapisan yang paling dalam (endocarp). Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (testa), endosperm, dan embrio. Kandungan minyak terbanyak terdapat pada mesocarp dengan 56% kadar minyak, sedangkan pada inti (kernel) mengandung kadar minyak sebesar 44%, dan pada endocarp tidak terdapat kandungan minyak. Minyak sawit kebanyakan digunakan sebagai bahan baku untuk membuat minyak goreng. Selain digunakan sebagai bahan untuk pembuatan minyak goreng, minyak sawit juga dapat dimanfaatkan untuk membuat biodiesel.

2.2.4 Biodiesel

Biodiesel merupakan bentukan dari rantai panjang asam lemak dengan alkohol (Kurdi, 2006). Asam lemak tersebut dapat berasal dari minyak hewani maupun minyak nabati. Biodiesel dihasilkan dari minyak hewani atau minyak nabati yang direaksikan dengan *methyl alcohol* atau *ethyl alcohol* dalam suatu lingkungan yang diberi katalis. *Pottassium hydroxide* (KOH) atau *sodium hydroxide* (NaOH) merupakan katalis yang sering digunakan dalam pembuatan biodiesel. Proses pembuatan biodiesel tersebut dinamakan transesterifikasi dengan hasil akhir yang berupa biodiesel dan gliserol. Secara kimiawi, biodiesel disebut *methyl ester* apabila alkohol yang digunakan adalah metanol dan *ethyl ester* jika yang digunakan etanol (Kurdi, 2006). Biodiesel bisa juga diartikan sebagai bahan bakar rendah emisi pengganti bahan bakar diesel (minyak solar) yang terbuat dari sumber daya terbarukan dan limbah lemak (Leung *et al.* 2009).

Cara yang paling umum untuk menghasilkan biodiesel adalah melalui transesterifikasi, terutama transesterifikasi yang dikatalisasi alkali. Minyak nabati biasa atau lemak hewan adalah ester asam monokarboksilat jenuh dan tidak jenuh dengan gliserida alkohol *trihydric*. Ester ini disebut trigliserida, yang dapat bereaksi dengan alkohol dengan adanya katalis, proses ini yang dikenal sebagai transesterifikasi.



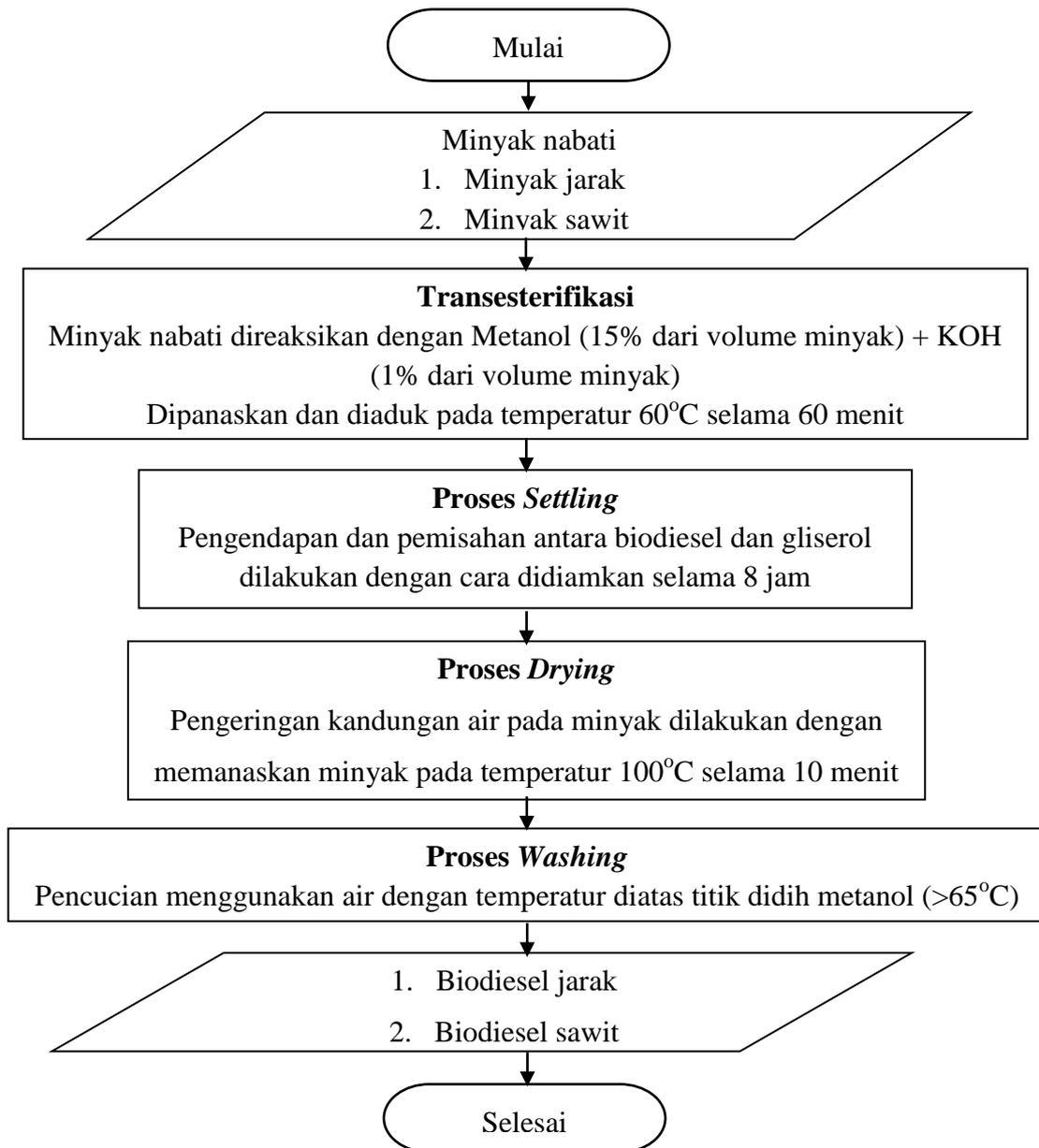
Gambar 2.1 Bentuk reaksi kimia proses transesterifikasi

(Leung *et al.*, 2009)

Dimana R_1 , R_2 , R_3 adalah rantai panjang hidrokarbon atau biasa disebut rantai asam lemak. Ada lima jenis utama dari rantai di minyak nabati dan minyak hewani yaitu palmitat, stearat, oleat, linoleat, dan linolenat. Ketika trigliserida diubah secara bertahap untuk menjadi digliserida, monogliserida, dan akhirnya menjadi gliserol, 1 mol ester lemak dibebaskan pada setiap langkahnya (Leung *et al.*, 2009).

2.2.5 Proses Pembuatan Biodiesel

Umumnya metode yang digunakan untuk pembuatan biodiesel yaitu dengan metode transesterifikasi, yaitu reaksi dari lemak atau minyak nabati dengan alkohol menjadi bentuk ester dan gliserol (Leung *et al.*, 2009).



Gambar 2.2 Proses pembuatan biodiesel

Syarat suatu minyak untuk dapat dilakukan proses transesterifikasi secara langsung yaitu memiliki kadar asam lemak bebas kurang dari 2.5% (Leung *et al.*, 2009). Minyak jarak memiliki kadar asam lemak bebas sebesar 0.70% (Uji LPPT UGM), sedangkan kadar asam lemak bebas pada minyak sawit sebesar 0.06% (Uji LPPT UGM). Sehingga minyak jarak dan minyak sawit sudah memenuhi syarat untuk proses transesterifikasi secara langsung tanpa perlu dilakukan proses *pre-treatment* atau esterifikasi terlebih dahulu.

2.2.6 Minyak Solar

Bahan bakar diesel yang sering disebut solar (*light oil*) merupakan suatu campuran hidrokarbon yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur 200°C - 340°C . Minyak solar yang sering digunakan adalah hidrokarbon yang berupa campuran n-setana ($\text{n-C}_{16}\text{H}_{34}$) dan α -metil naftalena ($\alpha\text{-CH}_3\text{-C}_{10}\text{H}_7$). Beberapa sifat bahan bakar yang mempengaruhi prestasi dari mesin diesel antara lain : viskositas, angka setana, flashpoint, titik tuang, penguapan (*volality*), residu karbon, kadar belerang, abu dan endapan, dan sifat korosi. (Murni, 2010 di dalam Sari dan Pramono, 2012).

Bahan bakar diesel diharapkan relatif mudah terbakar sendiri (tanpa harus dipicu dengan letikan api busi) bila diinjeksikan ke dalam udara panas bertekanan pada ruang bakar. Tolok ukur dari sifat ini adalah bilangan setana atau *cetane number*, semakin tinggi bilangan setana akan semakin mudah terbakar. Bahan bakar diesel yang sangat mudah terbakar dengan sendirinya diberi nilai bilangan setana terdiri dari rentang 0 - 100, nilai bilangan setana 100 diberikan untuk bahan bakar diesel yang sangat mudah terbakar dengan sendirinya, sedangkan bahan bakar diesel yang sulit terbakar diberi nilai bilangan setana nol (Suhartanta dan Arifin, 2008).

Bilangan setana yang baik dari minyak solar idealnya lebih besar dari 30 agar pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih sempurna (Suhartanta dan Arifin, 2008). Minyak solar dikehendaki memiliki kekentalan yang relatif rendah agar mudah diinjeksikan melalui pompa injeksi, selain memiliki kekentalan yang relatif rendah minyak solar juga harus memiliki titik nyala yang tinggi, karena jika tidak memiliki titik nyala yang tinggi dapat menyebabkan kebakaran apabila disimpan pada suhu kamar.

2.2.7 Karakteristik Bahan Bakar

2.2.7.1 Viskositas

Viskositas merupakan suatu angka yang menyatakan besarnya perlawanan atau hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari bahan cair. Semakin tinggi viskositas suatu minyak akan semakin

kental dan lebih sulit mengalir, demikian juga sebaliknya. Viskositas suatu bahan bakar sangat penting artinya, terutama bagi mesin - mesin diesel, karena nilai viskositas sangat berkaitan dengan suplay konsumsi bahan bakar kedalam ruang bakar dan juga sangat berpengaruh terhadap kesempurnaan proses pengkabutan (*atomizing*) bahan bakar melalui injektor. Apabila viskositas terlalu tinggi maka proses *atomizing* akan terganggu karena kecenderungan bahan bakar yang mempunyai viskositas tinggi akan sulit dikabutkan, sedangkan untuk bahan bakar yang mempunyai viskositas rendah dapat menimbulkan *abrasive* atau gesekan dalam ruang bakar, karena gerakan piston dalam prosesnya membutuhkan pelumasan (Sinarep, 2011).

2.2.7.2 Densitas

Densitas atau massa jenis suatu zat merupakan kuantitas konsentrasi zat dan dinyatakan dalam massa persatuan volume. Nilai densitas dari suatu zat dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi angka temperatur maka kerapatan zat akan semakin rendah, hal ini dikarenakan molekul – molekul yang saling berikatan pada zat tersebut akan terlepas.

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 :

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

Keterangan :

- ρ = densitas (kg/m^3)
- m = massa benda (kg)
- v = volume benda (m^3)

2.2.7.3 Flashpoint

Flashpoint merupakan temperatur terendah dimana bahan bakar akan menguap dan mengeluarkan nyala sebentar apabila disinggungkan dengan

percikan api kemudian akan mati dengan sendirinya dalam waktu yang cepat. Hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut belum mampu untuk membuat bahan bakar bereaksi dan menghasilkan nyala yang kontinyu. Flashpoint dapat di tentukan dengan melakukan pemanasan yang konstan terhadap bahan bakar, setelah mencapai titik temperatur tertentu maka bahan bakar tersebut akan mengalami penguapan. Uap tersebut akan menyala jika sumber api diarahkan pada uap tersebut sehingga akan menimbulkan percikan api.

2.2.7.4 Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi kalor yang terkandung dalam setiap satuan massa bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka semakin besar energi yang dikandung bahan bakar tersebut.

Reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan oksigen dari udara akan menghasilkan panas. Besarnya panas yang ditimbulkan pada satu satuan bahan bakar dibakar secara sempurna disebut nilai kalor bahan bakar (*Calorific Value*).

2.2.8 Motor Bakar

Motor pembakaran (motor bakar) adalah mesin panas yang beroperasi menggunakan gas dari hasil pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam mesin itu sendiri yang kemudian digunakan secara langsung.

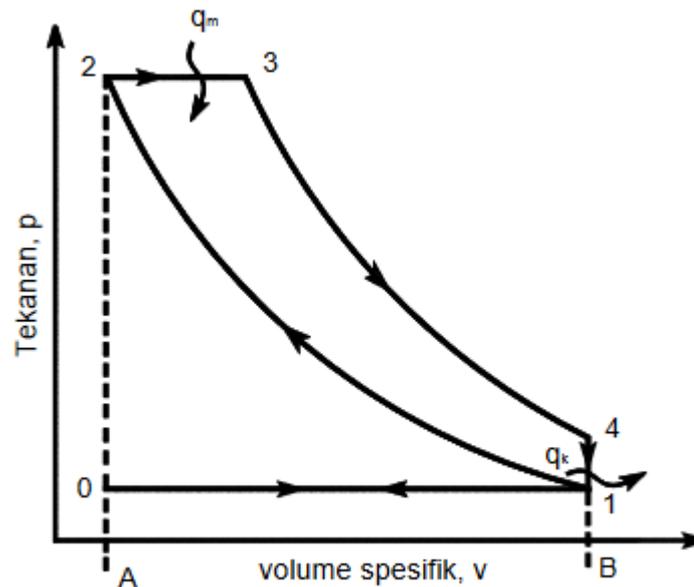
Motor bakar torak menggunakan sebuah silinder sebagai tempat torak yang bergerak secara bolak – balik atau translasi. Di dalam silinder itulah terjadi proses kompresi udara yang kemudian terjadi proses pembakaran setelah bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar. Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut kemudian menggerakkan piston, selanjutnya gerakan piston diteruskan ke poros engkol melalui batang penghubung (*connecting rod*). Sehingga gerak translasi torak akan menyebabkan terjadinya gerak rotasi pada poros engkol (Arismunandar, 1988).

2.2.8.1 Motor Diesel

Motor diesel adalah mesin dengan pengapian kompresi (*compression ignition engine*) dimana proses pembakaran pada motor diesel adalah dengan menaikkan temperatur akhir kompresi diatas temperatur pembakaran dari bahan bakar sehingga bahan bakar dapat menyala dengan spontan tanpa adanya sumber pengapian dari luar. Perbandingan kompresi pada mesin diesel antara 12:1 - 24:1 dengan temperatur udara mencapai 450°C - 550°C dan tekanannya 30 - 40 kgf/cm². Bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan tinggi (110 - 200 kgf/cm²) menggunakan pompa bahan bakar (Pudjanarsa dan Nursuhud, 2008 di dalam Sari dan Pramono, 2012).

Konsep pembakaran pada motor diesel adalah melalui proses penyalan kompresi udara pada tekanan tinggi. Pembakaran ini dapat terjadi karena udara dikompresi pada ruangan dengan perbandingan kompresi yang jauh lebih besar dari pada motor bensin. Tekanan dan suhu tinggi ini yang kemudian digunakan untuk membakar bahan bakar. Bahan bakar masuk melalui nosel dengan tekanan tinggi kemudian dikabutkan pada ruang bakar. Suhu dan tekanan udara yang tinggi pada ruang bakar akan bercampur dengan bahan bakar yang telah berupa kabut dan selanjutnya akan terbakar dengan sendirinya.

Pada motor diesel terdapat suatu proses pemasukan dan pengeluaran kalor dengan tekanan konstan atau yang lebih dikenal dengan siklus udara tekanan konstan (siklus diesel). Siklus udara tekanan konstan merupakan siklus motor bakar torak yang terjadi ketika pemasukan dan pengeluaran kalor terjadi pada kondisi tekanan konstan. Siklus ini terjadi pada jenis motor diesel.



Gambar 2.3 Siklus mesin diesel
(Arismunandar, 1988)

Proses dari siklus tersebut yaitu :

- 0 – 1 : Langkah hisap, tekanan (p) konstan (isobarik).
- 1 – 2 : Langkah kompresi, tekanan (p) bertambah (adiabatik).
- 2 – 3 : Proses pemasukan kalor (isobarik).
- 3 – 4 : Proses ekspansi (adiabatik).
- 4 – 1 : Proses pengeluaran kalor (isokhorik).
- 1 – 0 : Langkah buang, tekanan (p) konstan (isobarik).

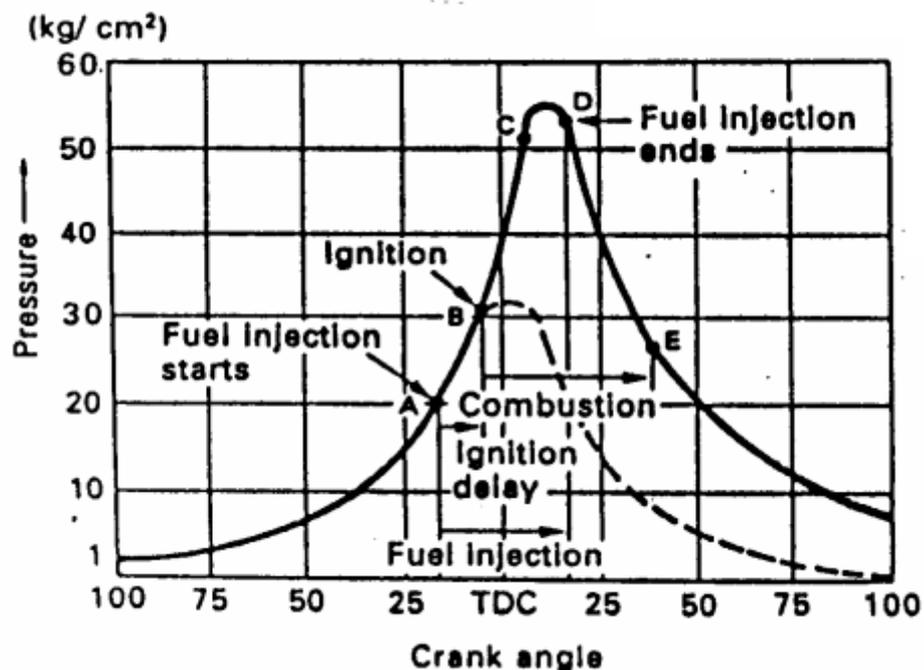
Proses diawali dengan masuknya udara ke dalam silinder, kemudian udara tersebut dikompresi hingga mencapai temperatur dan tekanan yang tinggi. Udara yang bertemperatur dan bertekanan tinggi inilah yang digunakan untuk membakar bahan bakar yang disemprotkan ke ruang bakar. Terbakarnya bahan bakar pada ruang bakar akan menyebabkan terjadinya ledakan, sehingga tekanan akan meningkat dan mendorong torak menuju titik mati bawah (TMB) atau yang disebut sebagai ekspansi adiabatik. Gas sisa hasil pembakaran tersebut selanjutnya

dibuang melalui katup *exhaust*. Proses pembakaran yang terjadi pada siklus tersebut akan berlangsung secara terus menerus selama mesin hidup.

2.2.8.2 Proses Pembakaran pada 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 2.4 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.

Proses pembakaran yang terbagi menjadi empat periode ini berhubungan erat dengan tingkat efektifitas dari suatu kerja mesin. Efektifitas dari suatu mesin dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya yaitu karakteristik dari bahan bakar yang digunakan.

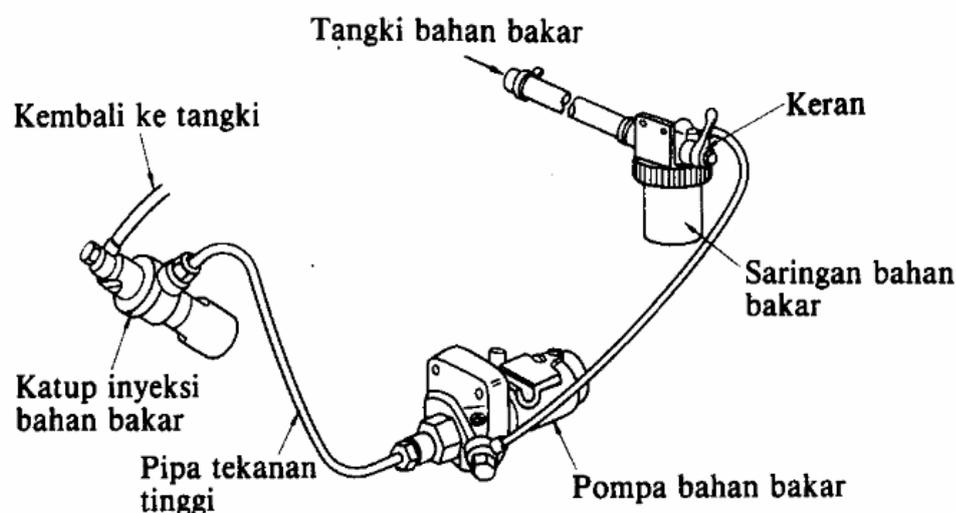
Mengetahui karakteristik dari suatu bahan bakar sangat penting, karena berhubungan dengan kualitas penyalaan (*ignition quality*). Kualitas penyalaan ini

sangat berkaitan dengan apa yang disebut “*ignition delay*”. Semakin pendek *ignition delay* maka semakin baik pula kualitas penyalanya. Kualitas ini dapat ditunjukkan dengan angka setana (*Cetane Number, CN*)

2.2.9 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 beban 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 2.5 Skema aliran bahan bakar motor diesel

(Dikmenjur, 2004)

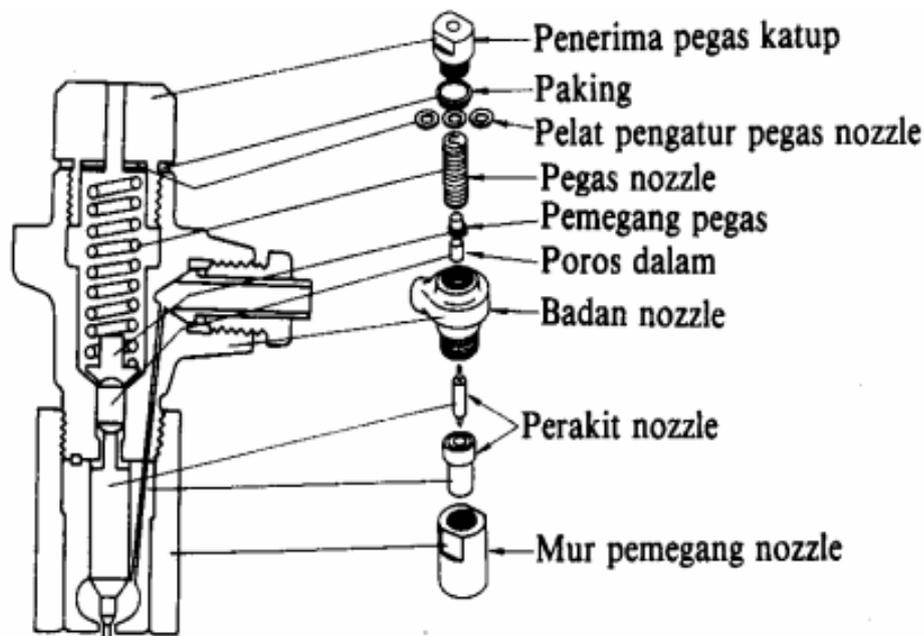
Adapun cara kerja dari sistem bahan bakar pada motor diesel tersebut secara umum yaitu : ketika keran bahan bakar di putar ke posisi membuka maka bahan bakar akan mengalir ke pompa injeksi melalui saringan bahan bakar (*fuel*

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.

2.2.9.1 Injektor dan Nosel

Injektor berfungsi untuk menghantarkan bahan bakar dari pompa injektor ke dalam silinder pada setiap akhir langkah kompresi dimana piston mendekati titik mati atas (TMA). Injektor yang dirancang sedemikian rupa mengubah tekanan bahan bakar dari pompa injektor yang bertekanan tinggi untuk membentuk kabut yang bertekanan antara 60 sampai 200 kg/cm².

Nosel sendiri merupakan salah satu bagian dari injektor yang berfungsi sebagai penyemprot bahan bakar ke dalam ruang bakar.



Gambar 2.6 Konstruksi injektor

(Dikmenjur, 2004)

Nosel merupakan salah satu komponen yang terdapat pada injektor, lebih tepatnya berada pada ujung injektor. Nosel berfungsi sebagai katup pembentuk kabutan bahan bakar yang diharapkan. Nosel terpasang pada bodi injektor menggunakan mur pengikat (*retaining nut*).

Besarnya tekanan pengabutan pada nosel dapat diatur melalui tegangan pegas yang menekan jarum nosel. Bila tekanan yang diinginkan lebih tinggi, maka dapat dilakukan dengan menambah plat pengatur pegas nosel dan sebaliknya.

Konsep kerja injektor yaitu bahan bakar yang ditekan oleh pompa injeksi masuk ke dalam injektor melalui saluran tekanan tinggi. Tekanan bahan bakar yang tinggi akan mendorong jarum pengabut melawan arah tegangan pegas, sehingga jarum pengabut terangkat membuka lubang injektor dan bahan bakar masuk ke dalam silinder. Pada saat proses penginjeksian ini, sebagian bahan bakar yang tidak ikut terinjeksikan akan disalurkan kembali ke tangki bahan bakar melalui saluran balik.

2.2.10 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).

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

Dimana, P : Daya (Joule/detik) atau Watt
 W : Usaha (Joule)
 t : Waktu (detik)

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

Karena $W = VI t$, maka :

$$P = \frac{VIt}{t} \text{ atau } P = V \times I \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana, P : Daya (Watt)
 V : Tegangan / beda potensial (Volt)
 I : Arus (Ampere)

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

Specific fuel consumption (SFC) atau konsumsi bahan bakar spesifik merupakan parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan dengan tingkat ekonomis dari sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal tersebut maka akan dapat dihitung banyaknya konsumsi bahan bakar pada sebuah mesin terhadap daya yang dihasilkan dalam tiap satuan waktu.

Untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption*, dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$SFC = \frac{m_f \times 10^3}{P} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana, SFC : *Specific Fuel Consumption* atau konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.h)
 m_f : Laju aliran bahan bakar (kg/jam)
 P : Daya keluaran (KW)

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

$$m_f = \frac{\rho_f \cdot V_f \cdot 10^{-3}}{t_f} \times 3600 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana, ρ_f : Densitas (g/ml)
 V_f : Volume bahan bakar yang diuji (ml)
 t_f : Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume yang diuji (detik)

2.2.12 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) :

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

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

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

Keterangan :

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

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

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

Keterangan :

θ : Sudut semprotan ($^{\circ}$)

ΔP : Tekanan injeksi (Pa)

d_o : Diameter lubang nosel (mm)

ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m^3)

V_f : Viskositas kinematik bahan bakar (m^2/s)