

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu motor bensin dan motor diesel.

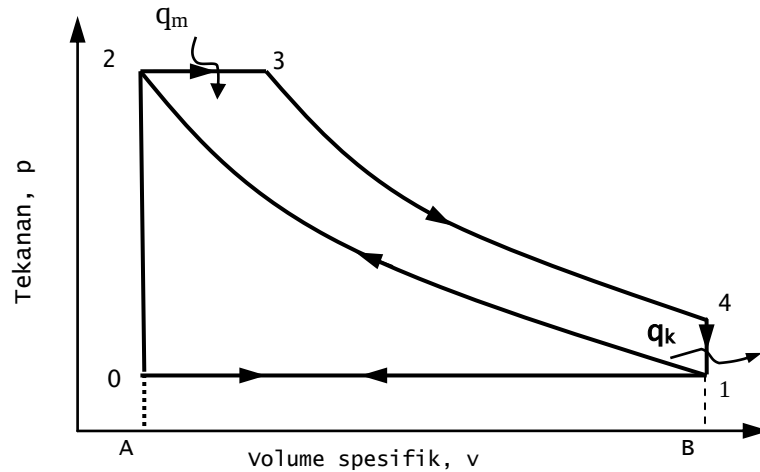
1. Motor bensin

Motor bakar bensin 4-langkah adalah salah satu jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang beroperasi menggunakan udara bercampur dengan bensin dan untuk menyelesaikan satu siklusnya diperlukan empat langkah piston dan yang menjadi ciri utama dari motor bensin adalah proses pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Sedangkan untuk motor diesel untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada penjelasan berikut.

2. Motor Diesel

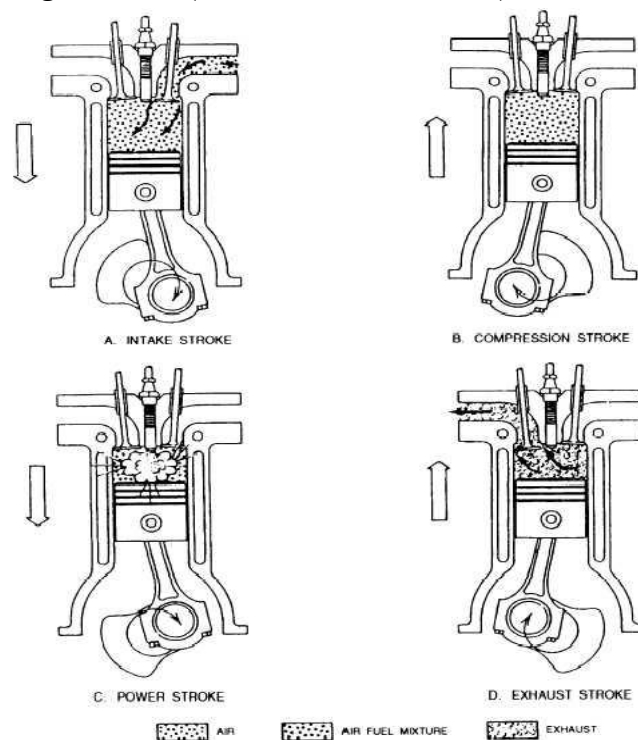
Motor diesel memiliki ciri utama yaitu pembakaran bahan bakar di dalam silinder berlangsung pada tekanan konstan, dimana gas yang dihisap pada langkah hisap yang merupakan udara murni tersebut berada di dalam silinder pada waktu piston berada di titik mati atas . Bahan bakar yang

masuk kedalam silinder oleh *injector* terbakar bersama dengan udara oleh suhu kompresi yang tinggi. Motor bakar diesel dikenal juga sebagai motor penyalan 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 penyalan 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 bensin ini dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara bahan bakar volume konstan (siklus diesel) seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 berikut (Wardono, H. 2004).



Gambar 1. Diagram P – V dari siklus Tekanan Konstan

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



Gambar 2. Siklus Mesin Diesel 4 Langkah (Shell. 2005)

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

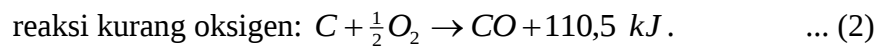
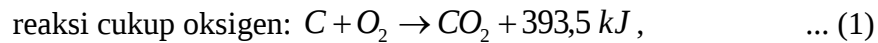
butiran – butiran halus ke dalam silinder menggunakan injector / atomizer bertekanan tinggi dan langsung dikontakkan dengan udara terkompres bertemperatur dan bertekanan tinggi. Sesaat kemudian campuran udara terkompres butir halus bahan bakar ini terbakar dengan sendirinya (*autoignition*).

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 TM A menuju TM B pada langkah ekspansi (3-4), dan diakhiri dengan langkah buang (4-1-0).

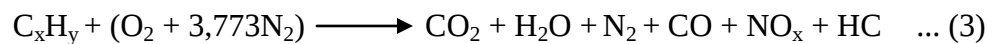
B. Proses Pembakaran

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. Elemen mampu bakar atau *Combustible* yang utama adalah hidrogen dan oksigen. Sementara itu, Nitrogen adalah gas lambat dan tidak berpartisipasi dalam proses pembakaran. 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).



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 dapat dilihat di bawah ini :



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).

C. Parameter Prestasi dan Operasi Motor Diesel 4 Langkah

Parameter prestasi yang cukup berperan adalah daya engkol sebagai kerja yang dihasilkan oleh motor bakar, dimana semakin besar daya engkol yang dihasilkan semakin baik kinerja dari motor bakar. Untuk mengetahui besarnya daya engkol dari motor bakar 4 langkah digunakan persamaan (Wardono, H dkk. 2004):

$$bP = \frac{2\pi \cdot N \cdot T_{AP}}{60.000}, kW \dots\dots\dots(4)$$

$$T_{AP} = 1,001 \cdot T_{RD}, Nm \dots\dots\dots(5)$$

Laju pemakaian bahan bakar adalah banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi tiap satuan waktu. Laju pemakaian bahan bakar per 8 ml Bahan Bakar, m_f dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Wardono, H dkk. 2004):

$$m_f = \frac{sgf \times 8.10^{-3} \times 3600}{t}, kg/h \dots\dots\dots(6)$$

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. Untuk pemakaian bahan bakar spesifik engkol, $bsfc$ dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wardono, H dkk. 2004):

$$bsfc = \frac{m_f}{bP}, kg/kW.h \dots\dots\dots(7)$$

D. Zeolit

1. Pengertian Zeolit

Zeolit adalah kelompok mineral yang dalam pengertian/penamaan bahan galian merupakan salah satu jenis bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri. Zeolite diambil dari bahasa Greek atau Yunani yaitu kata *Zeinlithos*. Kata *Zein* memiliki arti membuih atau mendidih sedangkan kata *lithos* memiliki arti batuan. Batuan ini akan mendidih atau membuih jika dipanaskan pada temperatur antara 100 sampai 350 celcius.

Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolit kebanyakan tidak lebih dari 10 -15 mikron.

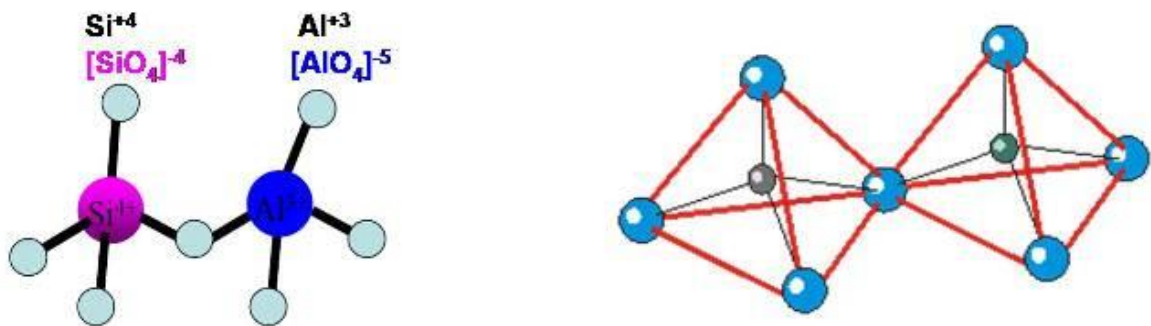
Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion alkali tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel.

2. Struktur Zeolit

Struktur zeolit merupakan polimer kristal anorganik didasarkan kerangka tetrahedral yang diperluas tak terhingga dari AlO_4 dan SiO_4 dan dihubungkan satu dengan lainnya melalui pembagian atau pemakaian bersama ion oksigen.

Unit pembentuk kerangka utama zeolit adalah tetrahedral, pusatnya ditempati oleh atom silikon (Si) atau atom aluminium (Al), dengan empat atom oksigen di sudut-sudutnya. Setiap atom oksigen menjadi bagian dari dua tetrahedral.

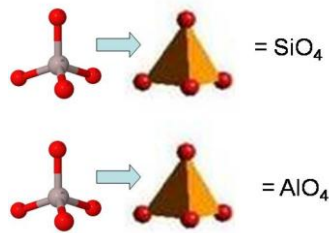
Tetrahedral membentuk kerangka yang kontinyu. Substitusi Si^{4+} oleh atom Al^{3+} menentukan muatan negatif kerangka, yang dikompensasi oleh kation monovalensi atau kation divalensi yang berlokasi sama dengan molekul air dalam struktur kanal.



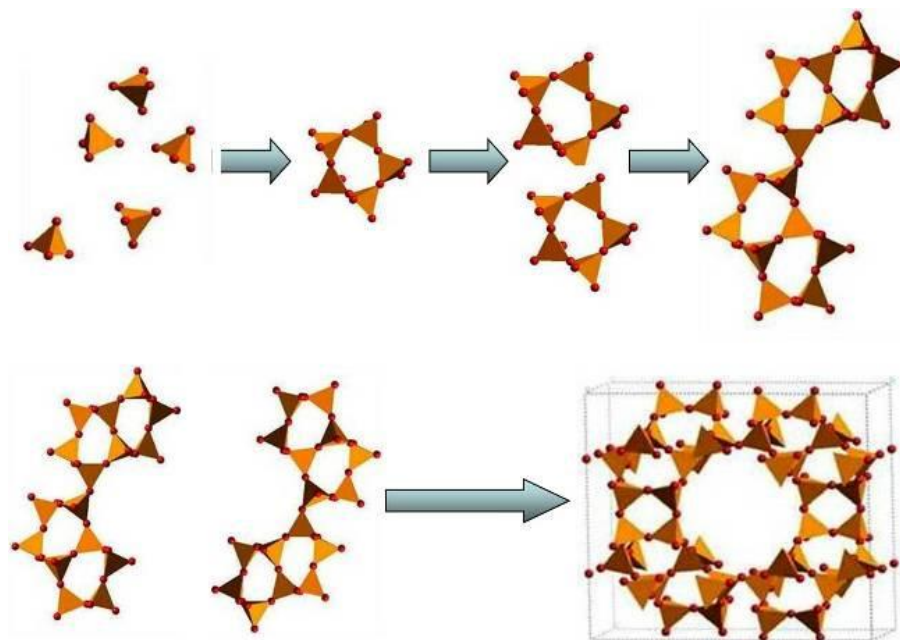
Gambar 3. Struktur Tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 Pembentuk Struktur Zeolit

3. Skematika Pembentukan Struktur Zeolit

Struktur zeolit yang merupakan senyawa aluminosilikat dapat dijabarkan seperti pada gambar di bawah. Tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 saling berhubungan pada sudut-sudut tetrahedralnya untuk membentuk Al, Si framework tiga dimensi yang berpori. Kation-kation alkali monovalen atau divalen menempati posisinya di dalam pori-pori. Kehadiran kation-kation ini akan menetralkan muatan zeolit. Sebagian pori ditempati atau diisi oleh molekul-molekul air.

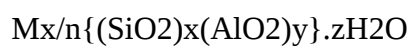


Gambar 4. Skematika Tetrahedral Pembentuk Struktur Zeolit



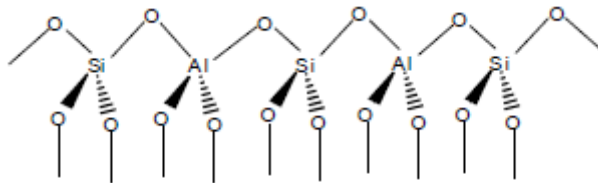
Gambar 5. Skematika Pembentukan Struktur Zeolit Tiga Dimensi

Kerangka tiga dimensi zeolit membentuk pori-pori dan saluran dimensi molekul intrakristalin yang teratur. Zeolit aluminosilikat dapat dituliskan dengan rumus:



di mana $\text{M}_{x/n}$ = umumnya kation logam alkali dan alkali tanah bervalensi n diluar kerangka zeolit yang dapat dipertukarkan (*exchangable*), n = muatan kation, x dan y = jumlah tetrahedral tiap sel satuan (*unit cell*), $z \text{ H}_2\text{O}$ = air kristal tiap sel satuan (Hamdan 1992: 3). Rumus diatas menunjukkan bahwa zeolit terdiri dari tiga

komponen yaitu (1) kation yang dapat dipertukarkan, (2) kerangka aluminosilikat, dan (3) fasa air. Kerangka struktur zeolit Y tercantum pada gambar 1.



Gambar 6. Kerangka (*Framework*) Struktur Zeolit (Trisunaryanti 2006: 77).

Kekuatan zeolit sebagai adsorben, katalis dan penukar ion tergantung dari perbandingan Si/Al. Menurut Saputra (2006: 2-3), zeolit dikelompokkan menjadi 3: (1) Zeolit dengan kadar Si rendah mempunyai rasio Si/Al = 1, (2) Zeolit dengan kadar Si sedang mempunyai rasio Si/Al = 5, (3) Zeolit dengan kadar Si tinggi mempunyai rasio Si/Al = 10 – 100.

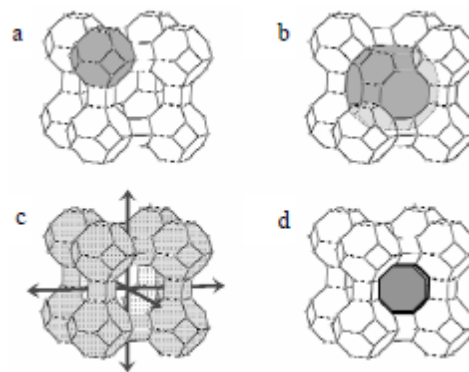
Terjadinya pertukaran kation dalam zeolit tergantung pada jenis kation, ukuran kation, konsentrasi kation dalam larutan, pelarut (umumnya air), tekanan dan temperatur. Tujuan dilakukannya pertukaran kation dalam zeolit antara lain : memodifikasi ukuran pintu masuk (*pore opening*) ke pori zeolit, meningkatkan stabilitas zeolit dan membawa sisi aktif katalitik dalam zeolit.

4. Ukuran Pori (*Pore Size*)

Sebelum mengetahui lebih lanjut tentang ukuran pori, perlu mengenal beberapa istilah yang digunakan pada struktur zeolit yaitu jendela (*window*), sangkar (*cages*), rongga (*cavities*), saluran (*channel*).

a. Jendela (*window*) yaitu n-ring yang melukiskan muka pori-pori polihedral, seperti pada gambar 5d.

- b. Sangkar (*cages*) yaitu suatu polihedral yang jendelanya terlalu sempit untuk dimasuki spesies asing yang lebih besar dari H_2O , seperti pada gambar 5a.
- c. Rongga (*cavities*) yaitu suatu pori polyhedral yang mempunyai sedikitnya satu muka, digambarkan oleh cincin besar yang cukup untuk dimasuki spesies asing, seperti pada gambar 5b.
- d. Saluran (*channel*) yaitu suatu pori-pori yang tidak terbatas diperluas dalam satu dimensi dan cukup besar untuk memperbolehkan spesies asing masuk. Saluran dapat tumpang tindih untuk membentuk 2 atau 3 dimensi sistem saluran, seperti pada gambar 5c.



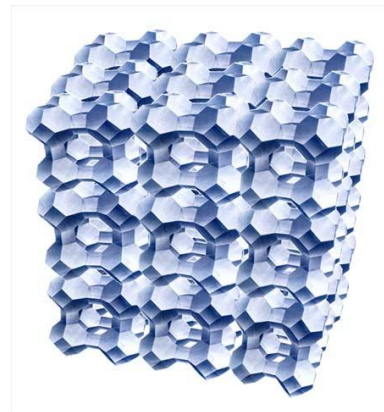
Gambar 7. *Feature* (corak) Pori-Pori dalam Zeolit A (McCusker, Liebau, and Engelhardt 2001: 386-387).

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (boiling stone) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai molecular sieve materials. Pada tahun 1984 Profesor Joseph V. Smith ahli kristalogi Amerika Serikat mendefinisikan zeolit sebagai : “ A zeolite is an aluminosilicate with a framework structure enclosing cavities occupied by large ions and water molecules, both of which have considerable freedom of movement, permitting ion-

exchange and reversible dehydration”. Dengan demikian, zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversible. (Ismaryata. 1999).

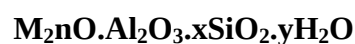


Gambar 8. Zeolit alam



Gambar 9. Struktur mikromolekul zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori yang tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekular, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit – unit tetrahedral AlO_4 dan SiO_4 yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur tersebut Si^{4+} dapat diganti dengan Al^{3+} , sehingga rumus empiris zeolit menjadi :



Keterangan :

M = kation alkali atau alkali tanah

n = valensi logam alkali

x = bilangan tertentu (2 s/d 10)

y = bilangan tertentu (2 s/d 7)

(Sutarti, 1994)

Tabel 1. Komposisi zeolit alam (John Hendri, Zeolit Lampung CV. Minatama)

Komposisi	Kandungan %
SiO ₂	64,37
LOI	18,61
Al ₂ O ₃	10,93
Fe ₂ O ₃	1,29
K ₂ O	1,54
TiO ₂	1,16
MgO	0,68
CaO	1,31
Na ₂ O	0,75

Adapun sifat-sifat zeolit meliputi :

1. Dehidrasi. Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorbsinya, zeolit dapat melepaskan molekul air dari rongga permukaan dan menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif terinteraksi dengan molekul yang akan di adsorbsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila kristal zeolit tersebut dipanaskan.
2. Adsorpsi. Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300-400°C maka ion tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Beberapa jenis

mineral zeolit mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran kepolarannya. Zeolit dalam mengadsorpsi molekul yang diserapnya didasarkan 2 hal, yaitu : ukuran molekul dan selektifitas permukaan (Sifat dari molekul yang diadsorpsi).

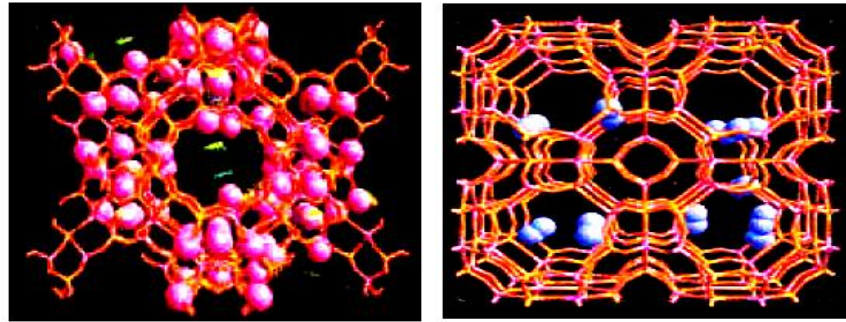
a) Ukuran molekul.

Berdasarkan ukuran molekul artinya apabila ukuran molekul adsorbat lebih besar dari ukuran pori zeolit maka molekul adsorbat tersebut tidak bisa melewati pori zeolit. Zeolit jenis klinoptilolit memiliki ukuran diameter pori $4 \text{ \AA}$ sedangkan dalam udara N_2 yang berbentuk elips memiliki panjang sumbu mayor $4,1 \text{ \AA}$ dan sumbu minor $3 \text{ \AA}$. O_2 yang juga berbentuk elips memiliki panjang sumbu mayor $3,9 \text{ \AA}$ dan minor $2,8 \text{ \AA}$ sehingga N_2 yang berdiameter mayor akan terikat dan tidak dapat melewati pori zeolit sedangkan N_2 yang berdiameter minor dan O_2 dengan mudah melewati pori zeolit (Bekkum, 1991).

b) Selektifitas permukaan

Selektifitas permukaan artinya sifat dari molekul gas seperti gas N_2 yang mempunyai 4 kutub (*quadropole*) lebih mudah ditangkap oleh zeolit dibandingkan gas O_2 yang mempunyai 2 kutub (Bekkum H.V., Flanigen E.M., Jansen J.C. 1991). Kristal zeolit yang telah didehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektifitas adsorpsi yang tinggi, yaitu dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi molekul, dan merupakan adsorben yang selektif terhadap molekul yang polar (Bekkum, 1991).

Penyaringan molekul dapat dilustrasikan seperti terlihat pada Gambar



- (1). Berdasarkan perbedaan ukuran molekul polar (2). Sifat zeolit yang selektif terhadap molekul

Gambar 10. Analogi N_2 yang terikat oleh zeolit (MSI. 2005)

3. Penukar ion. Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit, ion-ion dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion menjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari : sifat kation, suhu, dan jenis anion. Penukar kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti terhadap panas, sifat adsorpsi dan sifat panas. Untuk peningkatan zeolit sebagai penyerap perlu terlebih dahulu dilakukan proses aktivasi, yaitu untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Ada dua cara yang umum digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu pemanasan pada suhu 200 - 400°C selama 2 – 3 jam dan kimia dengan menggunakan pereaksi NaOH atau H_2SO_4 .

4. 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 molekular seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat dalam substansi zeolit alam. (Bambang, 1995).

5. 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. (Bambang, 1995). Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa zeolit alam mampu dimanfaatkan sebagai *adsorben* limbah pencemar dari beberapa industri. Zeolit mampu menyerap berbagai macam logam, antara lain Ni, Np, Pb, U, Zn, Ba, Ca, Mg, Sr, Cd, Cu dan Hg. (Kosmulski, 2001).

Disamping zeolit mempunyai kelebihan pada sifatnya, zeolit ini dapat dimodifikasi dan dapat digunakan berkali-kali. Dalam hal modifikasi, zeolit dapat juga dibuat sesuai kebutuhan baik dari segi ukuran maupun kegunaannya. Dari ukurannya zeolit dapat dibuat bentuk serbuk sampai bentuk padat lainnya sesuai keinginan dan kebutuhan sehingga cara kerja zeolit juga dapat dimodifikasi dengan cara dealuminasi, yaitu meningkatkan silika dan meningkatkan kandungan alami *hidropobic* dari zeolit. (Ribeiro F.R., Rodrigues A.E., Rollmann L.D., Naccache C. 1984 dalam Tobing M.H.L. 2004).

5. Perbandingan Silikon-Alumunium

Si/Al tinggi jika : Zeolit memiliki Silikon tinggi dengan kandungan Alumunium rendah. Muatan Zeolit dapat menjadi lebih rendah dengan kation yang lebih sedikit. Pori-pori zeolit akan lebih Hidrofobik, artinya pori-pori lebih tidak suka air atau cenderung kering. Zeolit memiliki daya adsorpsi tinggi pada senyawa karbon. Selain itu zeolit memiliki affinitas tinggi terhadap hidrokarbon. Rasio Si/Al yang tinggi menyebabkan zeolit memiliki lebih banyak pusat aktif dengan keasaman tinggi. Perubahan rasio Si/Al dapat dilakukan dengan proses dealuminasi.

Si/Al rendah jika : Zeolit memiliki lebih banyak alumunium daripada silikon. Muatan zeolit akan menjadi lebih tinggi dengan kation yang lebih banyak. Hal ini akan menyebabkan kapasitas tukar ion menjadi lebih banyak. Pori-pori zeolit lebih Hidrofilik artinya pori-pori lebih suka air, atau mudah basah. Zeolit memiliki daya adsorpsi yang rendah. Zeolit dengan rasio Si/Al rendah mempunyai afinitas tinggi terhadap molekul bersifat polar.

6. Dealuminasi dan kalsinasi

Kemampuan katalitik maupun adsorpsi dari zeolit alam masih rendah, hal ini disebabkan adanya pengotor seperti logam – logam maupun material organik yang terdapat dalam kerangka maupun diluar kerangka zeolit. Oleh karena itu, perlakuan pendahuluan diperlukan untuk meningkatkan kemampuan bahan tersebut dalam pemanfaatannya. Aktivasi dapat meningkatkan kapasitas jerapan dan sifat yang diinginkan sesuai dengan penggunaannya. Aktivasi zeolit dapat dibagi menjadi dua cara yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi fisika.

Aktivasi kimia dilakukan melalui proses dealuminasi. Dealuminasi merupakan proses pelepasan atom Al dari zeolit. Dealuminasi ini dilakukan untuk meningkatkan rasio Si/Al. meningkatnya rasio Si/Al berarti juga akan meningkatkan situs asam dari zeolit itu sendiri. Situs asam ini merupakan situs yang berfungsi sebagai sisi aktif pada zeolit. Dengan meningkatnya situs asam berarti juga meningkatkan keaktifan zeolit.

Proses aktivasi fisika dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi). Kalsinasi zeolit dimaksudkan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit.

E. Proses Aktivasi Zeolit

Dalam keadaan normal maka ruang hampa dalam Kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang membentuk bulatan di sekitar kation. Bila Kristal tersebut dipanaskan selama beberapa jam, biasanya pada temperature 250-900⁰C, maka kristal zeolit yang bersangkutan berfungsi menyerap gas atau cairan. Daya serap zeolit tergantung dari jumlah ruang hampa dan luas permukaan. Beberapa jenis mineral zeolit mampu menyerap gas sebanyak 30% dari beratnya dalam keadaan kering. Pengeringan zeolit biasanya dilakukan dalam ruang hampa dengan menggunakan gas atau udara kering nitrogen atau metana dengan maksud mengurangi tekanan uap air terhadap zeolit itu sendiri. Keuntungan lain dari penggunaan mineral zeolit sebagai bahan penyaring adalah pemilahan molekul zat yang terserap, disamping penyerapan berdasarkan ukuran garis tengah molekul ruang hampa. Apabila ada dua molekul atau lebih yang dapat melintas, tetapi

karena adanya pengaruh kutub atau hubungan antara molekul zeolit itu sendiri dengan molekul zat yang diserap, maka hanya sebuah saja yang diloloskan sedang yang lain ditahan atau ditolak. Molekul yang berkutub lebih atau tidak jenuh akan lebih diterima daripada yang tidak berkutub atau yang jenuh. (Dwi Karsa Agung Rakhmatullah, dkk, 2007)

Proses aktivasi zeolit alam dapat dikelompokkan dalam 3 cara, yaitu:

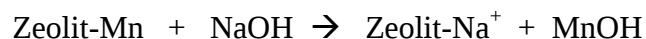
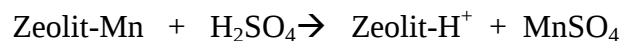
1. Aktivasi Fisik

Aktivasi fisik yaitu melakukan proses pemanasan zeolit alam dilakukan secara kontak langsung (dengan udara panas) maupun secara tidak kontak langsung (sistem vakum atau exhauster). Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori-pori dan luas permukaannya spesifiknya bertambah. Pengaktivasian zeolit alam secara fisik dilakukan dengan pemanasan. Proses pemanasan zeolit alam dilakukan pada suhu 200-400 °C dan waktu pemanasan dalam sistem vakum 2-3 jam, sedangkan jika diruang terbuka sekitar 5-6 jam. (Suyartono dan Husaini, 1992 dalam Satwika 2010). Pada penelitian Mahdi (2010), kemampuan zeolit aktivasi fisik dalam meningkatkan kinerja motor diesel telah dibuktikan melalui penelitian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur aktivasi memberikan peningkatan kinerja motor diesel ini, Peningkatan daya engkol terbaik diperoleh sebesar 0,215 kW (12,088 %). Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik terbaik terjadi dengan menggunakan zeolit diameter 0,7 mm, berat 200 gram, temperatur aktivasi 325 °C, waktu pemanasan 2 jam dan putaran 1100 rpm yaitu sebesar 0,0123 kg/kWh (9,729 %).

2. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia adalah pengaktifasian 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 (H_2SO_4 , HCl dan HNO_3) dan larutan basa (NaOH dan KOH) (Humam, 1996 dan Husaini, 1992 dalam Satwika 2010). 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, 2000 dan Suyartono, 1992 dalam Satwika 2010).

Proses pertukaran kation pada aktivasi kimia dapat ditunjukkan sebagai berikut :



Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Puad (2001), zeolit alam Lampung yang telah diaktivasi dengan larutan basa NaOH (zeolit- NaOH) memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam yang tidak diaktivasi. Hal ini terlihat dari luas permukaan zeolit- NaOH ($36,2460 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{gr}$) yang lebih besar dari zeolit alam ($28,5343 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{gr}$). Zeolit dapat meng-exclude (menahan) semua hidrokarbon, N_2 , dan semua gas-gas yang permanen kecuali ammonia. Sedangkan zeolit sebagai penyerap karena adanya kation-kation di sekitar rongga zeolit, sehingga zeolit dapat menyerap molekul yang berbeda muatan. (Yang, 2003 dalam Marlene 2011).

Ukuran rongga atau pori dalam zeolit dapat diatur sesuai kebutuhan. Besarnya pori bergantung pada jenis ion yang terdapat di dalam zeolit. Ion kalium (K^+) memiliki jari-jari ion yang paling besar jika dibandingkan dengan ion Na^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} . (Achmad, 2001). Besarnya jari-jari ion kalium menyebabkan pori zeolit semakin kecil, sehingga proses penyaringan menjadi lebih selektif. Pembuatan pengaktifasian zeolit didasarkan pada prinsip pertukaran ion. Zeolit diaktivasi dahulu dengan cara direndam didalam larutan basa, misalnya KOH. (Husaini, Marlene, 2011).

Selama proses perendaman terjadi proses pertukaran ion didalam zeolit. Ion K^+ yang berasal dari larutan KOH akan mendorong ion-ion lain yang terdapat didalam zeolit. Hal ini disebabkan karena perbedaan selektifitas ion dalam zeolit yang disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Urutan selektifitas pertukaran kation pada berbagai zeolit (Pramono, 2004)

Jenis Zeolit	Urutan Selektifitas	Peneliti
Analsim	$K < Li < Na < Ag$	Barrer (1950)
Khabasit	$Li < Na < K < Cs$	Sherry (1969)
Klinoptilolit	$Mg < Ca < Na < NH_4 < K$	Ames (1961)
Heulandit	$Ca < Ba < Sr < Li < Na < Rb < K$	Filizova (1974)
Mordenit	$Li < Na < Rb < K < Cs$	Ames (1961)

Tabel 3. Sifat-sifat Fisis Alkali

Sifat fisis	Li	Na	K	Rb	Cs
Titi didih ($^{\circ}\text{C}$)	1342	883	759	688	671
Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	180,5	97,7	63,3	39,3	28,4
Energi ionisasi (kJ/mol)	520,2	495,8	418,8	403	375,7
Jari-jari ion (Å)	0,60	0,95	1,33	1,48	1,69
Konfigurasi elektron	2.1	2.8.1	2.8.8.1	2.8.18.8.1	2.8.18.18.8.1
Keelektonegatifan	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
Kerapatan (g/cm^3)	0,534	0,971	0,862	1,532	1,873

Dari sifat-sifat fisis pada tabel diatas dapat dilihat bahwa jari-jari unsur K lebih besar daripada Na, sehingga mempunyai daya tampung yag lebih besar. Unsur K juga mempunyai kerapatan yang lebih rendah sehingga memiliki kemampuan serap yang lebih besar. Pada praktiknya penggunaan unsur K lebih efektif dibanding unsur Na.

Tabel 4. Sifat atom Na da K

Atom Na		Atom K	
Bilangan oksidasi	+1, -1 (oksida basa kuat)	Bilangan oksidasi	1 (oksida basa kuat)
Elektronegativitas	0.93 (skala Pauling)	Elektronegativitas	0,82 (skala Pauling)
Energi ionisasi (lebih lanjut)	pertama: 495.8 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ke-2: 4562 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ke-3: 6910.3 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	Energi ionisasi (lebih lanjut)	pertama: 418.8 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ke-2: 3052 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ke-3: 4420 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Jari-jari atom	186pm	Jari-jari atom	227pm
Jari-jari kovalen	166±9 pm	Jari-jari kovalen	203±12 pm
Jari-jari van der Waals	227 pm	Jari-jari van der Waals	<u>275</u> 275 pm

(sumber: wikipedia Indonesia, 2012)

3. Aktivasi Gabungan

Aktivasi gabungan adalah pengaktifasian 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 225°C selama 2 jam pada sistem vakum (Hendri, 2000 dalam Gunaryo Octo 2010). Bahan kimia yang dapat digunakan untuk proses aktivasi zeolit alam adalah larutan asam (H_2SO_4 , HCl dan HNO_3) dan larutan basa (NaOH dan KOH). (Humam 1996 dan Husaini 1992). Pada penelitian zeolit dengan aktivasi gabungan dapat meningkatkan daya engkol terbaik sebesar 0,144 kW (4,03%), menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik terbaik yaitu sebesar 0,012 kg/kWh (8,92 %) pada pengujian laboratorium dengan menggunakan mesin diesel 4-langkah (Indrawan, 2007) dan menurut penelitian Nohan (2010), pada penggunaan zeolit pellet tekan 2,3 gr yang diaktivasi NaOH -fisik, peningkatan daya engkol pada mesin motor diesel 4-langkah terbaik diperoleh pada putaran 2500 rpm, yakni 11,064 %. Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik terbaik terjadi pada putaran 3000 rpm, yakni 11,194%.

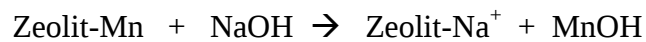
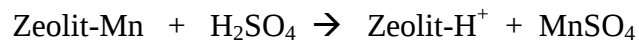
Zeolit memiliki stabilitas termal yang tinggi, untuk zeolit alam lampung yaitu sampai 400 °C, kerangka zeolit tidak berubah walaupun penggunaan zeolit tidak dilakukan pada lingkungan yang bersifat asam dan bersuhu tinggi. (Hendri, J.

2000 dalam Gunaryo Octo 2010). Selain itu zeolit memiliki afinitas terhadap molekul-molekul baik polar maupun non polar. Zeolit dapat digunakan berulang-ulang dengan cara pemanasan untuk memindahkan material yang dijerapnya atau diletakkan pada aliran udara bertekanan untuk memindahkan material yang ditangkanya.

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan asam (H_2SO_4) atau basa (NaOH) dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Pereaksi kimia ditambahkan pada zeolit yang telah disusun dalam suatu tangki dan diaduk selama jangka waktu tertentu. Zeolit kemudian dicuci dengan air sampai netral dan selanjutnya dikeringkan. Permukaan yang luas ini tersusun oleh banyaknya pori halus pada padatan tersebut. Di samping luas spesifik dan diameter pori, distribusi ukuran partikel, maupun kekerasannya merupakan sifat karakteristik yang penting dari suatu adsorben. Tergantung pada tujuan penggunaannya, adsorben dapat berupa granular (biasanya untuk menyerap gas) atau serbuk (biasanya untuk adsorpsi campuran cair). (Bernasconi, 1995).

Bahan kimia yang dapat digunakan untuk proses aktivasi zeolit alam adalah larutan asam (H_2SO_4 , HCl dan HNO_3) dan larutan basa (NaOH dan KOH) (Humam, 1996 dan Husaini, 1992 dalam Satwika 2010). 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^+ . (Satwika 2010)

Proses pertukaran kation pada aktivasi kimia dapat ditunjukkan sebagai berikut :



Kondisi optimum pengaktifan zeolit dengan larutan asam adalah dengan menggunakan larutan H_2SO_4 0,2 N dengan lama pengadukan 45 menit yang dapat meningkatkan luas permukaan zeolit dari 38,11 m²/g menjadi 53,23m²/g serta juga meningkatkan daya adsorpsi zeolit dari 82,07 ppm menjadi 90,22 ppm (Humam, 1996). Bila larutan H_2SO_4 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 H_2SO_4 dapat bereaksi dengan aluminium sehingga Aluminium dalam zeolit dapat terekstrak oleh adanya perendaman dalam H_2SO_4 .

Dari beberapa hal tersebut, kualitas pembakaran di dalam ruang bakar dapat lebih diperbaiki dengan memanfaatkan zeolit yang telah diaktivasi. Salah satu penerapan secara langsung adalah dengan meletakkan zeolit yang telah diaktivasi tersebut di dalam sistem penyaringan udara pada suatu kendaraan bermotor. (Budi, 2008)