

## 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 berdasarkan siklus operasinya pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu motor bakar siklus volume konstan (motor bakar siklus *otto* atau motor bakar bensin) dan motor bakar siklus tekanan konstan (motor bakar siklus *diesel* atau motor bakar *diesel*) (Wardono, 2004).

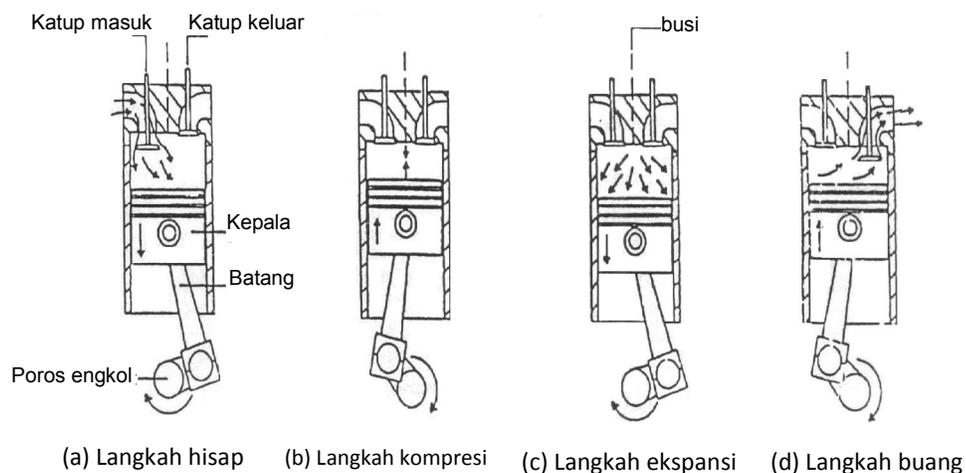
Motor bakar (motor bakar torak) adalah salah satu contoh dari penerapan dari mesin pembakaran dalam, selain motor bakar contoh penerapan dari mesin pembakaran dalam ini adalah sistem turbin gas propulsi pancar gas. Secara umum motor bakar dibedakan menjadi dua bagian, yaitu motor bakar 4 (empat) langkah dan motor bakar 2 (dua) langkah. Dimana untuk motor bakar empat langkah didalam setiap proses pembakarannya secara lengkap, diperlukan empat langkah piston atau dua kali putaran poros engkol dalam satu siklus, sedangkan untuk motor bakar dua langkah hanya membutuhkan dua langkah piston atau satu kali putaran poros engkol (Ganesan, 1996 dalam Yandra, 2006).

## 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.

### a. Pengertian 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 1.



Gambar 1. Siklus motor bensin 4-langkah (Heywood, 1988 dalam Efendri, 2014)

## 2. Motor Diesel

Motor diesel berasal dari rencana Rudolf Diesel, yang pada tahun 1897 berhasil menemukan sebuah motor yang berkerja berdasarkan bahan bakar yang disemprotkan atau dihamburkan ke dalam ruang bakar dari motor dengan memakai tekanan udara (Karyanto, 2000 dalam Yandra, 2006).

Motor diesel adalah motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang beroperasi dengan minyak berat dan solar sebagai bahan bakar, dengan suatu prinsip bahwa bahan bakar tersebut diinjeksikan kedalam silinder yang didalamnya sudah terdapat udara dengan tekanan dan suhu yang cukup tinggi, sehingga bahan bakar secara spontan terbakar. Penggunaan motor diesel sangat banyak seperti mesin mobil, lokomotif, pembangkit listrik, dan mesin kapal laut. Mesin diesel dua langkah yang berukuran besar biasanya dipakai sebagai pembangkit 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, biasanya digunakan sebagai mesin mobil berukuran kecil dan juga motor diesel dua langkah yang biasanya digunakan sebagai mesin traktor, truk, serta bus (Soenarta, 1995 dalam Yandra, 2006).

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. Karakteristik dari motor disesel yang membedakanya dari motor bensin adalah metoda penyalaan bahan bakar. Dalam mesin diesel bahan bakar diinjeksikan ke dalam slinder, yang berisi udara bertekanan tinggi. Selama kompresi udara dalam slinder maka suhu udara meningkat, sehingga ketika bahan bakar, dalam bentuk kabut halus bersinggungan dengan udara panas ini, akan menyala, dan tidak dibutuhkan alat penyalaan lain dari luar. Oleh karena itu mesin diesel juga disebut mesin penyalaan kompresi.

a. Prinsip kerja motor diesel 4-langkah.

Prinsip cara kerja motor diesel 4 langkah 1 silinder yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Langkah hisap (*intake stroke*)

Udara dari lingkungan sekitar ditarik atau dihisap masuk. Ketika katup masuk terbuka dan piston berada pada posisi titik mati puncak, bila piston bergerak ke bawah udara terhisap ke dalam, pada saat piston mencapai posisi titik mati bawah, katup masuk menutup, silinder sekarang berisi udara seluruhnya.

2. Langkah kompresi (*compression stroke*)

Udara yang telah masuk kedalam silinder dimampatkan oleh torak. Pada langkah ini katup masuk dan katup keluar dalam keadaan tertutup. Pada saat piston bergerak ke atas, udara dalam silinder terdesak (dikompresikan) oleh karena itu suhu dari udara yang dikompresikan meningkat sampai tinggi sekali, pada saat piston

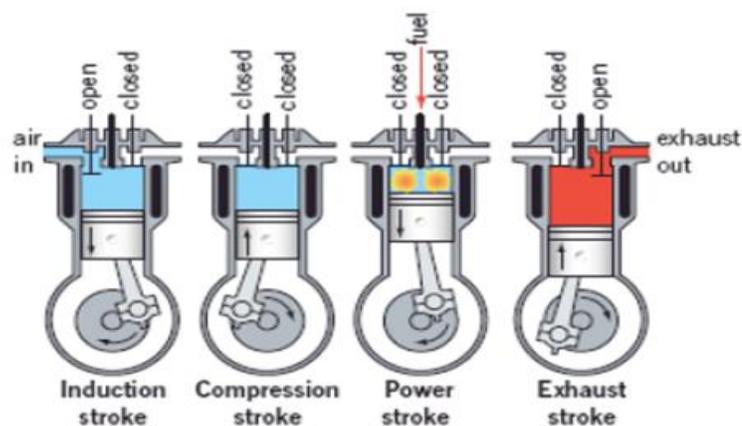
hampir sampai pada posisi titik mati atas, bahan bakar solar disemprotkan ke dalam silinder.

### 3. Langkah kerja (*power stroke*)

Karena tekanan dan suhu yang tinggi tadi, menyebabkan bahan bakar yang disemprotkan tadi menyala dengan sendirinya dan membentuk proses pembakaran. Pembakaran yang terjadi di dalam silinder menyebabkan piston bergerak ke titik mati bawah. Pada saat piston hampir mencapai posisi titik mati bawah, katup buang terbuka.

### 4. Langkah buang (*exhaust stroke*)

Pada langkah ini piston bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas, katup masuk tertutup sedangkan katup buang terbuka sehingga piston mendorong keluar gas yang telah terbakar, gas sisa pembakaran keluar melalui katup buang menuju saluran buang dan ke knalpot (Ganesan, 1996 dan Maleev, 1995 dalam Yandra, 2006).



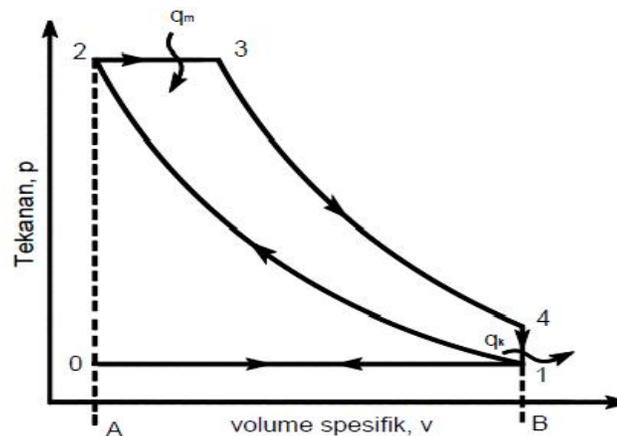
Gambar 2. Prinsip Kerja Motor Diesel

b. Siklus ideal motor diesel 4-langkah.

Untuk menjelaskan makna dari diagram  $P-v$  motor bakar torak, perlu beberapa idealis sehingga prosesnya dapat dipahami dengan lebih mudah. Proses yang sebenarnya berbeda dengan proses yang ideal itu, dimana perbedaan itu menjadi semakin besar jika idealisasi yang dipergunakan itu terlalu jauh menyimpang dari keadaan sebenarnya. Proses siklus yang ideal itu biasanya dinamai siklus udara, dengan beberapa idealisasi sebagai berikut (Arismunandar, dan Tsuda, 1996 dalam Yandra, 2006).

1. Fluida kerja didalam silinder adalah udara, dianggap sebagai gas ideal.
2. Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara isentropik.
3. Proses pembakaran dianggap sebagai proses pemanasan fluida kerja.
4. Pada akhir proses ekspansi, yaitu pada saat torak mencapai titik mati bawah, fluida kerja didinginkan sehingga tekanan dan temperatur turun mencapai tekanan dan temperatur atmosfer.

Siklus mesin torak dengan penyalaan kompresi dapat dibuat menurut suatu siklus diesel standar udara seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Diagram P-v dari siklus ideal motor diesel 4-langkah.

Urutan proses dari siklus ideal tekanan konstan adalah sebagai berikut :

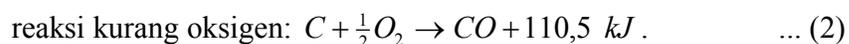
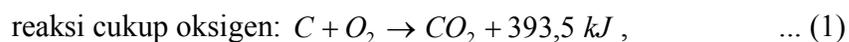
- Langkah hisap (0-1) merupakan proses penghisapan udara luar masuk kedalam silinder (proses yang terjadi pada tekanan konstan).
- Langkah kompresi (1-2) merupakan proses dimana torak bergerak naik dari TMB menekan udara yang ada diruang silinder (proses isentropik).
- Langkah pembakaran (2-3) merupakan proses pemasukan kalor pada tekanan konstan.
- Langkah kerja (3-4) merupakan proses kerja (ekspansi) yang terjadi akibat dari pemasukan kalor pada langkah pembakaran dalam silinder sehingga mendorong torak bergerak turun, udara mengembang dari volume silinder yang membesar dan meneruskan energi yang ditimbulkan untuk melakukan kerja (proses isentropik).
- Langkah pembuangan (4-1) merupakan proses pengeluaran kalor pada volume konstan.
- Langkah buang (1-0) merupakan proses membuang hasil pembakaran yang tersisa, terjadi pada tekanan konstan, dimana pada keadaan ini torak bergerak ke atas. (Yandra, 2006).

## **B. Proses Pembakaran**

Pembakaran adalah reaksi kimia dimana beberapa elemen dari bahan bakar seperti (Karbon dan hidrogen) dengan udara (Oksigen) yang berlangsung sangat cepat, yang membutuhkan panas awal untuk menghasilkan panas yang jauh lebih

besar sehingga menaikkan suhu dan tekanan gas pembakaran. Pada motor bakar biasanya bahan bakar terbakar dengan udara (oksigen), sedangkan nitrogen tidak ikut bereaksi. Oksigen adalah satu-satunya unsur didalam udara yang dibutuhkan untuk membakar molekul-molekul bahan bakar (Wardono, 2004).

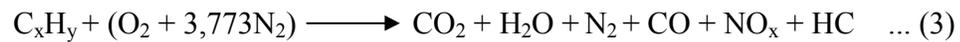
Elemen mampu bakar atau *Combustible* yang utama adalah hidrogen dan oksigen. Sementara itu, Nitrogen adalah gas lembam dan tidak berpartisipasi dalam proses pembakaran. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen dan karbon, akan bergabung dengan oksigen 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).



Dalam proses pembakaran sempurna bahan bakar hidro karbon unsur C akan terbakar menjadi CO<sub>2</sub> dan unsur H akan menjadi H<sub>2</sub>O. Maka perbandingan dari berat minimum udara terhadap bahan bakar dinamakan perbandingan campuran stoikiometri (Arismunandar, dan Tsuda, 1986 dalam Yandra, 2006).

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. Disini 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/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 CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Wardono, 2004). Sedangkan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) yang masuk kedalam ruang bakar pada temperatur yang sangat tinggi bersama dengan oksigen membentuk nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dimana gas tersebut tidak berwarna, tidak berbau, dan dapat mengakibatkan gangguan pernapasan (Heywood, 1988). 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).

Zat-zat pencemar udara dari hasil pembakaran dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, dan CO<sub>2</sub>.

#### 1. Karbon monoksida (CO)

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa karbon monoksida (CO) sebagai gas yang cukup banyak terdapat di udara, dimana gas ini terbentuk akibat adanya suatu pembakaran yang tidak sempurna. Gas karbon monoksida mempunyai ciri yang tidak berbau, tidak terasa, serta tidak berwarna. Kendaraan bermotor memberi andil yang besar dalam peningkatan kadar CO yang membahayakan. Di dalam semua polutan udara maka CO adalah pencemar yang paling utama (KLH, 2006 dalam Efendri, 2013).

#### 2. Hidrokarbon (HC)

Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O). Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap (smog). Pancaran hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk gasoline yang tidak terbakar. Hidrokarbon terdapat pada proses penguapan bahan bakar pada tangki, karburator, serta kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dan torak yang masuk ke dalam poros engkol yang biasa disebut *blow by gases* (gas lalu). Semakin kecil kadar HC pembakaran itu akan semakin sempurna, ini menunjukkan sedikitnya bahan bakar yang terbang. Semakin tinggi kadar HC semakin banyak sisa bahan bakar (gas

yang tidak terbakar setelah gagal pembakaran) yang terbang pada proses pembakaran, dan banyak bahan bakar yang terbang percuma.

### 3. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)

Konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi CO<sub>2</sub> berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi CO<sub>2</sub> akan turun secara drastis (KLH, 2006 dalam Efendri, 2013).

## C Saringan Udara (*Air Filter*)

Filter udara (*Air filter*) berfungsi untuk menyaring udara sebelum memasuki ruang bakar. Filter udara sangat diperlukan bila 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. Selain itu, aliran udara yang memasuki ruang bakar akan mempengaruhi homogenitas pencampuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar yang akan mempengaruhi kinerja pembakaran. Dengan demikian saringan udara (filter) hanya berguna untuk menangkap partikel-partikel kasar seperti debu dan kotoran. Akan tetapi gas-gas yang terkandung di dalam udara seperti nitrogen, oksigen, uap air, dan gas-gas lainnya masih dapat lolos (Denfi, 2013).

#### D. Parameter Prestasi Motor Bakar 4- Langkah

Parameter prestasi yang cukup berperan adalah daya engkol yang merupakan kerja yang dihasilkan oleh motor bakar. Untuk mengetahui besarnya daya engkol dari motor bakar 4 langkah digunakan persamaan:

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

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

Laju pemakaian bahan bakar merupakan 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):

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

Pemakaian bahan bakar spesifik (spesifik 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 :

$$\mathbf{bsfc} = \frac{m_f}{bP}, \text{ kg/kW.h} \dots\dots\dots(4)$$

Laju pemakaian udara teoritis,  $m_{a \text{ th}}$  , pada tekanan 1,013 bar dan temperatur 20°C ditentukan sebagai berikut :

$$\mathbf{m_{a \text{ th}}} = 1.0135M_{an} + 1,211 \quad \text{kg/jam} \dots\dots\dots(5)$$

Untuk kondisi tekanan dan temperatur ruang yang berbeda, kalikan  $m_{a, th}$  tersebut dengan faktor koreksi,  $f_c$ , berikut :

$$f_c = 3564,22 \times 10^{-5} P_a (T_a + 114) / (T_a)^{2,5}$$

Maka laju pemakaian udara aktual,  $m_{act}$  :

$$m_{act} = f_c \cdot m_{a, th}, \text{kg/jam} \dots \dots \dots (6)$$

Sedangkan untuk perbandingan udara-bahan bakar aktual dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$(A/F)_{act} = m_{act} / m_f \quad (\text{Wardono, H dkk.2004}).$$

#### E. Fly Ash

*Fly ash* batubara merupakan limbah buangan yang biasanya dilepaskan begitu saja di udara tanpa adanya pengendalian khusus untuk melepaskan *fly ash* ke udara. Padahal *fly ash* batubara merupakan salah satu jenis limbah B3, sehingga sangat berbahaya jika mencemari udara sekitar. *Fly ash* umumnya disimpan sementara pada pembangkit listrik tenaga batubara, dan akhirnya dibuang di *landfill* (tempat pembuangan). Penumpukan *fly ash* batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan, yaitu mencemari lingkungan udara maupun lingkungan tanah. Selama ini, berbagai pemanfaatan dari *fly ash* dengan mengetahui unsur dan mineralnya adalah sebagai bahan mentah (*raw material*) untuk produksi semen dan bahan konstruksi. Saat ini umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton.

Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam. Bentuk pemanfaatan dari limbah *fly ash* adalah dengan mengubahnya menjadi adsorben. Sebagai adsorben, *fly ash* memiliki keuntungan yaitu harganya yang ekonomis dan baik digunakan dalam pengelolaan limbah gas ataupun cair, serta mampu menyerap logam-logam berat yang terkandung dalam limbah. Untuk mengolah kembali *fly ash* sebagai bahan baru yang memiliki nilai manfaat, maka dilakukan proses aktivasi fisis dan aktivasi kimia. Aktivasi fisik dilakukan dengan proses pembakaran pada suhu tinggi, sedangkan aktivasi kimia dilakukan dengan pencampuran antara *fly ash* dengan larutan asam ataupun basa (Lasryza dan Dyah, 2012).

*Fly ash* batubara adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel halus. Abu terbang batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri seperti pada sektor pembangkit listrik. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Abu terbang pada masa kini dipandang sebagai limbah pembakaran batubara. Penanganan abu terbang masih terbatas pada penimbunan di lahan kosong. Hal ini berpotensi bahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar seperti, logam-logam dalam abu terbang terekstrak dan terbawa ke perairan, abu terbang tertiuip angin sehingga mengganggu pernafasan. Sudut pandang terhadap abu terbang harus diubah karena abu terbang merupakan bahan baku potensial yang dapat digunakan sebagai adsorben murah. Beberapa penelitian telah menyimpulkan bahwa abu terbang memiliki kapasitas adsorpsi

yang baik untuk menyerap gas organik, ion logam berat seperti (Fe, Pb, Cu, Cr, Cd, Cs, Na dan Zn), dan gas polutan. Modifikasi sifat fisik dan kimia perlu dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan daya serap abu terbang/*fly ash* terhadap logam berat besi. Sehingga *fly ash*/abu terbang ini tidak hanya berakhir sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan tetapi juga bermanfaat untuk menanggulangi pencemaran logam berat seperti besi (Fe) dengan mengubahnya menjadi adsorben. Dari penelitian ini ada beberapa permasalahan yang timbul. Bagaimana pemanfaatan *fly ash*/abu terbang dari pembakaran batubara sebagai adsorben? Lalu bagaimana pengaruh konsentrasi NaOH dan rasio *fly ash* terhadap daya serap adsorben. Dan bagaimana daya serap adsorben *fly ash* dalam mengadsorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah Mengetahui pemanfaatan *fly ash* dari pembakaran batubara sebagai adsorben. Mengetahui seberapa besar pengaruh konsentrasi NaOH dan *fly ash* terhadap daya serap adsorben. Manfaat dari penelitian ini kita dapat mendayagunakan limbah pembakaran batubara menjadi lebih bermanfaat, salah satunya dengan mengubah *fly ash* batubara menjadi adsorben (Novia, dkk, 2012). *Fly ash* (abu terbang) adalah sisa pembakaran batubara. *Fly ash* merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk proses produksinya. *Fly ash* memiliki sifat sebagai pozzolan, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat perekat (sementasi) pada dirinya sendiri tetapi dengan butirannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan kapur dan air (dafi017.blogspot.com).

### 1. Karakteristik *Fly ash* (Abu Terbang)

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatic precipitator. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gasgas buangan, partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada presipitator elektrostatik biasanya berukuran silt (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Dafi Acosta on 15.54). *Fly ash* (abu terbang) adalah bagian dari abu bakar yang berupa bubuk halus dan ringan yang diambil dari campuran gas tungku pembakaran yang menggunakan bahan batubara. Abu terbang diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan elektrostatik (Hidayat,1986 dalam Efendri, 2013).

Dari sejumlah abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran batubara, maka sebanyak 55% - 85 % berupa abu terbang (*fly ash*) dan sisanya berupa abu dasar (*bottom ash*). Sedangkan dari PLTU dari sejumlah abu yang dihasilkan hampir 90 % berupa abu terbang (*fly ash*). Kedua jenis abu ini memiliki

perbedaan karakteristik serta pemanfaatannya. Biasanya untuk *fly ash* (abu terbang) banyak dimanfaatkan dalam perusahaan industri karena abu terbang ini mempunyai sifat pozolanik, sedangkan abu dasar sangat sedikit pemanfaatannya dan biasanya digunakan sebagai material pengisi. Secara kimia abu terbang merupakan material oksida anorganik mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi (<http://majarimagazine.com>).

*Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. *Fly ash* dan *bottom ash* adalah terminology umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. *Fly ash* dan *bottom ash* dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan anorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. *Fly ash* atau *bottom ash* yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/ inchi). Ukuran ini relatif kecil dan ringan, sedangkan *bottom ash* berukuran 20-50 mesh ([dafi017.blogspot.com](http://dafi017.blogspot.com)).

*Fly ash* merupakan salah satu jenis partikulat yang dapat diklasifikasikan dalam debu. Hal ini karena biasanya *fly ash* dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Abu terbang (*fly ash*) sebagai limbah PLTU berbahan bakar batu bara dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah berbahaya (B3). Sehubungan dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara di Indonesia, maka jumlah limbah abu terbang juga akan meningkat yaitu jumlah limbah PLTU pada tahun 2000 sebanyak 1,66 juta ton, sedangkan pada tahun 2006 diperkirakan akan mencapai sekitar 2 juta ton. Khusus untuk limbah abu dari PLTU, sejak tahun 2000 hingga tahun 2006, diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton/tahun. Jika limbah abu ini tidak dimanfaatkan akan menjadi masalah pencemaran lingkungan, yang mana dampak dari pencemaran akibat abu terbang (*fly ash*) sangat berbahaya baik bagi lingkungan maupun kesehatan ([www.tekmira.esdm.go.id](http://www.tekmira.esdm.go.id)).

## **2. Proses Pembentukan *Fly ash* (Abu Terbang)**

Sistem pembakaran batubara umumnya terbagi 2 yakni sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan unggun tetap (*fixed bed system* atau *grate system*). Disamping itu terdapat system ke-3 yakni *spouted bed system* atau yang dikenal dengan unggun pancar. *Fluidized bed system* adalah sistem dimana udara ditiup dari bawah menggunakan blower sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Pasir atau *corundum* yang berlaku sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar. Setelah temperatur pasir mencapai temperatur bakar

batubara ( $300^{\circ}\text{C}$ ) maka diumpankan batubara. Sistem ini menghasilkan abu terbang dan abu yang turun di bawah alat. Abu-abu tersebut disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*. Teknologi *fluidized bed* biasanya digunakan di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (80-90%) berbanding (10-20%). *Fixed bed system* atau *Grate system* adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas *conveyor* yang berjalan atau *grate*. Sistem ini kurang efisien karena batubara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. Ash yang terbentuk terutama *bottom ash* masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Teknologi *Fixed bed system* banyak digunakan pada industri tekstil sebagai pembangkit uap (*steam generator*). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (15-25%) berbanding (75-25%) (Koesnadi, 2008).

### 3. Sifat-sifat *fly ash*

Abu terbang merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara

bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m<sup>2</sup>/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain (<http://dafi017.blogspot.com>) :

#### **a. Sifat Fisik**

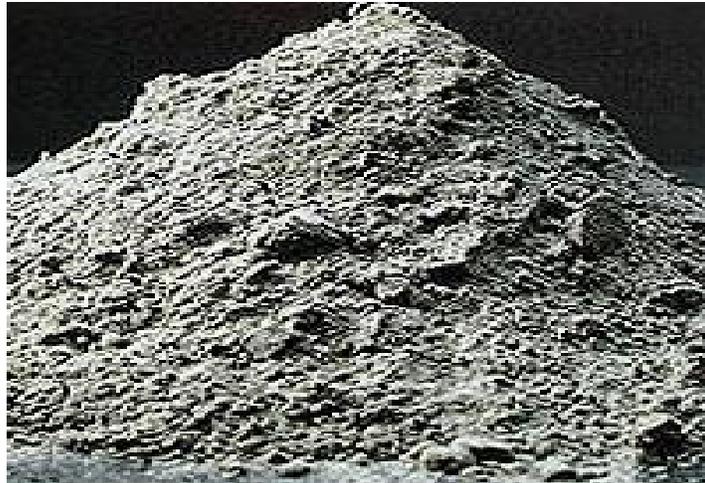
Abu terbang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dalam kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga.

Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain :

- a) Warna : abu-abu keputihan
- b) Ukuran butir : sangat halus yaitu sekitar 100-200 mesh

#### **b. Sifat Kimia**

Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia, antara lain: silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), fero oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), Titanium oksida (TiO<sub>2</sub>), alkalin (Na<sub>2</sub> dan K<sub>2</sub>O), sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>), pospor oksida (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) dan karbon (CO), (<http://dafi017.blogspot.com>).



Gambar 4. *fly ash*

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina, ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Rumus empiris abu terbang batubara ialah:  $\text{Si}_{1,0}\text{Al}_{0,45}\text{Ca}_{0,51}\text{Na}_{0,047}\text{Fe}_{0,039}\text{Mg}_{0,020}\text{K}_{0,013}\text{Ti}_{0,011}$  (<http://majarimagazine.com>)

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminus. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan *Loss On Ignition Method* (LOI).

Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari  $0,075\text{mm}^{[4]}$ . Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai  $3000\text{ kg/m}^3$  dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai  $1000\text{ m}^2/\text{kg}^{[4]}$ . (<http://majarimagazine.com>)

Tabel 1. Komposisi kimia pada limbah PLTU (Denfi, 2009)

Senyawa	Abu dasar (%)	Abu terbang (%)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	24,0	30,8
CaO	2,7	4,0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,5	4,6
$\text{K}_2\text{O}$	0,17	0,18
MgO	1,3	1,9
$\text{Na}_2\text{O}$	1,0	1,3
$\text{P}_2\text{O}_5$	-	-
$\text{SO}_3$	0,18	0,23
$\text{SiO}_2$	63,4	54,0
$\text{TiO}_2$	-	-
Fe + Si + Al	92,9	89,4
CaO bebas	<0,06	<0,06
Kandungan Silika	-	53,4
LOI	0,68	<0,5
D50	-	15,5 ( $\mu\text{m}$ )
D90	-	67,9 ( $\mu\text{m}$ )

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub/bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminus. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan *Loss Of Ignition Method (LOI)*, yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang batubara. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m<sup>2</sup>/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis sub-bituminous 0,01mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m<sup>2</sup>/g, massa jenis (*specific gravity*) 2,2 – 2,4 dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kinerja (*workability*) yang lebih baik (Rilham, 2012).

*Fly ash* adalah produk sampingan dari pembakaran bubuk batubara di pembangkit listrik dan dikenal sebagai pozzolanik material. Salah satu masalah utama dari semua pembakaran batubara dalam pembangkit listrik adalah abu terbang yang tidak terpakai dan abu dasar karena mereka memiliki efek pada lingkungan seperti polusi udara dan air tanah akibat dari masalah

kualitas logam dari abu terbang terutama yang tidak terpakai yang memiliki ukuran partikel yang sangat kecil. *Fly ash* memiliki pori-pori yang besar dari beberapa partikel dimana dapat menyerap air dan menghasilkan konsumsi air yang banyak pada beton (Cheerarot, 2008 dalam Rilham, 2012).

#### **4. Pemanfaatan *Fly ash* (Abu Terbang)**

Abu terbang batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. Recovery magnetit, cenosphere, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
5. Bahan penggosok (polisher)
6. Filler aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*)
9. Konversi menjadi zeolit dan adsorben (<http://majarimagazine.com>)

Konversi abu terbang batubara menjadi zeolit dan adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari abu terbang batubara. Keuntungan adsorben berbahan baku abu terbang batubara adalah biayanya murah. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas maupun limbah cair. Adsorben ini dapat digunakan dalam penyisihan logam berat dan senyawa organik pada pengolahan limbah. Abu terbang batubara dapat dipakai secara langsung sebagai adsorben atau dapat juga melalui perlakuan kimia dan fisik tertentu sebelum menjadi adsorben. Zeolit yang disintesis dari abu terbang batubara banyak digunakan untuk keperluan pertanian. Zeolit banyak dikonsumsi dalam pemurnian air, pengolahan tanah, dll. Zeolit dibuat dengan cara mengkonversi aluminosilikat yang terdapat pada abu terbang batubara menjadi kristal zeolit melalui reaksi hidrotermal. (<http://dafi017.blogspot.com>).

#### **F. 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. Tepung tapioka merupakan pati yang diekstrak dari singkong. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Tepung>).

Salah satu jenis tanaman pangan yang sudah lama dikenal dan banyak dibudidayakan oleh petani di Indonesia adalah ubi kayu (*Manihot Esculenta Crantz*). Potensi nilai ekonomis dan sosial ubi kayu merupakan bahan pangan yang berdaya guna, bahan baku berbagai industri, dan pakan ternak. (Setyadi, 1987 dalam Gunaryo 2010) dan mendefinisikan tepung tapioka sebagai hasil ekstraksi ubi kayu yang telah mengalami pencucian secara sempurna serta dilanjutkan dengan pengeringan dan penggilingan. Berbagai proses kimia yang dapat diterapkan pada modifikasi pati diantaranya oksidasi, hidrolisa, *cross-linking* atau *cross bonding* dan substitusi.

Mc Ready (1970) dalam menyatakan bahwa mekanisme gelatinisasi terjadi pada suhu 60 – 85<sup>0</sup> C yang mana pada temperatur inilah pati mengembang dan mengental dengan cepat dan pada saat itu tepung tapioka (pati) memiliki daya rekat yang cukup tinggi.

Tapioka mempunyai banyak kegunaan, yaitu:

1. Sebagai bahan pembantu dalam berbagai industri, tapioka diolah menjadi sirup glukosa dan destrin digunakan industri kembang gula, penggalengan buah-buahan, pengolahan es krim, minuman dan industri peragian.
2. Tapioka digunakan sebagai bahan pengental, bahan pengisi dan bahan pengikat dalam industri pembuatan puding, sop, makanan bayi, es krim, pengolahan sosis daging, farmasi, dan lain-lain.
3. Tepung ini juga digunakan sebagai bahan perekat di banyak industri kimia, seperti kertas. (<http://kikimiqbalsoft.blogspot.com>).

## **G. Zeolit**

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 dan 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 hidrothermal (Hermawan, 2015).

Karena sifat-sifat yang dimiliki oleh zeolit, maka mineral ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Zeolit juga banyak digunakan untuk memurnikan air tanah karena secara umum zeolit mampu menyerap, menukar ion dan menjadi katalis sehingga dapat dikembangkan untuk keperluan alternatif pengolahan air maupun limbah. Zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan mineral seperti Fe dan Mn dalam air tanah. Penggunaan zeolit itu sendiri banyak digunakan pada:

### **1. Bidang Pelestarian Lingkungan**

Sesuai dengan sifatnya zeolit yang dapat digunakan sebagai penghilang bau, penghilang warna atau pengontrol polusi. Sebagai penukar kation, zeolit dapat digunakan untuk mengatasi polusi yang disebabkan oleh air limbah industri karena mampu mengurangi konsentrasi amonium yang terkandung dalam air.

## 2. Bidang Pertanian

Zeolit selain memiliki kemampuan sebagai mineral penukar kation juga memiliki daya tahan yang tinggi untuk menahan ion amonium dan kalium yang terdapat didalam air. Sehingga penggunaan zeolit dapat meningkatkan sifat - sifat fisika dan kimia tanah terutama tanah yang mengandung pasir dan sedikit aluminium sulfat serta tanah podzolik.

## 3. Bidang Industri

Zeolit dapat digunakan pada berbagai industri seperti industri kertas, kayu lapis, minyak kelapa sawit, plastik, cat, lem dan bahan bangunan semen pozolan. Pada industri kertas dan kayu lapis zeolit digunakan sebagai bahan pengisi (filler), kemampuan zeolit sebagai bahan penyerap memungkinkan penggunaanya dalam pengeringan dan pemurnian gas(gas methan, gas lain) penyerapan nitrogen dari udara dalam produksi gas oksigen dan pengeringan gas freon (Harahap, 2006 dalam Hermawan 2015).

## H. Larutan

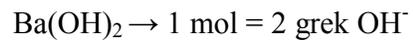
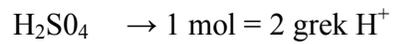
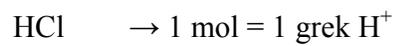
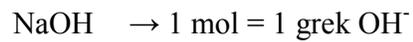
Larutan merupakan sebuah campuran yang memiliki komposisi yang merata atau sama pada seluruh bagian (homogen). Komposisi zat yang terlarut dalam satuan volum disebut konsentrasi larutan. Ada beberapa cara dalam menyatakan konsentrasi dalam sebuah larutan, yaitu sebagai berikut molaritas, normalitas, fraksi mol, persentase massa, ppm (<http://id.wikipedia.org/wiki/Larutan>).

Normalitas adalah jumlah mol ekuivalen zat terlarut dalam 1 liter larutan.

Untuk asam, valensi adalah jumlah mol ion  $H^+$ .

Untuk basa, valensi adalah jumlah mol ion  $OH^-$ .

Contoh:



Setiap 1 mol NaOH sama dengan 1 mol ekuivalen .

Valensi adalah jumlah ion  $H^+$  / ( $OH^-$ ) dalam senyawanya (asam/basa).

Antara Normalitas dan Molaritas terdapat hubungan :

$$\text{Molaritas, } M = \frac{\text{mol}}{\text{liter}}$$

$$\text{Normalitas, } N = \frac{\text{grek}}{\text{liter}}$$

$$N = M \rightarrow \left. \begin{array}{l} NaOH \\ KOH \\ HCl \end{array} \right\} \text{Normalitas} = \text{Molaritas apabila jumlah grek dan mol sama.}$$

(Hermawan, 2015).