**II. TINJAUAN PUSTAKA**

1. **Zeolit**
2. **Tentang Zeolit**

Penemuan zeolit didunia dimulai dengan ditemukannya Stilbit oleh Axel Fredick Cronstredzt pada tahun 1756 menggambarkan kekhasan mineral ini ketika berada dalam pemanasan terlihat seperti mendidih karena molekulnya kehilangan air dengan sangat cepat. Sesuai dengan sifatnya tersebut maka mineral ini diberi nama zeolit yang berasal dari kata ‘zein’ yang berarti mendidih dan ‘*lithos*’ yang berarti batuan. Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang memiliki kerangka struktur tiga dimensi (3D), mikroporous, dan merupakan padatan kristalin dengan kandungan utama silikon, aluminium, dan oksigen serta mengikat sejumlah tertentu molekul air di dalam porinya (http://www.chem-is-try.com).

Secara umum, zeolit memiliki molekular struktur yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom *Silicon* digantikan degan atom Aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom Oksigen. Atom Aluminium ini hanya memiliki muatan 3+, sedangkan *Silicon* sendiri memiliki muatan 4+. Keberadaan atom Aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan Zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan Zeolit mampu mengikat kation.

Zeolit juga sering disebut sebagai *molecular sieve* atau *molecular mesh* atau saringan molekuler karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekular sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain : mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, sehingga dapat menyerap air. Serta memiliki ukuran rongga tertentu yang digunakan sebagai katalis (http://id.wikipedia.org/wiki/Zeolit).

****

Gambar 1 a). Batuan zeolit (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tekonologi Mineral dan Batubara. 2005). b). Struktur molekular zeolit secara umum (http://www.chem-is-try.com)

Rumus kimia zeolit secara empiris ditunjukkan sebagai berikut (Bekkum, 1991) :

Mx/n.[(AlO2)x.(SiO2)y].wH2O,

dimana notasi M adalah kation logam alkali atau alkali tanah, x, y, dan w adalah bilangan-bilangan tertentu sedangkan n adalah muatan dari ion logam. Dari rumus zeolit diatas dapat dilihat adanya tiga komponen yang merupakan bagian dari zeolit, yaitu :

* Kerangka Aluminosilikat . [(AlO2)x.(SiO2)y]
* Logam Alkali (Mx/n) (Be,Mg,Ca,Sr,Ba,Ra)
* Air (wH2O)

Zeolit berdasarkan asalnya secara umum dibedakan menjadi dua yaitu : zeolit alam dan zeolit sintetik (Bekkum H.V. 1991). Zeolit alam adalah zeolit yang berasal dari batu gunung berapi yang diperoleh dengan cara penambangan, zeolit alam yang banyak digunakan saat ini yaitu kabazit, mordenit, dan klinoptilolit (Hendri, J. 2000). Zeolit buatan dibuat dari bahan sintetik dan diproduksi pertama kali oleh Richard Barrer pada tahun 1948. Mineral zeolit yang paling umum ditemui adalah klinoptilolit, yang mempunyai komposisi kimia (Na3K3)(Al6Si30O72).24H2O. Ion Na+ dan K+ merupakan kation yang dapat dipertukarkan, sedangkan atom Al dan Si merupakan struktur kation dan oksigen yang akan membentuk struktur tetrahedron pada zeolit (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tekonologi Mineral dan Batubara, 2005). Karakterisasi dengan difraksi sinar-X menunjukkan bahwa jenis zeolit sidomulyo (Lampung) adalah klinoptilolit dengan komposisi kimia adalah 76,95 % SiO2, 8,9 % Al2O3, 0,12% Fe2O3, 1,5 % CaO, 1,21 % MgO, 1,88 % K2O, 2,02 % Na2O (Hendri, J. 2000).

Salah satu pemanfaatan zeolit alam ini adalah sebagai adsorben udara. Semakin tinggi konsentrasi oksigen dalam udara pembakaran, semakin tinggi mutu proses pembakaran yang terjadi, karena panas awal yang tersedia akan banyak diserap oleh bahan bakar dan oksigen.

1. **Sifat-Sifat Zeolit**

Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, antara lain :

* 1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi zeolit berpengaruh terhadap sifat jerapannya. Keunikan zeolit terletak pada struktur porinya yang spesifik. Pada zeolit alam didalam pori-porinya terdapat kation-kation atau molekul air. Bila kation-kation atau molekul air tersebut dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong (Barrer, 1982).

* 1. Penyerapan

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penjerap gas atau cairan (Khairinal, 2000).

* 1. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion (Poerwadi, B. Dkk., 1995).

* 1. Katalis

Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektivitas molekuler seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat dalam substansi zeolit alam (Poerwadi, B. Dkk., 1995).

* 1. Penyaring / Pemisah

Zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah didasarkan atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari ruang hampa akan ditahan (Poerwadi, B. Dkk., 1995). Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa zeolit alam mampu dimanfatkan sebagai *adsorb*en limbah pencemar dari beberapa industri. Zeolit mampu menjerap berbagai macam logam, antara lain Ni, Np, Pb, U, Zn, Ba, Ca, Mg, Sr, Cd, Cu dan Hg (Kosmulski, 2001).

1. **Aktivasi Zeolit**

Pada dasarnya zeolit tanpa diaktivasi telah mampu meningkatkan kualitas pembakaran pada ruang bakar, namun fungsi tersebut masih lebih rendah kemampuannya jika dibandingkan dengan zeolit yang telah diaktivasi. Hal ini disebabkan oleh unsur-unsur pengotor yang masih terkandung pada zeolit alam murni sehingga menutupi permukaan pori-porinya, dan jenis kation penetral yang masih beragam. Untuk lebih meningkatkan kualitas dari oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran, maka diperlukan zeolit yang lebih baik lagi. Berikut ini adalah beberapa cara pengolahan zeolit untuk meningkatkan kemampuan menjadi lebih tinggi antara lain :

1. Preparasi

Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan. Preparasi terdiri dari tahap peremukan (*crushing*), penggerusan, sampai pengayakan. Setelah zeolit digerus, kemudian zeolit diayak dengan menggunakan saringan untuk memperoleh ukuran produk yang dibutuhkan.

1. Aktivasi

Proses aktivasi zeolit alam dikelompokkan menjadi 3 cara yaitu :

1. Aktivasi Fisik

Pengaktivasian zeolit alam secara fisik dilakukan dengan pemanasan. Proses pemanasan zeolit alam dilakukan pada suhu 200-400 0C dan waktu pemanasan dalam sistem vakum 2-3 jam, sedangkan jika di ruang terbuka sekitar 5-6 jam (Suyartono dan Husaini, 1992). Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori-pori dan luas permukaannya spesifiknya bertambah. Menurut Bambang Suryawan (2001), dalam Triyogo (2006), mengatakan bahwa zeolit alam Lampung jenis klinoptilolit dengan pemanasan hingga temperatur 180 0C memiliki kecenderungan mampu menyerap uap air yang terkandung dalam udara sebanyak 90 gram untuk setiap 202 gram zeolit kering. Pada penelitian Mahdi (2006) mengatakan bahwa Temperatur pemanasan zeolit yang paling baik untuk meningkatkan kinerja dari motor diesel adalah dengan menggunakan temperatur 325 ºC.

1. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia adalah pengaktivasian dengan menggunakan bahan-bahan kimia, baik berupa asam ataupun basa. Fungsi asam atau basa adalah untuk mencuci kation-kation yang mengotori permukaan zeolit. Bahan kimia yang dapat digunakan untuk proses aktivasi zeolit alam adalah larutan asam (H2SO4, HCl dan HNO3) dan larutan basa (NaOH dan KOH) (Humam, 1996 dan Husaini, 1992). Tujuan aktivasi secara kimia adalah membersihkan permukaan pori, melarutkan oksida-oksida pengotor termasuk silika dan aluminium bebas serta mengatur kembali letak atom serta melarutkan beberapa logam alkali dan alkali tanah sehingga dapat terbentuk zeolit-H+ atau zeolit-Na+ (Hendri, J. 2000 dan Suyartono, 1992).

Proses pertukaran kation pada aktivasi kimia dapat ditunjukkan sebagai berikut :

 Zeolit-Mn + H2SO4 🡪 Zeolit-H+ + MnSO4

 Zeolit-Mn + NaOH 🡪 Zeolit-Na+ + MnOH

Kondisi optimum pengaktivan zeolit dengan larutan asam adalah dengan menggunakan larutan H2SO4 0,2 N dengan lama pengadukan 45 menit yang dapat meningkatkan luas permukaan zeolit dari 38,11 m2/g menjadi 53,23 m2/g serta juga meningkatkan daya adsorbsi zeolit dari 82,07 ppm menjadi 90,22 ppm (Humam, 1996). Bila larutan H2SO4 makin pekat dan perendaman makin lama, maka dapat menyebabkan dealuminasi yaitu terlepasnya sejumlah Al dalam kerangka zeolit *(Al framework)* menjadi aluminium di luar kerangka *(Al non framework)* zeolit. Hal itu disebabkan larutan asam H2SO4 dapat bereaksi dengan aluminium sehingga Aluminium dalam zeolit dapat terekstrak oleh adanya perendaman dalam H2SO4 (Triyono, H. 2003).

Proses aktivasi dengan asam dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman dan luas permukaan (Shrihapsari, D. 2006). Proses aktivasi zeolit denganperlakuan asam HCl pada konsentrasi 0,1N hingga 11N menyebabkan zeolitmengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan kation-kationdalam kerangka zeolit. Aktivasi asam menyebabkan terjadinyadekationisasi yang menyebabkan bertambahnya luas permukaan zeolit karenaberkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori zeolit. Luas permukaan yangbertambah diharapkan meningkatkan kemampuan zeolit dalam prosespenjerapan (Weitkamp, 1999).

Pada harga konsentrasi tertentu, asam juga menghidrolisa aluminium dari kerangka zeolit yang menyebabkan struktur menjadi rusak. Bila proses dealuminasi dilakukan berlebihan maka akhirnya Si(OH)4 mudah berpolimerisasi dan terjadi pemisahan gugus OH (dehidroksilasi), membentuk Si –O-Si yang merupakan ikatan yang kuat. Hasil dari proses dealuminasi zeolit ini berbentuk silica gel, seperti pada pemanasan yang terlalu tinggi dan terbentuk bahan amorf sebagai bahan akhir (Poerwadi, B. Dkk., 1995).

Pada penelitian ini aktivator kimia yang digunakan adalah H2SO4 dan HCl yang memiliki konsentrasi 0,1N; 0,2N 0,3N dan 0,5N dengan perbandingan dalam larutan 1 : 7 yang dilakukan pengadukan selama 0,75 jam.

* **Konsentrasi**

Pada umumnya, reaksi akan berlangsung lebih cepat jika konsentrasi pereaksi diperbesar. Zat yang konsentrasinya besar mengandung jumlah partikel yang lebih banyak, sehingga partikel-partikelnya tersusun lebih rapat dibanding zat yang konsentrasinya rendah. Partikel yang susunannya lebih rapat, akan lebih sering bertumbukan dibanding dengan partikel yang susunannya renggang, sehingga kemungkinan terjadinya reaksi makin besar (Utami, B. Dkk., 2009).

Konsentrasi larutan merupakan jumlah zat terlarut dalam satuan volume dan cara untuk menyatakan hubungan kuantitatif antara zat terlarut dan pelarut, semakin encer suatu suatu larutan makin rendah konsentrasinya. Ada beberapa macam untuk menyatakan konsentrasi larutan diantaranya fraksi mol, persen berat, molalitas (m), molaritas (M), dan normalitas (N). Konsentrasi larutan pada penelitian ini dinyatakan dalam normalitas (N). Normalitas menyatakan jumlah mol ekuivalen zat terlarut dalam satu liter larutan. Untuk asam, 1 mol ekuivalennya sebanding dengan 1 mol ion H+, sedangkan untuk basa, 1 mol ekuivalennya sebanding dengan 1 mol ion OH- (<http://free.vlsm.org>).

Sebagai contoh :

H2SO4 → 2H+ + SO4 2-

1 mol 2 mol

Setiap 1 mol H2SO4 setara dengan 2 mol ekuivalen.

Antara Normalitas dan Molaritas terdapat hubungan :

N = M x Valensi

Dimana :

N = Normalitas (grek)

M = Molaritas (mol/liter), M = $\frac{M\_{A}}{Mr.} x \frac{1000}{V}$

Valensi = Jumlah ion H+ atau OH-.

(Utami, B. Dkk., 2009).

Rumus hubungan antara normalitas dan molaritas dapat dinyatakan dengan :

N = $\frac{M\_{A}}{Mr.} x \frac{1000}{V}$ x Valensi ……… (1)

* **Asam Sulfat (H2SO4)**

Asam sulfat adalah asam mineral yang kuat dengan rumus molekul H2SO4. H2SO4 ini adalah cairan yang sangat polar, memiliki dielektrik konstan sekitar 100. H2SO4 memiliki konduktivitas listrik tinggi, yang disebabkan oleh disosiasi melalui *protonating* sendiri, proses yang dikenal sebagai *autoprotolysis*. Asam sulfat murni adalah sangat korosif tidak berwarna, cairan kental. Garam-garam dari asam sulfat disebut sulfat. Asam sulfat larut dalam air pada semua konsentrasi.



Reaksi hidrasi asam sulfat sangat eksotermik. Salah satu harus selalu tambahkan asam ke air daripada air ke dalam asam. Karena reaksi berada dalam ekuilibrium yang protonasi cepat air, penambahan asam untuk air memastikan bahwa asam adalah pereaksi pembatas. Air memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada asam sulfat dan cenderung mengapung di atasnya, sehingga apabila air ditambahkan ke dalam asam sulfat pekat, ia akan mendidih dan bereaksi dengan keras (<http://id.wikipedia.org/wiki/Asam_sulfat>).

* **Asam Klorida (HCl)**

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida (HCl). Ia adalah asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri. Hidrogen klorida (HCl) adalah asam monoprotik, yang berarti bahwa ia dapat berdisosiasi melepaskan satu H+ hanya sekali. Dalam larutan asam klorida, H+ ini bergabung dengan molekul air membentuk ion hidronium (H3O+).

HCl + H2O → H3O + Cl-

Asam ini termasuk dalam golongan asam kuat karena berdisosiasi penuh dalam air (<http://www.scribd.com/doc/38576854>).

1. Aktivasi Gabungan (Kimia-Fisik)

Aktivasi gabungan adalah pengaktivasian zeolit alam secara kimia dan fisik. Setelah di aktivasi secara kimia kemudian zeolit dilanjutkan dengan aktivasi fisik, dimana suhu optimum untuk pemanasan pada aktivasi gabungan adalah 225ºC selama 2 jam pada sistem vakum (Humam, 1996 dan Hendri, J. 2000).

1. Modifikasi

Proses modifikasi dimaksudkan untuk mengubah sifat permukaan zeolit alam dengan cara melapiskan polimer organik (sintetis dan alamiah) pada zeolit tersebut.

1. **Saringan Udara (Air Filter)**

Saringan udara atau yang dikenal dengan sebutan *Air Filter* merupakan paru paru mesin kendaraan, saringan udara ini berfungsi menyaring dan membuang debu dari udara yang masuk dan mengalirkan udara yang bersih ke mesin, karena saringan udara merupakan suatu bagian yang sangat penting, maka perlu dibersihkan dan diganti secara teratur untuk menjaga kondisi yang prima.

Filter udara sangat diperlukan terlebih lagi dalam kondisi yang udaranya banyak mengandung debu dan pasir, misalnya di tempat pekerjaan batu dan pertambangan atau dijalan raya yang padat lalu lintas. Udara perlu disaring agar bebas dari debu, kotoran, atau uap air yang berlebihan. Apabila udara yang masuk ruang bakar masih kotor, maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna dan akibatnya suara mesin terdengar kasar, knalpot akan mengeluarkan asap tebal, dan tenaga kendaraan menjadi kurang maksimal. Selain itu, aliran udara yang memasuki ruang bakar akan mempengaruhi homogenitas pencampuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar yang akan mempengaruhi kinerja pembakaran. (Alfianto, 2006 dalam Hartono, 2008). Dengan demikian saringan udara (filter) hanya berguna untuk menangkap partikel-partikel kasar seperti debu dan kotoran. Akan tetapi gas-gas yang terkandung di dalam udara seperti nitrogen, oksigen, uap air, dan gas-gas lainnya yang berukuran nanometer masih dapat lolos dari filter tersebut.

Menurut 88 News dalam http://mobil88.blogspot.com, saringan udara yang berkaitan dengan sistem pengapian memiliki tiga fungsi penting lain, yaitu :

1. Membersihkan udara yang masuk ke mesin dengan saluran keluar penyaring dan partikel lain yang dapat merusak komponen dalam mesin.
2. Mencegah nyala api dari mesin atau pada saat terjadi proses penyalaan kembali.
3. Mengurangi kebisingan dari udara yang masuk ke karburator atau saluran isap.
4. **Tepung Tapioka**

Tapioka, tepung singkong, tepung kanji, atau aci adalah tepung yang diperoleh dari umbi akar ketela pohon. Tapioka memiliki sifat-sifat fisik yang serupa dengan tepung sagu, sehingga penggunaan keduanya dapat dipertukarkan. Tepung ini sering digunakan untuk membuat makanan dan bahan perakat. Banyak makanan tradisional yang menggunakan tapioka sebagai bahan bakunya, seperti bakso (http://id.wikipedia.org/wiki/Tapioka).

Tepung tapioka mempunyai banyak kegunaan baik dalam industri pangan maupun non pangan. Menurut Grace (1977), tepung tapioka maupun hasil olahannya digunakan pada industri pangan dengan berbagai tujuan, yaitu :

1. Langsung dimakan sebagai bahan makanan.
2. Sebagai pengental (*thickner*) dengan menggunakan sifat pasta tapioka (sup, saus, makanan bayi).
3. Sebagai pengisi (*filler*) untuk sup, pil, tablet, hasil-hasil farmasi lainnya.
4. Sebagai bahan pengikat (*binder*) untuk menggabungkan massa mencegahnya dari penguapan selama pemasakan (sosis dan daging).
5. Sebagai bahan penstabil (*stabilizer*), karena pati mempunyai sifat daya mengikat air yang tinggi, misalnya pada pembuatan es krim.
6. **Motor Bakar**
	* + 1. **Pengertian Motor Bakar**

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis, dimana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran bahan bakar yang terjadi langsung digunakan sebagai fluida kerja untuk melakukan kerja mekanis. Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu diesel dan bensin. Selain jenis bahan bakar, komponen lain yang membedakan antara motor diesel dan motor bensin adalah adanya injektor pada motor diesel dan adanya busi pada motor bensin sebagai pemantik untuk pembakaran. Pada motor bensin udara yang telah bercampur bahan bakar dihisap masuk ke ruang bakar, tetapi pada motor diesel hanya udara saja yang dihisap ke ruang bakar (Wardono, 2004).

* + - 1. **Mesin Diesel**

Mesin diesel adalah motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang beroperasi dengan menggunakan minyak berat sebagai bahan bakar dengan suatu prinsip bahan bakar tersebut secara spontan terbakar. Mesin diesel memiliki ciri utama yaitu pembakaran bahan bakar di dalam silinder berlangsung pada tekanan konstan, dimana gas yang dihisap pada langkah hisap yang merupakan udara murni tersebut berada di dalam silinder pada waktu piston berada di titik mati atas. Bahan bakar yang masuk kedalam silinder oleh *injector* terbakar bersama dengan udara oleh suhu kompresi yang tinggi (Maleev, 1995).

Ketika udara dikompresi suhunya akan meningkat, mesin diesel menggunakan sifat ini untuk proses pembakaran. Udara disedot ke dalam [ruang bakar](http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Ruang_bakar&action=edit&redlink=1) mesin diesel dan dikompresi oleh [piston](http://id.wikipedia.org/wiki/Piston) yang merapat, jauh lebih tinggi dari [rasio kompresi](http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Rasio_kompresi&action=edit&redlink=1) dari mesin bensin. Beberapa saat sebelum piston pada posisi titik mati atas (TMA), bahan bakar [diesel](http://id.wikipedia.org/wiki/Diesel) disuntikan ke [ruang bakar](http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Ruang_bakar&action=edit&redlink=1) dalam tekanan tinggi melalui nosel supaya bercampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. Hasil pencampuran ini menyala dan membakar dengan cepat. Penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar mulai dilakukan saat piston mendekati TMA untuk menghindari detonasi. Penyemprotan bahan bakar yang langsung ke ruang bakar di atas piston dinamakan injeksi langsung. Ledakan tertutup ini menyebabkan gas dalam ruang pembakaran mengembang dengan cepat, mendorong piston ke bawah dan menghasilkan tenaga linier (Maleev, 1995).

* + - 1. **Siklus Motor Diesel 4-Langkah**

Motor bakar diesel dikenal juga sebagai motor penyalaan kompresi (*compression ignition engines*). Berbeda halnya dengan motor bakar bensin yang menggunakan busi untuk dapat melangsungkan proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder, pada motor bakar diesel ini proses penyalaan dapat terjadi dengan sendiri (tanpa butuh tambahan energi dari busi). Proses pembakaran dapat terjadi di dalam silinder motor bakar diesel ini karena bahan bakar solar yang dikontakkan dengan udara terkompresi bertemperatur dan bertekanan sangat tinggi di dalam silinder, dimasukkan dengan cara disemprotkan pada tekanan tinggi, sehingga dihasilkan butir-butir bahan bakar yang sangat halus. Akibatnya, panas yang terkandung/diberikan oleh udara terkompresi tadi dapat membakar butir-butir halus bahan bakar ini. Oleh karena itu, pada motor bakar diesel ini tidak dipergunakan busi untuk memantik bahan bakar agar terbakar, seperti halnya pada motor bensin. Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar diesel ini dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara bahan bakar volume konstan (siklus diesel) seperti yang ditunjukan pada gambar 2 berikut (Wardono, 2004).

0

qm

B

A

3

2

4

1

**qk**

Tekanan, p

Volume spesifik, v

Gambar 2. Diagram P – V dari siklus Tekanan Konstan

Proses- proses yang terjadi pada siklus udara bahan bakar tekanan konstan (siklus diesel) adalah sebagai berikut (Wardono, dkk. 2004) :

Gambar 3. Siklus Mesin Diesel 4 Langkah

1. Langkah isap (0-1) hanya udara segar yang diisap masuk ke dalam silinder.
2. Kemudian udara segar ini dikompres pada langkah kompresi isentropik(1-2). Di akhir langkah kompresi bahan bakar (solar) diinjeksikan dalam bentuk butiran – butiran halus ke dalam silinder menggunakan *injector* / *atomizer* bertekanan tinggi dan langsung dikontakkan dengan udara terkompres bertemperatur dan bertekanan tinggi. Sesaat kemudian campuran udara terkompres butir halus bahan bakar ini terbakar dengan sendirinya (*autoignition*).
3. Proses pembakaran (2-3) ini dianggap terjadi pada tekanan konstan.
4. Selanjutnya sama halnya dengan proses yang berlangsung pada motor bakar bensin, yaitu terjadinya pendorongan piston dari TMA menuju TMB pada langkah ekspansi (3-4), dan diakhiri dengan langkah buang (4-1-0).
5. **Pembakaran**

Pembakaran adalah reaksi kimia antara komponen-komponen bahan bakar (karbon dan hidrogen) dengan komponen udara (oksigen) yang berlangsung sangat cepat, yang membutuhkan panas awal untuk menghasilkan panas yang jauh lebih besar sehingga menaikkan suhu dan tekanan gas pembakaran. Komponen mampu bakar atau *combustible* yang utama adalah karbon dan oksigen. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen dan karbon, akan bergabung dengan oksigen untuk membentuk air, dan karbon bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida. Kalau tidak cukup tersedia oksigen, maka sebagian dari karbon, akan bergabung dengan oksigen menjadi karbon monoksida. Akibat terbentuknya karbon monoksida, maka jumlah panas yang dihasilkan hanya 30 persen dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida sebagaimana ditunjukkan oleh reaksi kimia berikut (Wardono, 2004).

Reaksi cukup oksigen : 

Reaksi kurang oksigen : 

Keadaan yang penting untuk pembakaran yang efisien adalah gerakan yang cukup antara bahan bakar dan udara, artinya distribusi bahan bakar dan bercampurnya dengan udara harus bergantung pada gerakan udara yang disebut pusaran. Energi panas yang dilepaskan sebagai hasil proses pembakaran digunakan untuk menghasilkan daya motor bakar tersebut. Reaksi pembakaran ideal atau keadaan stoikiometri dapat dilihat di bawah ini :

CxHy + (O2 + 3,76 N2) 🡪 CO2 + H2O + N2

Sebagai contoh :

C10H22 + 15,5 (O2 + 3,76 N2) 🡪 10 CO2 + 11 H2O + 58,28 N2

Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa N2 tidak ikut dalam reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran di atas adalah reaksi pembakaran ideal.

Sedangkan reaksi pembakaran sebenarnya atau aktual dapat berupa seperti dibawah ini (Heywood, 1988) :

CxHy + ( O2 + 3,76 N2 ) 🡪 CO2 + H2O + N2 + CO + NOX + UHC

Sebagai Contoh,

Untuk Reaksi Campuran Miskin-Bahan bakar :

C10H22 + (1,2) 15,5 (O2 + 3,76 N2) 🡪 10 CO2 + 11 H2O + 3,1 O2 + 69, 93 N2

Untuk Reaksi Campuran Kaya-Bahan bakar :

C10H22 + (0,8) 15,5 (O2 + 3,76 N2) 🡪 6 CO2 + 8,8 H2O + 4 CO + 4,4 H2 + 46,62 N2

Didalam proses pembakaran (oksidasi) selalu berkaitan erat dengan unsur oksigen yang didapat dari udara atmosfir. Secara lebih detail dapat dijelaskan bahwa proses pembakaran adalah proses oksidasi (penggabungan) antara molekul-molekul oksigen (‘O’) dengan molekul-molekul (partikel-partikel) bahan bakar yaitu karbon (‘C’) dan hidrogen (‘H’) untuk membentuk karbon dioksida (CO2) dan uap air (H2O) pada kondisi pembakaran sempurna. Disini proses pembentukan CO2 dan H2O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari pemantik telah mampu memisah/memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O-O) menjadi partikel ‘O’ dan ‘O’, dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (C-H dan/atau C-C) menjadi partikel ‘C’ dan ‘H’ yang berdiri sendiri. Baru selanjutnya partikel ‘O’ dapat beroksidasi dengan partikel ‘C’ dan ‘H’ untuk membentuk CO2 dan H2O. Jadi dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi atau proses pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak pernah akan terjadi apabila ikatan antar partikel oksigen dan ikatan antar partikel bahan bakar tidak diputus terlebih dahulu (Wardono, 2004).

1. **Parameter Perhitungan Prestasi Motor Diesel**

Untuk mengetahui prestasi dari motor diesel dapat diketahui dengan melihat parameter-parameternya. Parameter prestasi yang cukup berperan adalah daya engkol sebagai kerja yang dihasilkan oleh motor bakar, dimana semakin besar daya engkol yang dihasilkan semakin baik prestasi dari motor bakar. Adapun besarnya daya engkol mempengaruhi besarnya pemakaian bahan bakar spesifik, yang merupakan banyaknya pemakaian bahan bakar spesifik maka dapat diartikan penggunaan bahan bakar oleh motor bakar menjadi lebih hemat (Triyogo, 2006).

1. **Daya Engkol**

Daya engkol adalah daya *output* yang berguna untuk menggerakkan sesuatu atau beban (Wardono, 2004). Untuk mengetahui besarnya daya engkol dari motor digunakan persamaan :

………………………………… (2)

…………..……………………. (3)

1. **Laju Pemakaian Bahan Bakar**

Laju pemakaian bahan bakar adalah banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi tiap satuan waktu (Wardono, 2004).

 ………………. (4)

1. **Laju Pemakaian Bahan Bakar Spefisik**

Pemakaian bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) menyatakan seberapa besar daya yang dihasilkan oleh suatu mesin setelah menghabiskan sejumlah bahan bakar dalam selang waktu tertentu (Wardono, 2004). Untuk pemakaian bahan bakar spesifik engkol, *bsfc* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wardono, 2004) :

 *kg/kW.h* .................................................... (5)