

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100 % terhadap berat karbon aktif (Darmawan, 2008).

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95 % karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Kvech et al. (1998), menyatakan bahwa karbon aktif adalah suatu bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung karbon melalui proses pirolisis. Sebagian dari pori-porinya masih tertutup hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen, dan sulfur.

Proses aktivasi merupakan proses untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang melapisi permukaan arang sehingga dapat meningkatkan porositas karbon aktif. Luas permukaan (*surface area*) adalah salah satu sifat fisik dari karbon aktif. Semakin luas permukaan pori-pori dari karbon aktif, maka daya serapnya semakin tinggi (Allport, 1997).

Aplikasi karbon aktif komersil dapat digunakan sebagai penghilang bau dan resin, penyulingan bahan mentah, pemurnian air limbah, penjernih air, dan dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi bahan yang berasal dari cairan maupun fasa gas (Kvech et al., 1998 dan Worch, 2012). Daya serap karbon aktif itu

sendiri ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap karbon aktif dilakukan aktivasi dengan aktivator bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, karbon aktif akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia.

Karbon aktif dibagi atas 2 tipe, yaitu karbon aktif sebagai pemucat dan sebagai penyerap uap. Karbon aktif sebagai pemucat, biasanya berbentuk *powder* yang sangat halus, digunakan dalam fase cair, dan berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan, membebaskan pelarut dari zat-zat pengganggu. Karbon aktif sebagai pemucat ini diperoleh dari serbuk-serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah. Karbon aktif sebagai penyerap uap, biasanya berbentuk *granular* atau *pellet* yang sangat keras, tipe pori lebih halus, digunakan dalam fase gas, berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut, katalis, pemisahan dan pemurnian gas. Karbon aktif sebagai penyerap ini diperoleh dari tempurung kelapa, tulang, batu bata atau bahan baku yang mempunyai struktur keras (Kvech et al., 1998).

Bentuk dari karbon aktif pada umumnya terdapat 3 jenis yaitu :

1. Karbon Aktif Serbuk

Karbon aktif ini berbentuk serbuk dengan ukuran *mesh* 200 atau sekitar 0.074 mm, dengan fungsi utama sebagai pemurni baik dalam fasa cair maupun fasa gas, Karbon aktif ini dapat diaplikasikan untuk industri pengolahan air minum dan industri farmasi.



Sumber : Tekmira

**Gambar 3.1**  
**Karbon Aktif Serbuk**

## 2. Karbon Aktif *Granular*

Karbon aktif bentuk *granular* atau tidak beraturan dengan ukuran *mesh* 8-30 atau sekitar 0,2-5 mm. Jenis karbon ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas sama seperti karbon aktif serbuk. Karbon aktif ini dapat diaplikasikan untuk pemurnian emas, air limbah dan air tanah, pengolahan air, dan penghilang bau busuk.



Sumber : Tekmira

**Gambar 3.2**  
**Karbon Aktif *Granular***

## 3. Karbon Aktif *Pellet*

Karbon aktif berbentuk *pellet* dengan diameter 0,8-5 mm. Kegunaan utamanya adalah untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah. Karbon aktif ini dapat diaplikasikan untuk pemurnian udara, *emition control*, tromol otomotif, dan penghilang bau.



Sumber : Tekmira

**Gambar 3.3**  
**Karbon Aktif Pellet**

Sedangkan fungsi dari karbon aktif selain pada umumnya digunakan sebagai bahan pembersih, dan penyerap. Ada beberapa manfaat lain dari karbon aktif yaitu :

1. Karbon aktif berfungsi sebagai filter untuk menjernihkan air.
2. Karbon aktif berfungsi sebagai adsorben pemurnian gas.
3. Karbon aktif berfungsi sebagai penyerap hasil tambang dalam industri pertambangan.
4. Karbon aktif berfungsi sebagai pemucat atau penghilang warna kuning pada gula pasir.
5. Karbon aktif berfungsi untuk mengolah limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya).
6. Karbon aktif berfungsi sebagai penyegar atau pembersih udara ruangan dari kandungan uap air.

### 3.1.1 Sejarah dan Perkembangan Karbon Aktif

Sejarah karbon aktif dimulai sejak tahun 1600 SM, orang-orang Mesir menggunakan arang kayu dalam dunia pengobatan. Pada abad 13 M, Jepang sudah menggunakan filter arang sebagai penyaring untuk sumur. Kemudian tahun 1773 seorang ahli kimia dari Swedia, Karl Wilhem Scheele, menemukan fenomena adsorpsi gas oleh arang (*charcoal*). Penggunaan karbon aktif untuk penghilangan warna pertama kali ditemukan oleh ahli Belanda, Lowitz, tahun 1786. Lowitz

menemukan bahwa arang dicelupkan dalam larutan asam tartar, warnanya akan menghilang karena terjadi adsorpsi senyawa organik dari larutan asam tartar oleh arang.

Tahun 1794, arang ini mulai digunakan industri Inggris untuk proses penghilangan warna. Sampai kemudian Von Ostreijko tahun 1900, 1901 mendapatkan dua hak paten untuk proses manufaktur karbon aktif secara kimiawi dengan metal klorida dan secara fisika dengan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Lalu tahun 1909 di Raciborz, Jerman mendirikan pabrik penghasil karbon aktif pertama kalinya dalam skala komersil yang diberi nama EPONIT. Penggunaan karbon aktif terus berkembang untuk pengolahan air yang tercemar, proses *recycle* pelarut, dan sebagainya. Tahun 1920, penggunaan karbon aktif untuk pengolahan air meningkat.

Pada dua dekade terakhir, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dari karbon dan fenomena adsorpsi permukaan karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben untuk buangan gas, antara lain: pengolahan air dan limbah, penghilang kontaminan dalam larutan, dan sebagainya. Karbon aktif juga dapat digunakan sebagai penyangga katalis dan elektroda pada proses elektrokimia.

### 3.1.2 Sifat Karbon Aktif

Sifat adsorpsi karbon aktif sangat tergantung pada porositas permukaannya, namun dibidang industri, karakterisasi karbon aktif lebih difokuskan pada sifat adsorpsi dari pada struktur porinya. Bentuk pori karbon aktif bervariasi yaitu berupa: silinder, persegi panjang, dan bentuk lain yang tidak teratur. Gugus fungsi dapat terbentuk pada karbon aktif ketika dilakukan aktivasi, yang disebabkan terjadinya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen, yang berasal dari proses pengolahan ataupun atmosfer. Gugus fungsi ini menyebabkan permukaan karbon aktif menjadi reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya. Oksidasi permukaan dalam produksi karbon aktif,

akan menghasilkan gugus hidroksil, karbonil, dan karboksilat yang memberikan sifat amfoter pada karbon, sehingga karbon aktif dapat bersifat sebagai asam maupun basa (Sudirjo, 2006). Adapun syarat mutu karbon aktif yang dibutuhkan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1**  
**Syarat Mutu Karbon Aktif**

Uraian	Prasyarat kualitas	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950° C, %	Maks. 15	Maks. 25
Kadar air, %	Maks. 4,5	Maks. 15
Kadar abu, %	Maks. 2,5	Maks. 10
Bagian tidak mengarang	0	0
Daya serap terhadap I <sub>2</sub> , mg/g	Min. 750	Min. 750
Karbon aktif murni, %	Min. 80	Min. 65
Daya serap terhadap benzena, %	Min. 25	-
Daya serap terhadap biru metilen, mg/g	Min. 60	Min. 120
Berat jenis curah, g/ml	0,45 - 0,55	0,3 - 0,35
Lolos mesh 325, %	-	Min. 90
Jarak mesh, %	90	-
Kekerasan, %	80	-

Sumber : Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah, LIPI (1997)

### 3.1.3 Faktor Daya Serap Karbon Aktif

Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100 % terhadap berat karbon aktif (Sembiring dan Sinaga, 2003). Sehingga dalam praktiknya setiap karbon aktif mempunyai faktor tersendiri dalam menyerap material atau zat tertentu, menurut jurnal Karbon Aktif Dari Sekam Padi: Pembuatan Dan Kapasitasnya Untuk Adsorpsi Larutan Asam Asetat, Hesti Wijayanti (2009) mengemukakan bahwa :

#### 1. Sifat Adsorben

Karbon aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen. Dengan demikian, permukaan karbon aktif bersifat non polar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor yang penting

diperhatikan. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori karbon aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi, dianjurkan agar menggunakan karbon aktif yang telah dihaluskan. Jumlah atau dosis karbon aktif yang digunakan, juga diperhatikan.

## 2. Sifat Serapan

Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh karbon aktif, tetapi kemampuannya untuk mengadsorpsi berbeda untuk masing-masing senyawa. Adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul serapan dari struktur yang sama, seperti dalam deret homolog. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, dan struktur rantai dari senyawa serapan.

## 3. Temperatur

Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas *thermal* senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar ( $20^{\circ}\text{C}$  -  $25^{\circ}\text{C}$ ) atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

## 4. pH (Derajat Keasaman)

Untuk asam-asam organik adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan, yaitu dengan penambahan asam-asam mineral. Ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Sebaliknya bila pH asam organik dinaikkan yaitu dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang

## 5. Waktu Singgung

Bila karbon aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah arang yang digunakan. (Sembiring dan Sinaga, 2003)

### 3.1.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Teknik pembuatan karbon aktif dikenal sejak tahun 1900-an dengan ditemukannya paten tentang proses pembuatan karbon aktif. Berdasarkan paten tersebut, telah diproduksi karbon aktif secara komersial di Eropa dengan bahan baku kayu dan gambut. Prinsip utama proses pembuatan karbon aktif meliputi dua tahap yaitu proses karbonisasi dan proses aktivasi

#### 1. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi merupakan salah satu tahap penting dalam pembuatan karbon aktif. Pada umumnya proses ini dilakukan pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  hingga  $600^{\circ}\text{C}$  (Smisek and Cerny, 1970). Proses karbonisasi adalah proses pengubahan material organik menjadi karbon melalui pemanasan dalam suatu ruang tanpa oksigen. Pada proses karbonisasi yang cukup panjang akan terjadi penghilangan sebagian besar zat-zat terbang (*volatile matter*) dan bergabungnya sebagian senyawa karbon membentuk suatu kristalit dan menghasilkan partikel-partikel berpori yang mempunyai daya adsorpsi.

Pada pemanasan di atas  $600^{\circ}\text{C}$ , karbon aktif yang dihasilkan mempunyai lebih banyak pori-pori dan daya adsorpsi meningkat tetapi pada keadaan ini kekuatan fisiknya berkurang sehingga mempunyai ketahanan kikis yang kecil.

Sebagaimana telah diketahui, bila batubara dipanaskan akan terjadi perubahan kimia yang berbentuk gas-gas dan uap yang termampatkan dan meninggalkan sisa zat padat yang berbentuk karbon. Dalam hal ini hidrokarbon merupakan zat pertama yang dikeluarkan dalam bentuk gas (Ningrum, 1999).

Bahan-bahan hasil karbonisasi umumnya memiliki kapasitas adsorpsi yang kecil, karena pengembangan struktur porinya sangat kurang dan luas permukaannya rendah. Oleh karena itu dilakukan proses aktivasi, hasil karbonisasi diubah menjadi suatu bentuk yang mempunyai luas permukaan, lebar, dan struktur pori memiliki berbagai macam bentuk dan ukuran.

Hasil karbonisasi adalah karbon yang telah berpori tetapi masih tertutup oleh tar. Proses karbonisasi dapat dilakukan dalam reaktor tertutup tanpa oksigen (melalui hembusan uap air). Pengubahan material awal menjadi karbon pada tahap ini hanya diperlukan apabila aktivasi dilakukan secara fisik.

## **2. Proses Aktivasi**

Proses Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Produk dari karbonisasi tidak dapat diaplikasikan sebagai adsorben (karena struktur porusnya tidak berkembang) tanpa adanya tambahan aktivasi. Dasar metode aktivasi terdiri dari perawatan dengan gas pengoksidasi pada temperatur tinggi. Proses aktivasi menghasilkan karbon oksida yang tersebar dalam permukaan karbon karena adanya reaksi antara karbon dengan zat pengoksidasi (Kinoshita, 1988).

Tujuan utama dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa pori baru. Adanya interaksi antara zat pengaktivasi dengan struktur atom-atom karbon hasil karbonisasi adalah mekanisme dari proses aktivasi. Selama aktivasi, karbon dibakar pada suasana

oksidasi yang akan menambah jumlah atau volume pori dan luas permukaan produk melalui proses eliminasi atau penghilangan volatil produk pirolisis. Aktivator dapat meningkatkan keaktifan adsorben melalui mekanisme sebagai berikut :

1. Aktivator menembus celah atau pori-pori diantara pelat-pelat kristalit karbon (pada karbon aktif) yang berbentuk heksagonal dan menyebar di dalam celah atau pori-pori tersebut, sehingga terjadi pengikisan pada permukaan kristalit karbon.
2. Aktivator mencegah senyawa organik bereaksi dengan oksigen yang akan bereaksi dengan kristalit oksigen.
3. Menurut teori interkalasi, struktur dari suatu komposisi senyawa akan mengalami modifikasi jika disisipkan ion atau atom lain kedalam struktur tersebut. Pada aktivasi maka ion atau atom yang disisipkan adalah aktivator.
4. Aktivasi dapat berupa aktivasi fisik dimana digunakan gas-gas inert seperti uap air (*steam*), CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>. Sedangkan pada aktivasi kimia, digunakan aktivator yang berperan penting untuk meningkatkan luas permukaan adsorben dengan cara mengusir senyawa non karbon dari pori-pori. (Hassler, 1951).

Aktivasi karbon aktif dapat dilakukan melalui 2 cara, yakni aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika (Kinoshita, 1988).

### 1. Proses Aktivasi Kimia

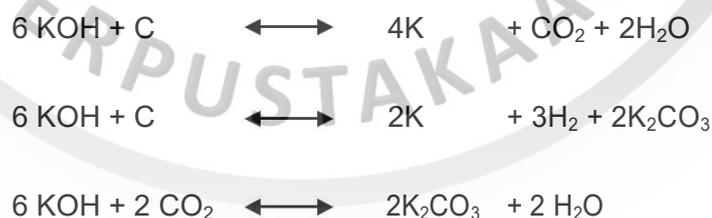
Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Sembiring dan Sinaga, 2003). Aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan-bahan pengaktif seperti garam kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>), magnesium klorida (MgCl<sub>2</sub>), seng klorida (ZnCl<sub>2</sub>), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dan natrium klorida (NaCl). Selain garam mineral biasanya digunakan ialah berbagai asam dan basa organik seperti

asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), asam hipoklorit ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ ), dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ).

Kerugian penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif terletak pada proses pencucian bahan-bahan mineral tersebut kadang-kadang sulit dihilangkan lagi dengan pencucian (Jankowska, 1991). Sedangkan keuntungan penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif adalah waktu aktivasi yang relatif pendek, karbon aktif yang dihasilkan lebih banyak dan daya adsorpsi terhadap suatu adsorbat akan lebih baik (Jankowska, 1991).

Bahan-bahan pengaktif tersebut berfungsi untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi (Manocha, 2003).

Aktivasi secara kimia dengan menggunakan aktivator  $\text{KOH}$  tanpa kehadiran oksigen akan mengontrol reaksi pembakaran karbon melalui mekanisme sebagai berikut:



Pada proses tersebut, karbon bereaksi dengan *oxidizing agent* dan menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous carbon* yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya pori yang tertutup akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlanjut dengan mengikis dinding karbon untuk membentuk pori-pori baru.

## 2. Proses Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap, dan CO<sub>2</sub> (Sembiring dan Sinaga, 2003). Metode aktivasi secara fisika antara lain dengan menggunakan uap air, gas karbon dioksida, oksigen, dan nitrogen. Gas-gas tersebut berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya, menghilangkan konstituen yang mudah menguap dan membuang produksi tar atau hidrokarbon-hidrokarbon pengotor pada arang.

Aktivasi fisika dapat mengubah material yang telah dikarbonisasi dalam sebuah produk yang memiliki luas permukaan yang luar biasa dan struktur pori. Tujuan dari proses ini adalah mempertinggi volume, memperluas diameter pori yang terbentuk selama karbonisasi dan dapat menimbulkan beberapa pori yang baru. *Fluidized bed reactor* dapat digunakan untuk proses aktivasi fisika. Tipe reaktor ini telah digunakan untuk pembuatan karbon aktif dari batu (Swiatkowski, 1998).

Penggunaan gas nitrogen selama proses aktivasi karena nitrogen merupakan gas yang inert sehingga pembakaran karbon menjadi abu dan oksidasi oleh pemanasan lebih lanjut dapat dikurangi, selain itu dengan aktivasi gas akan mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya (Sugiharto, 1978). Kenaikan temperatur aktivasi pada kisaran 450°C-700°C dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari karbon aktif (Raharjo, 1997).

Berdasarkan proses oksidasi karbon aktif yang dihasilkan terdiri dari dua jenis, yaitu:

### 1. L-Karbon (L-AC)

Karbon aktif yang dibuat dengan oksidasi pada suhu 300°C-400°C dengan menggunakan udara atau oksidasi kimia L-AC sangat cocok dalam

mengadsorpsi ion terlarut dari logam berat basa seperti  $Pb_2^+$ ,  $Cn_2^+$ ,  $Cd_2^+$ , karakter permukaannya yang bersifat asam akan berinteraksi dengan logam basa. Regenerasi dari L-AC dapat dilakukan menggunakan asam atau garam seperti NaCl yang hampir sama perlakuannya pada pertukaran ion.

## 2. H-Karbon (H-AC)

Karbon aktif yang dihasilkan dari proses pemasakan pada suhu  $800^{\circ}C$ - $1000^{\circ}C$  kemudian didinginkan pada atmosfer inersial. H-AC memiliki permukaan yang bersifat basa sehingga tidak efektif didalam mengadsorpsi logam berat alkali pada suatu larutan air tetapi sangat lebih efisien dalam mengadsorpsi kimia organik, partikulat hidrolit dan senyawa kimia yang mempunyai kelarutan yang rendah dalam air. Akan tetapi H-AC dapat dimodifikasi dengan menaikkan angka asiditas. Permukaan yang netral akan mengakibatkan tidak efektifnya dalam mereduksi dan mengadsorpsi kimia.

### 3.1.5 Kegunaan Karbon Aktif

Karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap logam berat seperti Pb, Fe dan Cu. Hasil penelitian membuktikan bahwa :

1. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa dapat menyerap Pb 35,8 mg.
2. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa dapat menyerap Fe 15,5 mg.
3. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa dapat menyerap Cu 13,8 mg.
4. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa (aktivasi) dapat menyerap Pb 56,3 mg.
5. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa (aktivasi) dapat menyerap Fe 43,8 mg.
6. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa (aktivasi) dapat menyerap Cu 39,9 mg.
7. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa (aktivasi +  $ZnCl_2$ ) dapat menyerap Pb 72,3 mg.
8. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa (aktivasi +  $ZnCl_2$ ) dapat menyerap Fe 36,1 mg.

9. 1 kg Karbon aktif tempurung kelapa (aktivasi +  $ZnCl_2$ ) dapat menyerap Cu 52,7 mg. Hardoko IQ, (2006) dalam Sinly Evan Putra, (2008).

**Tabel 3.2**  
**Kegunaan Karbon Aktif**

No	Pemakai	Kegunaan
1.	Industri obat dan makanan	Menyaring, penghilangan
2.	Minuman keras dan Ringan	Penghilangan warna, bau, pada minuman
3.	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah
4.	Pembersih air	Penghilangan warna, bau penghilangan resin
5.	Budi daya Udang	Pemurnian, penghilangan ammonia, netrite phenol dan logam berat
6.	Industri gula	Penghilangan zat-zat warna menyerap proses penyaringan menjadi lebih sempurna
7.	Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut
8.	Pemurnian gas	Menghilangkan sulfur, gas beracun, bau busuk asap
9.	Katalisator	Reaksi katalisator pengangkut vinil chloride, vinil aasetat
10.	Pengolahan Pupuk	Pemurnian, Penghilangan bau

Sumber : Arang Aktif Pengenalan dan Proses Pembuatannya. (2003)

### 3.1.6 Bilangan Iodin

Sebagaimana kita ketahui bahwa karbon aktif merupakan adsorben yang paling sering digunakan dalam mengurangi kontaminan logam berat. Namun akhir-akhir ini ditemukan karbon aktif masih relatif mahal. Penelitian mengenai adsorben yang murah dan mudah diperoleh menjadi bahan pertimbangan saat ini (Fenglian Fu, Qi Wang, 2010). Bilangan iodin merupakan parameter utama yang digunakan untuk melihat karakteristik dari adsorben maupun karbon aktif. Bilangan ini sering ditulis dengan satuan mg/g. Bilangan ini mengukur kandungan mikropori dengan cara menyerap iodin dari larutan (Itodo A. U., Abdulrahman F. W., Hassan L. G., Maigandi S.A., Itodo H.U., *Application of Methylene Blue and Iodine*, 2010). Dalam menentukan kapasitas adsorpsi adsorben, bilangan iodin telah digunakan pada berbagai penelitian. Kemampuan adsorben dalam penyerapan senyawa iodin menunjukkan kemampuan adsorben tersebut untuk menyerap komponen dengan berat molekul yang rendah (Sukmawati, 2006)

### 3.1.7 Proses Pembuatan Bilangan Iodin (AWWA B604-96)

Produk karbon aktif sebanyak 1 gr dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer, dibubuhi HCl 5%, dipanaskan sampai mendidih selama 30 detik, lalu didinginkan secara alami sampai suhu kamar. Selanjutnya dimasukkan 100 ml larutan iodin 0,1 N dengan pipet volume ke dalam erlenmeyer tersebut, lalu dikocok 1 menit dan disaring dengan kertas saring whatman No.42. Kemudian filtrat dipipet dengan pipet volume 25 ml di dalam labu erlenmeyer yang lain, ditetesi 2-3 tetes larutan kanji sebagai indikator lalu dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N sampai warna kuning. Titrasi dilanjutkan sampai warna biru hilang. Titik akhir titrasi adalah: satu tetes natrium tiosulfat berlebih, warna biru hilang. Pengukuran bilangan Iodin ini dilakukan terhadap setiap komposisi batubara ( $ZnCl_2$ ) teknis pada setiap jenis ukuran butir batubara.

## 3.2 Bahan Baku Karbon Aktif

### 3.2.1 Tempurung Kelapa

Tanaman kelapa (*Cocos nucifera L*) disebut juga tanaman serbaguna, karena dari akar sampai ke daun kelapa bermanfaat. Buah kelapa terdiri dari beberapa komponen yaitu sabut kelapa, tempurung kelapa, daging buah kelapa, dan air buah kelapa. Daging buah adalah komponen utama yang dapat diolah menjadi berbagai produk bernilai ekonomi tinggi. Sedangkan air, tempurung dan sabut sebagai hasil samping (*by product*) dari buah kelapa juga dapat diolah menjadi berbagai produk yang nilai ekonominya tidak kalah dengan daging buah.

Tempurung kelapa merupakan salah satu bagian dari buah kelapa dengan persentase 17 % dari buah kelapa yang berumur 12 bulan. Dapat diamati bahwa tempurung kelapa memiliki jumlah yang melimpah dan mudah diperoleh di pasar-pasar tradisional bahkan banyak yang menjadi limbah. Jika limbah tidak diolah dan

dibiarkan menumpuk atau dibakar dapat menimbulkan hal yang negatif terhadap lingkungan. Salah satu usaha adalah memanfaatkan limbah menjadi produk yang memiliki nilai tambah dengan teknologi aplikasi dan kerakyatan (Supenos, 2005).

Tempurung kelapa merupakan lapisan keras dari buah kelapa yang terdiri dari lignin, selulosa, metoksil dan berbagai mineral. Kandungan bahan-bahan tersebut beragam sesuai dengan jenis kelapanya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup tinggi kadarnya pada tempurung. Berat tempurung sekitar 15-19 % dari berat keseluruhan buah kelapa (Hasbullah, 2001). Berat dan tebal tempurung kelapa sangat ditentukan oleh jenis tanaman kelapa. Kelapa Dalam mempunyai tempurung yang lebih berat dan tebal dari tempurung kelapa Hibrida dan kelapa Genjah. Tempurung beratnya sekitar 15-19 % bobot buah kelapa dengan ketebalan 3-5 mm. Komposisi kimia tempurung terdiri atas: selulosa 26,60 %, pentosan 27,70 %, lignin 29,4 %, abu 0,60 %, solvent ekstraktif 4,20 %, uronat anhidrat 3,50 %, nitrogen 0,11 %, dan air 8,00 %.

### 3.2.2 Arang Tempurung Kelapa

Arang merupakan suatu produk yang dihasilkan dari proses karbonisasi dari bahan yang mengandung karbon terutama *biomass* kayu. Produk ini utamanya banyak digunakan sebagai sumber energi. Proses pembuatan arang sesungguhnya dapat dihasilkan berbagai arang yang mempunyai kegunaan berbeda misalnya arang biasa hasil dari pembakaran hanya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas. Sedangkan arang dengan melalui proses pengaktifan fungsinya dapat berubah untuk kesehatan, pertanian, dan kecantikan (Pari *et al*, 2012).

Indonesia telah lama diketahui sebagai produsen arang ekspor di pasar dunia, tercatat Indonesia termasuk nomor satu dari lima negara pengekspor arang terbesar di dunia yaitu China, Malaysia, Afrika Selatan dan Argentina. Tercatat

tahun 2000, Indonesia mengekspor arang sebanyak 29.867.000 kg yang terdiri dari arang tempurung kelapa (15,96 %), arang mangrove (22,31 %), dan arang kayu (61,73 %) (Pari *et al*, 2012).

Arang tempurung kelapa adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa. Sebagai bahan bakar, arang lebih menguntungkan dibanding kayu bakar. Arang memberikan kalor pembakaran yang lebih tinggi dan asap yang lebih sedikit. Arang dapat ditumbuk, kemudian dikempa menjadi briket dalam berbagai macam bentuk. Briket lebih praktis penggunaannya dibanding kayu bakar. Arang dapat diolah lebih lanjut menjadi arang aktif, dan sebagai bahan pengisi dan pewarna pada industri karet dan plastik (Hendra, 2007).

Pembakaran tidak sempurna pada tempurung kelapa menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang. Pirolisis untuk pembentukan arang terjadi pada suhu 150-300°C. pembentukan arang tersebut disebut sebagai pirolisis primer. Arang dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas-gas hidrokarbon. Peristiwa ini disebut sebagai pirolisis sekunder (Hartanto & Alim, 2010).

### 3.2.3 Pirolisis

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun kayu keras. Istilah lain dari pirolisis adalah penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Hal tersebut mengandung pengertian bahwa apabila tempurung dan cangkang

dipanaskan tanpa berhubungan dengan udara dan diberi suhu yang cukup tinggi, maka akan terjadi reaksi penguraian dari senyawa-senyawa kompleks yang menyusun kayu keras dan menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padatan, cairan dan gas (Widjaya, 1982).

Menurut Tahir (1992), pada proses pirolisis dihasilkan tiga macam penggolongan produk yaitu :

1. Gas-gas yang dikeluarkan pada proses karbonisasi ini sebagian besar berupa gas  $\text{CO}_2$  dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , dan hidrokarbon tingkat rendah lain.
2. Destilat berupa asap cair dan tar. Komposisi utama dari produk yang tertampung adalah metanol dan asam asetat. Bagian lainnya merupakan komponen minor yaitu fenol, metil asetat, asam format, asam butirat, dan lain-lain.
3. Residu (karbon) berupa tempurung kelapa dan kayu mempunyai komponen-komponen yang hampir sama. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dalam kayu berbeda-beda tergantung dari jenis kayu. Pada umumnya kayu mengandung dua bagian selulosa dan satu bagian hemiselulosa, serta satu bagian lignin.

### **3.3 Bahan Bakar**

#### **3.3.1 Batubara**

Batubara adalah batuan sedimen, yang merupakan bahan bakar hidrokarbon, yang terbentuk dari tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen dan terkena pengaruh panas serta tekanan yang berlangsung lama sekali. Secara garis besar batubara terdiri dari zat organik, air dan bahan mineral. Batubara dapat diklarifikasikan menurut tingkatan yaitu lignit, sub bitumuminus, bituminus dan

antrasit (Ibrahin, 2005). Menurut C. F. K. Diessel (1992) pembentukan batubara diawali dengan proses *biokimia*, kemudian diikuti oleh proses geokimia dan fisika, proses yang kedua ini sangat berpengaruh terhadap peringkat batubara (*coal rank*), yaitu perubahan jenis mulai dari gambut ke lignit, bituminus, sampai antrasit.

Faktor yang sangat berperan didalam proses kedua tersebut adalah temperatur, tekanan, dan waktu. Setiap batubara yang terbentuk memiliki kualitasnya masing-masing, oleh karena itu harga batubara bisa sangat beragam berdasarkan kualitas yang dimilikinya, semakin tinggi kualitas batubara, maka semakin banyak pula konsumen harus mengeluarkan uang untuk mendapatkannya. Namun bukan berarti hanya batubara kelas tertinggi yang selalu lebih baik untuk dimanfaatkan. Pada pemanfaatannya, batubara merupakan salah satu sumber energi tidak dapat diperbaharui yang tidak ramah lingkungan, batubara seringkali disebut sumber energi kotor karena pengaruh buruknya terhadap lingkungan. Baik itu dilihat dari penambangannya yang mau tidak mau merusak lingkungan meskipun pada akhir dari proses penambangan dilakukan reklamasi untuk memulihkan kembali keadaan lingkungan penambangan, dari air asamnya yang berbahaya bagi lingkungan, maupun dari sisi pemakaiannya yang menghasilkan polutan yang dapat mencemari lingkungan sekitarnya.

### **3.3.2 Sejarah Pertambangan Batubara di Indonesia**

Pertambangan batubara yang pertama di Indonesia dimulai pada tahun 1849 di Pengaron, Kalimantan Timur oleh NV Oost Borneo Maatschappij. Pada tahun 1888 suatu perusahaan swasta memulai kegiatan pertambangannya di Pelarang, kira-kira 10 km di tenggara Samarinda. Kemudian disusul oleh beberapa perusahaan-perusahaan kecil lainnya. Di Sumatera, usaha pertambangan batubara pertama secara besar-besaran dilakukan mulai tahun 1880 di lapangan sungai Durian, Sumatera Barat. Usaha ini mengalami kegagalan dikarenakan kesulitan

pengangkutan. Setelah dilakukan penyelidikan secara seksama antara tahun 1868 hingga 1873 maka ditemukannya lapangan batubara di sungai Durian sehingga dibukalah pertambangan batubara Ombilin di Sawahlunto, Sumatera Barat. Pada waktu bersamaan selesai pula dibangun jalan kereta api antara Teluk Bayur-Sawahlunto yang memiliki panjang 155 km dan dikerjakan sejak tahun 1888. Di Sumatera Selatan, dilakukan penyelidikan antara tahun 1915-1918 yang menghasilkan dibukanya pertambangan batubara Bukit Asam pada tahun 1919.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 1968, ketiga pertambangan batubara yang masih aktif memproduksi yaitu tambang batubara Ombilin di Sumatera Barat, tambang batubara Bukit Asam di Sumatera Selatan dan tambang batubara Mahakam di Kalimantan Timur disatukan ke dalam PN Tambang Batubara dan masing-masing tambang tersebut menjadi unit produksi. Pada tahun 1970, unit produksi Mahakam ditutup berdasarkan pertimbangan ekonomi. Kegiatan pertambangan tidak mungkin dilanjutkan karena selain biaya usaha yang semakin tinggi juga harapan pemasarannya semakin suram. Semua hal tersebut diakibatkan beralihnya ke penggunaan mesin diesel di seluruh bidang pengangkutan (kereta api dan kapal) dan Pembangkit tenaga Listrik Diesel (PLTD). Sejak itulah yang memproduksi hanya dua unit saja, yaitu produksi Ombilin dan produksi Bukit Asam.

Sejak tahun 1973 terjadi perubahan dalam dunia perbatubaraan. Akibat krisis energi yang dimulai oleh embargo minyak oleh sejumlah negara-negara Arab dalam Perang Timur Tengah, perhatian dunia kemudian beralih ke bahan bakar batubara. Sejalan dengan itu, unit produksi Bukit Asam diubah statusnya menjadi PT. Tambang Batubara Bukit Asam (persero). Ini didasarkan kepada Peraturan Pemerintah Nomor 24 Tahun 1980 dan sejak tahun 1981 terpisah dari PN Tambang Batubara. Sejak itu pula PN Tambang Batubara hanya memiliki satu unit produksi saja yaitu tambang batubara Ombilin di Sumatera Barat. Berdasarkan Surat

Putusan Presiden Republik Indonesia Nomor 49 Tahun 1981, PN Tambang Batubara mengadakan kerjasama dengan sejumlah perusahaan swasta asing yang bertujuan untuk mengembangkan potensi batubara Indonesia. Kerjasama usaha tersebut dimulai dengan mengusahakan cadangan batubara yang terdapat di daerah Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 1990 tanggal 30 Oktober 1990, PN Tambang Batubara dibubarkan dan dilebur ke dalam Tambang Batubara Bukit Asam (PTBA) agar lebih efisien dengan satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang mengelola pertambangan batubara serta para kontraktornya. Dari para kontraktor tersebut, pemerintah melalui PTBA memperoleh bagian hasil batubara dalam bentuk natura sebesar 13,5 % dari hasil produksi batubara. Pada tahun 1993, pemerintah mengeluarkan Keputusan Presiden tersebut ditandatangani 19 kontrak kerjasama yang keseluruhan kontraktor swasta nasional. Dengan demikian, maka PTBA memiliki lebih dari 30 kontraktor perusahaan pertambangan batubara yang tersebar di daerah Kalimantan dan Sumatera. Kemudian pemerintah pada tahun 1996 mengeluarkan Keputusan Presiden Nomor 21 tahun 1993 yang menyatakan bahwa bentuk kontrak kerjasama diganti menjadi kontrak karya. Untuk bagian hasil produksi batubara yang disetorkan kepada pemerintah diganti dalam bentuk tunai dan dengan demikian hak dan kewajiban PTBA atas pengelolaan kontraktor dialihkan kepada pemerintah.

### **3.3.3 Keterbentukan Batubara**

Pembentukan batubara memerlukan kondisi-kondisi tertentu dan hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi. Zaman Karbon, kira-kira 340 juta tahun yang lalu adalah masa pembentukan batubara yang paling produktif dimana hampir seluruh deposit batubara (*black coal*) yang ekonomis di belahan bumi bagian utara terbentuk. Pada Zaman Permian, kira-kira 270 juta tahun yang

lalu, juga terbentuk endapan-endapan batubara yang ekonomis di belahan bumi bagian selatan, seperti Australia, dan berlangsung terus hingga ke Zaman Tersier (70-13 juta tahun yang lalu) di berbagai belahan bumi lain (Krevelen, 1993). Terdapat dua teori yang menjelaskan proses pembentukan batubara yaitu :

#### 1. Teori Insitu

Teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentukan lapisan batubara, terbentuknya di tempat dimana tumbuh-tumbuhan asal batubara itu berada. Dengan demikian segera setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi, tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses *coalification*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran yang luas dan merata dengan kualitas yang baik, karena abunya relatif kecil. Batubara yang terbentuk menurut teori Insitu terdapat di Muara Enim, Sumatera Selatan.

#### 2. Teori Drift

Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadinya di tempat yang berbeda dengan tempat asalnya. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati terbawa oleh arus air dan berakumulasi di suatu tempat. Batubara yang terbentuk menurut Teori ini terdapat di Mahakam Purba, Kalimantan Timur.

#### 3.3.4 Kualitas Batubara

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification* (*rank*).

Umumnya, untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*), sedangkan

analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti: karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan, dan juga unsur jarang. Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, kualitas batubara umumnya dibagi dalam lima kelas yaitu antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit, dan gambut.

1. Antrasit ( $C_{94}OH_3O_3$ ), adalah kelas batubara tertinggi dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86 % - 98 % unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8 %. Antrasit memiliki kandungan kalori yang paling tinggi yaitu diatas 7777 kcal/kg.
2. Bituminus ( $C_{80}OH_5O_{15}$ ), merupakan kelas batubara yang memiliki kandungan kalori antara 5833 kcal/kg - 7777 kcal/kg, dengan unsur karbon (C) 68 % - 86 % dan kadar air 8 % - 10 % dari beratnya. Bituminus paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus ( $C_{75}OH_5O_{20}$ ), merupakan kelas batubara yang mengandung sedikit karbon dan banyak air serta dengan kandungan kalori yang lebih rendah yaitu antara 4611 kcal/kg - 5833 kcal/kg, oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batubara coklat ( $C_{70}OH_5O_{25}$ ), adalah batubara yang sangat lunak dengan nilai kalori yang lebih rendah dibandingkan dengan sub-bituminus sekitar 3500 kcal/kg - 4611 kcal/kg dan mengandung air 35 % - 75 % dari beratnya.
5. Gambut ( $C_{60}H_6O_{34}$ ), adalah kelas batubara yang paling rendah nilai kalorinya dibawah 3500 kcal/kg dengan kandungan kadar air diatas 75 % dari beratnya.

**Tabel 3.3**  
**Kualitas Batubara Menurut ASTM 1981**

Coal rank		Vitrinite reflectance (random)	Volatile matter (wt.%, dmmf) <sup>1</sup>	Bed moisture (wt.%)	Calorific value MJ/kg (moist, dmmf)	Hydro-carbon generation	Principal uses	
Class	Group							
Anthracitic <sup>2</sup>	Meta-anthracite	2.50	2			Dry Gas	Space heating Chemical production	
	Anthracite		8					
	Semianthracite		14					
Bituminous	Low volatile bituminous	1.51	22	8-10	26.8	Wet Gas	Metallurgical coke production Cement production Thermal electric power generation	
	Medium volatile bituminous		31					
	High volatile A bituminous	0.75	32.6					
	High volatile B bituminous							30.2
	High volatile C bituminous							
	Subbituminous A <sup>3</sup>	0.50 ?	24.4					22.1
Subbituminous B								
Subbituminous C								
Lignite	Lignite A	0.42	35	19.3	14.7	Early Gas	Thermal electric power generation Char production Space heating	
	Lignite B							
	Peat		75					

1) dmmf - Dry, mineral matter free  
2) Non-agglomerating; if agglomerating, classified as low volatile bituminous  
3) If agglomerating, classified as high volatile C bituminous

Sumber : ASTM (1981)

### 3.3.5 Sifat Batubara

Batubara memiliki sifat-sifat tertentu atau penciri umum yang memungkinkan untuk dapat membedakan jenis dari batubara itu sendiri. Batubara memiliki sifat-sifat diantaranya :

#### 1. Sifat Umum

Sifat batubara dibedakan berdasarkan jenis dan peringkat batubara yaitu :

1. Sifat batubara jenis antrasit
  - A. Warna hitam sangat mengkilat
  - B. Nilai kalor tinggi, kandungan karbon sangat tinggi.
  - C. Kandungan air sangat sedikit
  - D. Kandungan abu sedikit
  - E. Kandungan sulfur sangat sedikit
2. Sifat batubara jenis bituminus/sub-bituminus
  - A. Warna hitam mengkilat, kurang kompak

- B. Nilai kalor tinggi, kandungan karbon relatif tinggi
  - C. Kandungan air sedikit
  - D. Kandungan abu sedikit
  - E. Kandungan sulfur sedikit
3. Sifat batubara jenis lignit
- A. Warna hitam, sangat rapuh
  - B. Nilai kalor rendah, kandungan karbon sedikit
  - C. Kandungan air tinggi
  - D. Kandungan abu banyak
  - E. Kandungan sulfur banyak

## 2. Sifat Fisik

Sifat fisik batubara tergantung kepada unsur kimia yang membentuk batubara tersebut, berikut merupakan sifat fisik dari batubara yaitu :

1. Berat jenis (*specific gravity*) batubara sesuai dengan peningkatan derajat batubaranya semakin tua batubaranya maka berat jenisnya semakin bertambah.
2. Goresan batubara berwarna berkisar antara terang sampai coklat tua. Lignit mempunyai goresan hitam keabu-abuan, bituminus mempunyai warna goresan hitam, secara umum batubara mempunyai goresan dari coklat sampai hitam logam.
3. Pecahan memperlihatkan bentuk dari potongan batubara dalam sifat memecahnya. Ini dapat pula memperlihatkan sifat dan mutu suatu batubara. Antrasit mempunyai pecahan kongkoidal. Batubara dengan zat terbang tinggi cenderung memecah dalam bentuk persegi, balok, atau kubus.

4. Kekerasan berkaitan dengan struktur batubara. Keras atau lemahnya batubara juga tergantung kepada komposisi dan jenis batubaranya. Semakin tua batubara itu akan lebih keras.
5. Warna batubara dibedakan menjadi dua jenis, yaitu batubara cerah (vitrain) dan gelap (fusain), pada batubara muda atau lignit sampai sub-bituminus berwarna coklat sedangkan pada batubara tua berwarna hitam sempurna tergantung pada peringkatnya.

### 3. Sifat Kimia

Sifat kimia dari batubara berhubungan langsung dengan senyawa penyusunan dari batubara tersebut, baik senyawa organik ataupun senyawa anorganik. Sifat kimia dari batubara dapat dikatakan sebagai berikut :

1. Karbon yang terdapat dalam batubara bertambah sesuai dengan peningkatan derajat batubaranya. Karbon bertambah sesuai dengan naiknya derajat batubara kira-kira 60 % sampai 100 %. Presentasinya akan lebih kecil pada lignit dan menjadi besar pada antrasit dan hampir seratus persen dalam grafit. Unsur karbon yang ada sangat penting peranannya sebagai penyebab panas.
2. Hidrogen yang terdapat dalam batubara berupa kombinasi alifatik dan aromatik dan berangsur habis akibat evolusi metana. Kandungan hidrogen dalam lignit berkisar antara 5 % - 6 % dan sekitar 4,5 % - 5,5 % dalam batubara bituminus dan sekitar 3 % - 3,5 % dalam antrasit.
3. Oksigen, sebagaimana dengan hidrogen, kandungan unsur oksigen ini akan berkurang selama perubahan kematangan pada batubara. Kandungan oksigen dalam lignit sekitar 20 % atau lebih, dalam bituminus sekitar 4 % - 10 % dan dalam antrasit sekitar 1,5 % - 2 %.

4. Nitrogen yang terdapat dalam batubara berupa senyawa organik. Nitrogen terbentuk hampir seluruhnya dari protein bahan tanaman asalnya. Jumlahnya sekitar 0,5 % sampai 3,0 %. Batubara bituminus biasanya mengandung nitrogen lebih banyak daripada lignit dan antrasit.
5. Sulfur dalam batubara umumnya terdapat hanya dalam jumlah kecil dan kemungkinan berasal dari protein tanaman pembentuk dan diperkaya oleh bakteri sulfur. Kehadiran sulfur dalam batubara biasanya lebih kecil 4 % tetapi dalam beberapa hal mempunyai konsentrasi lebih tinggi. Sulfur terdapat dalam tiga bentuk yaitu sulfur pirit (*pyritic sulphur*), anorganik sulfur, dan sulfur organik.

### 3.3.6 Pemanfaatan Batubara

Berbagai macam pemanfaatan batubara adalah sebagai berikut :

1. Pemanfaatan Batubara Sebagai Bahan Bakar Langsung
  - a. Pembakaran Batubara Untuk PLTU

Untuk membangun fasilitas pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara, maka hal terpenting yang harus diperhatikan dalam mendesain fasilitas tersebut adalah sifat-sifat dan gambaran batubara yang digunakan. Pemilihan teknologi pembakaran yang tepat didasarkan pada sifat-sifat batubara yang digunakan merupakan sesuatu yang penting untuk mendapatkan pembakaran yang efisien dan teknologi yang ramah lingkungan. *Boiler* yang di desain untuk batubara peringkat rendah seperti batubara lignit dan sub-bituminus tidak membutuhkan teknologi yang khusus dan dapat ditangani dengan mengkombinasikan teknologi-teknologi yang ada. Meskipun demikian, ukuran *boiler* mau tidak mau harus lebih besar sebagai akibat dari adanya masalah *slagging* dan nilai kalor yang lebih rendah.

#### b. Pemanfaatan Batubara Dalam Industri Semen

Industri semen merupakan industri yang dalam prosesnya mengkonsumsi energi relatif tinggi. Pada tahun 1970-an, harga minyak yang tinggi hampir menjadi penghalang dalam industri semen. Sehubungan dengan hal tersebut, banyak negara pada saat ini memakai batubara sebagai sumber bahan bakar alternatif. Dalam industri semen batubara tidak hanya digunakan sebagai bahan bakar tetapi juga sebagai bahan baku dalam proses pembuatan semen. Oleh karena itu pasokan kualitas batubara yang tepat dan pemanfaatan batubara secara tepat sangat dibutuhkan dalam industri semen.

#### c. Pemanfaatan Batubara Untuk Briket

Batubara Pembuatan briket pada dasarnya adalah upaya membentuk bahan yang kompak dari partikel-partikel penyusunnya yang relatif lebih kecil dengan cara memberi tekanan tertentu pada suatu wadah cetakan. Adapun prinsip pembuatan briket batubara dapat diklasifikasikan berdasarkan digunakan atau tidaknya bahan pengikat.

#### 2. Pemanfaatan Batubara Sebagai Bahan Bakar Tidak Langsung

##### a. Gasifikasi Batubara

Gasifikasi batubara adalah proses untuk mengubah semua material organik batubara menjadi bentuk gas, peringkat batubara dan temperatur hanya mempengaruhi laju gasifikasi dan jika diinginkan bisa diperoleh gas yang kesemuanya mengandung CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub> disamping pengotor hidrogen sulfida (% volumenya bervariasi, tergantung macam-macam faktor seperti peringkat batubara, kandungan mineral dalam batubara, ukuran partikel pada saat diproses dan kondisi reaksinya). Perbedaan yang mencolok ini disebabkan pada proses gasifikasi terjadi raihan yang jauh dan

interaksi lebih lanjut yang dapat dikendalikan antara *volatile matter* dan *char* (atau kokas) dengan oksigen.

b. Gasifikasi Bawah Tanah

Gasifikasi batubara bawah tanah (setempat) merupakan metode yang mengkombinasikan ekstraksi dan konversi batubara menjadi satu tahap saja, sehingga mengeliminasi peralatan penambangan dan pengolahan dan reaktor gasifikasi. Aplikasi metode ini akan menghasilkan gas *low*-Btu sampai *medium*-Btu (tergantung pada apakah udara atau oksigen-uap yang digunakan). Pada saat yang bersamaan, gasifikasi bawah tanah mengeliminasi permasalahan-permasalahan kesehatan, keselamatan dan lingkungan dikaitkan dengan penambangan batubara yang secara konvensional. Metode gasifikasi ini juga mempunyai potensi untuk memperoleh kembali energi dari lapisan batubara tebal, dalam dan mempunyai kemiringan yang tajam sehingga tidak ekonomis untuk ditambang secara konvensional.

c. *Coalbed Methane* (CBM)

*Coalbed Methane* adalah gas yang terdapat dalam batubara. Selama proses pembentukan batubara, akan dihasilkan bermacam-macam gas terutama gas *methane*. Beberapa gas akan melepaskan diri ke luar permukaan melalui media rekahan pada batuan, namun ada beberapa gas yang terperangkap ke dalam batubara. Rekahan-rekahan pada batubara terbentuk secara alami dan biasanya disebut *cleat*. Rekahan batubara ini biasanya berhubungan dengan pembentukan sedimen di atasnya, atau bisa juga berhubungan dengan kekar atau sesar (Cobb, 2003). Batubara pada umumnya bersifat sebagai *aquifer* (sebelum mengalami kematangan lanjut) karena *cleat* pada umumnya jenuh dengan air. Kandungan air dalam *cleat* ini

yang menahan gas *methane* dalam batubara sehingga gas *methane* terbentuk bersamaan dengan proses pembentukan batubara dan biasanya gas ini tidak dapat dideteksi oleh teknologi peralatan pemboran gas konvensional biasa. *Coalbed methane* terbentuk bersama air, nitrogen dan karbondioksida ketika material organik tertimbun dan kemudian berubah menjadi batubara.

d. Karbonisasi Teknologi

Proses karbonisasi batubara pada dasarnya merupakan proses pemanasan batubara yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kadar zat terbang sehingga kadar karbonnya akan meningkat. Realisasi proses karbonisasi dapat dilaksanakan dengan dua cara yaitu pemanasan secara langsung dan pemanasan secara tidak langsung. Pemanasan secara langsung biasanya dilakukan dalam tungku *beehave* yang berbentuk kubah dimana batubara dipanaskan pada kondisi udara terbatas sehingga zat terbangnya saja yang akan terbakar habis. Pemanasan secara tidak langsung dilakukan dengan menempatkan batubara dalam suatu *retort* dan dipanaskan dari luar, cara ini selain menghasilkan kokas (semikokas) juga diperoleh produk sampingan berupa tar, amoniak, gas hidrogen, dan gas-gas lainnya.

e. *Coal Liquefaction* (Pencairan Batubara)

Batubara terdiri dari lapisan-lapisan hidroaromatik yang disebut *lamelae*. Lapisan-lapisan ini dihubungkan dengan ikatan jembatan silang (*cross link*) dengan gugus fungsional disekelilingnya. Jumlah *cross link* dan gugus fungsional ini akan berkurang dengan meningkatnya *rank* batubara. Gugus fungsional pada batubara merupakan komponen yang sangat reaktif dan merupakan persenyawaan H, N, O, dan S.

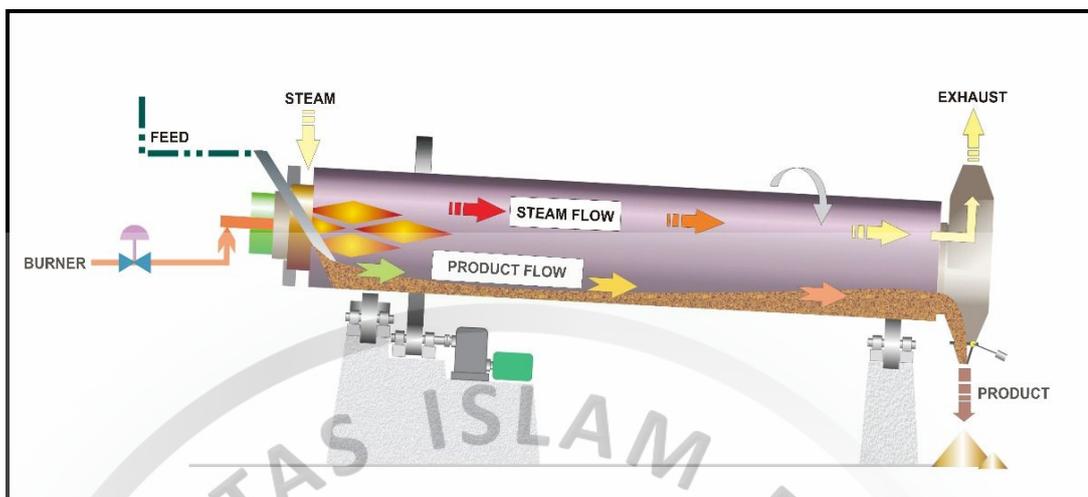
### 3.4 Peralatan Pembuatan Karbon Aktif

#### 3.4.1 *Rotary Kiln*

*Rotary kiln* adalah sejenis peralatan kalsinasi yang biasa digunakan dalam bahan bangunan, metalurgi, industri kimia dan industri perlindungan lingkungan. Selain kalsinasi tanah liat, batu kapur, terak, besi, aluminium, tembaga, seng, bijih besi, bahan konsentrat dan perantara, juga memiliki reaksi termal, pertukaran panas, degradasi dan pemanfaatan limbah dan fungsi lainnya. Ini terutama terdiri dari tubuh, perangkat penggerak, perangkat pendukung, roda penghalang, perangkat penyegelan kepala *kiln*, perangkat penyegelan *kiln tail* dan *kiln hood*.

*Rotary kiln* merupakan suatu silinder dengan kemiringan horizontal 3-4 % dan berputar 1-4 rev/min. Material masuk melalui ujung atas dan kemudian turun, arus material berlawanan dengan gas panas dari api yang berasal dari ujung bawah. Suhu material maksimal sekitar 1450°C, yang tercapai pada *burning zone*. Material di *burning zone* berupa semisolid dan akan memadat sempurna pada *cooling zone* (Taylor, 1997).

Bagian dalam *rotary kiln* dilapisi dengan batu tahan api untuk melindungi dinding *kiln*. Batu tahan api harus bersifat tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap perubahan suhu mendadak, tahan terhadap serangan kimia, tahan terhadap abrasi dan memiliki sifat *coatability* (Peray dan Waddell, 1972).



Sumber : Jurnal

**Gambar 3.4**  
**Bagian-Bagian Rotary Kiln**

Bagian-bagian *rotary kiln* seperti **Gambar 3.4** sebagai berikut :

1. *Burner*, merupakan peralatan yang memberi atau mengatur bahan bakar dan udara untuk terbakar untuk menghasilkan pembakaran yang bagus dan meningkatkan efisiensi pembakaran.
2. *Feed*, merupakan umpan yang diperlukan untuk menghasilkan produk.
3. *Steam*, merupakan uap air yang diperlukan untuk proses *rotary kiln*.
4. *Steam Flow*, komponen yang berfungsi untuk menghembuskan uap air untuk pembakaran di dalam ruang bakar.
5. *Product Flow*, merupakan produk yang terhembus oleh uap air menuju keluar.
6. *Exhaust*, merupakan komponen yang berfungsi untuk mengeluarkan udara keluar.
7. *Product*, merupakan komponen yang dihasilkan dari proses *rotary kiln*.

### 3.4.2 Fungsi Rotary Kiln

Fungsi utama dari proses pembakaran yang ada di *rotary kiln* adalah untuk membakar dan membentuk material menjadi produk *klinker*. Besarnya kalor yang dibutuhkan untuk pembakaran dan pembentukan ini sebanding dengan besarnya

massa material yang masuk ke dalam *kiln*. Dengan demikian besarnya pemakaian batubara sebanding dengan besarnya pemasukan *raw material* yang akan dibakar.

Pada kondisi di lapangan seringkali dijumpai suatu keadaan pada proses pembakaran di mana pemakaian bahan bakar lebih besar dibandingkan dengan pemasukan bahan baku, akibatnya kalor yang disuplai oleh pembakaran bahan bakar menjadi banyak yang terbuang ke gas buang, dinding *kiln*, dan kehilangan kalor yang tidak teramati. Oleh karena itu perlu adanya suatu analisis optimasi terhadap pemakaian bahan bakar yang dihubungkan dengan pemasukan bahan baku agar diperoleh kondisi proses dengan efisiensi yang tinggi. Untuk analisis tersebut perlu adanya suatu studi optimasi berdasarkan metode *heat balance* yang mengacu pada kondisi operasi sehingga diperoleh tingkat penghematan energi.

#### **3.4.3 Prinsip Kerja Rotary Kiln**

*Rotary kiln* merupakan bejana silinder yang diletakkan pada posisi horizontal dan sedikit miring, yang diputar perlahan pada porosnya. Material yang akan diolah dimasukkan ke bagian atas silinder. Karena *kiln* berputar, maka material secara bertahap bergerak menuju ujung bawah, dan tentunya akan mengalami sejumlah pengadukan dan pencampuran. Uap air melewati sepanjang *kiln*, kadang-kadang dalam arah yang searah dengan material yang diproses (*direct current*), tetapi biasanya dalam arah yang berlawanan (*counter current*). Api yang dihasilkan dari *burner pipe* atau *firing pipe* berperan seperti *bunsen burner* yang besar. Bahan bakar untuk pembakaran ini bisa berasal dari gas, minyak atau batubara bubuk, yang paling banyak dipakai adalah batubara bubuk.

#### **3.4.4 Boiler**

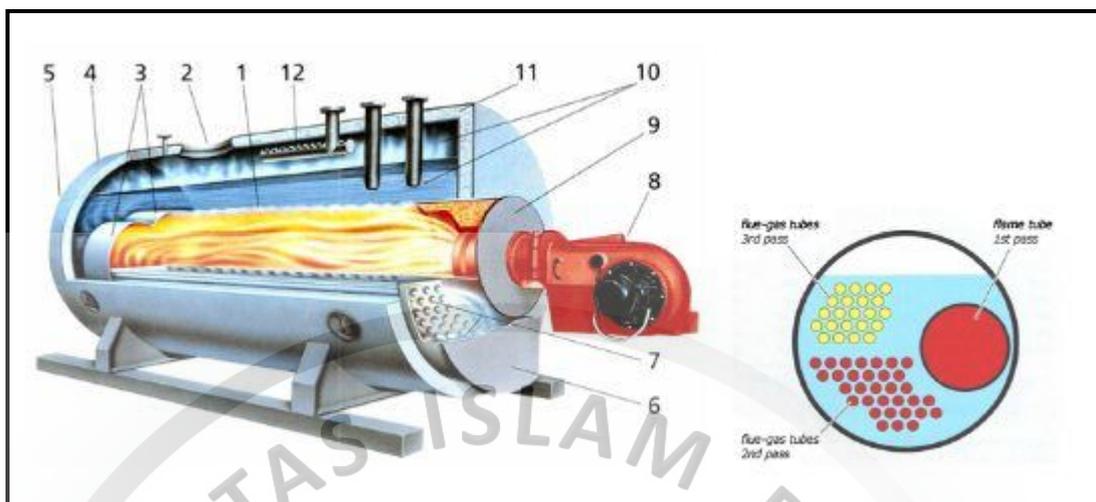
*Boiler* adalah suatu alat yang menghasilkan uap (*steam*) dari air dengan jalan pemanasan. *Steam* yang dihasilkan pada tekanan tertentu kemudian

digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Dengan adanya perubahan air menjadi *steam*. maka ada 3 hal yang perlu diperhatikan:

1. *Container* adalah tempat untuk memanaskan air menjadi uap air.
2. Air adalah bahan untuk membuat steam sesudah dipanaskan.
3. Panas adalah energi yang digunakan untuk merubah air menjadi *steam*.

Dengan memperhatikan ketiga hal tersebut diharapkan akan dihasilkan *steam* yang cukup, serta segala permasalahan misalnya masalah air yang akan merusak tempat karena korosi atau mengurangi efisiensi penyerapan panas akibat timbulnya kerak dapat diatasi dengan baik. Bahan bakar *boiler* bermacam-macam dari yang populer seperti batubara, bahan bakar minyak, gas, dan lain-lain. *Boiler* merupakan bagian terpenting dari penemuan mesin uap yang merupakan pemicu lahirnya revolusi industri.

*Boiler* merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan uap (*steam*) dalam berbagai keperluan. Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam *boiler*. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar.



Sumber : Jurnal

**Gambar 3.5**  
**Bagian-Bagian Boiler**

Bagian-bagian *boiler* seperti **Gambar 3.5** sebagai berikut :

1. *Flame tube* yang memiliki diameter besar yang akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. *Combustion chamber* memiliki dimensi yang berbeda-beda disesuaikan dengan jenis *boiler*.
2. *Man holes* dan lubang inspeksi untuk mengetahui kondisi *boiler* secara cepat seperti kondisi air.
3. *Wet-back* desain *boiler* dengan ruangan pembalik air dingin.
4. *Sight holes* untuk mengamati pembakaran *boiler* dari sisi belakang tabung.
5. *Safety flap* untuk menghindari kerusakan akibat pembakaran tidak sempurna.
6. Tempat pembersihan cepat.
7. Eksploitasi bahan bakar fase dua dan tiga yang akan mempengaruhi efisiensi pembakaran.
8. Lubang kaca untuk mengamati pembakaran dari sisi depan tabung.
9. Sirkulasi *natural air boiler*.
10. *Steady capacity* dan tekanan untuk ruang air dan uap.
11. *High grade insulation* untuk meminimalkan panas yang terbuang (*heat loss*).

12. *Steam drier*, permukaan evaporasi.

### 3.4.5 Fungsi *Boiler*

*Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. *Boiler* terdiri dari dua komponen utama yaitu :

1. Dapur (*furnace*), sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
2. Alat penguap (*evaporator*) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap.

Kedua komponen tersebut di atas telah dapat untuk memungkinkan sebuah *boiler* untuk berfungsi. Sedangkan komponen lainnya adalah :

1. Corong asap dengan sistem tarikan gas, asapnya memungkinkan dapur berfungsi secara efektif.
2. Sistem perpipaan, seperti pipa api pada *boiler* pipa api, pipa air pada *boiler* pipa air memungkinkan sistem penghantaran kalor yang efektif antara nyala api atau gas panas dengan air *boiler*.
3. Sistem pemanas uap lanjut, sistem pemanas udara pembakaran serta sistem pemanas air pengisi *boiler* berfungsi sebagai alat untuk menaikkan efisiensi *boiler*.

Agar sebuah *boiler* dapat beroperasi dengan aman, maka perlu adanya sistem pengamanan yang disebut apendasi.

### 3.4.6 Prinsip Kerja *Boiler*

Prinsip kerja *boiler* secara umum adalah perubahan dan pemindahan energi yang dikandung bahan bakar menjadi energi yang dikandung uap air. Proses pelepasan energi bahan bakar dilakukan dengan cara mereaksikan bahan bakar dengan oksigen yang diambil dari udara. Pencampuran antara unsur-unsur yang

dapat terbakar pada bahan bakar dengan oksigen akan menyebabkan terlepasnya energi yang dikandung bahan bakar. Energi tersebut akan menaikkan tingkat energi gas asap sehingga temperatur gas tersebut naik. Kenaikan temperatur gas yang tinggi menyebabkan terjadinya perpindahan energi panas baik radiasi maupun konveksi dari gas asap ke dinding air. Air tersebut diperlukan untuk menaikkan temperatur air menjadi uap.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem *boiler* memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem *boiler* mengenal keadaan tekanan temperatur rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan temperatur tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem *boiler* dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*). Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem *boiler* tersebut, yang memanfaatkan tekanan temperatur tinggi untuk membangkitkan energi listrik, kemudian sisa *steam* dari turbin dengan keadaan tekanan temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri dengan bantuan *heat recovery boiler*.