

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Motor Bakar**

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi thermal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua:

#### **1. Motor bensin**

Yang menjadi ciri utama dari motor bensin adalah proses pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Proses pembakaran pada volume tetap ini disebabkan pada waktu terjadi kompresi, dimana campuran bahan bakar dan udara mengalami proses kompresi di dalam silinder, dengan adanya tekanan ini bahan bakar dan udara dalam keadaan siap terbakar dan busi meloncatkan bunga listrik sehingga terjadi pembakaran dalam waktu yang singkat sehingga campuran tersebut terbakar habis seketika dan menimbulkan kenaikan suhu dalam ruang bakar.

#### **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 merupakan udara murni tersebut berada di dalam silinder pada waktu piston berada di titik mati atas. Bahan bakar yang masuk kedalam

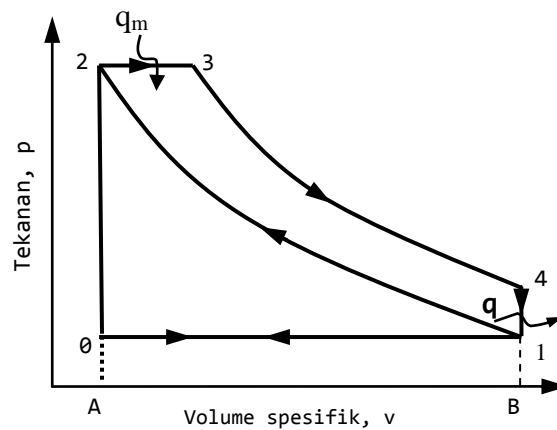
silinder oleh *injector* terbakar bersama dengan udara oleh suhu kompresi yang tinggi.

## **B. Motor Diesel**

Motor 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. Motor diesel terdiri atas dua jenis yaitu motor diesel dua langkah dan motor diesel empat langkah. Mesin diesel dua langkah yang berukuran besar biasanya dipakai sebagai pembangkit daya listrik yang besar dan mesin kapal laut yang besar juga, sedangkan untuk mesin diesel yang berukuran kecil dan sedang dipakai motor bakar diesel empat langkah, dimana biasanya digunakan sebagai mesin mobil berukuran kecil dan juga motor diesel dua langkah yang biasanya digunakan sebagai mesin traktor, truk serta bus (Maleev V.L., terjemahan Priambodo B. 1995).

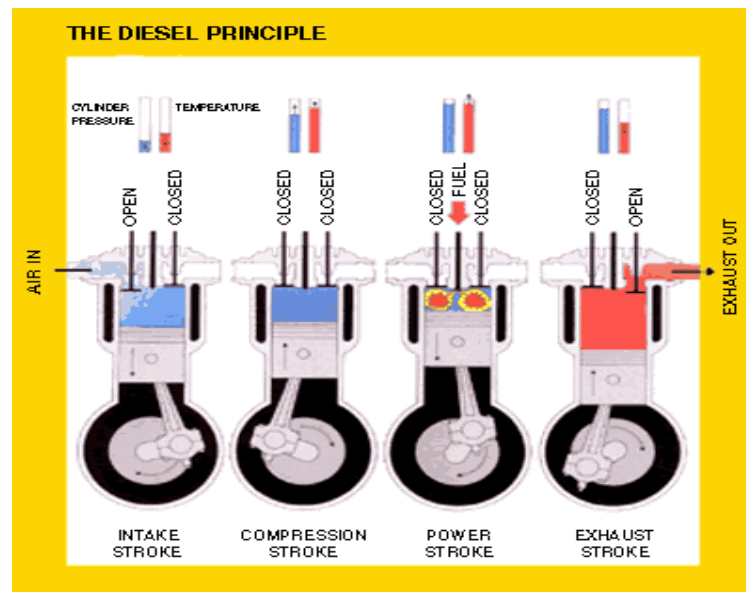
Motor bakar diesel dikenal juga sebagai motor penyalaan kompresi (*compression ignition engines*). Berbeda halnya dengan motor bakar bensin yang menggunakan busi untuk dapat melangsungkan proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder, pada motor bakar diesel ini proses penyalaan dapat terjadi dengan 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 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):



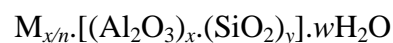
Gambar 2. Siklus Mesin Diesel 4 Langkah (Shell. 2005)

1. Langkah hisap (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).

### C. Zeolit

Zeolit menurut asal katanya berasal dari bahasa Yunani, *zein* yang artinya membuih dan *lithos* yang artinya batuan. Secara harfiah zeolit berarti batuan yang membuih bila dipanaskan. Zeolit merupakan salah satu mineral atau bahan mineral yang merupakan perpaduan dari kristal-kristal alumino silikat terhidrasi yang di dalamnya mengandung kation alkali dan alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya, dimana ion-ion logam tersebut dapat dipertukarkan oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit. Selain itu zeolit yang strukturnya berpori-pori memiliki kemampuan menyerap air secara reversibel, (Bekum, 1991).

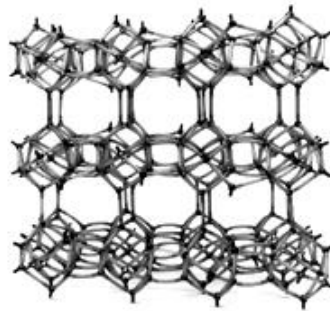
Zeolit berdasarkan asalnya secara umum dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik atau buatan. Zeolit alam adalah zeolit yang diperoleh dengan cara penambangan, zeolit alam yang banyak digunakan saat ini yaitu zeolit *chabazite*, *erionite*, *mordenite*, dan *clinoptilolite*, sedangkan zeolit buatan adalah zeolit berasal dari hasil percobaan yang dibuat dari bahan sintesis dan pada umumnya zeolit buatan lebih bersifat hidrofobik (tidak dapat mengadsorpsi air) karena memiliki perbandingan Si/Al yang lebih besar dari 10. Hal ini berbeda dengan zeolit alam yang umumnya kandungan Si/Al kurang dari 10 yang bersifat hidrofilik (dapat mengadsorpsi air). Dalam penelitian ini zeolit yang digunakan untuk pengujian adalah zeolit alam dengan rumus empiris kimia dari zeolit yaitu:



Rumus kimia zeolit menunjukkan adanya tiga komponen yang merupakan bagian dari zeolit, yaitu:

1. Kerangka aluminosilikat  $[(Al_2O_3)_x.(SiO_2)_y]$
2. Logam alkali  $(M_{x/n})$
3. Air ( $wH_2O$ )

Struktur kimia pada zeolit terbentuk dari ikatan  $Al_2O_3$  dan  $SiO_4$  yang saling terikat satu sama lain akibat dari pemakaian ion oksigen secara bersama-sama dari ion Al dan ion Si. Struktur dari zeolit secara umum dapat dilihat pada Gambar 3, (Bekkum, 1991).



Gambar 3. Struktur bangun ruang zeolit jenis *clinoptilolite*

### 1. Pembentukan Zeolit di Alam

Zeolit alam dapat dibedakan berdasarkan pada lokasi mineral ini terdapat, yaitu zeolit batuan beku, sedimen, dan metamorfosa. Zeolit batuan beku terbentuk karena proses peretakan dan pelapukan di dalam basalt. Pelapukan dihasilkan dari gelembung yang timbul pada waktu basalt masih berupa cairan dan selanjutnya mengendap menjadi zeolit. Contoh zeolit batuan beku adalah mordenit, kabazit, dan beberapa zeolit bersilika rendah.

Zeolit batuan sedimen dapat digolongkan menjadi tiga golongan. Golongan pertama adalah zeolit yang terbentuk di dasar laut karena proses pelapukan batuan vulkanik yang mengandung Si yang sangat reaktif. Contoh zeolit golongan ini adalah filipsit dan *clinoptilolite*. Golongan kedua adalah zeolit yang terbentuk karena pengendapan garam akibat alterasi debu vulkanik oleh Si yang tidak stabil. Contoh zeolit golongan ini adalah analsim, filipsit, kreonit, kabazit, dan *clinoptilolite*. Golongan ketiga adalah zeolit yang terdapat dalam lapisan batu vulkanik yang membatu. Ketebalan lapisan ini dapat mencapai beberapa kilometer, tergantung pada kedalaman sedimen dan waktu pembentukannya. Contoh zeolit golongan ini adalah analsim, kabazit, *clinoptilolite*, kreonit, mordenit, dan filipsit.

Zeolit batuan metamorfosa terbentuk karena pengendapan batuan metamorfosa pada kedalaman tertentu. Pembentukannya meliputi penggabungan antara  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Mg}, \text{Fe}) - \text{O} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ . Zeolit jenis ini memiliki kandungan air yang tinggi. Contoh zeolit batuan metamorfosa adalah analsim, wairakit, mordenit, heulandit, dan lanmortit. (Bekkum, 1991)

## 2. Kelebihan dari Zeolit

Karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, sehingga dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, *adsorben* dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion. Beberapa sifat tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut: (Evan S. P., 2008)

1. Sifat dehidrasi (melepaskan molekul H<sub>2</sub>O)

Apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H<sub>2</sub>O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel.

2. Sifat zeolit sebagai *adsorben* dan penyaring molekul

Dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan *adsorben* yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi. 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 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 (Ribeiro F.R., Rodrigues A.E., Rollmann L.D., Naccache C. 1984 dalam Tobing M.H.L. 2004).



Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, diantaranya:

### 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).

### 2. 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).

### 3. 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 (Bambang P, dkk, 1995).

### 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 molekuler seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat dalam substansi zeolit alam (Bambang P, dkk, 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 P, dkk, 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).

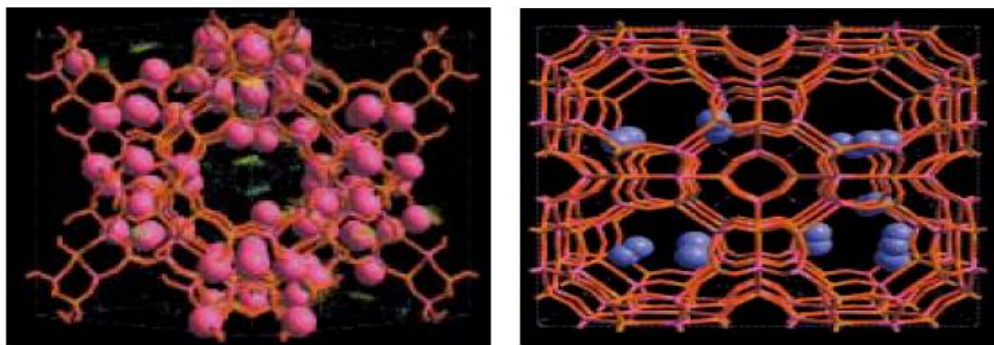
Zeolit dengan bentuknya yang menyerupai sarang lebah yang berongga mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi, dimana zeolit dapat digunakan untuk menyerap bermacam material. Dalam hal ini zeolit digunakan untuk menyerap  $N_2$  dan  $H_2O$ . Zeolit dalam mengadsorpsi molekul yang diserapnya didasarkan 2 hal, yaitu ukuran molekul dan selektivitas permukaan (Sifat dari molekul yang diadsorpsi).

❖ 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  $\text{N}_2$  yang berbentuk elips memiliki panjang sumbu mayor  $4,1 \text{ \AA}$  dan sumbu minor  $3 \text{ \AA}$ .  $\text{O}_2$  yang juga berbentuk elips memiliki panjang sumbu mayor  $3,9 \text{ \AA}$  dan minor  $2,8 \text{ \AA}$  sehingga  $\text{N}_2$  yang berdiameter mayor akan terikat dan tidak dapat melewati pori zeolit sedangkan  $\text{N}_2$  yang berdiameter minor dan  $\text{O}_2$  dengan mudah melewati pori zeolit (Bekkum, 1991).

❖ Selektifitas permukaan

Selektifitas permukaan artinya sifat dari molekul gas seperti gas  $\text{N}_2$  yang mempunyai 4 kutub (*quadropole*) lebih mudah ditangkap oleh zeolit dibandingkan gas  $\text{O}_2$  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 4.



(1). Berdasarkan perbedaan ukuran molekul polar

(2). Sifat zeolit yang selektif terhadap molekul

Gambar 4. Analogi  $N_2$  yang terikat oleh zeolit

### 3. 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 temperatur  $250-900^{\circ}$  C, maka kristal zeolit yang bersangkutan berfungsi menyerap gas atau cairan. Daya serap (*adsorbansi*) zeolit tergantung dari jumlah ruang hampa dan luas permukaan. Biasanya mineral zeolit mempunyai luas permukaan beberapa ratus meter persegi untuk setiap gram berat. 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)

Fungsi zeolit alam sebagai penukar ion, *adsorben*, daya saring molekular, dan katalis belum memberikan hasil yang maksimum. Untuk itu perlu dilakukan modifikasi terhadap zeolit alam untuk meningkatkan kemampuannya dengan cara memberikan beberapa perlakuan (aktivasi). Proses aktivasi zeolit alam dapat dikelompokkan dalam tiga cara, yaitu:

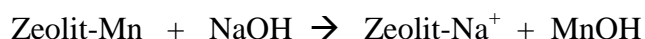
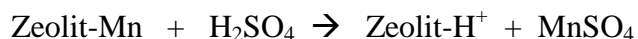
Pengaktivasian zeolit alam ada 3 macam, yaitu :

(1) 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). 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).

Proses pertukaran kation pada aktivasi kimia dapat ditunjukkan sebagai berikut :



Kondisi optimum pengaktifan zeolit dengan larutan asam adalah dengan menggunakan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2 N dengan lama pengadukan 45 menit yang dapat meningkatkan luas permukaan zeolit dari 38,11  $\text{m}^2/\text{g}$  menjadi 53,23  $\text{m}^2/\text{g}$  serta juga meningkatkan daya adsorpsi zeolit dari 82,07 ppm menjadi 90,22 ppm (Humam.1996). Bila larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dapat bereaksi dengan aluminium sehingga Aluminium dalam zeolit dapat terekstrak oleh adanya perendaman dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

## (2) Aktivasi fisik

Pengaktifasian zeolit alam secara fisik dilakukan dengan pemanasan. Proses pemanasan zeolit alam dilakukan pada suhu 200-400  $^{\circ}\text{C}$  dan waktu pemanasan dalam sistem vakum 2-3 jam, sedangkan jika diruang 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 dan luas permukaan spesifiknya bertambah.

### (3) Aktivasi gabungan

Aktivasi gabungan adalah pengaktifasian zeolit alam secara kimia dan fisik. Setelah di aktivasi secara kimia, maka zeolit dilanjutkan dengan aktivasi fisik. Dimana suhu optimum untuk pemanasan pada aktivasi gabungan adalah 325°C selama 2 jam pada sistem vakum (Mahdi, 2006).

## **D. Pembuatan Zeolit Pellet**

Zeolit yang telah halus, kemudian dicampur dengan aquades hingga kalis. Setelah itu, campuran zeolit tersebut dicetak (ditekan), pada awalnya proses pencetakan akan menggunakan mesin uji servohidrolik. Namun, Pada saat penelitian dilakukan mesin uji servohidrolik dalam keadaan rusak dan tidak dapat digunakan. Oleh karena itu, zeolit dicetak (ditekan) secara manual dengan memberikan pembebanan sebesar 5 kg dengan ketinggian 1 meter. Variasi kerapatan diperoleh yaitu dengan memberikan variasi berat zeolit per tablet sebesar 2 gram, 2,3 gram, dan 2,5 gram dengan pembebanan (dalam penelitian ini digunakan sebesar 5 kg) dan ketinggian (1 meter) yang sama tetapi lubang pada cetakan digunakan berdasarkan berat zeolit per tablet.

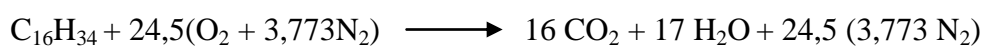
Untuk pencetakan zeolit sebesar 2 gram, campuran antara zeolit dengan aquades ditimbang seberat 2 gram untuk dimasukkan pada masing-masing lubang dan digunakan 13 lubang atau seluruh lubang pada cetakan. Untuk zeolit sebesar 2,3

gram ditimbang campuran tadi seberat 2,3 gram untuk dimasukkan pada masing-masing lubang digunakan lubang cetakan hanya 4 lubang. Sedangkan untuk zeolit sebesar 2,5 gram ditimbang campuran tadi seberat 2,5 gram untuk dimasukkan pada masing-masing lubang dan hanya digunakan lubang pada cetakan sebanyak 1 lubang.

Hal tersebut dilakukan untuk mengindikasikan kerapatan zeolit per tablet yang dihasilkan. Selanjutnya, zeolit *pellet* hasil cetakan diletakkan di temperatur ruangan (secara alami) hingga zeolit kering, hal ini dilakukan untuk mengurangi kadar uap air yang terdapat pada zeolit.

### **E. Teori Pembakaran**

Pembakaran adalah reaksi kimia dimana beberapa elemen dari bahan bakar seperti hidrogen dan karbon bercampur dengan udara membebaskan energi panas dan menyebabkan kenaikan temperatur gas. Pada motor bakar bensin, campuran udara-bahan bakar dibentuk di dalam karburator sehingga campuran udara-bahan bakar menjadi campuran yang homogen. Pada campuran yang homogen, molekul dari udara dan bahan bakar terdistribusi seragam. Pada proses pembakaran, loncatan api listrik busi merambat ke campuran udara-bahan bakar yang homogen dan membakar campuran tersebut. Reaksi kimia pembakaran yang ideal adalah seperti berikut:





Pada reaksi pembakaran di atas dapat dilihat bahwa nitrogen tidak berpartisipasi dalam reaksi pembakaran. Untuk reaksi pembakaran yang sebenarnya reaksi kimianya adalah sebagai berikut:

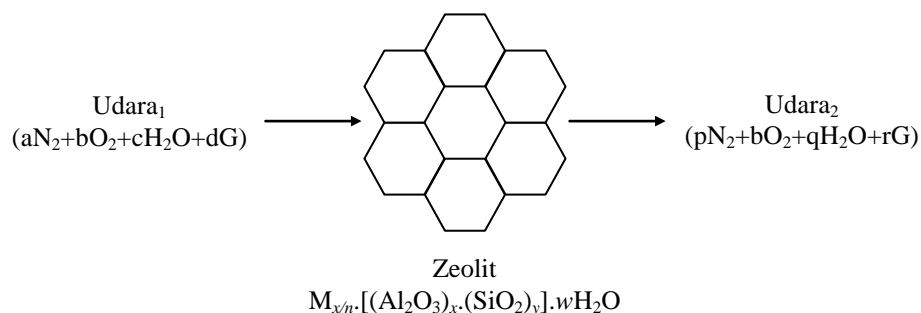


Selain CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pembakaran terdapat juga gas-gas lain, yaitu CO, NO<sub>x</sub>, dan UHC (*unburned hydrocarbons*).

Proses pembakaran merupakan suatu reaksi fasa gas yang eksotermis dan berlangsung sangat cepat, dimana oksigen adalah salah satu reaktannya. Oksigen adalah satu-satunya unsur di dalam udara yang dibutuhkan untuk membakar molekul-molekul bahan bakar. Proses pembakaran sempurna (terbakarnya seluruh partikel bahan bakar) hanya dapat terjadi apabila seluruh partikel bahan bakar beroksidasi dengan oksigen yang cukup untuk membentuk hanya CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Bila oksigen yang disuplai tidak cukup, maka partikel karbon tidak akan seluruhnya beroksidasi dengan partikel oksigen untuk membentuk CO<sub>2</sub>, akibatnya terbentuklah produk pembakaran yang lain seperti karbon monoksida (CO), dan gas buang yang lain seperti UHC (*unburned hydrocarbons*). Kalau terbentuk CO, maka jumlah energi panas yang dilepaskan pada proses pembakaran di dalam ruang bakar menjadi lebih kecil ( $\pm 30\%$ ) dari energi panas yang ditimbulkan bila CO<sub>2</sub> yang terbentuk.

Sedangkan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) yang masuk ke dalam ruang bakar akan tetap menjadi N<sub>2</sub> setelah pembakaran dan yang sebagian pada temperatur yang sangat tinggi bersama oksigen membentuk nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dimana gas tersebut tidak berwarna, tidak berbau, dan dapat mengakibatkan gangguan pernapasan.

Oleh karena itu, dengan penggunaan zeolit yang mampu mengikat gas nitrogen dan gas-gas lain yang terkandung dalam udara diharapkan kandungan gas nitrogen dan gas-gas lain menjadi berkurang sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik. Dalam hal ini, zeolit berfungsi sebagai penyaring udara yang akan masuk ke dalam ruang pembakaran sehingga udara yang masuk ke ruang pembakaran mempunyai kandungan oksigen yang tinggi dan pembentukan gas CO, NO<sub>x</sub>, dan UHC yang menimbulkan polusi dapat dikurangi. Proses adsorpsi udara dengan menggunakan zeolit dapat diilustrasikan seperti skema berikut:



Gambar 5. Proses adsorpsi udara oleh zeolit

Keterangan Gambar 4:

Udara<sub>1</sub> = aliran udara menuju zeolit

Udara<sub>2</sub> = aliran udara setelah melewati zeolit

a, b, c, d, p, q, r = koefisien jumlah molekul gas dalam udara

N<sub>2</sub> = molekul nitrogen

O<sub>2</sub> = molekul oksigen

H<sub>2</sub>O = molekul uap air

G = molekul gas-gas lain

Dari proses adsorpsi di atas, besar dari koefisien  $p < a$ ,  $q < c$ , dan  $r < d$ .

## **F. Perhitungan Prestasi Motor Bakar**

Parameter operasi sangat erat hubungannya dengan prestasi mesin. Besar kecilnya harga parameter operasi akan mempengaruhi tinggi rendahnya prestasi mesin yang dihasilkan. Parameter operasi yang umum dipergunakan dalam menganalisis prestasi mesin adalah daya engkol, laju pemakaian bahan bakar, laju pemakaian bahan bakar spesifik engkol, laju pemakaian udara, perbandingan udara-bahan bakar, tekanan efektif rata-rata engkol, efisiensi termal engkol, efisiensi volumetrik, hilang panas pada gas buang, dan koefisien udara lebih. Parameter prestasi yang cukup berperan adalah daya engkol sebagai kerja yang dihasilkan dari motor bakar, dimana semakin besar daya engkol yang dihasilkan semakin baik prestasi motor bakar.

Adapun besarnya daya engkol mempengaruhi besarnya pemakaian bahan bakar spesifik dimana besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah banyaknya pemakaian bahan bakar yang dibutuhkan dalam menghasilkan kerja. Semakin rendah pemakaian bahan bakar spesifik maka penggunaan bahan bakar menjadi lebih hemat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini parameter prestasi yang akan dibandingkan adalah daya engkol dan pemakaian bahan bakar spesifik. Berikut ini beberapa persamaan yang akan digunakan dalam mengolah data yang didapat.

### 1. Daya Engkol

Daya engkol adalah daya output yang berguna untuk menggerakkan sesuatu atau beban. Untuk mengetahui besarnya daya engkol dari motor digunakan persamaan:

$$bP = \frac{2\pi N T_{AP}}{60000} \quad (2.1)$$

$$T_{AP} = 1,001 T_{RD} \quad (2.2)$$

$$T_{AP} = F R = m g 0,25 = 0,25 m g \quad (2.3)$$

### 2. Laju Pemakaian Bahan Bakar

Laju pemakaian bahan bakar adalah banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi tiap satuan waktu. Laju pemakaian 8 ml bahan bakar ( $m_f$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m_f = \frac{3600 \times sgf \times 8 \times 10^{-3}}{t} \quad (2.4)$$

Dalam hal ini  $t$  adalah waktu pemakaian 8 ml bahan bakar.

### 3. Laju Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Engkol

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. Dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

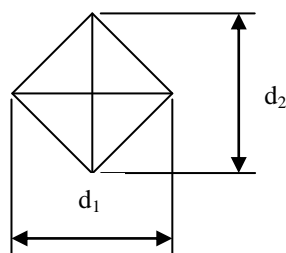
$$bsfc = \frac{m_f}{bP} \quad (2.5)$$

### G. Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen, kekerasan sering diartikan juga sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu benda. Tiga jenis pengujian kekerasan yang lazim digunakan yaitu pengujian kekerasan *Brinell* digunakan pertama kali oleh J.A Brinell pada tahun 1900, pengujian kekerasan *Vickers*, dan pengujian kekerasan *Rockwell* (Badaruddin, 2003).

#### ❖ Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan yang digunakan yaitu pengujian kekerasan *vickers* dengan nilai kekerasan yang dinyatakan dalam *Hardness Vickers Number* (HVN). Pengujian kekerasan *vickers* menggunakan indentor piramid dari intan. Sudut permukaan indentor adalah  $136^{\circ}$ . Pemilihan sudut karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji *Brinell*. Lekukan yang benar yang dibuat oleh penumbuk piramida intan harus berbentuk bujur sangkar (gambar 6).



Gambar 6. Lekukan Hasil Pengujian *Vickers*