

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Biodiesel merupakan bahan bakar pengganti solar dengan kadar emisi rendah yang biasanya dibuat dari limbah lemak dan sumber daya terbarukan (Leung dkk., 2009). Biodiesel dengan bahan baku minyak nabati dapat dikatakan sebagai salah satu sumber daya terbarukan. Tanaman jarak dan minyak jelantah merupakan beberapa pilihan yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.

Jatropha curcas L atau yang sering disebut tanaman jarak pagar ini merupakan suatu jenis tanaman yang sudah tidak asing lagi di masyarakat Indonesia. Selain itu di Indonesia tanaman jarak cukup berpotensi untuk dikembangkan. Seperti yang diungkapkan Syakir (2010) dalam penelitiannya mengenai prospek dan kendala pengembangan Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L*) sebagai bahan bakar nabati di Indonesia dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan lahan yang sangat sesuai untuk tanaman jarak pagar mencapai 14,2 juta ha dengan sekitar 5 juta ha lahan yang saat ini tersedia. Namun produksi biji jarak di Indonesia masih tergolong rendah dengan luas lahan 68.200 ha hanya mampu memproduksi sebesar 7.852 ton pada tahun 2007, kemudian meningkat pada tahun 2008 dengan total produksi 7.925 ton dari luas lahan 69.221 ha, pada tahun 2009 terus mengalami peningkatan dengan luas lahan 69.315 ha mampu memproduksi sebesar 8.013 ton. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa produksi jarak di Indonesia terjadi peningkatan tiap tahunnya.

Ketaren (1986) di dalam Wahyuni (2011) melakukan analisa mengenai minyak jelantah (*Waste cooking oil*) dalam penelitiannya tentang Pengantar Teknologi Minyak Dan Lemak Pangan, mendapatkan kesimpulan bahwa jelantah merupakan minyak goreng yang telah dipergunakan sehingga mengalami penurunan kualitas. Namun demikian, jelantah sebagaimana minyak tetap merupakan triester gliserol dari asam lemak jenuh dan tak jenuh. Hampir semua minyak murni mengandung 98% trigliserida sedangkan 2% merupakan komponen

non-trigliserida seperti monogliserida dan digliserida, asam lemak bebas, fosfolipid, tokoferol, serta sedikit komponen zat warna. Minyak dapat bersumber dari tanaman misalnya sawit, jagung, kedelai, dan bunga matahari. Minyak dapat juga bersumber dari hewan, misalnya ikan paus dan ikan sarden. Minyak jelantah dapat dikategorikan sebagai limbah karena mengandung zat-zat yang berbahaya dan memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan jika tidak ditangani dengan baik. Minyak goreng yang telah dipanaskan berulang kali dapat merusak sifat-sifat kimia yang dikandungnya.

Leung dkk (2009) melakukan penelitian tentang proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati atau yang biasa disebut ester. Dalam minyak nabati tersebut terdapat ester atau juga disebut trigliserida yang dapat direaksikan menggunakan alkohol sebagai katalis, proses ini dikenal sebagai transesterifikasi. Pada proses ini menggunakan metode transesterifikasi alkoholis dengan menggunakan alkohol berupa metanol, alkohol jenis metanol ini dipilih karena memiliki nilai yang lebih ekonomis dibanding dengan alkohol jenis lain. Dari hasil biodiesel yang telah di transesterifikasi menggunakan alkohol jenis metanol ini disebut *methyl ester*. Biodiesel *methyl ester* inilah yang nantinya akan digunakan pada mesin diesel sebagai bahan bakar.

Havendri (2008) dalam penelitiannya tentang Kaji Eksperimental Prestasi dan Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel Menggunakan Variasi Campuran Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jarak (*Jatropha Curcas L*) dengan Solar menyimpulkan bahwa secara umum penggunaan campuran bahan bakar biodiesel minyak jarak dan solar tidak terdapat perubahan yang signifikan pada prestasi motor diesel jika dibandingkan dengan penggunaan minyak solar murni. Campuran biodiesel dengan minyak solar menghasilkan nilai emisi CO₂, SO₂ dan CO yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan minyak solar murni, baik pada saat putaran mesin 1600 rpm maupun pada putaran mesin 1800 rpm. Setelah dibandingkan dengan standar emisi yang berlaku dapat dikatakan penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar masih aman dan layak. Nilai emisi Nox yang dihasilkan pada saat menggunakan campuran biodiesel dengan minyak solar cenderung bertambah naik

seiring dengan bertambahnya penambahan biodiesel pada campuran tersebut. Secara umum penggunaan biodiesel sebagai campuran di dalam bahan bakar menghasilkan konsentrasi Nox yang melebihi standar emisi yang berlaku. Dari hasil pengujian dapat diartikan bahwa biodiesel minyak jarak layak digunakan sebagai alternatif pengganti BBM.

Isalmi (2010) dalam penelitiannya tentang biodiesel dengan bahan baku minyak jelantah yang diujikan pada mesin diesel menyimpulkan bahwa biodiesel minyak jelantah yang dicampurkan dengan minyak solar pada variasi biodiesel 20% (B20) telah memenuhi standar bahan solar. Sedangkan biodiesel 40% (B40) memiliki spesifik gravity yang lebih besar dari minyak solar sekitar 0,3%. Biodiesel B20 dan B40 tersebut mampu memberikan kinerja yang baik ketika diujikan pada mesin diesel dan biodiesel tersebut memiliki kadar emisi gas yang lebih rendah dibanding emisi yang dihasilkan dari bahan bakar minyak solar. Pada biodiesel B40 daya yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel B20 dan minyak solar. Daya Pada biodiesel B40 berkurang sekitar 2,3% terhadap daya yang telah dihasilkan dari minyak solar. Hal ini terjadi karena adanya kelambatan penyalaan pada mesin diesel yang menyebabkan kinerja mesin diesel menjadi kasar sehingga terjadi adanya kehilangan daya pada kinerja mesin diesel. *Specific fuel consumption* (SFC) pada biodiesel B40 rata – rata lebih besar 2,75% dibandingkan yang lainnya, hal ini disebabkan karena nilai kalor biodiesel B40 lebih kecil, sehingga konsumsi bahan bakarnya menjadi besar. Dari hasil pengujian dapat diartikan bahwa biodiesel B20 telah memenuhi standar bahan bakar solar. Biodiesel B20 dan B40 mampu memberikan kinerja yang baik untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel dan emisi gas yang dihasilkan dibandingkan emisi dari bahan bakar minyak solar.

Hardjono (2001) menyimpulkan bahwa mesin diesel yang bekerja dengan kecepatan maksimum masih lebih rendah dibandingkan dengan mesin bensin yang mempunyai kecepatan di atas 4000 rpm. Umumnya mesin diesel bekerja dengan kecepatan antara 50 sampai 2500 rpm. Mesin diesel tidak mempunyai karburator seperti pada mesin bensin, pada mesin diesel menggunakan sistem injeksi bahan bakar. Untuk memperoleh panas yang tinggi ketika digunakan untuk menyalakan

bahan bakar, mesin diesel mempunyai perbandingan kompresi yang tinggi berkisar antara 12:1 sampai 18:1 dan juga tekanan kompresi dapat mencapai 400 sampai 700 psi serta suhu udara yang dimampatkan dapat mencapai 1000°F. Setelah injeksi bahan bakar, tetes bahan bakar yang sangat kecil akan menyala dan nyala melebar secara spontan dalam ruang bakar sehingga menyebabkan tekanannya naik menjadi 600 sampai 1000 psi. Akan tetapi bahan bakar yang disemprotkan tidak akan langsung menyala, tetes-tetes bahan bakar akan berubah terlebih dahulu menjadi uap sebelum terjadi penyalaan. Kelambatan waktu akan terjadi namun sangatlah pendek sekitar satu per seribu detik antara permulaan injeksi dan pembentukan nyala (*ignition delay*). Namun apabila kelambatan penyalaan ini berlebihan, kenaikan tekanan yang drastis akan terjadi pada saat penyalaan yang kemudian akan mengakibatkan operasi mesin menjadi kasar dan mesin mengalami kehilangan daya. Kelambatan penyalaan tergantung pada mesin dan komposisi bahan bakar.

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak diesel, biodiesel memiliki sifat terbarukan (*renewable*) karena berasal dari minyak nabati maupun dari lemak hewani yang di proses melalui transesterifikasi dengan katalisasi alkohol, selain itu biodiesel merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan.

Menurut Kurdi (2006) biodiesel yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi secara umum memiliki nilai sifat fisik yang lebih tinggi dibanding dengan minyak solar. Sifat fisik tersebut meliputi nilai viskositas, densitas, serta flashpoint. Dengan tingginya nilai viskositas tersebut mengakibatkan bahan bakar biodiesel sulit dialirkan sehingga pompa yang bekerja pada mesin diesel akan bekerja lebih berat dan akan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh mesin diesel. Dengan menggunakan biodiesel minyak jarak sebagai bahan bakar, kinerja mesin mengalami penurunan daya sebesar 4.5% terjadi pada putaran mesin sekitar 3500rpm, akan tetapi biodiesel memiliki nilai konsumsi bahan bakar dan emisi gas yang lebih baik jika dibandingkan dengan minyak solar sebagai bahan bakar pada mesin diesel.

Berdasarkan pada tinjauan pustaka tersebut dapat ditarik kesimpulan, bahwa jumlah produksi minyak jarak maupun limbah minyak jelantah mengalami peningkatan tiap tahunnya sehingga minyak jarak dan minyak jelantah sangat berpotensi untuk dijadikan bahan baku biodiesel karena ketersediannya yang melimpah di Indonesia.

Pada penelitian ini digunakan campuran biodiesel minyak jarak – biodiesel minyak jelantah yang akan dicampur minyak solar sebagai variasinya, kemudian akan diujikan pada mesin diesel Jiang Dong tipe R180N.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Bahan bakar Minyak

Bahan bakar fosil atau bahan bakar mineral merupakan sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, petroleum, serta gas alam. Bahan bakar fosil dianggap sebagai sumber energi tak terbarukan, karena proses pembentukannya membutuhkan waktu yang sangat lama. Selain itu menurut Sari dan Pramono (2012) hasil pembakaran dari bahan bakar fosil ini menghasilkan karbondioksida yang merupakan salah satu gas rumah kaca yang menjadi penyebab pemanasan global.

Ketersediaan minyak bumi yang berasal dari fosil ini terus mengalami penurunan seiring dengan penggunaannya yang semakin meningkat. Sehingga perlu dicari bahan bakar alternatif lain yang memiliki sifat dapat diperbarui (*renewable*) serta ramah terhadap lingkungan.

Salah satu sumber energi terbarukan adalah bahan bakar bio cair, yang termasuk dalam bahan bakar bio cair ini adalah bioalkohol seperti metanol, etanol, dan biodiesel. Biodiesel adalah salah satu energi terbarukan yang dapat menggantikan minyak solar. Biodiesel biasanya diperoleh dari limbah minyak sayur dan minyak hewani serta lemak. Biodiesel dapat dijadikan bahan bakar sebagai pengganti minyak solar pada mesin diesel modern dengan sedikit ataupun tanpa modifikasi pada mesin tersebut (Sari dan Pramono, 2012).

2.2.2 Minyak Jarak

Salah satu tumbuhan yang memiliki potensi sangat baik untuk dikembangkan menjadi bahan baku pembuatan biodiesel adalah jarak pagar (*Jatropha Curcas Linneaus*). Menurut Havendri (2008) tanaman jarak pagar merupakan tanaman semak yang dapat tumbuh dengan cepat mencapai ketinggian 3-5 meter di lahan kritis tanpa membutuhkan perawatan, karena mempunyai sistem perakaran yang mampu menahan air dan tanah sehingga mampu tahan terhadap kekeringan pada daerah dengan curah hujan rendah serta berfungsi sebagai tanaman pengendali erosi.

Hambali dkk (2008) menjelaskan bahwa biji jarak pagar rata – rata memiliki ukuran 18 x 11 x 9 mm dengan berat 0,62 gram dan terdiri atas 58,1% biji inti berupa daging dan 41,9% berupa kulit. Pada bagian kulit mengandung 0,8% ekstrak eter. Kadar minyak (trigliserida) yang terkandung dalam inti biji ekuivalen dengan 55% atau 33% dari total berat biji. Asam lemak penyusun minyak jarak pagar terdiri atas 22,7% asam lemak jenuh dan 77,3% asam tak jenuh. Kadar asam lemak pada minyak terdiri dari 17% asam palmiat, 5,6% asam stearat, 37,1% asam oleat, dan 40,2% asam linoleat.

Pengembangan tanaman jarak pagar paling sesuai untuk lahan kritis yang ada di Indonesia, diantaranya : Papua, NTB, NTT, Sulawesi, Jawa, Bali, Sumatra barat, Bengkulu, Sumatra utara, dan Nangroe aceh darussalam. Minyak jarak merupakan minyak yang tidak termasuk dalam kategori minyak makan (edible oil) sehingga pemanfaatannya sebagai biodiesel tidak akan mengganggu penyediaan kebutuhan minyak makan nasional, kebutuhan industri olekimia, dan ekspor CPO (Hambali. dkk, 2008)

2.2.3 Minyak Jelantah

Menurut Swern (1982) di dalam Wahyuni (2011), minyak goreng merupakan minyak yang diperoleh dengan cara pemurnian minyak nabati dan dipergunakan sebagai bahan makanan. Minyak nabati yang dipergunakan untuk menggoreng biasanya mengandung banyak asam lemak tidak jenuh, yaitu asam

oleat dan asam linoleat. Minyak yang termasuk dalam golongan ini antara lain minyak jagung, minyak wijen, minyak kacang tanah, minyak sawit, minyak biji bunga matahari, minyak zaitun, dan minyak biji bunga matahari. Sebagian besar minyak goreng yang ada di Indonesia berasal dari minyak kelapa sawit. Secara umum asam lemak yang terkandung dalam minyak akan menentukan kualitas dari minyak tersebut, karena trigliserida dari suatu minyak atau lemak mengandung 94 – 96% asam lemak sehingga sebagai komponen utama yang menyusun trigliserida maka sifat fisik, kimia, dan stabilitasnya ditentukan oleh komponen asam lemaknya. Asam lemak yang terdapat pada minyak sawit adalah asam oleat dan asam palmitat.

Pada umumnya minyak goreng tidak akan langsung habis dalam sekali pemakaian untuk penggorengan, sehingga akan menyisakan minyak goreng bekas atau yang lebih dikenal dengan sebutan minyak jelantah. Minyak jelantah tersebut telah mengalami perubahan fisik, baik sifat fisik maupun kimianya, bahkan bersifat karsinogenik (racun) bagi tubuh manusia. Sejumlah penelitian telah dilakukan dan menyimpulkan bahwa pemanasan minyak pada suhu tinggi dengan adanya oksigen akan mengakibatkan rusaknya asam – asam lemak jenuh yang terkandung dalam minyak, seperti asam oleat dan asam linoleat. Kerusakan minyak akibat pemanasan dapat dilihat dari perubahan warna, kenaikan kekentalan, kenaikan kandungan asam lemak bebas, kenaikan bilangan peroksida, dan kenaikan kandungan *urea adduct forming esters*. Selain itu dapat dilihat juga terjadinya penurunan bilangan iod dan penurunan kandungan asam lemak tak jenuh (Perkins, 1967).

Menurut Asthasari (2008) walaupun asam lemak menjadi indikator penurunan mutu pada minyak goreng, tetapi asam lemak bebas berpotensi dalam pembuatan produk oleokimia dasar. Yang termasuk ke dalam produk oleokimia dasar adalah *fatty alcohol*, gliserol, asam lemak, dan metil ester. Dari semua produk oleokimia tersebut merupakan hasil dari reaksi dengan persenyawaan minyak / lemak dengan atau tanpa bantuan katalis.

Minyak jelantah memiliki potensi jika ditangani dengan baik, salah satunya sebagai bahan baku biodiesel. Menurut Hambali dkk (2008), pada umumnya

diperlukan dua tahap untuk mengkonversi minyak jelantah menjadi biodiesel, yaitu menggunakan proses esterifikasi dan proses transesterifikasi.

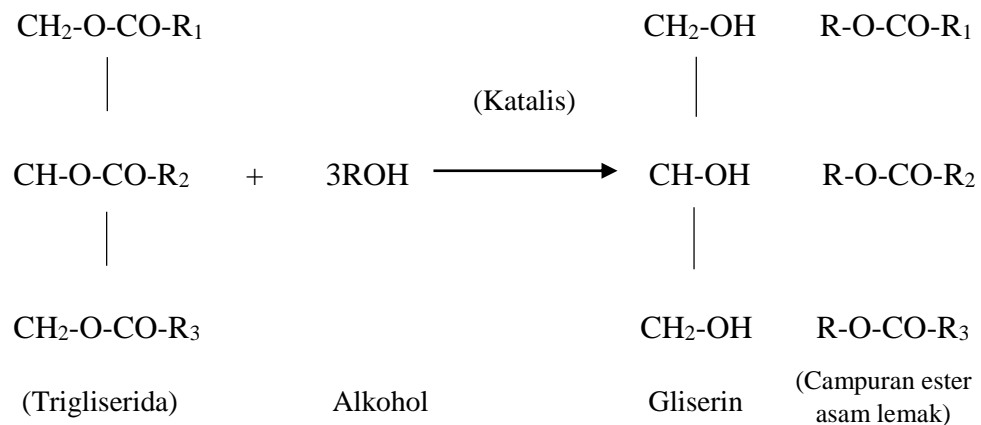
2.2.4 Biodiesel

The American Society for Testing and Material (ASTM) (1998) di dalam Asthasari (2008) mendefinisikan biodiesel sebagai mono-alkil ester yang terdiri dari asam lemak rantai panjang, didapat dari lemak terbarukan, seperti minyak nabati atau minyak hewani. Mono-alkil ester dapat berupa metil ester atau etil ester, tergantung dari sumber alkohol yang digunakan sebagai katalis. Menurut Swern (1982) di dalam Sumangat (2011) Metil ester atau etil ester adalah senyawa yang relatif stabil, berwujud cairan pada suhu ruang (titik leleh antara 4° - 8°C), nonkorosif, dan titik didihnya rendah. Metil ester dapat digunakan sebagai pengganti minyak diesel karena metil ester menghasilkan proses pembakaran yang bersih tanpa emisi sulfur dioksida. Walaupun tingkat panas pembakarannya lebih rendah, tidak diperlukan penyesuaian mesin, dan efisiensi.

Biodiesel merupakan bahan bakar rendah emisi sebagai pengganti bahan bakar diesel (minyak solar) yang terbuat dari sumber daya terbarukan dan limbah lemak (Leung, et al. 2009). Menurut Kurdi (2006) Biodiesel terbentuk dari rantai panjang asam lemak dan alkohol. Asam lemak biasanya terdapat pada minyak nabati maupun minyak hewani. Biodiesel dari minyak nabati maupun minyak hewani dapat dihasilkan dengan cara mereaksikan *methyl alcohol* atau *ethyl alcohol* pada suatu lingkungan yang diberi katalis. Katalis yang sering digunakan dalam pembuatan biodiesel biasanya *pottasium hydroxide* (KOH) ataupun *sodium hydroxide* (NaOH). Pembuatan biodiesel dengan proses tersebut dinamakan *transesterifikasi*, yang pada akhirnya akan menghasilkan biodiesel dan gliserol. Secara kimiawi, apabila alkohol yang digunakan jenis metanol maka biodiesel disebut *methyl ester* dan jika menggunakan alkohol jenis etanol maka disebut *ethyl ester*.

Dalam menghasilkan biodiesel cara yang paling umum digunakan adalah melalui proses transesterifikasi, terutama transesterifikasi yang dikatalisasikan

dengan alkali. Minyak nabati ataupun minyak hewani merupakan ester asam monokarboksilat jenuh dan tidak jenuh dengan gliserida alkohol *trihydric*. Sehingga ester ini disebut dengan trigliserida yang kemudian dapat direaksikan pada alkohol dengan adanya katalis, umumnya proses ini dinamakan transesterifikasi.



Gambar 2.1 Bentuk reaksi kimia proses transesterifikasi

(Leung dkk., 2009)

Dimana R1, R2, R3 merupakan rantai panjang hidrokarbon atau juga sering disebut dengan rantai asam lemak. Minyak nabati dan minyak hewani memiliki lima jenis rantai utama yaitu palmitat, stearat, oleat, linoleat, serta linolenat. 1 mol ester akan terbebas pada setiap langkah ketika trigliserida diubah secara bertahap untuk menjadi digliserida, monogliserida, dan pada akhirnya menjadi gliserol (Leung dkk., 2009).

2.2.5 Bahan Bakar Diesel

Menurut Murni (2010) bahan bakar diesel atau juga sering disebut solar (*light oil*) merupakan suatu campuran hidroksida yang diperoleh melalui proses penyulingan minyak mentah pada temperatur antara 200°C-340°C. Hidrokarbon dengan rantai rumus *n-setana* (n-C16H34) dan *α-metil naftalena* (αCH3-C10H7) merupakan minyak solar yang sering digunakan. Beberapa sifat dari suatu bahan bakar yang akan mempengaruhi prestasi kinerja mesin diesel seperti viskositas, angka setana, flashpoint, titik tuang, penguapan (*volality*), residu karbon, kadar belerang, abu dan endapan, serta sifat korosi.

Bahan bakar diesel diharapkan akan relatif mudah terbakar dengan sendirinya tanpa harus dipicu menggunakan letikan api dari busi apabila diinjeksikan ke dalam udara panas yang bertekanan pada suatu ruang bakar. Menurut Suhartanta dan Arifin (2008), bilangan setana (*cetane number*) menjadi tolak ukur dalam hal ini, dimana semakin tinggi suatu bilangan setana maka akan semakin mudah terbakar. Bahan bakar diesel umumnya diberi bilangan setana dengan rentang antara 0 – 100, dimana 100 merupakan bilangan setana untuk bahan bakar yang sangat mudah terbakar, sedangkan bahan bakar yang sulit terbakar diberi nilai dengan bilangan setana nol. Bahan bakar diesel dengan bilangan setana yang baik idealnya memiliki angka yang lebih besar dari 30, supaya terjadi pembakaran yang lebih sempurna ketika di dalam suatu ruang bakar. Bahan bakar diesel juga diharapkan memiliki kekentalan (*viskositas*) yang relatif rendah agar mudah ketika melalui proses pada pompa injeksi, dan memiliki titik nyala (*flashpoint*) yang tinggi supaya tidak mudah terbakar ketika pada suhu kamar.

2.2.6 Karakteristik Bahan Bakar

2.2.6.1 Viskositas

Menurut Sinarep dan Mirmanto (2011), Viskositas yaitu suatu angka yang menyatakan besar kecilnya perlawanan atau hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau besarnya tahanan geser dari suatu bahan cair. Dimana suatu bahan cair yang memiliki angka viskositas tinggi maka akan sulit mengalir, begitu juga sebaliknya jika suatu bahan cair memiliki angka viskositas rendah maka akan mudah mengalir. Angka viskositas pada bahan bakar sangat penting ketika digunakan pada suatu mesin diesel, karena nilai viskositas berkaitan dengan penyuplaian konsumsi suatu bahan bakar melalui injektor yang akan berpengaruh pada kesempurnaan suatu proses pengkabutan (*atomizing*) pada ruang bakar. Apabila angka viskositas suatu bahan bakar terlalu tinggi maka akan mengganggu proses *atomizing* pada ruang bakar karena akan sulit dikabutkan, sedangkan angka viskositas terlalu rendah yang dimiliki suatu bahan bakar dapat menimbulkan *abrasive* atau gesekan pada ruang bakar, karena dalam proses gerakan piston membutuhkan pelumasan.

2.2.6.2 Densitas

Menurut Sinarep dan Mirmanto (2011) massa jenis suatu zat atau sering disebut densitas ini merupakan kuantitas konsentrasi dari suatu zat yang dinyatakan dalam massa persatuan volume. Temperatur dapat mempengaruhi nilai densitas dari suatu zat. Semakin tingginya temperatur suatu zat maka kerapatan zat tersebut akan semakin rendah, hal ini dikarenakan molekul – molekul yang saling mengikat pada suatu zat akan terlepas. Kenaikan temperatur suatu zat akan menyebabkan volume zat tersebut meningkat, sehingga hubungan antara densitas dengan volume suatu zat berbanding terbalik.

2.2.6.3 Flashpoint

Sinarep dan Mirmanto (2011) menjelaskan bahwa flashpoint sebagai titik temperatur terendah dari suatu bahan bakar, dimana bahan bakar tersebut akan menguap dan mengeluarkan nyala sebentar apabila disinggungkan dengan percikan api, dan kemudian akan padam dengan sendirinya dalam tempo waktu yang singkat. Hal ini terjadi karena pada kondisi tersebut belum mampu untuk membuat suatu bahan bakar bereaksi dan mengeluarkan nyala yang bersifat kontinyu. Proses pemanasan terhadap bahan bakar secara konstan dapat menentukan titik flashpoint dari suatu bahan bakar, setelah temperatur pada titik tertentu tercapai maka bahan bakar tersebut akan mengalami penguapan. Uap tersebut akan menyala jika sumber api diarahkan pada uap tersebut sehingga dapat menimbulkan percikan api.

Menurut Kurdi (2006) *flash point* yang tinggi akan memudahkan penanganan bahan bakar, karena bahan bakar tidak perlu disimpan pada suhu rendah. Sebaliknya, *flash point* bahan bakar yang terlalu rendah akan membahayakan karena tingginya resiko terjadi penyalaan.

2.2.6.4 Nilai Kalor

Menurut Sinarep dan Mirmanto (2011) energi kalor yang terkandung dalam setiap satuan massa bahan bakar dapat ditunjukkan dengan nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka semakin besar energi yang terkandung dalam bahan bakar tersebut. Reaksi kimia yang terjadi antara suatu bahan bakar

dengan oksigen dari udara akan menghasilkan panas. Nilai kalor bahan bakar (*Calorific Value*) merupakan besarnya panas yang ditimbulkan pada satu satuan bahan bakar yang dibakar secara sempurna.

2.2.7 Motor Bakar

Menurut Rumarhobo (2011), motor bakar torak menggunakan sebuah silinder, silinder ini digunakan sebagai tempat torak yang bergerak secara bolak – balik atau translasi. Di dalam silinder tersebut terjadi proses kompresi udara yang mengakibatkan terjadinya proses pembakaran setelah bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar tersebut. Piston digerakkan oleh gas yang dihasilkan dari proses pembakaran, selanjutnya gerakan piston akan diteruskan ke poros engkol melalui batang penghubung (*connecting rod*). Sehingga dari gerak translasi torak tersebut menyebabkan terjadinya gerak rotasi pada poros engkol.

Menurut Rumarhobo (2011), motor pembakaran (motor bakar) adalah mesin panas yang beroperasi menggunakan gas dari hasil pembakaran suatu bahan bakar yang terjadi pada ruang bakar di dalam mesin yang kemudian digunakan secara langsung. Motor diesel adalah jenis khusus dari motor pembakaran dalam, sesuai dengan namanya, motor pembakaran dalam adalah mesin panas yang didalamnya, energi kimia dari pembakaran dilepaskan di dalam silinder mesin.

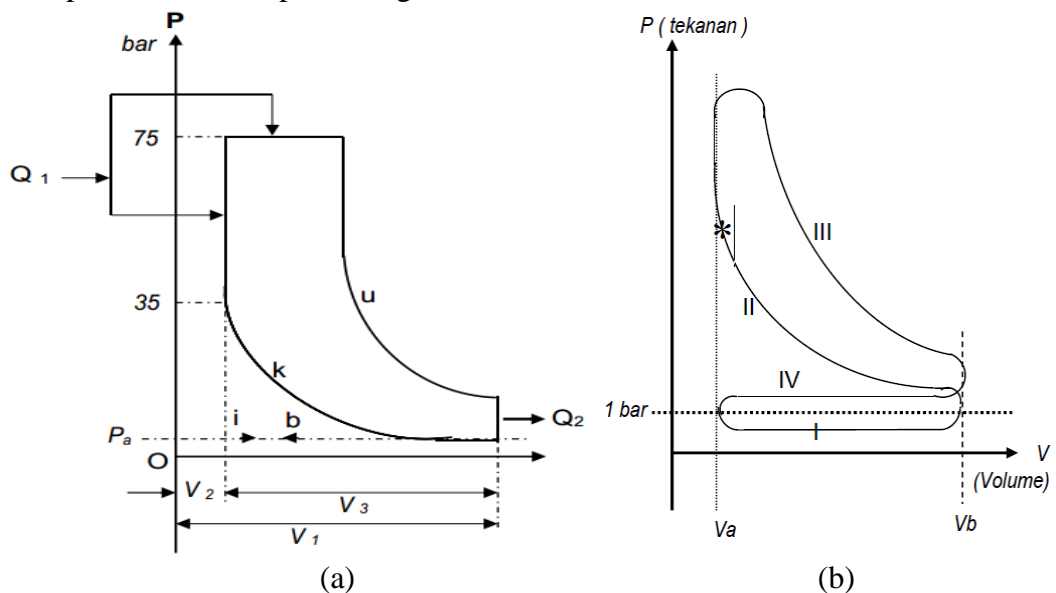
2.2.7.1 Motor Diesel

Ulungen (1989) di dalam Sari (2012) menjelaskan bahwa motor diesel merupakan 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. Mesin yang dibuat dengan prinsip inilah yang disebut mesin dengan pengapian kompresi yang secara ideal adalah siklus diesel. Perbandingan kompresi menurut Pudjanarsa dan Nursuhud (2008) adalah 12 : 1 – 24 : 1 temperatur udaranya dapat mencapai 450°C - 550°C dan tekanannya 30 – 40 kgf/cm². Bahan bakar

diinjeksikan dengan tekanan tinggi ($110 - 200 \text{ kgf/cm}^2$) dengan menggunakan pompa bahan bakar.

Menurut Samlawi (2018) mesin diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi didalam mesin itu sendiri (*internal combustion engine*) dan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan / dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas dan tekanan menjadi tinggi didalam ruang bakar. Tekanan ini mendorong piston kebawah yang berlanjut dengan poros engkol berputar.

Pada motor diesel terdapat siklus udara tekanan konstan (siklus diesel) yang merupakan suatu proses terjadinya pemasukan dan pengeluaran kalor dengan tekanan konstan. Siklus adalah suatu proses yang terjadi berulang - ulang secara kontinyu dan setiap proses tersebut merubah kondisi gas didalam ruang bakar. Siklus dari suatu mesin diesel terdiri dari 4 (empat) tahapan yaitu ; pengisian, kompresi, usaha dan pembuangan.



Gambar 2.2 Siklus mesin diesel

(a) Bagian-bagian siklus diesel (b) Indikator proses siklus diesel

(Samlawi, 2018)

(a) Bagian – bagian siklus diesel :

V_1	=	Volume silinder (Volume langkah + ruang bakar)
V_2	=	Volume ruang bakar
V_3	=	Volume langkah piston
P_a	=	Tekanan udara
i	=	Proses pengisian udara sewaktu langkah hisap
k	=	Proses kompresi diperlihatkan tekanan maksimum 35 bar, dilanjutkan dengan pembakaran sampai 75 bar
Q1	=	Terjadi penambahan energi yang cukup besar sewaktu terjadi pembakaran pada akhir langkah kompresi dan awal langkah usaha
u	=	Garis yang memperlihatkan proses usaha
b	=	(ke arah kiri) adalah proses pembuangan gas asap
Q2	=	Daya yang dihasilkan

(b) Indikator proses dari siklus yaitu :

I	:	Langkah hisap, tekanan (p) konstan (isobarik)
II	:	Langkah kompresi, tekanan (p) bertambah (adiabatik)
III	:	Langkah usaha (adiabatik)
IV	:	Langkah buang, tekanan (p) konstan (isobarik)

Proses ini diawali dengan adanya udara yang masuk ke dalam silinder, selanjutnya udara dikompresi hingga mencapai temperatur dan tekanan yang tinggi. Udara dengan temperatur dan tekanan ini yang akan digunakan untuk membakar bahan bakar yang telah disemprotkan ke dalam ruang bakar. Proses terbakarnya bahan bakar tersebut akan mengakibatkan terjadinya ledakan, sehingga terjadi peningkatan pada tekanan dan selanjutnya akan mendorong torak menuju titik mati bawah (TMB) atau yang biasa disebut sebagai ekspansi adiabatik. Gas sisa dari hasil pembakaran tersebut selanjutnya akan dibuang melalui katup *exhaust*. Selama mesin masih hidup proses pembakaran yang terjadi pada siklus tersebut akan berlangsung secara terus-menerus.

2.2.7.2 Proses Pembakaran Pada Mesin Diesel

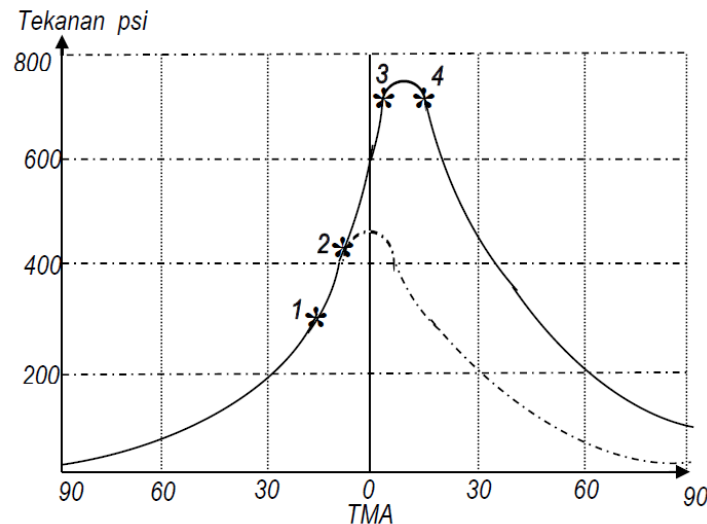
Menurut Samlawi (2018) faktor yang menentukan kualitas pembakaran antara lain : Kadar oksigen, Tekanan udara yang dikompresi, Suhu / panas udara yang dikompresi, Timing pembakaran, Tekanan pengkabutan bahan bakar pada injektor, Kualitas bahan bakar, Jumlah (volume) bahan bakar yang diinjeksikan.

Hasil dari pembakaran mesin diesel ditentukan oleh bahan bakar, oxygen dan kompresi yang tinggi. Namun suatu hal yang tidak kalah pentingnya adalah saat yang tepat menyemprotkan bahan bakar, inilah yang disebut dengan saat penyemprotan (*Injection timing*). Bila saat penyemprotan tak tepat maka tidak mungkin bisa mendapatkan daya optimal dan juga sebaliknya.

Penyemprotan bahan bakar dapat dilakukan pada saat tekanan kompresi, katup masuk dan katup buang pada posisi tertutup, ruang bakar mencapai temperatur nyala, volume didalam silinder menurun, tekanan dan temperatur udara naik. Pada akhir langkah kompresi mesin diesel tekanan udara di dalam silinder mencapai ± 30 bar dan temperatur mencapai $\pm 550^{\circ}$ C.

Poros engkol terus berputar selama penyemprotan berlangsung. Selama penyemprotan tekanan maximum didalam silinder naik ± 75 bar dan temperatur pembakaran bisa meningkat mencapai 1500° C atau lebih.

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



Gambar 2.3 Diagram proses pembakaran motor diesel
(Samlawi, 2018)

Perubahan tekanan ditunjukkan pada garis ordinat dan waktu ditunjukkan sebagai aksisnya. Gambar 2.3 menunjukkan perubahan tekanan selama 180° yaitu dari 90° sebelum TMA sampai 90° sesudah TMA. Kurva titik - titik yang simetris pada sisi kanan menunjukkan ekspansi pengisian udara tanpa adanya bahan bakar. Setelah bahan bakar diinjeksikan dan terjadi pembakaran, maka prosesnya akan terjadi 4 periode yang terpisah

1. Periode pertama : Dimulai dari titik 1 sampai titik 2 yaitu bahan bakar mulai disemprotkan. Periode ini disebut periode persiapan pembakaran atau periode kelambatan (*delay period*). Periode keterlambatan penyalaan ini juga tergantung dari beberapa faktor antara lain pada mutu penyalaan bahan bakar dan beberapa kondisi misalnya, kecepatan mesin dan perbandingan kompresi.
2. Periode kedua : Yaitu antara 2 dan 3, Pada titik 2 bahan bakar mulai terbakar dengan cepat sehingga tekanan naik dengan cepat pula dan sementara piston juga masih bergerak menuju TMA. Selain itu bahan bakar yang terbakar

juga makin banyak, sehingga walaupun piston mulai bergerak menuju TMB tapi tekanan masih naik sampai titik 3. Periode ini disebut periode cepat.

3. Periode ketiga : Dinamakan periode pembakaran terkendali, yaitu antara 3 dan 4 pada periode ini meskipun bahan bakar lebih cepat terbakar, namun jumlah bahan bakar sudah tidak banyak lagi dan proses pembakaran langsung pada volume ruang bakar yang bertambah besar.
4. Periode keempat : Yaitu periode dimana pembakaran masih berlangsung, karena adanya sisa bahan bakar yang belum terbakar dari periode sebelumnya walaupun sudah tidak ada pemasukan bahan bakar.

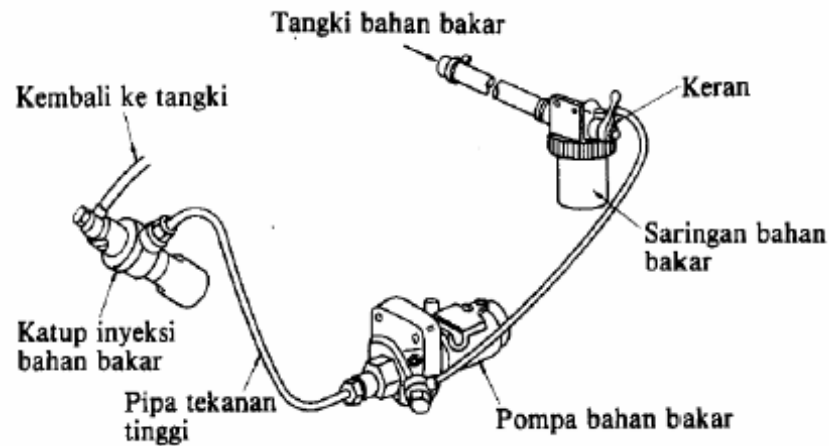
Dari keempat periode proses pembakaran tersebut semuanya berhubungan erat pada tingkat keefektifitasan dari suatu kinerja mesin. Karakteristik suatu bahan bakar yang digunakan akan berpengaruh pada efektifitas suatu mesin.

Karakteristik dari suatu bahan bakar sangat penting untuk diketahui, karena berhubungan dengan kualitas penyalaan (*ignition quality*). Kualitas dari penyalaan ini berkaitan dengan *ignition delay*. Dimana semakin pendek *ignition delay* maka kualitas penyalaan akan semakin baik. Kualitas tersebut dapat ditunjukkan dengan angka setana (*Cetane Number, CN*)

2.2.8 Sistem Bahan Bakar

Menurut Rabiman dan Arifin (2011) performa dari suatu sistem bahan bakar (*fuel system*) akan sangat berpengaruh pada kinerja dari suatu motor diesel. *Fuel system* ini memiliki peranan yang sangat penting dalam menyediakan dan menyuplai bahan bakar ke dalam suatu ruang pembakaran sesuai dengan kapasitas dari mesin tersebut.

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 injek bahan bakar, pipa tekanan tinggi dan pengabut (*nozzle*).



Gambar 2.4 Skema aliran bahan bakar motor diesel

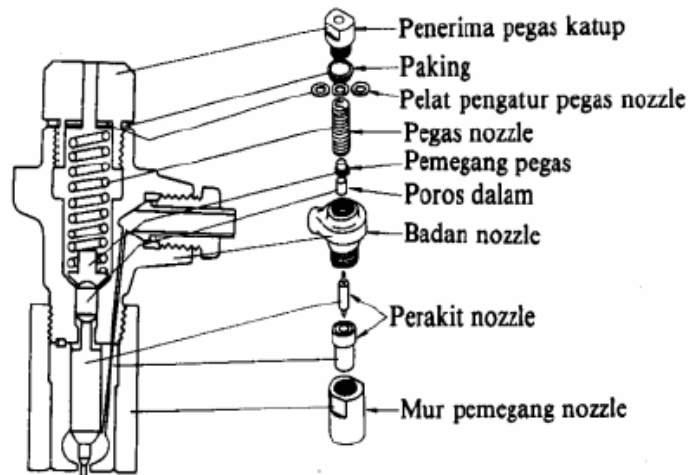
(Swisscontact, 2000)

Rabiman dan Arifin (2011) menjelaskan cara kerja dari sistem bahan bakar pada suatu motor diesel secara umum adalah sebagai berikut : Pada saat keran bahan bakar di putar ke arah posisi terbuka maka bahan bakar tersebut akan mengalir ke pompa injeksi yang sebelumnya telah melewati saringan bahan bakar (fuel filter). Ketika mesin sudah mulai beroperasi, pompa injek kemudian akan bekerja dengan cara memompakan bahan bakar menuju injektor melalui pipa tekanan tinggi. Tekanan dari bahan bakar yang tinggi akan mengakibatkan pegas pada penahan katup nosel di dalam injektor terdesak naik sehingga nosel terbuka kemudian bahan bakar akan diinjeksikan ke dalam ruang bakar sudah dalam bentuk kabut. Setelah proses injeksi bahan bakar selesai, selanjutnya katup nosel yang tadinya terbuka akan menutup kembali karena terdorong oleh tekanan pegas pengembali.

2.2.8.1 Injektor dan Nosel

Menurut Rinaldi (2013) injektor pada motor diesel berfungsi sebagai penghantar suatu bahan bakar dari pompa injektor menuju ke dalam silinder pada setiap langkah kompresi dimana pada saat itu piston sudah mendekati titik mati atas (TMA). Injektor yang telah dirancang sedemikian rupa ini berguna untuk mengubah tekanan bahan bakar dari pompa injektor yang sudah bertekanan tinggi untuk mengubah bahan bakar menjadi bentuk kabut yang bertekanan antara 60 – 200 kg/cm².

Nosel merupakan salah satu bagian komponen dari suatu injektor yang berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar.



Gambar 2.5 Konstruksi injektor

(Swisscontact, 2000)

Nosel yang berfungsi sebagai katup pembentuk kabutan bahan bakar ini salah satu bagian dari komponen injektor yang terletak pada ujung injektor. Nosel terpasang pada bodi injektor dengan menggunakan sebuah mur pengikat (*retaining nut*).

Besar tekanan pengabutan dari suatu nosel dapat diatur melalui tegangan pegas yang kemudian akan menekan jarum pada nosel. Apabila tekanan yang diinginkan lebih tinggi, maka dapat dilakukan dengan menambah plat pengatur pegas nosel dan juga sebaliknya.

Rinaldi (2013) menjelaskan konsep kerja dari suatu injektor yaitu bahan bakar yang ditekan oleh pompa injeksi selanjutnya masuk ke dalam injektor melalui saluran tekanan tinggi. Tekanan bahan bakar yang tinggi kemudian akan mendorong jarum pengabut untuk melawan arah tegangan pegas, sehingga jarum pengabut akan terangkat dan membuka lubang injektor kemudian bahan bakar akan masuk ke dalam silinder. Pada saat proses penginjeksian ini ada sebagian bahan bakar yang tidak terinjeksikan, bahan bakar yang tidak ikut terinjeksikan akan disalurkan kembali ke dalam tangki bahan bakar melalui saluran balik.

2.2.9 Daya listrik

Daya listrik merupakan besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan dalam 1 detik atau besarnya suatu energi listrik yang dihasilkan oleh sumber dari setiap detik. Apabila dalam waktu t detik suatu sumber tegangan telah melakukan usaha sebesar W , maka daya dari suatu alat tersebut dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Rumahorbo, 2014) :

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

dengan, P : Daya (Joule/detik) atau Watt

W : Usaha (Joule)

t : Waktu (detik)

1 Joule / detik = 1 Watt atau $1 \text{ J} / \text{s} = 1 \text{ W}$

Karena $W = VIt$, maka :

$$P = \frac{VIt}{t} \text{ atau } P = V \times I$$

dengan, P : Daya (Watt)

V : Tegangan / beda potensial (Volt)

I : Arus (Ampere)

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

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *Specific fuel consumption (SFC)* merupakan suatu parameter kinerja mesin yang berhubungan dengan tingkat ekonomis dari sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal tersebut maka sebuah mesin dapat diketahui berapa banyaknya konsumsi bahan bakar terhadap daya yang telah dihasilkan oleh mesin tersebut dalam satuan waktu.

Untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption*, dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Rumahorbo, 2014) :

$$\text{SFC} = \frac{m_f}{p}$$

dengan, 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 :

$$m_f = \frac{\rho_f \times V_f}{t_f} \times 3600$$

dengan, 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)

2.2.11 Besar Sudut dan Panjang Injeksi Bahan Bakar

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

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

Untuk mencari panjang semprotan atau injeksi bahan bakar dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Borman, 1998) :

$$\frac{L}{L_b} = 0,0349 \times \left(\frac{\rho_\alpha}{\rho_f}\right)^{1/2} \times \left(\frac{t}{d_0}\right) \times \left(\frac{\Delta p}{\rho_f}\right)^{1/2}$$

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

$$L_b = 15,8 \times d_0 \times \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_\alpha}}$$

Keterangan :

- L : Panjang semprotan (mm)
- ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m³)
- ρ_α : Densitas udara (kg/m³)
- Δp : Tekanan injeksi (Pa)
- d_0 : Diameter lubang nosel (mm)

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

$$\theta = 0,05 \times \left(\frac{\Delta P \times (d_0)^2}{\rho_f \times \nu_f}\right)^{1/4}$$

Keterangan :

- θ : Sudut semprotan (°)
- ΔP : Tekanan injeksi (Pa)
- d_0 : Diameter lubang nosel (mm)
- ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m³)
- ν_f : Viskositas kinematik bahan bakar (m²/s)