

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kopi

Kopi merupakan salah satu komoditi makanan yang sangat penting didunia dan menempati urutan kedua setelah *crude oil*. Tanaman ini biasanya dapat tumbuh di daerah tropikal dan subtropikal. Ada sekitar 60 negara sebagai penghasil kopi di dunia dan Indonesia menempati urutan keempat sebagai penghasil kopi terbanyak di dunia dengan produksi pertahunnya mencapai 686.763 ton (Ditjenbun, tahun 2007) . Pada tahun 2017, Sumatera Selatan merupakan provinsi yang berkontribusi paling banyak dalam produksi kopi Indonesia yaitu sebesar 18,11% (Badan Pusat Statistik, 2017).

Di Indonesia terdapat dua jenis kopi yang terkenal yaitu jenis arabika (*coffee arabica*) dan Robusta (*Coffee canephora*). Perbedaan antara kedua jenis kopi ini adalah terletak pada rasa, daerah tumbuh dan kandungan kafeinnya. Kopi Arabika biasanya ditanam pada daerah dataran tinggi sedangkan kopi Robusta biasanya ditanam pada daerah dataran rendah. Kopi Robusta biasanya dikatakan kopi kelas dua karna memiliki rasa yang lebih pahit, kandungan kafein yang tinggi dan rasanya sedikit asam tetapi kopi ini lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Sedangkan, kopi Arabika adalah jenis kopi nomor satu dimana kandungan kafeinnya lebih rendah dan tidak ada rasa asamnya.

Dipihak lain, dapat tumbuhnya tanaman kopi juga dipengaruhi oleh keadaan iklim daerah tersebut dimana antara kopi Arabika dan Robusta memiliki tipe iklim yang berbeda untuk pertumbuhannya. Persyaratan iklim untuk kopi Arabika adalah memiliki garis lintang 6-9 °LU sampai 24 °LS, tinggi tempat penanaman adalah 1250 sampai 1850 m dpl, curah hujan 1500 sampai 2500 mm/tahun dan suhu udara rata-rata 17 – 21 °C. Sedangkan persyaratan iklim untuk kopi Robusta adalah memiliki garis lintang 20 °LS sampai 20 °LU, tinggi tempat penanaman adalah 300 sampai 1500 mdpl, curah hujan 1500 sampai 2500 mm/tahun dan suhu rata-rata adalah 21 – 24 °C .

Kopi merupakan tanaman tahunan dengan pohon berbentuk semak tegak dengan tinggi antara 2 sampai 5 m. Pada pohon tersebut terdapat batang-batang yang agak tipis, tegak dan berjumbai. Daunnya berbetuk oval dengan panjang 10

sampai 15 cm dan lebarnya 4 sampai 6 cm. Warna daunnya adalah hijau tua dengan sedikit berkerut dipermukaannya. Pohon kopi mulai berbuah 5 sampai 7 tahun setelah ditanam. Buah kopi memiliki permukaan yang licin dan kulit buah ini keras. Biasanya buah muda berwarna hijau tetapi berubah menjadi merah saat masak.



Gambar 2.1. Pohon Kopi

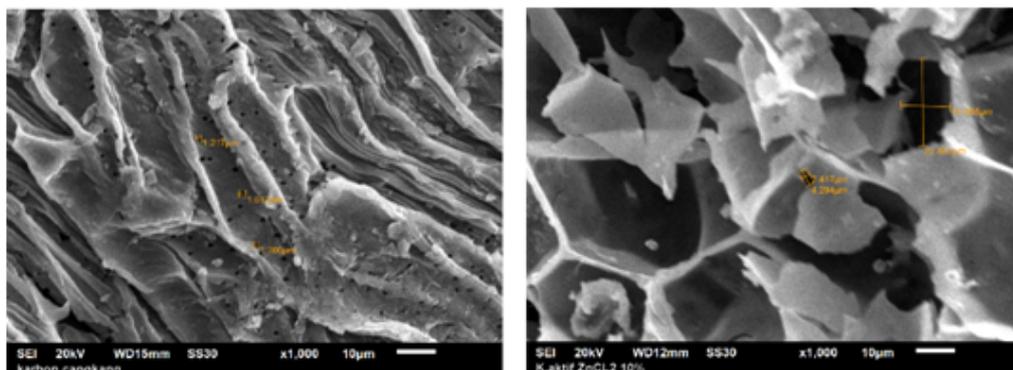
Sumber : Mustika Treisna, 2017

Dalam pemanfaatannya, bagian kopi yang digunakan adalah biji kopinya. Biji ini biasanya diolah sehingga nantinya akan bisa dikonsumsi secara langsung oleh manusia sebagai minuman. Bentuk olahan tersebut biasanya berbentuk seperti bubuk agar mudah dijual atau diekspor. Proses pengolahan biji kopi ini dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, biji kopi yang telah dipanen kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari selanjutnya secara mekanik biji kopi bisa dipisahkan dari kulit dan daging buahnya. Untuk proses basah, buah direndam didalam air dan nanti akan buah akan mengalami kerusakan sehingga biji bisa terpisah dari kulit dan daging buah. Dalam proses pengolahan buah kopi menjadi suatu bahan makanan yang akan dikonsumsi seperti minuman kopi, bagian buah yang diambil adalah biji kopinya.

Kulit kopi merupakan salah satu limbah perkebunan di Indonesia. Seperti yang kita ketahui bahwa Indonesia merupakan salah satu penghasil kopi terbesar di dunia. Hingga saat ini limbah industri kopi masih sangat kurang pemanfaatannya sehingga pemanfaatan limbah kopi memiliki potensi yang cukup

besar, khususnya untuk limbah kulit kopi. Kulit kopi dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Hal ini dapat dilihat dari kandungan karbon kulit kopi yang cukup besar, yaitu 45,3 % massa (Lia Indah Syafira, 2012).

Komposisi penyusun dari *skin*, *pulp*, *parchment* adalah karbohidrat (35%), protein (5,2%), fiber (30,8%) dan mineral (10,7%) sedangkan bagian *mucilage* mengandung air (84,2%), protein (8,9%), gula (4,1 %) dan abu (0,7%). Selain itu, limbah kulit biji kopi ini juga mengandung beberapa senyawa metabolit sekunder yaitu seperti dari kafein dan golongan polifenol. Dari beberapa penelitian, senyawa polifenol yang ada pada limbah ini adalah flavan-3-ol, asam hidroksinat, flavonol, antosianidin, katekin, epikatekin, rutin, tanin, asam ferulat (Esquivel, P & Jimenez V.M.2011).



(a)

(b)

Gambar 2.2. Foto morfologi permukaan menggunakan alat SEM:

(a) karbon, (b) karbon aktif menggunakan  $ZnCl_2$  10%, dengan pembesaran 1000x

Sumber: F.Redha dkk, 2018

Hasil analisis morfologi permukaan karbon aktif dari kulit kopi sebelum diaktivasi dan setelah aktivasi dengan menggunakan  $ZnCl_2$  menunjukkan permukaan adsorben yang telah diaktivasi terlihat lebih bersih jika dibandingkan dengan permukaan adsorben yang belum diaktivasi. Pada permukaan karbon yang belum diaktivasi, ukuran diameter pori berkisar antara 1,200-1,612  $\mu m$  dan untuk permukaan karbon aktif yang telah diaktivasi ukuran diameter pori *macropores* berkisar antara 12,806 - 22,801  $\mu m$  sedangkan ukuran *micropores* berkisar antara

2,417 - 4,294  $\mu\text{m}$  dan permukaan adsorben terlihat lebih kecil (F.Redha dkk, 2018).

## 2.2. Kalium Hidroksida

Kalium hidroksida merupakan senyawa anorganik dengan rumus kimia KOH. Lain halnya dengan Sodium Hidroksida, KOH merupakan basa kuat prototipikal dan banyak diaplikasikan didunia industri. KOH biasanya digunakan untuk mengeksploitasi kereaktifan terhadap asam dan sifat-sifat korosif pada bahan kimia. Pada tahun 2005, diperkirakan 700.000 hingga 800.000 ton KOH yang diproduksi.

Kalium hidroksida dapat ditemukan dalam bentuk murni, yaitu dengan mereaksikan natrium hidroksida dengan kalium murni. Kalium hidroksida bersifat higroskopis. Akibatnya, KOH mengandung berbagai jumlah air dan juga karbonat. Di dalam air, KOH bereaksi sangat eksotermik, yang berarti terjadi proses mengeluarkan panas yang signifikan. Bahkan pada suhu tinggi, KOH padat tidak mudah terdehidrasi.

KOH biasanya digunakan untuk mengeksploitasi kereaktifan terhadap asam dan sifat-sifat korosif pada bahan kimia. Pada tahun 2005, diperkirakan 700.000 hingga 800.000 ton KOH yang diproduksi. KOH dicatat sebagai prekursor untuk sabun yang paling lembut dan cair serta berbagai kalium yang mengandung bahan kimia.

Tabel 1. Sifat Fisika dan Kimia Kalium Hidroksida

Sifat fisika	Sifat kimia
Merupakan padatan	Bersifat korosif
Berwarna putih	Secara cepat menyerap air di udara
Titik didih 1320°C	Stabil pada suhu dan tekanan
	Standar
Berat molekul 56,10 g/mol	Bereaksi hebat dengan air
Tidak berbau	Tidak dapat terbakar

Sumber: Canna, 2016

## 2.3. Timbal (Pb)

Timbal atau plumbum dalam keseharian lebih dikenal dengan timah hitam merupakan logam yang lunak dan tahan terhadap korosi atau karat sehingga logam timbal sering digunakan sebagai bahan *coating* atau bahan pelapis. Timbal digunakan untuk berbagai kegunaan terutama sebagai bahan perpipaan, bahan aditif untuk bensin, baterai, pigmen dan amunisi.

Timbal bersifat toksik bagi semua organisme hidup, bahkan juga sangat berbahaya untuk manusia. Dalam badan perairan, konsentrasi Pb yang mencapai 188 mg/L dapat membunuh ikan-ikan. Keracunan timbal bersifat akut dan kronis. Hal itu disebabkan senyawa-senyawa Pb dapat memberikan racun terhadap banyak fungsi organ dan sistem saraf yang terdapat dalam tubuh (Palar, 1994).

Keracunan akut dapat terjadi jika Pb masuk dalam tubuh seseorang melalui makanan atau menghirup gas Pb dalam waktu relatif pendek dengan dosis atau kadar relatif tinggi. Pb bisa merusak jaringan saraf, fungsi ginjal, sistem reproduksi, sistem endokrin dan jantung, serta gangguan pada otak sehingga anak mengalami gangguan kecerdasan dan mental. Sedangkan paparan Pb secara kronis bisa mengakibatkan kelelahan lesu, gangguan iritabilitas, kehilangan libido, infertilitas pada laki-laki, gangguan menstruasi, depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu dan sulit tidur (Widowati dkk., 2008).

## **2.4. Adsorpsi**

### **2.4.1. Pengertian Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Zat yang diserap disebut fase terserap (adsorbat), sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Kecuali zat padat, adsorben dapat pula zat cair. Karena itu adsorpsi dapat terjadi antara : zat padat dan zat cair, zat padat dan gas, zat cair dan zat cair atau gas dan zat cair.

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut yang ada dalam larutan oleh permukaan benda atau zat penyerap. Adsorpsi adalah masuknya bahan yang mengumpul dalam suatu zat padat. Keduanya sering muncul bersamaan dengan suatu proses maka ada yang menyebutnya sorpsi. Baik adsorpsi maupun absorpsi sebagai sorpsi terjadi pada tanah liat maupun padatan lainnya, namun unit operasinya dikenal sebagai adsorpsi (Giyatmi, 2008: 101).

Menurut Sukardjo bahwa molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair, mempunyai gaya tarik ke arah dalam, karena tidak ada gaya-gaya yang mengimbangi. Adanya gaya-gaya ini menyebabkan zat padat dan zat cair, mempunyai gaya adsorpsi. Adsorpsi berbeda dengan absorpsi. Pada absorpsi zat yang diserap masuk ke dalam adsorben sedang pada adsorpsi, zat yang diserap hanya pada permukaan (Sukardjo, 2002).

Kebanyakan zat adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori yang sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar dari permukaan luar. Pemisahan terjadi karena perbedaan molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan yang lebih erat daripada molekul-molekul lainnya. Dalam kebanyakan hal, komponen yang diadsorpsi atau adsorbat melekat sedemikian kuat sehingga memungkinkan pemisahan komponen itu secara menyeluruh dari fluida tanpa terlalu banyak adsorpsi terhadap komponen yang lain. Regenerasi adsorben dapat dilaksanakan untuk mendapatkan adsorbat dalam bentuk terkonsentrasi atau hampir murni (Mc. Cabe, 1999).

Karbon aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing diberikatan secara kovalen, dengan demikian permukaan yang mana semakin kecil pori-pori karbon aktif mengakibatkan luas permukaan yang semakin besar sehingga kecepatan adsorpsi bertambah. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi dianjurkan agar menggunakan karbon aktif yang telah dihaluskan.

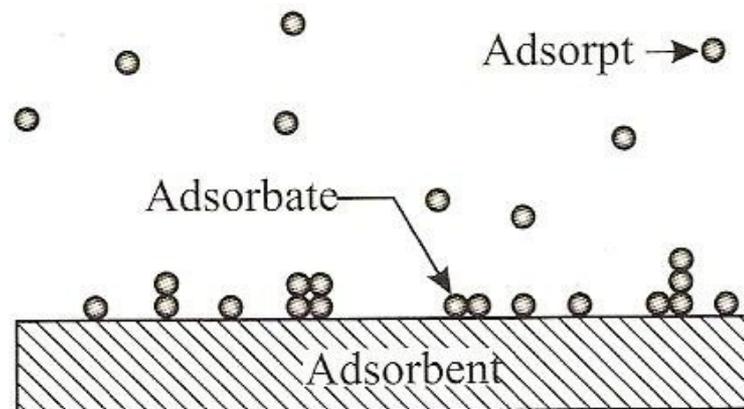
#### **2.4.2. Mekanisme Adsorpsi**

Mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu :

- Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar ke permukaan antara adsorben yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben.
- Molekul-molekul adsorben berpindah dari permukaan antara adsorben ke permukaan luar.
- Molekul-molekul adsorbat berpindah dari permukaan luar adsorben, dimana molekul tersebut menyebar menuju pori-pori adsorben.
- Molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan pori-pori

adsorben.

Sifat yang paling utama dari karbon aktif adalah kemampuannya untuk menyerap. Sifat ini didasari pada padatan sifat karbon aktif yang memiliki luas permukaan atau pori-pori yang besar. Daya serap karbon aktif erat hubungannya dengan sifat keaktifan karbon tersebut. Apabila suatu larutan terkontak dengan butiran karbon aktif yang berpori, maka molekul-molekul zat terlarut tertarik pada permukaan pori dan tertahan ditempat tersebut melauai gaya-gaya yang lemah.



Gambar 2.3. Mekanisme adsorpsi

Sumber : [addy rachmat, 2011](#)

Proses adsorpsi dibedakan menjadi 3 tahap :

1. Tahap Adsorpsi

Tahap dimana terjadi proses adsorpsi. *Adsorbate* tertahan pada permukaan adsorben (tertahannya gas atau uap atau molekul pada permukaan padatan). Pada proses adsorpsi umumnya dilakukan untuk senyawa organik dengan berat molekul (BM) lebih besar dari 46 dan dengan konsentrasi yang kecil.. Semakin besar BM maka proses adsorpsi akan semakin baik.

2. Tahap Desorpsi

Tahap ini merupakan kebalikan pada tahap adsorpsi, dimana *adsorbate* dilepaskan dari adsorben (lepasnya gas atau uap atau molekul pada permukaan padatan). Desorpsi dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya adalah :

- Meningkatkan temperature adsorben di atas temperature didih adsorben, dengan cara mengalirkan uap panas/ udara panas atau dengan pemansan.

- Menambahkan bahan kimia atau secara kimia
- Menurunkan tekanan

### 3. Tahap *Recovery*

Tahap ini merupakan tahap pengolahan dari gas, uap atau molekul yang telah di desorpsi, dimana *recovery* dapat di lakukan dengan :

- Kondensasi
- Dibakar
- Solidifikasi

### 2.4.3. Jenis Adsorpsi

Adsorpsi ada dua jenis, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia :

#### 1. *Physisorption* (adsorpsi fisika)

Terjadi karena gaya Van der Waals dimana ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. *Physisorption* ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relatif kecil. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol. Contoh : adsorpsi oleh arang aktif. Aktivasi arang aktif pada temperatur yang tinggi akan menghasilkan struktur berpori dan luas permukaan adsorpsi yang besar. Semakin besar luas permukaan, maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi.

#### 2. *Chemisorption* (Adsorpsi Kimia)

*Chemisorption* terjadi ketika terbentuknya ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. *Chemisorption* terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen), dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat. Contoh : *Ion exchange* (Atkin, 1999).

Jika adsorpsi kimia terjadi dengan aktivasi, misalnya laju adsorpsi merupakan fungsi dari temperature adsorpsi, maka adsorpsi ini disebut sebagai

adsorpsi kimia teraktifkan, sedangkan adsorpsi kimia tak teraktifkan adalah adsorpsi kimia yang terjadi sangat cepat, sehingga *energy* aktivasinya dianggap nol. Seperti yang telah dijelaskan diatas, bahwa adsorpsi secara fisika dan kimia berbeda antara satu sama lain, secara rinci perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Perbedaan Adsorpsi Secara Fisika dan Kimia

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya van der waals.	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia.
Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai -40 kJ/mol.	Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai -800 kJ/mol.
Dapat membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu dibawah titik didih adsorbat.	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi.
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat.	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat.
Tidak melibatkan energi aktivasi.	Melibatkan energi aktivasi tertentu.
Bersifat tidak spesifik.	Bersifat sangat spesifik.

Sumber: Atkin, 1999

#### 2.4.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi yaitu:

##### 1. Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik.

##### 2. Karakteristik Adsorben

Ukuran partikel merupakan syarat yang penting dari suatu arang aktif untuk digunakan sebagai adsorben. Ukuran partikel arang mempengaruhi kecepatan dimana adsorpsi terjadi. Kecepatan adsorpsi meningkat dengan menurunnya

ukuran partikel.

### 3. Luas Permukaan

Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter adsorben maka semakin luas permukaannya. Kapasitas adsorpsi total dari suatu adsorbat tergantung pada luas permukaan total adsorbennya.

### 4. Kelarutan Adsorbat

Agar adsorpsi dapat terjadi, suatu molekul harus terpisah dari larutan. Senyawa yang mudah larut mempunyai afinitas yang kuat untuk larutannya dan karenanya lebih sukar untuk teradsorpsi dibandingkan senyawa yang sukar larut. Akan tetapi ada perkecualian karena banyak senyawa yang dengan kelarutan rendah sukar diadsorpsi, sedangkan beberapa senyawa yang sangat mudah larut diadsorpsi dengan mudah.

### 5. Ukuran Molekul Adsorbat

Ukuran molekul adsorbat benar-benar penting dalam proses adsorpsi ketika molekul masuk ke dalam mikropori suatu partikel arang untuk diserap. Adsorpsi paling kuat ketika ukuran pori-pori adsorben cukup besar sehingga memungkinkan molekul adsorbat untuk masuk.

### 6. pH

pH pada proses adsorpsi terjadi menunjukkan pengaruh yang besar terhadap adsorpsi itu sendiri. Hal ini dikarenakan ion hidrogen sendiri diadsorpsi dengan kuat, sebagian karena pH mempengaruhi ionisasi dan karenanya juga mempengaruhi adsorpsi dari beberapa senyawa. Asam organik lebih mudah diadsorpsi pada pH rendah, sedangkan adsorpsi basa organik terjadi dengan mudah pada pH tinggi. pH optimum untuk kebanyakan proses adsorpsi harus ditentukan dengan uji laboratorium.

### 7. Temperatur

Temperatur pada proses adsorpsi akan mempengaruhi kecepatan dan jumlah adsorpsi yang terjadi. Kecepatan adsorpsi meningkat dengan meningkatnya temperatur, dan menurun dengan menurunnya temperatur.

## 2.4.5. Aplikasi Adsorpsi

### 1. Pemutihan gula tebu

Gula yg masih berwarna dilarutkan dalam air kemudian dialirkan melalau tanah diatomae dan arang tulang. Zat-zat warna dalam gula akan diadsorpsi sehinga diperoleh gula yang putih bersih.

## 2. Norit

Tablet yg terbuat dari karbon aktif norit. Di dalam usus norit membentuk sistem kolid yg dapat mengadsorpsi gas/zat racun.

## 3. Penjernihan air

Dengan menambahkan tawas/ Aluminium sulfat (akan terhidrolisis membentuk  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang berupa koloid). Koloid ini dapat mengadsorpsi zat-zat warna / zat pencemar dalam air.

## 2.5. Adsorben

Berdasarkan struktur penyusunannya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua, yaitu adsorben tak berpori dan adsorben berpori.

### 1. Adsorben tak berpori

Adsorben tak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti  $\text{BaSO}_4$  atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari  $10\text{m}^2/\text{g}$ . Umumnya luas permukaan spesifiknya antara  $0,1-1\text{ m}^2/\text{g}$ , bahan tak berpori seperti filter karet dan karbon hitam bergrafit adalah jenis adsorben tak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus, sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan  $\text{m}^2/\text{g}$ .

### 2. Adsorben berpori

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara  $10-100\text{ m}^2/\text{g}$ . Biasanya digunakan sebagai penyangga katalis, dehidratir dan penyeleksi komponen, umumnya berbentuk granular. Beberapa jenis adsorben berpori yang terkenal adalah: silika gel, alumina, karbon aktif, zeolit, dan *porous glasses*. Kebanyakan adsorben pada industri termasuk salah satu dari tiga kelas di bawah ini:

- a. Senyawa yang mengandung oksigen, bersifat hidrofilik dan polar, termasuk material seperti silika gel dan zeolit.
- b. Senyawa berbasis karbon, bersifat hidrofolik dan non polar, termasuk material seperti karbon teraktivasi dan grafit.
- c. Senyawa berbasis polimer, merupakan gugus fungsi polar dan non polar

didalam matriks polimer.

Kriteria kinerja adsorben dapat dilihat dari parameter berikut :

- a. Selektivitas tinggi
- b. Kapasitas adsorpsi besar
- c. Kinetika adsorpsi cepat
- d. Mudah diregenerasi
- e. Kekuatan mekanik tinggi
- f. Murah

Untuk mencapai kinerja diatas, adsorben harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Volume pori internal besar
- b. Luas permukaan besar
- c. Distribusi pori
- d. Ikatan adsorbat dan adsorben lemah (Adsorpsi fisika)
- e. Stabil secara mekanik

## **2.6. 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).

### **2.6.1. Fungsi Karbon Aktif**

Pada umumnya karbon/arang aktif digunakan sebagai bahan pembersih, dan penyerap, juga digunakan sebagai bahan pengemban katalisator. Pada industri karet ban arang aktif yang mempunyai sifat radikal dan serbuk sangat halus, digunakan sebagai bahan aditif kopolimer.

1. Karbon aktif berfungsi sebagai filter untuk menjernihkan air
2. Karbon aktif berfungsi sebagai adsorben pemurnian gas
3. Karbon aktif berfungsi sebagai filter industri minuman
4. Karbon aktif berfungsi sebagai penyerap hasil tambang dalam industri pertambangan.

5. Karbon aktif berfungsi sebagai pemucat atau penghilang warna kuning pada gula pasir.
6. Karbon aktif berfungsi untuk mengolah limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya)
7. Dapat berfungsi sebagai penyegar/pembersih udara ruangan dari kandungan uap air.

### 2.6.2. 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.

Tabel 3. Syarat Mutu Karbon Aktif (SNI. 06-3730-1995)

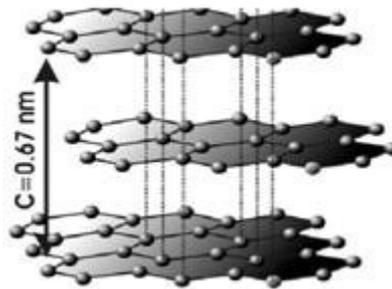
No	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	%	Max 15	Max 25
2	Kadar air	%	Max 4,5	Max 15
3	Kadar abu	%	Max 2,5	Max 10
4	Bagian yang tidak mengarang		Tidak ternyata	Tidak ternyata
5	Daya serap terhadap larutan I <sub>2</sub>	mg/gr	Min 750	Min 750
6	Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65
7	Daya serap benzena	%	Min 25	-
8	Daya serap Methylen blue	mg/gr	Min 60	Min 120
9	Berat jenis curah	g/mL	0,45 - 0,55	0,3 - 0,35
10	Lolos mesh 325	%	-	Min 90

11	Jarak mesh	%	90	-
12	Kekerasan		80	-

Sumber : Standar Nasional Indonesia (SNI), 1995

### 2.6.3. Struktur Fisika dan Kimia Karbon Aktif

Karbon aktif mempunyai bentuk yang *amorf* yang terdiri dari pelat-pelat datar di mana atom-atom karbonnya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Hal tersebut telah dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit.

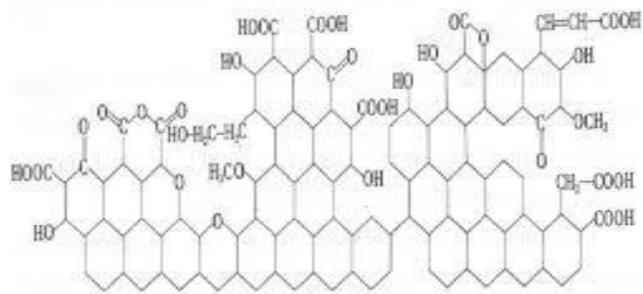


Gambar 2.4. Struktur fisika karbon aktif

Sumber: Sontheimer, 1985

Daerah kristalin memiliki ketebalan 0,7-1,1 nm, jauh lebih kecil dari grafit. Hal ini menunjukkan adanya 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20-30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristal-kristal karbon diisi oleh karbon-karbon amorf yang berikatan secara tiga dimensi dengan atom-atom lainnya terutama oksigen. Susunan karbon yang tidak teratur ini diselingi oleh retakan-retakan dan celah yang disebut pori dan kebanyakan berbentuk silindris.

Selain mengandung karbon, karbon aktif juga mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, *lakton*, *quinon*, dan gugus-gugus eter. Gugus fungsional dibentuk selama proses aktivasi oleh interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Gugus fungsional ini membuat permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Ilustrasi struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.5. Struktur Kimia Karbon Aktif

Sumber : Sudibandriyo, 2003

#### 2.6.4. Faktor yang Mempengaruhi Daya Serap Karbon Aktif

##### 1. Sifat Serapan

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

##### 2. Temperatur

Dalam pemakaian arang aktif dianjurkan untuk mengamati temperatur pada saat berlangsungnya proses. 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.

##### 3. 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 sebagai akibat terbentuknya garam.

##### 4. Waktu Kontak

Bila arang aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan

jumlah arang yang digunakan. Pengadukan juga mempengaruhi waktu kontak. Pengadukan dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel arang aktif untuk berkontak dengan senyawa serapan. Untuk larutan yang mempunyai viskositas tinggi, dibutuhkan waktu kontak yang lebih lama.

#### **2.6.5. Proses Pembuatan Karbon Aktif**

##### **1. Dehidrasi**

Dehidrasi ialah proses penghilangan kandungan air didalam bahan baku dengan cara pemanasan didalam oven dengan temperatur 170 °C. Pada suhu sekitar 275 °C terjadi dekomposisi karbon dan terbentuk hasil seperti tar, methanol, fenol dan lain-lain. Hampir 80% unsur karbon yang diperoleh pada suhu 400-600 °C (Cerny, 1970).

##### **2. Karbonisasi**

Karbonisasi adalah suatu proses dimana unsur-unsur oksigen dan hidrogen dihilangkan dari karbon dan akan menghasilkan rangka karbon yang memiliki struktur tertentu. Hesseler berpendapat bahwa untuk menghasilkan arang yang sesuai untuk dijadikan karbon aktif, karbonisasi dilakukan pada temperatur lebih dari 400 °C akan tetapi hal itu juga tergantung pada bahan dasar dan metoda yang digunakan pada aktivasi. Smisek dan Cerny, menjelaskan bahwa saat karbonisasi terjadi beberapa tahap yang meliputi penghilangan air atau dehidrasi, perubahan bahan organik menjadi unsur karbon dan dekomposisi tar sehingga pori-pori karbon menjadi lebih besar.

Produk dari hasil proses karbonisasi memiliki daya adsorpsi yang kecil. Hal ini disebabkan pada proses karbonisasi suhunya rendah, sebagian dari tar yang dihasilkan berada dalam pori dan permukaan sehingga mengakibatkan adsorpsi terhalang. Produk hasil karbonisasi dapat diaktifkan dengan cara mengeluarkan produk tar melalui pemanasan dalam suatu aliran gas inert, atau melalui ekstraksi dengan menggunakan pelarut yang sesuai misalnya selenium oksida, atau melalui sebuah reaksi kimia. Karbon aktif dengan daya adsorpsi yang besar, dapat dihasilkan oleh proses aktivasi bahan baku yang telah dikarbonisasi dengan suhu tinggi (Hassler, 1951).

##### **3. Aktivasi**

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, 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.

Aktivasi dapat berupa aktivasi fisik dimana digunakan gas-gas inert seperti uap air (steam),  $\text{CO}_2$  dan  $\text{N}_2$ . sedangkan pada aktivasi kimia, digunakan aktivator yang berperan penting untuk meningkatkan luas permukaan adsorben dengan cara

menngusir senyawa non karbon dari pori-pori. (Hassler, 1951).

### **2.7. Spektrofotometri Serapan Atom (AAS)**

Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Metode serapan atom hanya tergantung pada perbandingan dan tidak bergantung pada temperatur. Spektrofotometri serapan atom (AAS) adalah suatu metode analisis yang didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar (ground state). Penyerapan tersebut menyebabkan tereksitasinya elektron dalam kulit atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Keadaan ini bersifat labil, elektron akan kembali ke tingkat energi dasar sambil mengeluarkan energi yang berbentuk radiasi.

Dalam AAS, atom bebas berinteraksi dengan berbagai bentuk energi seperti energi panas, energi elektromagnetik, energi kimia dan energi listrik. Interaksi ini menimbulkan proses-proses dalam atom bebas yang menghasilkan absorpsi dan emisi (pancaran) radiasi dan panas. Radiasi yang dipancarkan bersifat khas karena mempunyai panjang gelombang yang karakteristik untuk setiap atom bebas.

Adanya absorpsi atau emisi radiasi disebabkan adanya transisi elektronik yaitu perpindahan elektron dalam atom, dari tingkat energi yang satu ke tingkat energi lain. AAS menganut hukum Lambert Beer sama seperti spektrofotometer UV/Vis. Cara perhitungannya pun sama, yaitu dengan membuat deret standar dan setelah ditetapkan harga absorbansi atau % transmisinya, kemudian dibuat grafik. Pada AAS umumnya pencatatan hasil analisis memakai sistem digital atau dapat dipakai rekorder atau komputer. Bila dipakai rekorder dengan memprogramkan tinggi puncak salah satu deret standar, maka untuk mengetahui kepekatan (ppm) contoh yaitu dengan membandingkan tinggi puncak dari contoh dan deret standar.

**Proses Emisi**

Proses yang terjadi karena atom menerima energi pengekstasi dalam bentuk energi panas dinyala, sebagian dari energi tersebut digunakan untuk mengekstasi atom. Dalam ekstasi, atom mengalami perpindahan ke tingkat yang lebih tinggi lalu pada saat atom tersebut kembali ke keadaan dasar terjadi pelepasan energi yang berbentuk gelombang elektromagnetik berupa sinar emisi yang akan

dipancarkan ke segala arah sehingga intensitas sinar yang sampai ke detektor hanya sebagian kecil saja.

### **Proses Absorpsi**

Proses absorpsi terjadi karena seberkas sinar dengan panjang gelombang tertentu melewati media pengabsorpsi yang terdiri dari atom. Atom yang mengabsorpsi energi cahaya tersebut akan mengubah atom menjadi atom yang tereksitasi, sedangkan energi yang tidak diserap akan ditransmisikan.

#### Atomisasi

Ada tiga cara atomisasi (pembentukan atom) dalam AAS :

##### 1. Atomisasi dengan nyala

Suatu senyawa logam yang dipanaskan akan membentuk atom logam pada suhu  $\pm 1700$  °C atau lebih. Sampel yang berbentuk cairan akan dilakukan atomisasi dengan cara memasukan cairan tersebut ke dalam nyala campuran gas bakar. Tingginya suhu nyala yang diperlukan untuk atomisasi setiap unsur berbeda.

Beberapa unsur dapat ditentukan dengan nyala dari campuran gas yang berbeda tetapi penggunaan bahan bakar dan oksidan yang berbeda akan memberikan sensitivitas yang berbeda pula. Syarat-syarat gas yang dapat digunakan dalam atomisasi dengan nyala:

- Campuran gas memberikan suhu nyala yang sesuai untuk atomisasi unsur yang akan dianalisa
- Tidak berbahaya misalnya tidak mudah menimbulkan ledakan.
- Gas cukup aman, tidak beracun dan mudah dikendalikan
- Gas cukup murni dan bersih (UHP)

Campuran gas yang paling umum digunakan adalah Udara : C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (suhu nyala 1900 – 2000 °C), N<sub>2</sub>O : C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (suhu nyala 2700 – 3000 °C), Udara : propana (suhu nyala 1700 – 1900 °C). Banyaknya atom dalam nyala tergantung pada suhu nyala. Suhu nyala tergantung perbandingan gas bahan bakar dan oksidan. Hal-hal yang harus diperhatikan pada atomisasi dengan nyala :

1. Standar dan sampel harus dipersiapkan dalam bentuk larutan dan cukup stabil. Dianjurkan dalam larutan dengan keasaman yang rendah untuk mencegah korosi.
2. Atomisasi dilakukan dengan nyala dari campuran gas yang sesuai dengan unsur yang dianalisa.
3. Persyaratan bila menggunakan pelarut organik :
  - Tidak mudah meledak bila kena panas
  - Mempunyai berat jenis  $> 0,7 \text{ g/mL}$
  - Mempunyai titik didih  $> 100 \text{ }^\circ\text{C}$
  - Mempunyai titik nyala yang tinggi
  
  - Tidak menggunakan pelarut hidrokarbon

### **Pemilihan Nyala**

Dalam analisis AAS biasanya ada empat jenis nyala yang didasarkan pada sifat-sifat unsur karena dari keempat jenis nyala tersebut selain berbeda dalam suhu nyala juga berbeda dalam daya pereduksi, transmitans, dsb. Keempat nyala tersebut yaitu :

- a. Nyala Udara-Asetilen  
Untuk analisis aas yang paling sesuai dan paling umum digunakan adalah nyala udara asetilen. Akan tetapi unsur-unsur yang oksidanya mempunyai energi disosiasi tinggi tidak mungkin dianalisis dengan nyala ini karena pada suhu rendah akan menghasilkan sensitivitas yang rendah. Nyala udara-asetilen mempunyai transmitansi rendah pada daerah panjang gelombang yang pendek ( ultraviolet).
- b. Nyala N<sub>2</sub>O-Asetilen  
Suhu nyala ini sangat tinggi karena dinitrogen oksida mempunyai daya pereduksi yang kuat sehingga N<sub>2</sub>O asetilen dapat digunakan untuk analisis yang unsur-unsurnya sulit diuraikan atau sulit dianalisis dengan nyala lain. Jika unsur-unsur yang sesuai dengan nyala udara-asetilen dilakukan analisis dengan nyala ini maka sensitivitasnya akan menurun, hal ini disebabkan oleh jumlah atom dalam keadaan terionisasi bertambah sedangkan atom-atom dalam keadaan dasar menurun dan jumlah atom-atom yang terurai akan terionisasi lebih lanjut oleh kenaikan suhu
- c. Nyala Udara-Hidrogen  
Dibandingkan dengan nyala udara asetilen nyala ini mempunyai transmitansi yang baik pada daerah panjang gelombang pendek yaitu untuk analisis

spektrum pada daerah 230 nm. Nyala udara ini efektif untuk analisis unsur Pb, Cd, Sn, dan Zn selain sesuai nyala ini mempunyai sensitivitas yang tinggi dengan unsur diatas. Tetapi nyala ini lebih rendah sedikit daripada nyala udara-asitilen sehingga cenderung lebih banyak mengakibatkan interferensi.

d. Nyala Argon-Hidrogen

Nyala ini mempunyai transmittansi yang lebih baik daripada nyala udara-hidrogen pada daerah panjang gelombang pendek, nyala ini sesuai untuk analisis unsur As (192,7 nm) dan Se (196 nm). Akan tetapi karena suhu nyala yang sangat rendah memungkinkan adanya interferensi yang besar.

2. Atomisasi tanpa nyala

Atomisasi tanpa nyala dilakukan dengan mengalirkan energi listrik pada batang karbon (CRA – Carbon Rod Atomizer) atau tabung karbon (GTA – Graphite Tube Atomizer) yang mempunyai 2 elektroda. Sampel dimasukkan ke dalam CRA atau GTA. Arus listrik dialirkan sehingga batang atau tabung menjadi panas (suhu naik menjadi tinggi) dan unsur yang dianalisa akan teratomisasi. Suhu dapat diatur hingga 3000 °C. pemanasan larutan sampel melalui tiga tahapan yaitu:

- Tahap pengeringan (*drying*) untuk menguapkan pelarut
- Pengabuan (*ashing*), suhu furnace dinaikkan bertahap sampai terjadi dekomposisi dan penguapan senyawa organik yang ada dalam sampel sehingga diperoleh garam atau oksida logam
- Pengatoman (*atomization*)

3. Atomisasi dengan pembentukan senyawa hidrida

Atomisasi dengan pembentukan senyawa hidrida dilakukan untuk unsur As, Se, Sb yang mudah terurai apabila dipanaskan pada suhu lebih dari 800 °C sehingga atomisasi dilakukan dengan membentuk senyawa hibrida berbentuk gas atau yang lebih terurai menjadi atom-atomnya melalui reaksi reduksi oleh  $\text{SnCl}_2$  atau  $\text{NaBH}_4$ , contohnya merkuri (Hg).

Keuntungan metoda AAS adalah:

1. Spesifik
2. Kepekaan lebih tinggi
3. Batas (limit) deteksi rendah
4. Dapat mengukur beberapa unsur berlainan dari larutan yang sama
5. Pengukuran dapat langsung dilakukan terhadap larutan contoh karena preparasi contoh lebih sederhana dan sistemnya relatif mudah.

Kekurangan metoda AAS adalah :

1. Dibutuhkn suatu lampu katoda berongga sebagai sumber nyala untuk setiap unsur.
2. Ditemukan adanya beberapa gangguan yaitu : gangguan spektral, kimia dan fisika.