

## **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 seringkali 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 batu bara.

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. Jenis jenis batubara adalah :

a. Gambut (*peat*)

Golongan ini sebenarnya belum termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. 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 sedang mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak tinggi.

d. *Bituminous*

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (*brittle*) dengan membentuk bongkahan-bongkahan 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

### 2.1.1 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. Pada tabel 2.1 ditampilkan analisa *Proximate* dan *Ultimate* dari berbagai macam batubara, dimana analisa Analisa *Proximate* berupa moisture, volatile matter dan fixed carbon dan Analisa *ultimate* bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen.

**Tabel 2. 1** Nilai Analisa *Proximate* dan *Ultimate* Jenis Batubara

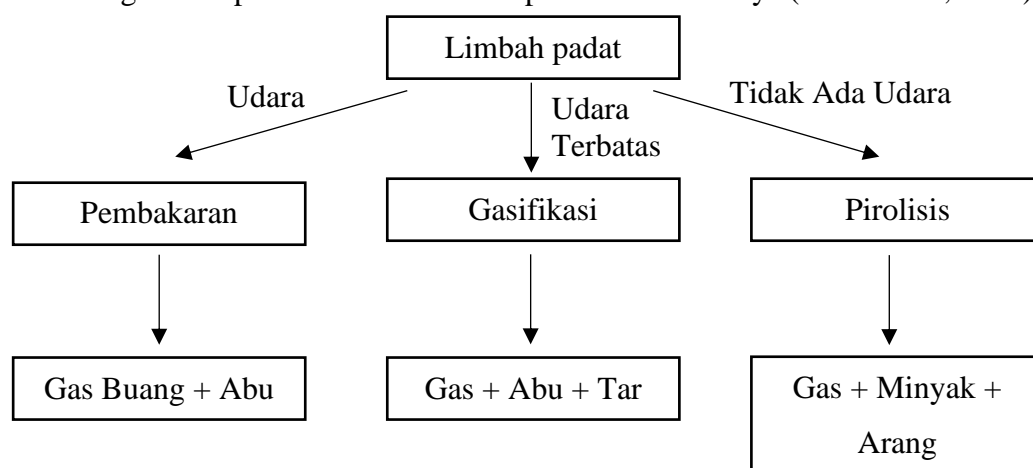
Kriteria (basis kering)	Kelas Batubara			
	Antrasit	Bituminus	Subituminus	Lignit
<i>Proximate</i>				
Fixed carbon (%)	≥ 86	86 – 54	53 – 56	≤ 52
Volatile matter (%)	≤ 14	14 – 54	53 – 56	≥ 52
Moisture (%)	≤ 6	5 – 16	18 – 30	≥ 38
Calorific value (kcal/kg)	7740 – 8300	7410 – 8741	5990 – 7540	≤ 5250
<i>Ultimate</i>				
Carbon (%)	75 – 85	65 – 80	55 – 77	35 – 45
Hidrogen (%)	1,5 – 3,5	4,5 – 6,0	5,5 – 6,5	6 – 7,5
Oksigen (%)	5,5 – 9,0	4,5 – 10	15 – 30	38 – 48
Nitrogen (%)	0,5 – 1,0	0,5 – 2,5	0,8 – 1,5	0,6 – 1

Sulfur (%)	0,5 – 2,5	0,5 – 6,0	0,3 – 1,5	0,3 – 2,5
Density (%)	1,35 – 1,70	1,28 – 1,35	1,35 – 1,40	1,40 – 1,45

Pratiwi (2011)

## 2.2 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 dan hasil keluaran 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 menggunakan udara yang 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, 2015).



**Gambar 2. 1** Ilustrasi Perbandingan Gasifikasi , Pembakaran dan Pirolisis

Trifiananto (2015)

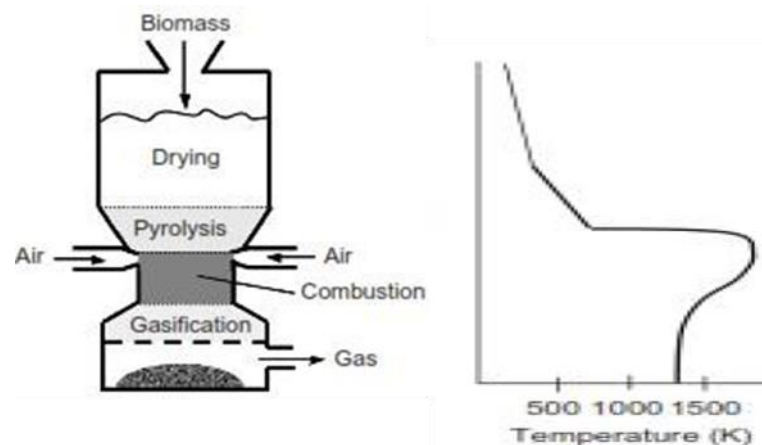
### 2.2.1 Tipe Gasifier

Berdasarkan arah alirannya, gasifier dapat dibedakan menjadi gasifikasi aliran searah (Downdraft gasification), gasifikasi aliran berlawanan (Updraft gasification), Gasifikasi aliran menyilang (Crossdraft gasification)

#### a. Gasifikasi Downdraft

Semakin berkembangnya teknologi gasifikasi membuat proses penelitian dan pengembangan *gasifier* terus dilakukan. Pengembangan dilakukan dengan berbagai pertimbangan diantaranya mengurangi kandungan tar dan sulfur pada hasil *syngas*. *Gasifier downdraft* adalah reaktor dengan arah aliran udara dan bahan baku sama-sama menuju bawah. *Syngas* mengalir ke bawah dan *gasifier*. Alasan pemilihan gasifier jenis downdraft dikarenakan 4 hal (Putri, 2009) yaitu :

1. Biaya pembuatan yang lebih murah,
2. Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan sistem updraft
3. Lebih mudah dilanjutkan ke proses pembakaran
4. 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. 2** Skema Downdraft dan Distribusi Suhu Pada Gasifier

*Basu (2013)*

### 2.2.2 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* (Trifiananto, 2015). Berdasarkan jurnal proses tersebut meliputi.

#### a. Drying

Pada proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung didalam batubara sampai kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-250 °C. Drying 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 mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung didalam batubara.



#### b. Pirolisis

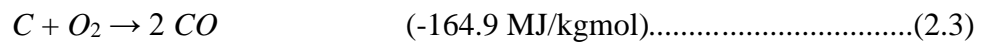
Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari batubara menjadi produk yang bermanfaat, dalam keadaan tidak adanya oksidator yang terbatas yang tidak mengizinkan gasifikasi ketinggian yang cukup. Selama pirolisis, molekul hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi molekul yang lebih simpel dan relatif lebih kecil seperti gas, cairan, dan *char*. Pirolisis berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.



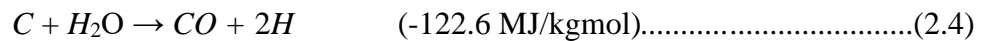
#### c. Gasification

Zona gasifikasi merupakan zona utama untuk 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.

Bourdouard reaction



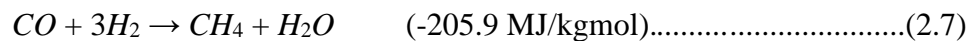
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction

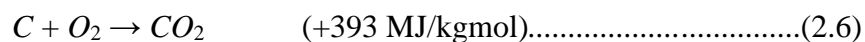


Methanation



#### 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 akan memecah substansi *tar* sehingga kandungan *tar* yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah:



### 2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan syngas yang dihasilkan (Yolanda, 2015). 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 untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan bermoisture rendah. Kandungan moisture yang tinggi menyebabkan *heat loss* berlebihan. 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* sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan maintenance lebih. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan kandungan *dust* yang tidak lebih dari  $2-6 \text{ g/m}^3$ .

d. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif. Tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organi. Tar memiliki bau yang tajam dan mengganggu pernapasan. Pada reactor gasifikasi terbentuknya tar 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 dapat menimbulkan deposit pada karburator dan intake valve sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari  $1 \text{ g/m}^3$ .

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.

#### 2.2.4 *Syntetic Gas (Syngas)*

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. Kata sintetik gas diartikan sebagai pengganti gas alam yang dalam hal ini terbuat dari gas metana. *Syngas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Nilai *LHV* bahan bakar dan *LHV Syngas* dapat ditentukan dari komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dalam satuan unit volume *Syngas*. Gas produk gasifikasi memiliki komponen utama  $H_2$ ,  $CO$  dan  $CH_4$ . Berdasarkan jenis pereaksi yang digunakan maka produk gas yang dihasilkan gasifikasi batubara



dikelompokkan menjadi dua yaitu gas berkalori rendah ( $4 - 7 \text{ MJ/Nm}^3$ ) dan gas kalori menengah ( $10 - 18 \text{ MJ/Nm}^3$ ) yang sering disebut gas sintesis atau syngas (Triantoro, 2013).

### **2.2.5 Udara pembakaran**

Vidian (2008) menyatakan bahwa bahwa semakin besar laju alir udara, maka laju alir syngas yang dihasilkan akan semakin besar pula, dengan begitu suplai oksigen untuk pembakaran di daerah oksidasi juga akan semakin meningkat dan memperbanyak  $\text{CO}_2$  dan arang karbon yang terbentuk. dengan semakin banyaknya  $\text{CO}_2$  yang terbentuk dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang teruapkan dari bahan bakar, maka akan semakin banyak gas  $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2$  yang terbentuk. Akibat dari banyaknya gas  $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2$  yang terbentuk maka akan semakin banyak karbon dan hidrogen yang bereaksi membentuk gas methane ( $\text{CH}_4$ ).

## **2.3 Filter**

Filter atau saringan untuk memisahkan partikel padat dari suatu cairan atau gas. Filter semacam ini digunakan dalam berbagai alat seperti AC, cerobong dapur, motor bakar, alat pengedaran udara, sistem pemurnian air dan pengendali pencemaran udara.

### **2.3.1 Filter medium (medium penyaring)**

Bahan padat berpori yang berfungsi menahan partikel-partikel padatan berukuran lebih besar dan meloloskan partikel padat berukuran lebih kecil dari diameter porinya bersama-sama dengan gas.

Medium Filter seharusnya memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Harus dapat menahan zat padat yang akan disaring, dan menghasilkan filtrat yang cukup jernih.
- b. Tidak mudah tersumbat.
- c. Harus tahan secara kimia dan kuat secara fisik dalam kondisi proses.
- d. Memungkinkan penumpukan ampas, dan pengeluaran ampas secara total dan bersih.

### 2.3.2 Filter Sekam Padi

Filter dirancang untuk beroperasi yang berkesinambungan, namun banyak filter modern saat ini memiliki harga yang cukup mahal, terutama filter yang digunakan untuk menyaring gas dari partikulat, dan hanya digunakan untuk beberapa kali saja, filter gas merupakan penyaring yang didesain secara khusus yang dimana memiliki pori tergantung pada jenis dan penggunaan filter tersebut.

Dengan memanfaatkan ilmu pengetahuan dalam pemanfaatan sekam padi yang sebagian besar tidak memiliki nilai ekonomis, sekam padi dapat digunakan sebagai filter, dengan bentuk berupa lembaran yang kering dan berserat sehingga menyerupai filter yang berpori membuat sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai filter gasifikasi.

Sekam padi merupakan proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Sekam padi yang memiliki karakteristik yaitu memiliki bulk density 0,100 g/ml, kerapatan jenis 1125 kg/m<sup>3</sup>, dan nilai kalor berkisar 3300-3600 kkalori/kg dengan konduktivitas panas sebesar 0,271 BTU (Houston, 1972). Ditinjau dari komposisi kimia, sekam padi mengandung beberapa unsur penting yang dapat dijadikan sebuah acuan untuk mengolahnya menjadi bahan yang lebih bermanfaat. Menurut Kumar, dkk. (2010) komponen terbesar penyusun sekam padi adalah selulosa (32,12%), hemiselulosa (22,48%), lignin (22,34%), dan zat lain penyusun sekam padi. Selulosa dan hemiselulosa merupakan senyawa yang bernilai ekonomis jika dikonversi. Dengan melihat dari bentuk sekam padi yang memiliki serat serat sekam padi yang dapat dimanfaatkan sebagai filter dan menjadi salah satu alat pembersih gas hasil gasifikasi.

#### Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan komponen tertentu ke permukaan zat padat yang menyerap. Dalam adsorpsi gas, jumlah molekul yang

teradsorp pada permukaan padatan bergantung pada kondisi dalam fasa gas. Partikel atau material yang diserap disebut adsorbat dan yang berfungsi sebagai penyerap disebut adsorben. Kebanyakan zat pengadsorpsi atau adsorben adalah bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu didalam partikel itu. Oleh karena itu pori-pori biasanya sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar dari permukaan luar. Mekanisme adsorpsi dipengaruhi oleh gaya tarik-menarik antara ion-ion dalam adsorben (batubara) yang mengandung ion negatif dalam minyak residu yang mengandung ion positif sehingga terjadi pengikatan dipermukaan adsorben. Pemisahan terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan lebih erat daripada molekul-molekul lainnya, atau karena pori-pori terlalu kecil untuk melewati molekul-molekul yang lebih besar. Kebanyakan zat pengadsorpsi atau adsorben yang digunakan berupa zat padat dalam bentuk butiran besar sampai yang halus (diameter pori sebesar 0,0003-0,02 mikrometer) atau bahan yang sangat berpori (Bernasconi, dkk., 1995). Penyerapan konsentrat adsorbat dalam larutan oleh adsorpsi fisik adsorben terbagi menjadi beberapa tahap :

1. Difusi permukaan adsorben. Adsorbat bergerak menuju ke permukaan adsorben dan mengelilinginya yang disebabkan adanya difusi molekular.

2. Perpindahan molekul adsorbat ke pori- pori adsorben. Adsorbat bergerak ke pori-pori adsorben yaitu tempat dimana adsorpsi akan terjadi.

Tahap akhir dari adsorpsi. Setelah adsorbat berada pada pori-pori adsorben, maka proses adsorpsi telah terjadi antara adsorpsi molekul adsorbat dan molekul adsorben. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi :

1. Sifat-sifat fisik adsorben

- Luas permukaan adsorben : semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak adsorbat yang diserap.

- Ukuran partikel adsorben : ukuran butir batubara dibatasi pada rentang butir halus dan butir kasar. Butir paling halus untuk ukuran <3 mm, sedang ukuran paling kasar sampai 50 mm. Peningkatan nilai kalor batubara dari peringkat rendah telah diteliti oleh Kobe Steel Ltd dengan ukuran batubara yang digunakan sebesar <2mm.

- Ukuran pori-pori adsorben : ukuran pori-pori adsorben akan mempengaruhi laju kecepatan perpindahan molekul-molekul adsorbat ke permukaan adsorben. Apabila ukuran pori-pori adsorben semakin besar maka perpindahan molekul-molekul adsorbat semakin cepat.

2. Sifat-sifat fisik adsorbat diantaranya ukuran molekul adsorbat, adanya Tarik menarik antar partikel adsorben dan adsorbat semakin besar jika ukuran molekul adsorbat mendekati atau sedikit lebih kecil dari ukuran rongga adsorbennya.