

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Batubara**

Batubara adalah sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut. Penimbunan lanau dan sedimen lainnya, bersama dengan pergeseran kerak bumi (dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur rawa dan gambut yang sering kali sampai ke kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan tersebut terkena suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang tinggi tersebut menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi gambut dan kemudian batubara. Pembentukan batubara dimulai sejak carboniferous period (periode pembentukan karbon atau batu bara) dikenal sebagai zaman batu bara pertama – yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu. Mutu dari setiap endapan batu bara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai ‘maturitas organik’. Batubara dibedakan menjadi berbagai jenis tergantung kepada suhu dan tekanan seperti yang telah disebutkan di atas.

##### **2.1.1 Jenis-jenis batubara**

Adapun jenis-jenis batubara adalah :

###### **a) Gambut (peat)**

Golongan ini sebenarnya belum termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa gambut merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).

###### **b) Lignite**

Golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah.

c) Sub-Bituminous (Bitumen Menengah)

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi.

d) Bituminous

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (brittle) dengan membentuk bongkah-bongkah prismatic. Berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini dapat digunakan antara lain untuk kepentingan transportasi dan industri.

e) Anthracite

Golongan ini berwarna hitam, keras, mengkilap, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.

### 2.1.2 Kandungan Batubara

Setiap jenis batubara memiliki komposisi yang berbeda beda. Pengujian kandungan batubara secara proximate dan ultimate dibutuhkan untuk mengetahui karakter dan komposisi dari batubara, secara fisik, kimia dan fuel properties, dari batubara yang akan digunakan pada proses gasifikasi.

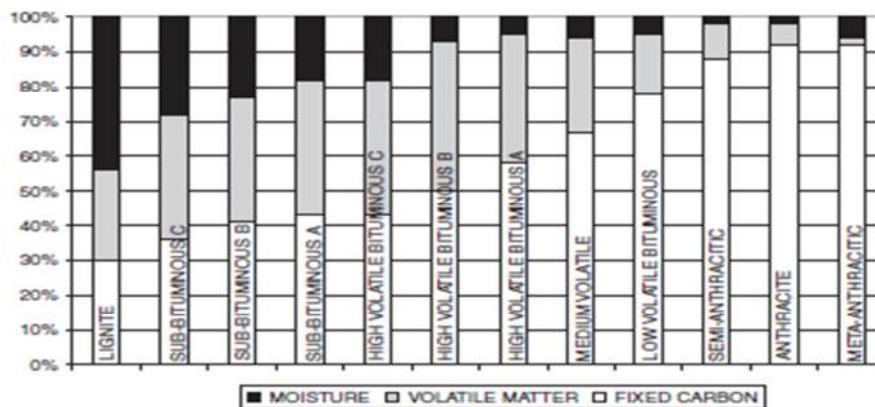
Pada Gambar 2.1 ditampilkan analisa proximate dari berbagai jenis-jenis batubara yang menunjukkan kandungan moisture, volatile matter, ash dan fixed carbon pada batubara. Pada Tabel 2.1 juga ditampilkan analisa ultimate yang bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. Data yang didapatkan dari analisa ultimate dapat digunakan untuk menghitung *Air Fuel Ratio*.

**Tabel 2.1** Analisa *ultimate* dari berbagai jenis batubara di dunia.

	<----- Low Rank ----->		<----- High Rank ----->	
Rank:	Lignite	Subbituminous	Bituminous	Anthracite
Age:	----- increases ----->			
% Carbon:	65-72	72-76	76-90	90-95
% Hydrogen:	~5	----- decreases -----		~2
% Nitrogen:	<----- ~1-2 ----->			
% Oxygen:	~30	----- decreases -----		~1
% Sulfur:	~0	----- increases -----		~4
% Water:	70-30	30-10	10-5	~5
Heating value (BTU/lb):	~7000	~10.000	12.000-15.000	~15.000

(Sumber: Variation of selected coal properties with coal rank)

Adapun rata – rata nilai proximate dan kalor dari batubara di dunia dapat dilihat dari gambar berikut.



**Gambar 2.1** Nilai analisa proximate rata-rata di dunia

(Sumber : Boughman, 1987)

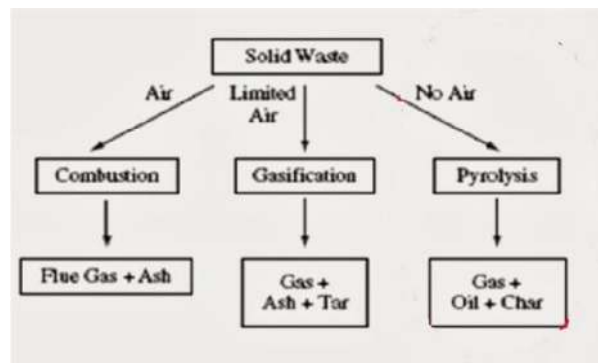
## 2.2 Gasifikasi

### 2.2.1 Definisi Gasifikasi

Batubara memiliki tiga metode konversi secara *thermochemical*, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran (combustion). Perbedaan jenis konversi tersebut terletak pada jumlah udara (oksigen) yang dikonsumsi saat proses konversi berlangsung. Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan energi yang terkandung di dalam batubara melalui suatu konversi dari fase padat menjadi fase gas dengan menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu reaktor yang disebut *gasifier*. Ke dalam *gasifier* ini nantinya akan dimasukkan bahan bakar batubara untuk dibakar secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang dapat terbakar (*flammable*), yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metan (CH<sub>4</sub>). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin pembakaran dalam (diesel atau bensin),

yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik (Trifiananto, M., 2015).

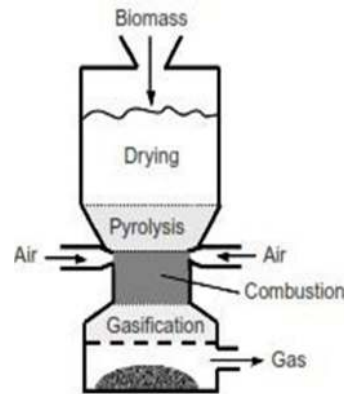
Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material yang mengandung karbon menjadi gas mampu bakar, berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam *gasifier*. Di dalam *gasifier* inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran dengan bereaksi terhadap oksigen untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya (Trifiananto, M., 2015).



**Gambar 2.2** Ilustrasi perbandingan *gasifikasi*, *combustion* dan *pyrolysis*

### 2.1.2 Fix Bed-Gasifier Downdraft

Sebuah *gasifier downdraft* adalah reaktor dimana arah aliran udara dan bahan baku sama-sama menuju bawah. Gas produk mengalir ke bawah (memberikan nama downdraft) dan gas keluar dari bagian bawah *gasifier*. Gasifikasi jenis ini menghasilkan *tar* yang lebih rendah dibandingkan *updraft*. Hal ini karena *tar* yang merupakan hasil pirolisis terbawa bersama gas dan kemudian masuk ke daerah pembakaran (*combustion*) dan kemudian gasifikasi yang memiliki temperatur lebih tinggi. Pada daerah gasifikasi dan pembakaran inilah, *tar* kemudian akan terurai.



**Gambar 2.3** Skema *downdraft*

### 2.3 Tahapan Gasifikasi

Pada proses gasifikasi ada beberapa tahapan yang dilalui oleh batubara sehingga pada akhirnya menjadi gas yang *flammable*. Tahapan gasifikasi dapat berbeda untuk setiap *gasifier*. Berdasarkan jurnal proses tersebut meliputi:

#### a. Drying

Pada proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung didalam batubara bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-250 °C. kadar air pada batubara melalui proses konveksi, karena pada reaktor terjadi pemanasan dari udara bergerak yang memiliki *humidity* yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air pada batubara. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung didalam batubara sehingga proses *drying* akan berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi, yang terjadi pada reaktor menghasilkan energi panas yang cukup besar dan menyebar ke seluruh bagian reaktor. Disamping itu kecepatan gerak media pengering turut mempengaruhi proses *drying* yang terjadi.



#### b. Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari batubara menjadi produk yang bermanfaat, dalam keadaan tidak adanya oksidator secara total atau dengan pasokan yang terbatas yang tidak mengizinkan gasifikasi tingkat yang cukup. Ini adalah salah satu beberapa langkah reaksi atau zona yang diamati dalam *gasifier*. Selama pirolisis molekul hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi

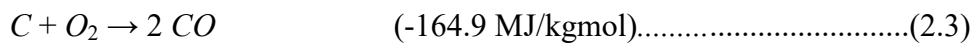
molekul yang lebih simpel dan relatif lebih kecil seperti gas, cairan, dan *char*. Ini berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.



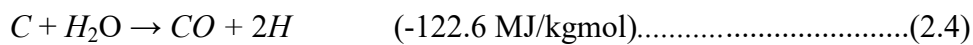
c. Gasification (Reduction)

Ini adalah zona utama dimana kita mendapatkan *syngas*. Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Diantaranya adalah *Bourdouard reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation* yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa-senyawa yang berguna untuk menghasilkan *flammable gas*, seperti *hydrogen* dan *carbon monoksida*. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 600-1000 °C. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut :

Bourdouard reaction



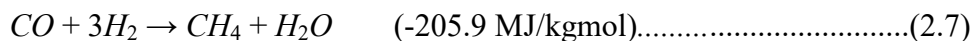
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction



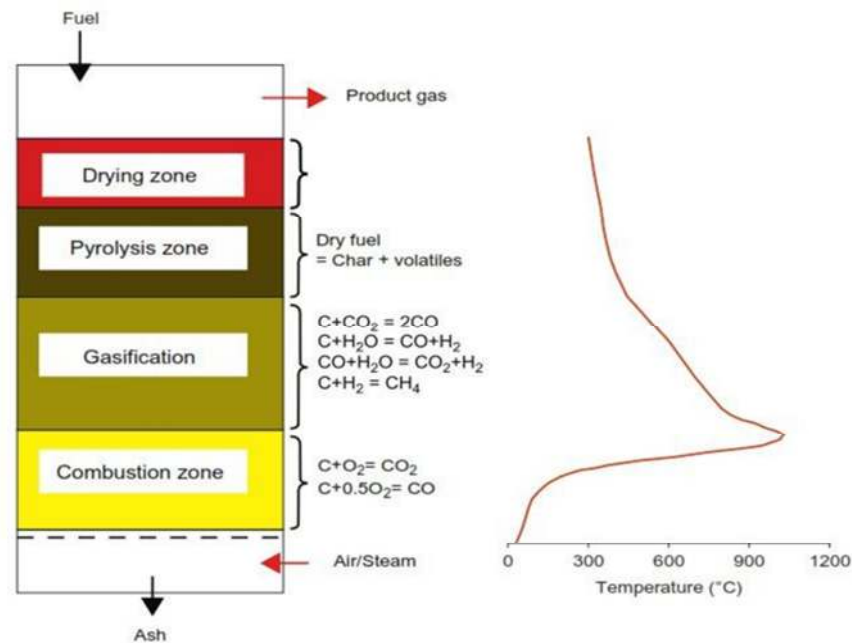
Methanation



d. Oksidasi Parsial

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon dibawah. Proses yang terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya 700-1500 °C. Pada temperatur setinggi ini pada *gasifierupdraft*, akan memecah substansi *tar* sehingga kandungan *tar* yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah:





**Gambar 2.4** Tahapan dan distribusi suhu pada *gasifier*

## 2.4 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan syngas yang dihasilkan. Faktor-faktor tersebut adalah:

### 1. Properties Batubara

Tidak semua batubara dapat dikonversikan menjadi syngas, ada beberapa parameter yang menjadi tolak ukur untuk mengklasifikasikan bahan baku yang baik dan yang kurang baik berdasarkan kandungan dan sifat yang dimilikinya. Beberapa parameter tersebut antara lain :

#### a. Kandungan Energi

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki batubara maka syngas hasil gasifikasi batubara tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.

#### b. Moisture

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan bermoisture rendah. Karena kandungan moisture yang tinggi menyebabkan *heat loss* yang berlebihan. Selain itu kandungan moisture yang tinggi juga menyebabkan beban pendinginan semakin tinggi karena *pressure drop* yang terjadi meningkat. Idealnya kandungan moisture yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi kurang dari 20%.

### c. Debu

Semua bahan baku gasifikasi menghasilkan *dust* (debu). Adanya *dust* ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan maintenance lebih. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan kandungan *dust* yang tidak lebih dari 2-6 g/m<sup>3</sup>.

### d. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif. Sesungguhnya tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam dan dapat mengganggu pernapasan. Pada reactor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk *approximate atomic* CH<sub>1.2</sub>O<sub>0.5</sub>, terjadi pada temperature pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperature yang lebih rendah. Apabila hasil gas yang mengandung tar relative tinggi dipakai pada kendaraan bermotor, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan intake valve sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m<sup>3</sup>.

### e. Ash dan Slagging

*Ash* adalah kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksida setelah proses pembakaran. Sedangkan *slag* adalah kumpulan *ash* yang lebih tebal. Pengaruh adanya *ash* dan *slag* pada gasifier adalah:

- Menimbulkan penyumbatan pada *gasifier*
- Pada titik tertentu mengurangi respon pereaksi bahan baku

## 2. Desain Reaktor

Terdapat berbagai macam bentuk gasifier yang pernah dibuat untuk proses gasifikasi. Untuk gasifier bertipe *imberty* yang memiliki *neck* di dalam reaktornya, ukuran dan dimensi *neck* amat mempengaruhi proses pirolisis, pencampuran, *heatloss* dan nantinya akan mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkan.

### 3. Jenis Gasifying Agent

Jenis *Gasifying Agent* yang digunakan dalam gasifikasi umumnya adalah udara dan kombinasi oksigen dan uap. Penggunaan jenis *gasifying agent*



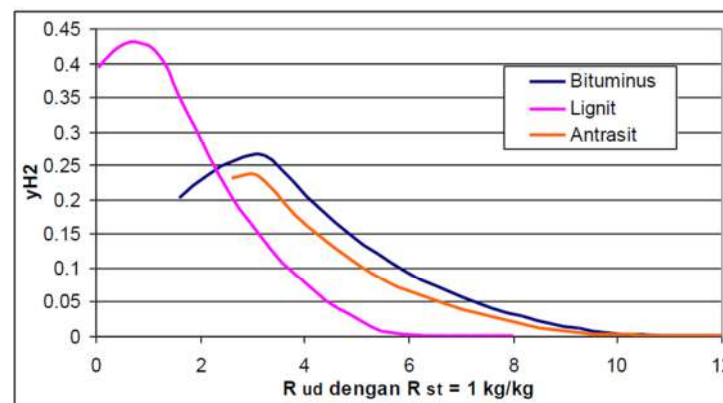
mempengaruhi kandungan gas yang dimiliki oleh *syngas*. Berdasarkan penelitian, perbedaan kandungan *syngas* yang mencolok terlihat pada kandungan nitrogen pada *syngas* dan mempengaruhi besar nilai kalor yang dikandungnya. Penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang pekat di dalam *syngas*, berlawanan dengan penggunaan oksigen/uap yang memiliki kandungan nitrogen yang relatif sedikit. Sehingga penggunaan *gasifying agent* oksigen/uap memiliki nilai kalor *syngas* yang lebih baik dibandingkan *gasifying agent* udara.

#### 4. Rasio Bahan Bakar dan Udara

Perbandingan bahan bakar dan udara dalam proses gasifikasi mempengaruhi reaksi yang terjadi dan tentu saja pada kandungan *syngas* yang dihasilkan. Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika menginginkan hasil *syngas* yang maksimal.

### 2.5 `Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Hasil *Syngas*

Sifat batubara tidaklah seragam. Hal ini disebabkan oleh berbagai factor, antara lain kandungan karbon, Hidrogen, Oksigen, Sulfur, Volatile dan nilai kalor yang dimiliki batubara tersebut. Riza Abrar (2017) menyatakan bahwa gas  $H_2$  yang dihasilkan dari gasifikasi lebih banyak dihasilkan oleh batubara berjenis lignit dibanding dengan jenis batubara subbituminus dan antrasit.



**Gambar 2.5** yield  $H_2$  dalam *gas producer* yang dihasilkan

## 2.6 Absorber

Absorber adalah alat yang digunakan untuk proses absorpsi. Absorpsi merupakan salah satu operasi pemisahan dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap yang sesuai, sehingga satu atau lebih komponen dalam campuran gas larut dalam cairan penyerap. Pada absorpsi ada dua macam proses yaitu :

### a. Absorpsi fisik

Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas  $H_2S$  dengan air, metanol, propilen, dan karbonat. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, atau pelarutan gas ke fase cair. Dari absorpsi fisik ini ada beberapa teori untuk menyatakan model mekanismenya, yaitu, teori model film, teori penetrasi, teori permukaan yang diperbaharui.

### b. Absorpsi kimia

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut didalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi dengan adanya larutan MEA, NaOH,  $K_2CO_3$ , dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas  $CO_2$  pada pabrik amonia. Penggunaan absorpsi kimia pada fase kering sering digunakan untuk mengeluarkan zat terlarut secara lebih sempurna dari campuran gasnya. Keuntungan absorpsi kimia adalah meningkatnya koefisien perpindahan massa gas, sebagian dari perubahan ini disebabkan makin besarnya luas efektif permukaan. Absorpsi kimia dapat juga berlangsung di daerah yang hampir stagnan disamping penangkapan dinamik.

### 2.6.1 Absorben

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya, baik secara fisik maupun secara reaksi kimia. Absorben sering juga disebut sebagai cairan pencuci. Persyaratan absorben yaitu : Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi yang sebesar mungkin (kebutuhan akan cairan lebih sedikit, volume alat lebih kecil), selektif, memiliki tekanan uap yang rendah, tidak korosif, mempunyai viskositas yang rendah, stabil

secara termis, murah. Jenis-jenis bahan yang dapat digunakan sebagai absorben adalah air (untuk gas-gas yang dapat larut, atau untuk pemisahan partikel debu dan tetesan cairan), natrium hidroksida (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti asam) dan asam sulfat (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti basa).

### 2.1.2 Kolom Absorpsi

Kolom absorpsi adalah suatu kolom atau tabung tempat terjadinya proses pengabsorpsi (penyerapan/penggumpalan) dari zat yang dilewatkan di kolom/tabung tersebut. Proses ini dilakukan dengan melewatkan zat yang terkontaminasi oleh komponen lain dan zat tersebut dilewatkan ke kolom ini dimana terdapat fase cair dari komponen tersebut. Berikut ini adalah prinsip kerja kolom absorpsi :Kolom absorpsi adalah sebuah kolom, dimana ada zat yang berbeda fase mengalir berlawanan arah yang dapat menyebabkan komponen kimia ditransfer dari satu fase cairan ke fase lainnya, terjadi hampir pada setiap reaktor kimia. Proses ini dapat berupa absorpsi gas, destilasi, pelarutan yang terjadi pada semua reaksi kimia. Campuran gas yang merupakan keluaran dari reaktor diumpangkan kebawah menara absorber. Didalam absorber terjadi kontak antar dua fasa yaitu fasa gas dan fasa cair mengakibatkan perpindahan massa difusional dalam umpan gas dari bawah menara ke dalam cariran absorben yang diumpangkan dari bagian atas menara.



