

## II. TINJAUAN PUSTAKA

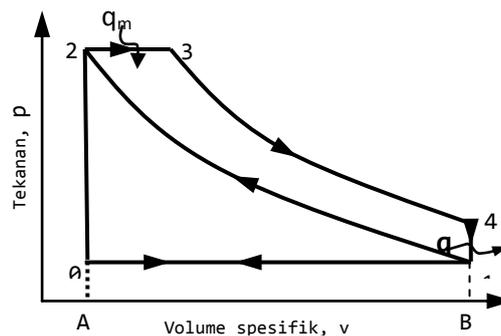
### A. Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin penggerak yang banyak dipakai dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya (Daryanto, 2010). Proses pembakaran yang terjadi pada motor, tidak lain dari suatu reaksi kimia yang berlangsung pada temperatur yang tinggi dan dalam waktu yang sangat singkat. Dari reaksi kimia ini dihasilkan sejumlah besar panas, panas tersebut merupakan tenaga aliran yang kuat dan mendorong piston. Dan akibatnya piston bergerak lurus bolak-balik yang disebut dengan gerakan translasi. Oleh poros engkol dan batang penggerak gerakan ini diubah menjadi gerak putar (Jama, 1982). Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan pada umumnya, motor bakar dibedakan menjadi dua yaitu motor bensin dan motor diesel (Wardono, 2004).

#### 1. Motor Diesel

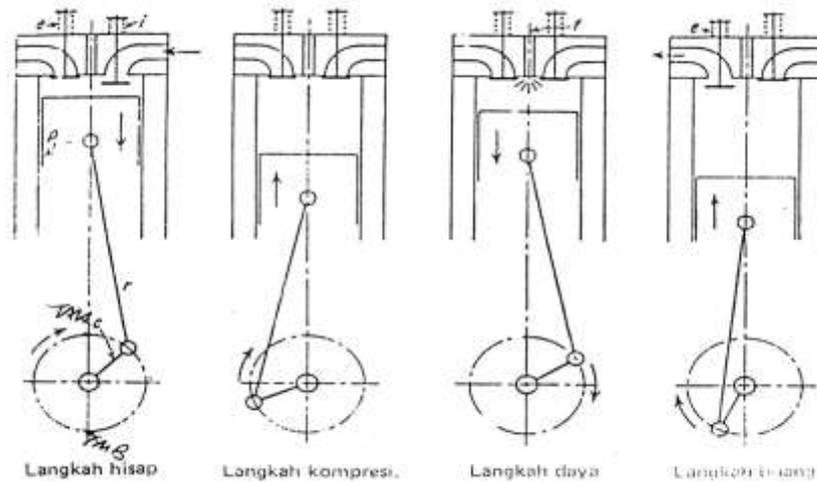
Motor bakar diesel dikenal juga sebagai motor penyalaan kompresi (*Compression Ignition Engines*). Berbeda halnya dengan motor bakar bensin

yang menggunakan busi untuk dapat melangsungkan proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder, pada motor bakar diesel ini proses 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 1 (Wardono, 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, 2004):

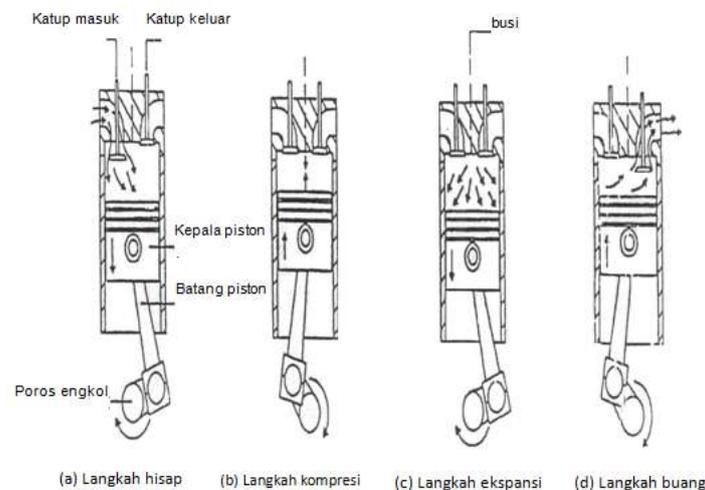


Gambar 2. Siklus operasi motor bakar diesel 4-langkah

- a. langkah isap (0-1) hanya udara segar yang diisap masuk ke dalam silinder.
- b. 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 injektor/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.
- c. Proses pembakaran (2-3) ini dianggap terjadi pada tekanan konstan. 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).

## 2. 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, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (Wardono, 2004).



Gambar 3. Siklus Motor Bakar 4-langkah

### a. Proses $0 \rightarrow 1$ adalah langkah hisap

Pada langkah hisap campuran udara-bahan bakar dari karburator terhisap masuk ke dalam silinder dengan Bergeraknya piston dari TMA menuju TMB. Katup hisap pada posisi terbuka, sedang katup buang pada posisi tertutup. Di akhir langkah hisap, katup hisap tertutup secara otomatis. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan. Proses dianggap berlangsung pada tekanan konstan.

### b. Proses $1 \rightarrow 2$ adalah langkah kompresi

Pada langkah kompresi katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup. Selanjutnya piston bergerak ke atas, dari TMB menuju TMA.

Akibatnya campuran udara-bahan bakar terkompresi. Proses kompresi ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur dan tekanan campuran tersebut, karena volumenya semakin kecil. Campuran udara-bahan bakar terkompresi ini menjadi campuran yang sangat mudah terbakar. Proses kompresi ini dianggap berlangsung secara adiabatik.

c. Proses  $2 \rightarrow 3$  adalah langkah kerja

Pada saat piston hampir mencapai TMA, loncatan nyala api listrik diantara kedua elektroda busi diberikan ke campuran udara-bahan bakar terkompresi sehingga sesaat kemudian campuran udara-bahan bakar ini terbakar. Akibatnya terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang drastis. Kedua katup pada posisi tertutup. Proses ini dianggap sebagai proses pemasukan panas (kalor) pada volume konstan.

d. Proses  $3 \rightarrow 4$  adalah langkah buang volume konstan

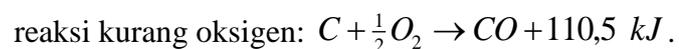
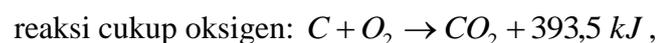
Kedua katup masih pada posisi tertutup. Gas pembakaran yang terjadi selanjutnya mampu mendorong piston untuk bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Dengan bergesernya piston menuju TMB, maka volume gas pembakaran di dalam silinder semakin bertambah, akibatnya temperatur dan tekanannya turun. Proses ekspansi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

e. Proses  $1 \rightarrow 0$  adalah langkah buang tekanan konstan

piston bergerak kembali dari TMB menuju TMA. Gas pembakaran didesak keluar melalui katup buang (saluran buang) dikarenakan bergesernya piston menuju TMA. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan.

## 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 seperti 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 (CO<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O) pada kondisi pembakaran sempurna. Dalam proses pembentukan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari pemantik telah mampu memisah atau memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O-O) menjadi partikel 'O' dan 'O', dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (CRH dan/atau CC) menjadi partikel 'C' dan 'H' yang berdiri sendiri. Baru selanjutnya partikel 'O' dapat beroksidasi dengan partikel 'C' dan 'H' untuk membentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. 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 Mesin Motor Diesel 4-Langkah

Parameter prestasi yang cukup berperan adalah daya engkol sebagai kerja yang dihasilkan oleh motor bakar, di mana 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, dkk. 2012):

$$bP = \frac{2\pi \cdot N \cdot T_{AP}}{60.000}, kW \dots\dots\dots (1)$$

$$T_{AP} = 1,001 \cdot T_{RD}, Nm \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- $T_{AP}$  adalah torsi aktual yang diperoleh dari hasil kali  $T_{RD}$  torsi hasil pembacaan dengan faktor koreksi yaitu 1,001

Laju pemakaian bahan bakar,  $m_f$  dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Wardono, dkk. 2012):

$$m_f = \frac{\rho_{fuel} \times 16.10^{-3}}{t}, \text{ kg/s} \dots\dots\dots(3)$$

akan lebih mudah untuk mengekspresikan unit konsumsi bahan bakar kg/jam, sehingga

$$m_f = \frac{\rho_{fuel} \times 16.10^{-3} \times 3600}{t}, \text{ kg/jam} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- $\rho_{fuel}$  (0,834 untuk bahan bakar solar)
- pemakaian bahan bakar per 16 ml bahan bakar

Untuk pemakaian bahan bakar spesifik,  $bsfc$  dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wardono, dkk. 2012):

$$bsfc = \frac{m_f}{bP}, \text{ kg/kW} \dots\dots\dots(5)$$

#### D. Filter Udara

Filter udara berfungsi untuk menyaring udara sebelum memasuki ruang bakar atau sebelum memasuki karburator (pada motor bensin). Filter udara sangat diperlukan terlebih lagi dalam kondisi yang udaranya banyak mengandung debu dan pasir, misalnya di tempat pekerjaan batu dan pertambangan atau di jalan 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.

Filter udara sudah mengalami tiga kali evolusi. Generasi pertama, menggunakan bahan busa. Generasi kedua menggunakan tipe kertas kering, dan generasi terbaru menggunakan kertas basah. Beberapa jenis filter akan dijelaskan di bawah ini ([www.Otomotifnet.com](http://www.Otomotifnet.com), 2013):

#### 1. Busa marmer

Tipe saringan udara ini, boleh disebut konvensional. Itu karena modelnya yang umum dan sudah dipakai sejak lama. Banyak pabrikan menggunakan saringan model ini, karena mudah perawatannya. Membersihkannya menggunakan bensin. Busa direndam atau disiram bensin lalu diperas. Ulangi hingga dua atau tiga kali, Untuk mengeringkannya, cukup sedikit diremas. Setelah busa dibersihkan kemudian di lumuri dengan oli.



Gambar 4. Filter Udara Busa Marmer

#### 2. Kertas kering (*dry element*)

Saringan udara jenis ini memiliki bahan yang tebal sehingga tidak cepat rusak ketika menyedot udara. Membersihkannya cukup disemprot menggunakan angin kompresor.



Gambar 5. Filter Udara *Dry Elemen*

### 3. Kertas basah (*wet element*)

Bahan yang dipakai hampir serupa dengan bahan saringan udara *dry element*, namun telah memiliki pelumas khusus di kertasnya. Cara membersihkannya cukup dilap menggunakan kain tipis (www.Otomotifnet.com, 2013).



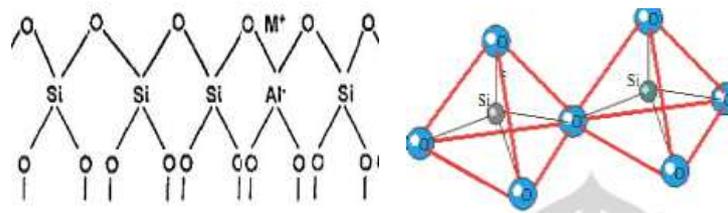
Gambar 6. Filter Udara *Wet Element*

## E. Zeolit

### 1. Pengertian Zeolit Alam

Nama zeolit berasal dari kata “zein” yang berarti mendidih dan “lithos” yang artinya batuan, disebut demikian karena mineral ini mempunyai sifat mendidih atau mengembang apabila dipanaskan. Zeolit merupakan batuan atau mineral alam yang secara kimiawi termasuk golongan mineral silika dan dinyatakan sebagai alumina silikat terhidrasi, berbentuk halus, dan merupakan hasil produk sekunder yang stabil pada kondisi permukaan karena berasal dari proses sedimentasi, pelapukan maupun aktivitas hidrotermal. Zeolit merupakan senyawa alumina silika (Si/Al) yang

mempunyai pori dan luas permukaan yang relatif besar, sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang tinggi. 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.org>, 2013).



Gambar 7. Tetrahedral Alumina dan Silika pada Struktur Zeolit

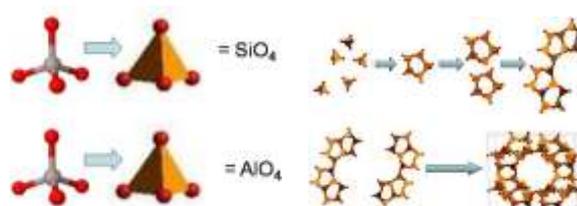
## 2. Struktur Zeolit

Zeolit pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  atau  $Mg^{2+}$  sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation  $K^+$  atau  $Na^+$ . Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah alasan mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu  $300-400^\circ C$  dengan udara panas atau dengan sistem vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan asam seperti HF, HCl dan

$\text{H}_2\text{SO}_4$  untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori. Rasio Si/Al merupakan perbandingan jumlah atom Si terhadap jumlah atom Al di dalam kerangka zeolit. Perubahan rasio Si/Al dari zeolit akan mengubah muatan zeolit sehingga pada akhirnya akan mengubah jumlah kation penyeimbang. Lebih sedikit atom Al artinya lebih sedikit muatan negatif pada zeolit sehingga lebih sedikit pula kation penyeimbang yang ada (<http://material-sciences.blogspot.com>, 2013).

### 3. Skematik Pembentukan Struktur Zeolit

Zeolit umumnya memiliki struktur tiga dimensi, yang terbentuk dari tetrahedral alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam, biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Secara empiris rumus molekul zeolit adalah  $\text{M}_{x/n} \cdot (\text{AlO}_2)_x \cdot (\text{SiO}_2)_y \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . Unit pembentuk kerangka utama zeolit adalah tetrahedral, pusatnya ditempati oleh atom silikon (Si) atau atom aluminium (Al), dengan empat atom oksigen di sudut-sudutnya. Struktur zeolit merupakan polimer kristal anorganik didasarkan kerangka tetrahedral yang diperluas tak terhingga dari  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  dan dihubungkan satu dengan lainnya melalui pembagian bersama ion oksigen (<http://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/mineral-zeolit>, 2013).



Gambar 8. Skematik Pembentuk Struktur Zeolit

#### 4. Sifat-Sifat Zeolit

Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, antara lain:

##### a. Dehidrasi

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi yaitu melepaskan molekul  $H_2O$  apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Molekul  $H_2O$  dapat dikeluarkan secara *reversibel*. Pada pori-porinya terdapat kation-kation dan atau molekul air. Bila kation-kation dan atau molekul air tersebut dikeluarkan dari pori dengan perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong (<http://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/mineral-zeolit>, 2013).

##### b. Penyerapan (absorpsi)

Zeolit mempunyai kapasitas yang tinggi sebagai penyerap (absorben). Mekanisme adsorpsi yang mungkin terjadi adalah adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia, ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks koordinasi. Molekul atau zat yang diserap akan menempati posisi pori. Daya serap (absorbansi) zeolit tergantung dari jumlah pori dan luas permukaan. Molekul-molekul dengan ukuran lebih kecil dari pori yang mampu terserap oleh zeolit (<http://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/mineral-zeolit>, 2013).

Zeolit yang terdehidrasi akan mempunyai struktur pori terbuka dengan *internal surface area* besar sehingga kemampuan mengabsorb molekul selain air semakin tinggi. Sifat ini yang menjadikan zeolit mempunyai kemampuan penyaringan yang sangat spesifik yang dapat digunakan

untuk pemurnian dan pemisahan. *Chabazite* (CHA) merupakan zeolit pertama yang diketahui dapat mengabsorb dan menahan molekul kecil seperti asam formiat dan metanol tetapi tidak dapat menyerap benzena dan molekul yang lebih besar. Chabazite telah digunakan secara komersial untuk mengabsorb gas polutan SO<sub>2</sub> yang merupakan emisi dari cerobong asap (<http://material-sciences.blogspot.com>, 2013).

c. Penukar Ion

Kation-kation pada pori berperan sebagai penetral muatan zeolit. Kation-kation ini dapat bergerak bebas sehingga dapat dengan mudah terjadi pertukaran ion. Mekanisme pertukaran kation tergantung pada ukuran, muatan dan jenis zeolitnya.

d. Penyaring

Zeolit dengan struktur kerangka mempunyai luas permukaan yang sangat besar dan berperan sebagai saluran yang dapat menyaring ion atau molekul. Peran zeolit sebagai penyaring ataupun pemisah molekul didasarkan pada perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai pori dengan ukuran tertentu. Molekul yang berukuran lebih kecil dari pori dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari pori akan tertahan.

e. Katalis

Zeolit sebagai katalis didasarkan pada adanya ruang kosong yang dapat digunakan sebagai katalis ataupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi katalitik. Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pusat-pusat

aktif tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe bronsted maupun lewis. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolit dan kondisi reaksi. Pusat-pusat aktif yang bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul-molekul basa secara kimiawi (<http://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/mineral-zeolit>, 2013).

#### **F. Aktivasi Zeolit Alam**

Zeolit ada dua macam, yaitu zeolit alam dan sintetis. Zeolit alam pada umumnya memiliki kristalinitas yang tidak terlalu tinggi, ukuran porinya sangat tidak seragam, aktivitas katalitiknya rendah, dan mengandung banyak pengotor. Kandungan zeolit alam di Indonesia pada umumnya terdiri atas jenis modernit dan klinoptilolit yang kadarnya bervariasi. Salah satu cara untuk meningkatkan daya guna zeolit alam dengan aktivasi dan modifikasi (Setyawan dan Handoko 2003, dalam Syafii 2010). Proses aktivasi zeolit alam dapat dilakukan dengan 2 cara, yang pertama yaitu secara fisik melalui kalsinasi dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap di dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaannya bertambah. Cara yang kedua adalah aktivasi zeolit secara kimia dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan penambahan asam dan penambahan basa. Asam yang digunakan adalah  $H_2SO_4$ , HF, dan HCl, sedangkan basa yang digunakan adalah NaOH (Syafii, 2010). Pada dasarnya zeolit tanpa diaktivasi telah mampu meningkatkan pembakaran pada ruang bakar, namun masih rendah kemampuannya jika dibandingkan dengan zeolit yang telah diaktivasi. Untuk

lebih meningkatkan kualitas dari oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran, maka diperlukan zeolit yang lebih baik lagi, yaitu dengan dilakukan aktivasi. Proses aktivasi zeolit alam dikelompokkan menjadi 3 cara yaitu:

#### 1. Aktivasi fisik

Pengaktivasian zeolit alam secara fisik dilakukan dengan proses pemanasan zeolit alam. Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori-pori dan luas permukaan spesifiknya bertambah. Proses pemanasan zeolit dilakukan pada suhu 200-400 °C dan waktu pemanasan 2-3 jam, sedangkan di ruang terbuka sekitar 5-6 jam (Suyartono dan Husaini, 1992 dalam Pandapotan, 2012). Penelitian yang lain juga dilakukan oleh Triatmaja (2011) menggunakan zeolit pelet yang diaktivasi fisik dengan pemanasan pada temperatur 225°C selama 1 jam, menunjukkan peningkatan prestasi mesin pada sepeda motor karburator 4 langkah. Temperatur aktivasi fisik terbaik dalam penurunan konsumsi bahan bakar spesifik yaitu pada 200 °C selama 1 jam. Hal ini terlihat pada penggunaan zeolit pelet dengan aktivator HCl 0,3N konsumsi bahan bakar spesifik yang diberikan sebesar 7,811 % dan pada penggunaan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,3N konsumsi bahan bakar spesifik yang diberikan 5,350 % (Pandapotan, 2012)

#### 2. Aktivasi Kimia

Aktivasi zeolit secara kimia dilakukan dengan cara perendaman dan pengadukan zeolit dalam larutan asam (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atau HCl) ataupun dalam

larutan basa (NaOH). Aktivasi ini bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan (Hendrawan A, 2010). 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 absorben. Tergantung pada tujuan penggunaannya, absorben dapat berupa granulat (biasanya untuk menyerap gas) atau serbuk (biasanya untuk adsorpsi campuran cair) (Andrianus, 2012). Peningkatan keasaman zeolit mampu memperbesar kemampuan penyerapan zeolit. Hal itu terjadi karena banyaknya pori-pori zeolit yang terbuka dan permukaannya menjadi bersih dan luas.

Pada penelitian ini aktivator kimia yang digunakan adalah HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang memiliki konsentrasi 1N, 2N, 3N, dan 4N dengan perbandingan larutan 1:7 yang dilakukan pengadukan selama 1 jam. Konsentrasi didefinisikan sebagai jumlah zat terlarut dalam setiap satuan larutan atau pelarut. Pada umumnya konsentrasi dinyatakan dalam satuan fisik, misalnya satuan berat atau satuan volume dan satuan kimia, misalnya mol, massa rumus, dan ekuivalen. 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), menyatakan jumlah mol ekuivalen zat

terlarut dalam satu liter larutan. Untuk asam, 1 mol ekuivalen sebanding dengan 1 mol ion  $H^+$ , sedangkan untuk basa, 1 mol ekuivalennya sebanding dengan 1 mol ion  $OH^-$ . Sebagai contoh  $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$ , setiap 1 mol  $H_2SO_4$  setara dengan 2 mol ekuivalen. Antara normalitas dan molaritas terdapat hubungan  $N = M \times \text{Valensi}$ , dimana N adalah normalitas, M adalah molaritas (mol/liter), valensi adalah jumlah ion  $H^+$  atau  $OH^-$ . Rumus hubungan antara normalitas dan molaritas dapat dinyatakan dengan (Utami dkk, 2009):

$$N = \frac{MA}{Mr} \times \frac{1000}{V} \times \text{valensi} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Asam Klorida (HCl) adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida, ia adalah asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri. Hidrogen klorida 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 ( $H_3O^+$ ). Asam ini termasuk dalam golongan asam kuat karena berdisosiasi penuh dalam air. Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) adalah asam mineral yang kuat, cairan yang sangat polar, sangat korosif tidak berwarna, cairan kental. Garam-garam dari asam sulfat disebut sulfat, asam sulfat larut dalam air pada semua konsentrasi. 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 (Wikipedia, 2013).

### 3. Aktivasi gabungan

Aktivasi gabungan adalah pengaktifasian zeolit alam secara kimia dan fisik. Setelah di aktivasi secara kimia kemudian zeolit dilanjutkan dengan aktivasi fisik, di mana suhu optimum untuk pemanasan pada aktivasi gabungan adalah 225 °C selama 2 jam pada sistem vakum (Hendri, 2000 dalam Pandapotan, 2012). Pada penelitian Chandra W. Pandapotan (2012) salah satu mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, zeolit diaktivasi menggunakan larutan asam HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang memiliki konsentrasi larutan masing-masing 0,1N, 0,2N, 0,3N, dan 0,5N. Zeolit dan larutan kimia diaduk menggunakan *mixer* dengan tujuan agar merata, kemudian zeolit disaring dengan kain penyaring untuk menghilangkan larutan aktivasi dan kemudian zeolit tersebut dicuci dengan air aquades untuk membersihkan dari larutan aktivasi sehingga PH netral yaitu 7. Lalu zeolit tersebut dikeringkan menggunakan panas matahari selama 3 jam dengan tujuan melihat reduksi yang terjadi, kemudian dipanaskan menggunakan oven selama 1 jam dengan suhu 110 °C dengan tujuan agar permukaan kering dan mudah dilakukan penumbukan pada zeolit tersebut. Menumbuk zeolit dan menyaring hingga berukuran 100 mesh, memanaskan air mineral dengan mencampurkan 6% tepung tapioka dari total keseluruhan yang akan dibuat menjadi pelet hingga mengental (perbandingan 74% zeolit, 6% tepung tapioka, dan 20% air). Mencampur serbuk zeolit dengan tepung tapioka yang telah mengental secara merata hingga membentuk campuran siap cetak, mencetak campuran menjadi pelet dengan ukuran diameter 10 mm dan ketebalan 3 mm. Zeolit pelet

yang dicetak kemudian di aktivasi fisik selama 1 jam pada temperatur 200 °C. Dengan proses aktivasi gabungan tersebut mampu menurunkan konsumsi bahan bakar terjadi pada aktivator HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada normalitas 0,5N sebesar 0,189 kg/kWh (8,161) dan 0,191 kg/kWh (7,414 %).

### **G. Tepung Tapioka**

Tepung adalah partikel padat yang berbentuk butiran halus atau sangat halus (tergantung pemakaiannya). Biasanya digunakan untuk keperluan penelitian, rumah tangga, dan bahan baku industri. Tepung bisa berasal dari bahan nabati misalnya tepung terigu dari gandum, tapioka dari singkong, maizena dari jagung atau hewani misalnya tepung tulang dan tepung ikan (<http://id.wikipedia.org/wiki/Tepung>, 2013).

Kualitas tapioka sangat ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu:

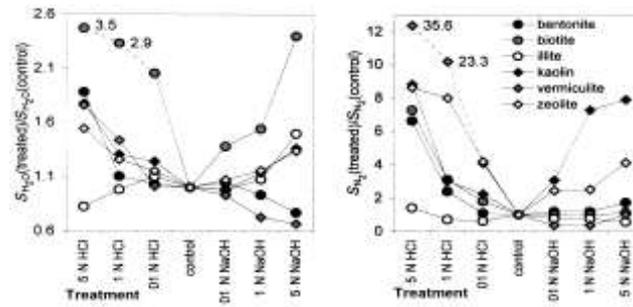
1. Warna Tepung; tepung tapioka yang baik berwarna putih.
2. Kandungan Air; tepung harus dijemur sampai kering benar sehingga kandungan airnya rendah.
3. Banyaknya serat dan kotoran; usahakan agar banyaknya serat dan kayu yang digunakan harus yang umurnya kurang dari 1 tahun karena serat dan zat kayunya masih sedikit dan zat patinya masih banyak.
4. Tingkat kekentalan; usahakan daya rekat tapioka tetap tinggi. Untuk ini hindari penggunaan air yang berlebih dalam proses produksi.

Tepung tapioka mempunyai banyak kegunaan baik dalam industri pangan maupun non pangan. Dalam industri non pangan contohnya pada pembuatan

pelet zeolit yaitu sebagai bahan pengikat dan pengental untuk menggabungkan massa pada pengadonan (pembuatan pelet) dan mencegahnya penguapan selama dilakukan pemanasan. Pada penelitian Andrianus (2012) pelet zeolit yang dibuat tidak menggunakan tepung tapioka sebagai perekat sehingga proses pemanasan pada oven tidak bisa dilakukan pada suhu tinggi dan terlalu lama karena pelet zeolit yang telah dibentuk seperti tablet akan rapuh dan mudah pecah, jika ini terjadi maka akan sulit untuk melakukan pengujian, disamping itu proses pembuatan pelet zeolitnya cukup menyulitkan. Sedangkan pada penelitian Pandapotan (2012) pelet yang dibuat sudah menggunakan tepung tapioka sebagai perekat sehingga proses pembuatan pelet zeolitnya akan lebih mudah dan menjadikan zeolit menjadi media absorben yang efektif bisa diwujudkan.

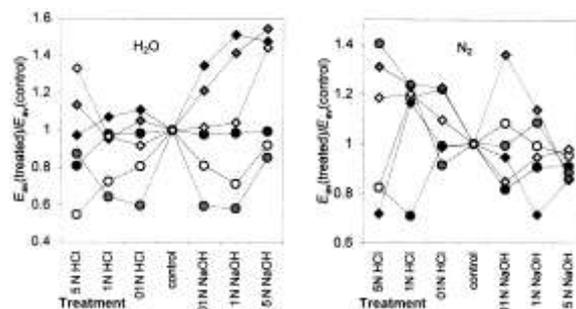
#### **H. Perlakuan asam pada normalitas tinggi**

Bentonit, biotit, ilit, kaolin, vermikulit, dan zeolit yang mengalami perlakuan asam klorida atau natrium hidroksida pada konsentrasi 0,1, 1,0 dan 5,0 mol  $\text{dm}^{-3}$  pada suhu kamar. Dalam aktivasi kimia asam, dapat menyebabkan larutnya Al dari pada Si-nya, yang merupakan struktur zeolit dan sebaliknya jika diamati pada perlakuan aktivasi basa. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi pereaksi, akan meningkatkan luas permukaan zeolit yang mengakibatkan penyerapan nitrogen jauh lebih cepat dibandingkan dengan penyerapan uap air. Pada umumnya laju adsorpsi uap air dan nitrogen meningkat dengan peningkatan konsentrasi pereaksinya, adsorpsi untuk mineral ditunjukkan pada Gambar berikut (Jozefacuk dan Bowanko, 2002):



Gambar 9. Perubahan Relatif di Daerah Permukaan Akibat Perlakuan

Perlakuan asam atau basa menyebabkan perubahan nyata dalam struktur kristal mineral, karena pelepasan ion struktural dan penataan ulang struktur kristalnya kembali. Dengan meningkatnya konsentrasi perlakuan asam, rata-rata energi absorpsi uap air dan nitrogen meningkat untuk biotit dan zeolit dan menurun untuk bentonit, kaolin, dan illite. Perubahan energi absorpsi rata-rata pada perlakuan asam dan basa ditunjukkan pada Gambar 10 (Jozefacuk dan Bowanko, 2002).



Gambar 10. Perubahan Relatif Energi Absorpsi Rata-rata Karena Perlakuan

Peningkatan nilai konsentrasi pada aktivasi kimia dapat mempengaruhi kemampuan absorpsi zeolit. Semakin tinggi nilai konsentrasi asam yang digunakan, maka semakin bertambah luas permukaan spesifik pori-pori zeolit, akan tetapi jika nilai konsentrasi asam yang digunakan terlalu besar, akan dapat merusak struktur rangka dari zeolit sehingga dapat menyebabkan menurunnya daya absorpsi zeolit (Pandapotan, 2012).