

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Adsorpsi merupakan proses dimana lebih dari satu unsur-unsur pokok dari suatu larutan akan lebih terkonsentrasi pada bagian permukaan suatu padatan (adsorben). Dengan metode adsorpsi, komponen-komponen yang terkandung dalam suatu larutan, baik itu dari larutan gas bahkan cairan bisa dipisahkan satu sama lain. Adsorben yang paling sering digunakan untuk menyerap logam berat ialah arang aktif. Arang aktif merupakan suatu padatan yang memiliki pori berasal dari bahan yang mengandung karbon dengan menggunakan pemanasan pada suhu tinggi. Semakin luas permukaan arang aktif maka daya adsorpsinya semakin tinggi (Sudibandriyo, 2003). Bahan baku yang dari asal bahan organik bisa dibuat sebagai arang aktif sebab mengandung karbon. Ampas kopi merupakan bahan yang ekonomis serta praktis didapatkan dan termasuk pada bahan organik yang bisa dibuat menjadi arang aktif untuk digunakan menjadi adsorben atau bahan menyerap.

#### 2.1 Kopi

Kopi adalah suatu komoditas di dunia yang dibudidayakan berasal dari 50 negara. Konsumsi kopi global mencapai 70% dari spesies kopi arabika dan 26% dari spesies robusta. Kopi merupakan famili dari Rubiaceae genus Coffea. Sudah terdapat 80 spesies kopi diidentifikasi di dunia namun kopi yang sering diproduksi dan dikonsumsi oleh masyarakat dunia merupakan kopi robusta dan arabika (Farah A, 2012). Kandungan kimia pada kopi adalah sebagai berikut;

**Tabel 2.1** Kandungan Kimia yang Terdapat pada Biji Kopi Arabika dan Robusta

Komponen	Konsentrasi (g/100g)		Konsentrasi (g/100g)	
	Green Coffee Arabica	Roasted Coffea Arabica	Green Coffee Canephora	Roasted Coffee Canephora
Sukrosa	6 – 9	4,2 – tr	0,9 – 4	1,6 – tr
Gula Pereduksi	0,1	0,3	0,4	0,3

**Tabel 2.1** Kandungan Kimia yang Terdapat pada Biji Kopi Arabika dan Robusta (Lanjutan)

Komponen	Konsentrasi (g/100g)		Konsentrasi (g/100g)	
	Green Coffee Arabica	Roasted Coffea Arabica	Green Coffee Canephora	Roasted Coffee Canephora
Polisakarida	34 – 44	31 – 33	48 – 55	37
Lignin	3	3	3	3
Pectin	2	2	2	2
Protein	10 – 11	7,5 – 10	10 – 11	7,5 – 1
Asam Amino Bebas	0,5	Tidak terdeteksi	0,8 – 1	Tidak terdeteksi
Kafein	0,9	1,1 – 1,3	1,5 – 2,5	2,4 – 2,5
Trigonelline	0,6 – 2	1,2 – 0,2	0,6 – 0,7	0,7 – 0,3
Asam Nikotinic	-	0,016 – 0,026	-	0,014 – 0,025
Minyak kopi (trigliserida, sterol/ tocopherol)	15 – 17	17	7 – 10	11
Diterpen	0,5 – 1,2	0,9	0,2 – 0,8	0,2
Mineral	3 – 4,2	4,5	4,4 – 4,5	47
Asam Klorogenat	4,1 – 7,9	1,9 – 2,5	6,1 – 11,3	3,3 – 3,8
Asam Alifatik	1	1,6	1	1,6
Asam Quinic	0,4	0,8	0,4	1

Sumber: Farah A, 2012

Menurut Mabrouk dan Deatherage (1985), senyawa yang membentuk aroma dan rasa pada kopi yaitu golongan;

1. Golongan fenol dan asam tidak mudah menguap yaitu asam kofeat, asam klorogenat, asam ginat dan riboflavin.
2. Golongan senyawa karbonil yaitu asetaldehid, propanon, alkohol, vanilin aldehyd.
3. Golongan senyawa karbonil asam yaitu oksasuksinat, aseto asetat, hidroksi pirufat, keton kaproat, oksalasetat, mekoksalat, dan merkaptopiruvat.
4. Golongan asam amino yaitu leusin, iso leusin, variline, hidroksiproline alanin, threonin, glisin dan asam aspartat.
5. Golongan asam mudah menguap yaitu asam asetat, propionat, butirrat dan volerat.

Asam klorogenat terdekomposisi bertahap seiring dengan pembentukan aroma volatil dan senyawa melanoidin, dan terlepas sebagai CO<sub>2</sub>. Senyawa yang menyebabkan rasa sepat atau rasa asam seperti tanin dan asam asetat akan hilang dan sebagian lainnya akan

bereaksi dengan asam amino membentuk senyawa melanoidin yang memberikan warna cokelat. Sifat fisik dan kimia akan terjadi perubahan selama proses penyangraian seperti *swelling*, penguapan air, terbentuknya senyawa *volatile*, karamelisasi karbohidrat, pengurangan serat kasar, denaturasi protein, terbentuknya gas menjadi hasil oksidasi dan terbentuknya aroma karakteristik pada kopi.

Kopi bubuk adalah biji kopi yang telah disangrai, digiling atau ditumbuk sehingga mempunyai bentuk halus (Hayati, 2006). Kunci dari proses produksi kopi serbuk adalah penyangraian karena ini adalah tahap pembentukan aroma dan cita rasa khas dari biji kopi menggunakan suhu tinggi. Sesuai suhu *roasting* (penyaringan) yang digunakan kopi dibedakan atas tiga golongan, yaitu *light roast* (suhu yang digunakan kurang lebih 193<sup>0</sup>C hingga 199<sup>0</sup>C) yang mampu mengurangi kadar air 3% - 5%, *medium roast* dengan suhu yang digunakan 204<sup>0</sup>C sehingga mampu mengurangi kadar air sekitar 5% - 8%, dan golongan yang ketiga adalah *dark roast* suhu yang digunakan 213<sup>0</sup>C sampai 221<sup>0</sup>C yang mampu mengurangi kadar air pada kopi sekitar 8% - 14%. Biji kopi dengan penyangraian gelap (*dark roast*) menghasilkan warna biji kopi makin hitam karena senyawa hidrokarbon terpirolisis menjadi unsur karbon sedangkan senyawa gula mengalami karamelisasi (Fernianti D, 2013).

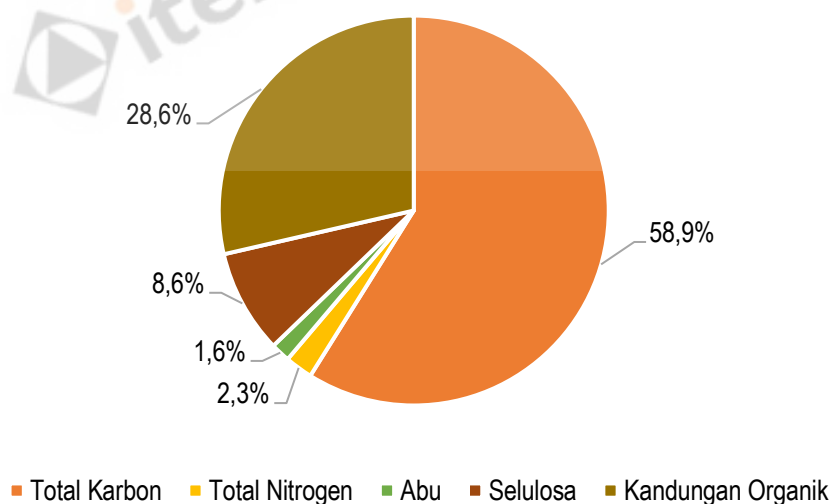
## 2.2 Ampas Kopi

Ampas kopi yang berasal dari restoran atau limbah industri kopi merupakan salah satu dari beberapa limbah argoindustri. Jumlah limbah yang dihasilkan cukup besar sehingga memerlukan alternatif dalam menanggulangi limbah atau ampas kopi tersebut. Ampas kopi dalam jumlah cukup banyak tersebut sebagian kecil dimanfaatkan penggunaannya untuk pakan ternak atau penambah nutrisi untuk tanaman. Namun di beberapa daerah, limbah kopi dibakar dilapangan terbuka atau dibiarkan begitu saja sehingga menimbulkan polusi baik udara maupun tanah dan menjadi limbah biomassa yang sangat perlu diperhatikan

Ampas kopi mempunyai banyak manfaat, terutama bagi tumbuhan yaitu dapat menambah asupan Nitrogen, Fosfor dan Kalium (NPK) yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga dapat menyuburkan tanah. Ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik

karena mengandung mineral, karbohidrat, membantu terlepasnya nitrogen sebagai nutrisi tanaman, dan ampas kopi bersifat asam sehingga menurunkan pH tanah (Yunus, 2010). Ampas kopi mempunyai kandungan organik tinggi seperti karbohidrat, protein, serat, kafein, polifenol, tanin, dan pektin, Ampas kopi cocok digunakan sebagai bahan baku pembuatan pakan hewan ternak dan pupuk organik serta dapat digunakan menjadi bahan baku potensial untuk menghasilkan produk yang berguna seperti enzim, asam organik, rasa serta senyawa beraroma.

Kandungan ampas kopi yang meliputi total karbon sebesar 47,8 – 58,9 %, total nitrogen sebesar 1,9 – 2,3 %, abu sebesar 0,43 – 1,6 % selulosa 8,6% dan sisanya kandungan organik (Baryatik P, 2016). Ampas kopi memiliki zat organik dengan konsentrasi tinggi dan pH yang tinggi, salah satu aplikasi terbaik dari limbah ampas kopi dengan menjadikannya sebagai bahan bakar karena mempunyai nilai kalor 20,9 MJ/kg pada kondisi kering dan 14,6 MJ/kg dalam kondisi basah (Basu P dkk, 2012). Sumber karbon pada ampas kopi cukup tinggi serta hampir sama dengan berbagai limbah hasil pertanian yang dijadikan produk baru untuk dimanfaatkan menjadi bahan bakar biomassa rumah tangga maupun pabrik ramah lingkungan. Berikut diagram dari kandungan kimia ampas kopi;



**Gambar 2. 1** Kandungan Kimia dari Ampas Kopi

(Baryatik P, 2016)

### 2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu bahan sejenis adsorben (penyerap) berwarna hitam, memiliki bentuk granular, butir maupun serbuk yang memiliki luas permukaan sangat besar yaitu sekitar 200 hingga 2000 m<sup>2</sup>/g. Karbon aktif adalah salah satu adsorben yang seringkali digunakan pada proses adsorpsi (penyerapan). Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki daya adsorpsi serta luas permukaan yang sangat efektif dibandingkan adsorben lainnya. Luas permukaan yang besar ini dikarenakan karbon aktif memiliki struktur pori-pori. Pori-pori inilah yang menyebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap (Sudibandriyo, 2003).

Berdasarkan hasil analisis Energy Dispersive X-ray (EDX) jenis dan komposisi senyawa pada karbon aktif (Tabel 2.2).

**Tabel 2.2** Jenis dan Komposisi Senyawa pada Karbon Aktif

Senyawa	Komposisi (%)
C	77,37
Na <sub>2</sub> O	1,35
MgO	0,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,95
SiO <sub>2</sub>	5,39
Cl	0,30
CaO	1,68
TiO <sub>2</sub>	0,15
FeO	2,81
CuO	5,48
K <sub>2</sub> O	1,83

*Sumber : Haryono, dkk, 2012*

Bahan baku yang berasal dari hewan, tanaman, limbah ataupun mineral yang memiliki kandungan karbon bisa dibuat menjadi karbon aktif yaitu melalui proses pembakaran secara karbonisasi (aktivasi). Dari semua bahan yang mengandung unsur karbon dalam tempat tertutup dan dioksidasi/diaktifkan dengan udara atau uap untuk menghilangkan hidrokarbon yang akan menghalangi/mengganggu penyerapan zat organik. Bahan tadi diantaranya tulang, kayu lunak atau keras, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, serta batubara.

Karbon aktif memiliki luas permukaan serta ukuran pori yang berbeda untuk setiap jenisnya. Ukuran pori karbon aktif biasa dinyatakan dalam ukuran mesh. Luas permukaan dan ukuran pori ini sangat menentukan proses adsorpsi yang mungkin terjadi. Semakin besar luas permukaan suatu karbon aktif, maka semakin besar juga daya adsorpsinya terhadap molekul. Ukuran pori pada karbon aktif menentukan dapat masuk atau tidaknya suatu molekul terhadap pori tersebut. Jika ukuran pori karbon aktif yang tersedia lebih kecil dibandingkan ukuran molekul yang akan diadsorpsi, maka proses adsorpsi tidak dapat terjadi karena molekul tidak bisa masuk ke dalam pada pori karbon aktif.

Persyaratan mutu karbon aktif menurut SNI No. 06-3730-1995 terlihat pada Tabel 2.3 untuk mengetahui mutu dari karbon aktif dapat dilihat dari beberapa jenis uji yaitu kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon tertambat dan daya serap terhadap I<sub>2</sub>.

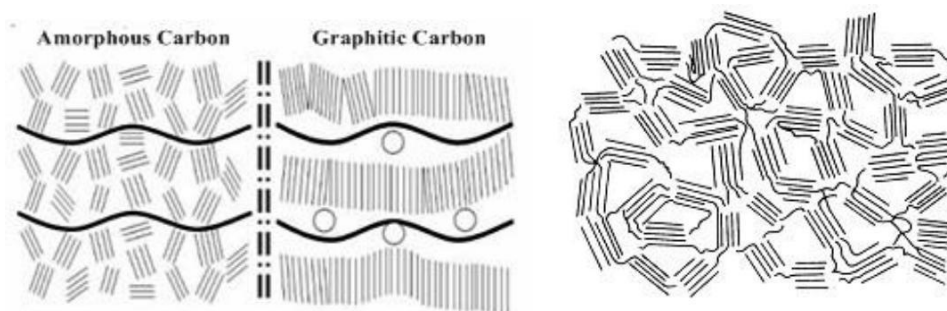
**Tabel 2.3** Persyaratan Mutu Karbon Aktif Menurut SNI No. 06-3730-1995

Jenis Uji	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Kadar air	Mak. 4,5%	Mak. 15%
Kadar abu	Mak. 2,5%	Mak. 10%
Kadar zat terbang	Mak. 15%	Mak. 25%
Kadar karbon tertambat	Min. 80%	Min. 65%
Daya serap terhadap I <sub>2</sub>	Min. 750 mg/g	Min. 750 mg/g

Sumber : Departemen Perindustrian dan Perdagangan, 2003

### 2.3.1 Struktur Fisik Karbon Aktif

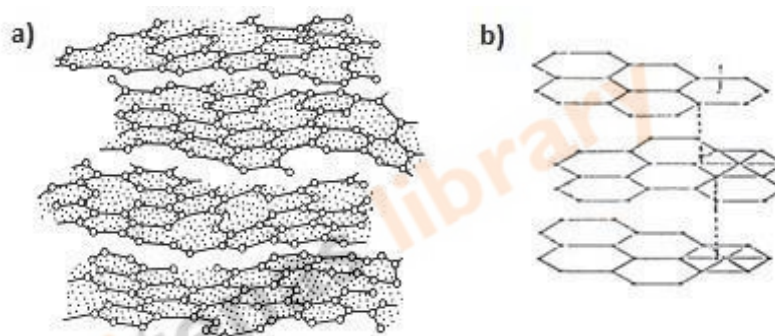
Struktur dasar karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrokristalin). Karbon aktif memiliki bentuk *amorf* yang tersusun atas lapisan bidang datar dimana atom-atom karbon tersusun dan terikat secara kovalen dalam tatanan atom-atom heksagonal. Gambar 2.2 menunjukkan skema struktur karbon aktif. Setiap garis pada Gambar 2.2 menunjukkan lapisan atom-atom karbon yang berbentuk heksagonal dan adanya mikrokristalin dengan struktur grafit pada karbon aktif (Sudibandriyo, 2003).



**Gambar 2. 2** Ilustrasi Skema Struktur Karbon Aktif

(Sumber : Ika Monika dan Ningrum, 2012 dan Sudibandriyo, 2003)

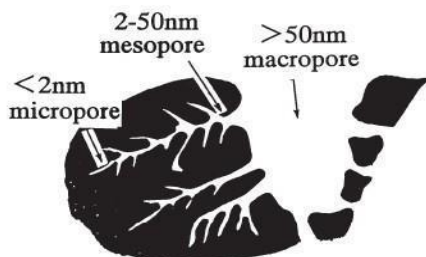
Adanya lapisan atom-atom karbon yang berbentuk heksagonal dan adanya mikrokristalin pada karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 2.3



**Gambar 2. 3** Lapisan Atom Karbon Heksagonal (a) dan Struktur Mikrokristalin Karbon Aktif (b)

(Sumber : Sudibandriyo, 2003; Pujiyanto, 2010)

Umumnya karbon aktif berbentuk granular (butiran) dan serbuk. Karbon aktif berbentuk serbuk halus memiliki distribusi ukuran partikel 5–10  $\mu\text{m}$ . Sedangkan karbon aktif berbentuk granular memiliki ukuran 0,8–1,2 mm. Porositas karbon aktif terbentuk pada saat proses karbonisasi. Pada karbon aktif terdapat 3 ukuran pori, yaitu mikropori (< 2 nm), mesopori (2–50 nm), dan makropori (> 50 nm) (Marsh, 2006). Selain itu, lebih jauh terdapat pula ukuran supermikropori (0,7–2 nm) dan ultramikropori (< 0,7 nm). Gambar 2.4 menunjukkan skema struktur pori pada karbon aktif.

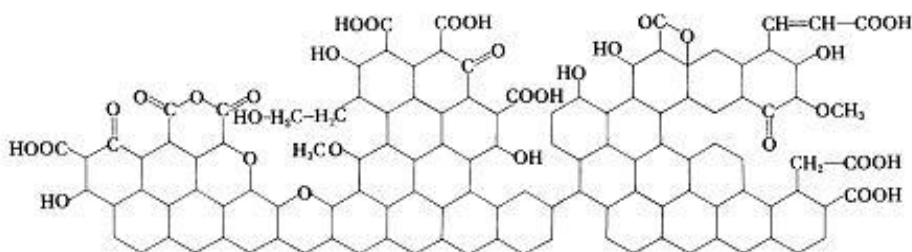


**Gambar 2. 4** Skema Struktur Pori Karbon Aktif

(Sumber : Manocha, 2003)

### 2.3.2 Struktur Kimia Karbon Aktif

Selain terdiri dari atom karbon, karbon aktif mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang terikat pada gugus fungsi misalnya karboksil, fenol, dan eter. Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif. Selain itu, gugus fungsi pada karbon aktif juga terbentuk selama proses aktivasi oleh karena adanya interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer. Gugus fungsi ini menjadikan permukaan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat adsorpsinya (Murti, 2008). Ilustrasi struktur kimia karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 2.5



**Gambar 2. 5** Ilustrasi Struktur Kimia Karbon Aktif

(Sumber : Sudibandriyo, 2003)



### 2.3.3 Tipe – Tipe Karbon Aktif

Secara umum, ada dua tipe karbon aktif yaitu karbon aktif sebagai pemucat dan karbon aktif sebagai penyerap uap (Darmawan S, 2009) :

#### a. Karbon Aktif Sebagai Pemucat

Karbon aktif sebagai pemucat bentuk umumnya bubuk yang sangat halus (Gambar 2.6 a) atau berbentuk granular (Gambar 2.6 b), dengan diameter pori yang sangat halus mencapai  $1000 \text{ \AA}$ . Karbon aktif ini didapatkan dari bahan baku yang memiliki densitas relatif kecil serta mempunyai struktur yang lemah, ringkih (mudah hancur), memiliki kadar abu yang cukup tinggi berupa silika mirip bambu kuning, serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas yang biasanya dipergunakan dalam fase cair untuk mentransportasikan zat-zat yang dapat mengganggu serta menimbulkan warna dan bau yang tidak diinginkan, membebaskan pelarut dari zat-zat kontaminan.



a) Karbon Aktif Bentuk *Powder*

b) Kabon Aktif Bentuk Granular

**Gambar 2. 6** Karbon Aktif Sebagai Pemucat

(Sumber : Darmawan, 2009)

#### b. Karbon Aktif Sebagai Penyerap Uap

Karbon aktif sebagai penyerap uap (Gambar 2.7) umumnya berbentuk granular atau *pellet* yang sangat keras dengan diameter pori antara  $10\text{-}200 \text{ \AA}$  serta memiliki tipe pori lebih halus. Karbon aktif sebagai penyerap uap berasal dari tempurung kelapa, batu bata, tulang atau bahan baku yang memiliki struktur yang keras dengan berat jenis tinggi, tekanan rendah,

kekuatan mekanik tinggi serta kadar abu rendah. Karbon aktif sebagai penyerap uap umumnya dipakai dalam fasa gas agar diperoleh kembali pelarut, katalis, pemisahan, serta pemurnian gas.



**Gambar 2. 7** Karbon Aktif Sebagai Penyerap Uap

(Sumber : Darmawan, 2009)

#### 2.3.4 Sifat-Sifat Karbon Aktif

Karbon aktif memiliki sifat-sifat yaitu diantaranya yaitu ukuran partikel, luas permukaan dan porositas (*porosity*).

1. Ukuran Partikel

Ukuran partikel karbon aktif berpengaruh terhadap proses kecepatan adsorpsi, namun tidak berpengaruh pada kapasitas adsorpsi yang berhubungan dengan luas permukaan karbon.

2. Luas Permukaan

Semakin luas permukaan karbon aktif maka daya serap karbon aktif tersebut akan semakin tinggi.

3. Porositas (*Porosity*)

Selama proses aktivasi, terjadi proses pemisahan antara komponen berkarbon dengan komponen non-organik sehingga membentuk suatu ruang yang disebut dengan pori.

### 2.3.5 Kualitas Karbon Aktif

Kualitas karbon aktif dipengaruhi oleh jenis bahan baku pembuatnya. Bahan baku yang keras memiliki berat jenis tinggi sebagai akibatnya akan mendapatkan daya serap yang tinggi juga dibandingkan yang berasal dari bahan baku yang ringan dan memiliki berat jenis rendah.

1. Kadar Air Terikat (*Inherent Moisture*)

Kandungan air yang terdapat pada karbon aktif setelah melalui tahap karbonisasi dan aktivasi kimia, baik secara kimiawi ataupun yang pengaruh luar seperti iklim, ukuran butiran dan proses penyaringan. Tujuannya untuk mengetahui sifat higroskopis arang aktif.

2. Kadar Zat terbang (*Volatile Matter*)

Zat terbang adalah parameter yang memberikan persentase jumlah zat-zat terbang yang terkandung di dalam karbon aktif yaitu H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, dan uap-uap yang mengembun misalnya tar, gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

3. Kadar Abu (*Ash Content*)

Abu yang terkandung pada karbon aktif yaitu kadar *mineral matter* yang terdapat di dalamnya, tidak terbakar pada proses karbonisasi serta tidak dapat terpisah pada proses aktivasi.

4. Kadar Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

Karbon tertambat ditentukan untuk mengetahui kandungan karbon setelah proses karbonisasi serta aktivasi. Nilai kadar karbon tertambat pada arang aktif ditentukan oleh variasi kadar air, abu, dan zat terbang.

5. Daya Serap (Adsorpsi)

Daya serap adalah sifat karbon aktif yang paling penting. Beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap karbon aktif antara lain pH, temperatur dan waktu singgung.

## 2.4 Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Kopi

Bahan dasar utama yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif ialah bahan organik yang memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi. sudah banyak penelitian dilakukan tentang bahan karbon aktif menggunakan bahan murah serta tersedia melimpah antara lain tempurung kelapa, tempurung kemiri, ampas kopi dan serat kayu. Karbon aktif yaitu bahan adsorpsi yang memiliki permukaan lapisan yang luas dengan bentuk butiran atau bubuk. Adsorpsi ialah proses karbon aktif memisahkan substansi dari larutan. Sebuah proses penyisihan partikel yang terikat di permukaan adsorben baik secara gaya tarik kimia ataupun fisika. Dalam proses pengolahan air, karbon aktif umum dipergunakan menjadi adsorben untuk menyisihkan warna, rasa serta bau yang ditimbulkan pada air. Kontaminan yang terdapat dalam air terserap sebab tarikan yang dimiliki permukaan karbon aktif lebih kuat dibandingkan dengan yang menahan di dalam larutan. Senyawa-senyawa yang mudah terserap karbon aktif umumnya memiliki nilai kelarutan yang lebih kecil dari karbon aktif. Kontaminan bisa masuk ke dalam pori karbon aktif kemudian terakumulasi di dalamnya, jika kontaminan terlarut di dalam air dan ukuran pori kontaminan lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pori karbon aktif. Yang melatar belakangi pemilihan bahan baku karbon aktif tersebut yang paling menentukan ialah besar kandungan karbon yang terkandung pada bahan tadi. Berikut adalah 4 tahap umum pembuatan karbon aktif, yaitu :

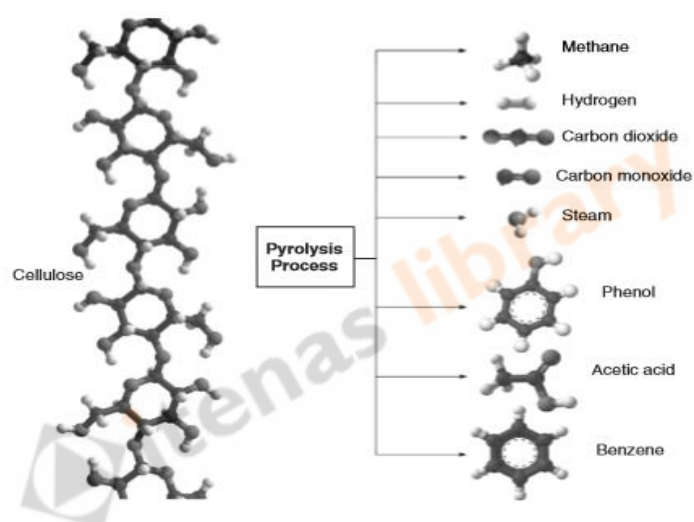
### 2.4.1 Dehidrasi

Suatu proses untuk mengurangi air yang terdapat dalam bahan baku aktif untuk menyempurnakan proses karbonisasi. Proses ini dilakukan dengan memanaskan bahan baku pada temperatur di atas 100°C dalam waktu tertentu yang bertujuan untuk menguapkan seluruh atau sebagian air yang terkandung pada bahan baku.

### 2.4.2 Pirolisis

Pirolisis dapat disebut juga termolisis (dalam Bahasa Yunani : pur = api; thermos = panas; luossen = longgar) merupakan proses dekomposisi kimia dan termal, yang bertujuan untuk memperkecil bentuk molekul atau dengan kata lain pirolisis adalah dekomposisi termokimia biomassa menjadi produk. Secara bahasa, istilah termolisis lebih tepat dibandingkan pirolisis, karena kata "api" menunjukkan adanya oksigen yang terlibat. Padahal, proses pirolisis berlangsung tanpa adanya udara atau oksigen bebas karena dapat

mempengaruhi kualitas produk, yield, dan keamanan. Pirolisis dapat dilakukan pada berbagai rentang suhu, waktu reaksi, tekanan, dan ada atau tidaknya gas atau cairan, serta keterlibatan katalis. Pirolisis dapat dikategorikan pada suhu rendah ( $<400^{\circ}\text{C}$ ), menengah ( $400 - 600^{\circ}\text{C}$ ), atau suhu tinggi ( $>600^{\circ}\text{C}$ ). Dapat dioperasikan pada kondisi tekanan 1 atm, jika produk yang diharapkan tidak stabil terhadap perubahan suhu biasanya digunakan operasi subatmosfir (vacuum). Pirolisis telah digunakan sejak dulu untuk mengubah ampas kopi menjadi arang dalam skala industri. Arang diperoleh dengan memanaskan ampas kopi sampai hanya meninggalkan karbon dan anorganik abu. Apabila material yang terdiri dari karbon seperti ampas kopi dibakar secara pirolisis, maka reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2. 8** Proses Dekomposisi dari Hidrokarbon Kompleks Menjadi Hidrokarbon Sederhana Selama Proses Pirolisis

(Sumber : Basu, 2010)

Pirolisis melibatkan pemanasan biomassa tanpa kehadiran udara atau oksigen pada laju pemanasan spesifik atau maksimal. Produk dari pirolisis ini tergantung pada beberapa faktor, salah satunya adalah suhu pirolisis dan laju pemanasannya.

### 2.4.2.1 Produk Pirolisis

Seperti yang sudah dijelaskan tadi bahwa selama proses pirolisis, biomassa yang memiliki molekul hidrokarbon kompleks diurai menjadi beberapa molekul hidrokarbon sederhana. Produk dari pirolisis dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu:

- Solid, biasanya karbon ( $\pm 85\%$ ) ataupun terdapat juga kandungan hydrogen dan oksigen. Biomassa memiliki kandungan *inorganic ash* yang sedikit sekali, berbeda dengan bahan bakar fosil. Lower Heating Value (LHV) dari arang biomassa adalah  $\pm 32$  MJ/kg (Diebold dan Bridgwater, 1997)
- Liquid, biasanya merupakan cairan tinggal (*tar*) berwarna hitam yang mengandung air hingga 20% dan senyawa fenolik homolog. Produk cair dari pirolisis juga dapat berupa *bio-oil* dan air. *Bio-oil* merupakan campuran dari hidrokarbon kompleks yang mengandung banyak air dan oksigen. LHV dari produk cair lebih rendah dari padat, yaitu diantara 13-18 MJ/kg *wet basis* (Diebold dkk, 1997).
- Gas, biomassa yang di dekomposisi menghasilkan 2 jenis gas yaitu gas yang bisa dikondensasikan (*vapor*) dan gas yang tidak bisa dikondensasikan (*primary gas*). Campuran gas yang tidak bisa dikondensasikan mengandung gas-gas dengan berat molekul yang kecil misalnya gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  dan lain-lain. Biasanya, gas *non condensable* yang terbuat dari *secondary cracking* dari vapornya adalah *secondary gas*. LHV dari *primary gas* biasanya adalah 11 MJ/Nm<sup>3</sup>, tetapi ketika gas pirolisis terbentuk karena dilakukan beberapa kali *secondary cracking* nilainya akan lebih besar yaitu 20 MJ/Nm<sup>3</sup>.

### 2.4.2.2 Jenis-Jenis Pirolisis

Pirolisis dibagi menjadi dua jenis berdasarkan keberadaan katalis selama proses pirolisis berlangsung yaitu pirolisis katalitik dan pirolisis termal. Selain itu, proses pirolisis tanpa menggunakan katalis juga dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan tingkat pemanasannya yaitu fast pirolisis, flash pirolisis, dan slow pirolisis.

## 1. Proses Pirolisis Secara Termal

- Slow Pirolisis

Konvensional atau slow pirolisis ditandai dengan tingkat pemanasan yang lambat, suhu rendah, dan waktu tinggal yang relatif lama. Laju pemanasan tergantung pada system yang digunakan yaitu sekitar 0,1 sampai 2°C per detik hingga suhu mencapai 500°C. Waktu tinggal gas mungkin lebih lama dari lima detik bahkan hingga hitungan hari. Selama pirolisis konvensional, akan terbentuk tar, char atau arang.

Pada pirolisis, proses pembakaran terjadi pada bagian bawah media pada ruang yang terisolasi (tertutup). Slow pirolisis dapat dikenal juga sebagai proses karbonisasi karena produk utama yang diinginkan merupakan arang. Proses karbonisasi dilakukan hingga uap yang dikondensasi terkonversi menjadi arang dan gas.

- Flash Pirolisis

Flash pirolisis ditandai dengan suhu moderat pada (400- 600°C) dan laju pemanasan cepat ( $>2^{\circ}\text{C/s}$ ). Waktu tinggal uap biasanya kurang dari dua detik. Dibandingkan dengan slow pirolisis, arang dan gas yang dihasilkan jauh lebih sedikit.

- Fast Pirolisis

Satu-satunya perbedaan antara flash dan fast pirolisis adalah tingkat pemanasan, waktu tinggal, dan produk turunan. Tingkat pemanasan berkisar antara 200°C dan 105°C per detik dan suhu yang berlaku biasanya lebih tinggi dari 550°C. Pada proses ini juga produksi arang dan tar yang jauh lebih rendah.

## 2. Proses Pirolisis Secara Katalitik

Perengkahan atau pemutusan katalitik merupakan proses pemutusan suatu rantai hidrokarbon dengan menggunakan bantuan katalis. Katalis akan menurunkan energi aktivasi proses pemutusan ikatan sehingga suhu reaksi menjadi lebih rendah. Mekanisme reaksi proses pirolisis dengan menggunakan katalis berbeda dengan proses pirolisis tanpa katalis (termal). Pada pirolisis katalitik ketika umpan kontak dengan katalis pada reaktor umpan akan

mengalami penguapan. Kemudian membentuk muatan positif yang disebut karbokation. Karbokation merupakan istilah umum untuk muatan positif dari ion karbon.

#### 2.4.2.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses Pirolisis

Menurut Mulyadi (2009) Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses pirolisis yaitu:

- Suhu

Suhu merupakan parameter operasi yang paling penting, karena untuk menentukan stabilitas raw material, kecepatan dekomposisi termal, dan produk reaksi. Suhu tinggi ( $>600^{\circ}\text{C}$ ) dan kondisi operasi vakum menghasilkan produk gas-gas sederhana, sedangkan suhu rendah dan tekanan tinggi menghasilkan produk yang lebih kental (viscous), laju pirolisis yang tinggi, kecenderungan membentuk arang, lebih banyak produk sekunder, dan dehidrogenasi.

- Waktu Reaksi

Lamanya reaksi yang dibutuhkan bergantung pada suhu reaksi. Produk primer yang terbentuk pada waktu tinggal yang pendek misalnya seperti monomer, sementara untuk pembentukan produk yang stabil secara termodinamika membutuhkan waktu yang lama seperti  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , senyawa aromatik, karbon. Produk primer berupa monomer dihasilkan dari tekanan rendah (vakum), sementara produk fraksi liquid complex dihasilkan dari tekanan tinggi.

- Komposisi Bahan

Komposisi bahan yang digunakan akan sangat berpengaruh pada performa katalis. Oleh sebab itu, katalis yang mengarahkan pada konversi yang tinggi untuk pemecahan polimer murni telah diamati aktivitas katalis akan semakin menurun ketika pemecahan dilakukan pada bahan yang tidak murni melainkan berupa campuran. Sehingga komposisi bahan juga akan mempengaruhi suhu pirolisis dan jumlah katalis yang digunakan.

- Ukuran partikel

Besarnya ukuran partikel atau bahan yang dipakai maka waktu tinggal, suhu operasi, dan pengaruh yang ditimbulkan dari reaksi sekunder juga akan ikut meningkat. Diketahui bahwa untuk bahan dengan ukuran dibawah 1 mm proses



akan dikendalikan oleh reaksi primer sedangkan untuk bahan dengan ukuran diatas 1 mm proses pirolisis akan dikendalikan oleh adanya perpindahan panas, pirolisis primer, dan pirolisis sekunder.

### 2.4.3 Karbonisasi

Karbonisasi biasa disebut pengarangan merupakan suatu proses pemanasan pada suhu tertentu menggunakan bahan - bahan organik dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas, umumnya didalam furnace. Pada tahap ini terjadi proses penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk methanol, uap-uap asam asetat, tar-tar dan hidrokarbon. Bahan padat yang tertinggal setelah proses karbonisasi biasa disebut karbon berbentuk arang dengan area permukaan yang kecil. Proses karbonisasi akan menghasilkan 3 komponen utama, yaitu karbon/arang, tar, dan gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , dan lain-lain). Agar diperoleh karbon aktif dengan kualitas baik, perlu diadakan pengaturan dan pengontrolan selama proses karbonisasi berlangsung diantaranya; kecepatan kenaikan temperatur, tingginya suhu akhir, dan lama waktu karbonisasi. Pada tahap karbonisasi masih memperoleh karbon dengan struktur pori yang lemah. Maka dari itu arang masih perlu perbaikan struktur porinya dengan proses aktivasi.

### 2.4.4 Proses Aktivasi

Aktivasi merupakan suatu perubahan fisika yang terjadi dimana jumlah pori pada permukaan karbon aktif menjadi lebih banyak karena hidrokarbon yang terkandung dalam karbon tersingkirkan. Untuk mendapatkan arang yang memiliki pori serta luas permukaan yang lebih besar dapat didapatkan dengan beberapa cara mengaktivasi bahan. Ada 2 cara proses aktivasi, yaitu:

#### 1. Aktivasi Fisika

Metode ini dilakukan dengan mengalirkan udara ke dalam reaktor dengan suhu tinggi ( $500\text{-}800^\circ\text{C}$ ). Pada proses ini yang perlu dikendalikan yaitu tinggi suhu dan besarnya udara yang dipakai sehingga didapatkan karbon aktif dengan pori yang luas dan karbon dengan susunan yang padat.

## 2. Aktivasi Kimia

Proses ini dilakukan dengan merendam bahan baku pada larutan kimia (HCl dan NaOH) sebelum tahap karbonisasi. Proses dekomposisi arang menjadi karbon aktif merupakan hasil karbonisasi yang dilakukan pada suhu tinggi. Karbon aktif yang diperoleh dari tahap aktivasi dapat digunakan sebagai bahan adsorben dalam pengolahan limbah cair zat warna. Proses ini dinamakan dengan adsorpsi.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pada proses aktivasi yaitu :

### a. Waktu perendaman

Lama waktu perendaman dalam bahan aktivasi ini bertujuan untuk menghilangkan atau menghambat pembentukan lignin, karena dengan terbentuknya lignin maka akan membentuk senyawa tar.

### b. Konsentrasi activator

Konsentrasi larutan kimia yang digunakan untuk aktivasi semakin tinggi maka pengaruh larutan tersebut untuk mengikat senyawa keluar melewati mikropori karbon semakin *porous* akibatnya daya adsorpsi karbon aktif tersebut semakin besar. Karbon akan memiliki lebih banyak mikropori setelah dilakukan tahap aktivasi, karena aktivator telah mengikat senyawa-senyawa tar hasil karbonisasi, sehingga permukaannya lebih *porous*.

### c. Ukuran bahan

Ukuran atau diameter arang yang digunakan semakin kecil maka daya serap karbon aktif akan semakin besar karena semakin banyak pori-pori yang dimiliki.

#### 2.4.4.1 Asam Klorida (HCl) Sebagai Aktivator

Bahan yang digunakan untuk mengaktivasi disebut aktivator. Salah satu bahan kimia yang bisa digunakan sebagai aktivator adalah hidroksida logam alkali, klorida, fosfor dari logam alkali tanah khususnya  $ZnCl_2$ , asam seperti HCl,  $H_2SO_4$ , dan  $H_3PO_4$  serta uap air pada suhu tinggi. Unsur mineral dari senyawa kimia yang dicampurkan akan meresap kedalam arang dan permukaan akan terbuka yang semula terhalang oleh komponen kimia maka volume dan diameter pori akan bertambah.

Asam klorida (HCl) yang merupakan *activating agent* akan mengoksidasi karbon dan merusak permukaan dalam karbon sehingga pori akan terbentuk dan daya adsorpsi semakin meningkat. Penggunaan HCl juga sangat efektif dikarenakan HCl merupakan bahan aktivator yang baik karena karbon aktif yang dihasilkan lebih baik serta memiliki daya adsorpsi yang cukup tinggi. Selain itu, HCl mempunyai stabilitas termal yang baik dan mempunyai karakter kovalen yang tinggi. Stabilitas termal sangat berpengaruh untuk mempertahankan kestabilan zat pengaktif pada proses aktivasi yang dilakukan dengan suhu tinggi sedangkan karakter kovalen berhubungan dengan antara arang dengan zat pengaktif yang berlangsung pada suhu tinggi. HCl disusun oleh unsur-unsur yang berikatan secara kovalen polar. Maka dari itu, senyawa HCl lebih mendominasi karakter kovalen. Dengan demikian, HCl mempunyai kemampuan interaksi yang cukup bagus dengan arang. Sifat fisik asam klorida disajikan pada Tabel 2.4 berikut.

**Tabel 2.4** Sifat Fisik Asam Klorida (HCl)

Sifat Fisik	Keterangan
Nama IUPAC	Asam Klorida
Rumus molekul	HCl dalam air (H <sub>2</sub> O)
Massa atom relatif	36,46 g.mol <sup>-1</sup>
Titik didih	110°C (383 K) larutan 20,2% ; 48°C (321 K) larutan 38%
Titik lebur	-27,32°C (247 K) larutan 38%
Kelarutan dalam air	Tercampur penuh
Densitas	1,18 gr/cm <sup>3</sup>
Penampilan	Cairan tidak berwarna sampai dengan kuning pucat
Keasaman	-6,3
Viskositas	1,9 mPa.s pada 25oC larutan 31,5%

Sumber : William L. Jolly, 1984

Sifat – Sifat Kimia HCl yaitu :

1. Bersifat korosif
2. HCl adalah asam monoprotik dan jika bereaksi dengan molekul air membentuk ion hydronium
3. Larutannya merupakan asam kuat dan jika bereaksi dengan asam senyawa seperti kalsium karbonat dan tembaga menghasilkan klorida terlarut
4. HCl sulit menjalani reaksi redoks
5. HCl tidak mengandung ion klorida yang beracun dan reaktif

Asam Klorida (HCl) merupakan *activating agent* yang bersifat asam. *Activating agent* yang bersifat asam, lebih baik digunakan untuk material selulosa. Hal ini dikarenakan material selulosa mengandung banyak oksigen. Asam akan bereaksi baik dengan oksigen pada selulosa sehingga aktivator HCl cocok untuk digunakan dalam produksi karbon aktif.

#### **2.4.4.2 Natrium Hidroksida (NaOH) Sebagai Aktivator**

Natrium hidroksida (NaOH) atau dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau sodium hidroksida yaitu sejenis basa logam kaustik. Natrium Hidroksida tersusun dari oksida basa Natrium Oksida yang dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Biasa digunakan di berbagai macam bidang industri, sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Natrium hidroksida merupakan basa yang sering digunakan di laboratorium kimia.



**Gambar 2. 9** Natrium Hidroksida

*(Sumber : Nia Zahlia, 2011)*

Natrium hidroksida murni berwarna putih padat serta tersedia dalam bentuk pelet, butiran, serpihan ataupun larutan jenuh 50% yang biasa disebut larutan Sorensen. Bersifat lembap cair serta secara impulsif menyerap karbon dioksida dari udara bebas. Dapat larut dalam air dan akan menghasilkan panas ketika dilarutkan, karena kelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. Juga larut dalam etanol dan metanol, walaupun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH. NaOH tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non-polar lainnya. Larutan natrium hidroksida akan menyisakan noda kuning pada kain dan kertas.

Apabila kontak dengan kulit larutan natrium hidroksida akan mengakibatkan luka bakar kimia, cedera bahkan bekas luka permanen, dan kebutaan. Pemanfaatan NaOH pada laboratorium biasanya digunakan untuk menetralkan asam sedangkan di bidang industri untuk memurnikan minyak tanah, pembuatan sabun dan detergen, pembuatan pulp dan kertas, penetralan asam pada limbah dan membuat garam-garam natrium. Sifat fisik NaOH disajikan pada Tabel 2.5 berikut.

**Tabel 2.5** Sifat Fisik NaOH

Sifat Fisik	
Rumus molekul	NaOH
Massa Molar	40 g/mol
Penampilan	Berwarna putih
Densitas	2.1 g/cm <sup>3</sup>
Titik Didih	1390 °C
Bentuk	Padatan

*Sumber : Anonim, 1995*

Sedangkan sifat-sifat kimia dari NaOH ialah sebagai berikut :

1. Natrium hidroksida memiliki sifat mudah menguap
2. Dapat menyerap air atau biasa disebut higroskopis
3. Natrium hidroksida ini juga merupakan zat kimia yang mudah terionisasi
4. Larutan elektrolit kuat karena terionisasi sempurna pada air
5. Bisa dihasilkan dari reaksi NaOH dan HCl sehingga pH nya netral

## 2.5 Bilangan Iod

Bilangan Iod umumnya digunakan untuk menunjukkan kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi zat yang mempunyai berat molekul rendah. Bilangan Iod juga diartikan banyaknya miligram Iod yang teradsorpsi oleh per gram karbon dan menunjukkan porositas dari karbon aktif. Atau juga diartikan sebagai luas permukaan pada pori yang lebih besar dari 10 Å.

Bilangan Iod dibutuhkan dalam pengukuran terhadap kapasitas karbon aktif untuk mengadsorpsi zat lain. Bilangan Iod dapat dipakai menjadi asumsi luas permukaan buat beberapa jenis karbon aktif. Namun dapat diingat bahwa korelasi antara luas permukaan dengan bilangan Iod tidak bisa disamaratakan. Berubah terhadap kondisi bahan baku, proses serta distribusi volume pori. Adanya zat volatil yang teradsorpsi, sulfur serta air bisa berpengaruh terhadap pengukuran bilangan Iod pada karbon aktif.

## 2.6 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm dikaji oleh Freundlich, Langmuir, serta Brunauer, Emmet dan Teller (BET). Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi fase cair-padat pada umumnya menganut tipe isoterm Freundlich. Adsorben dapat dikatakan baik apabila mempunyai kemampuan adsorpsi dan persentase penyerapan yang tinggi.

### 2.6.1 Isoterm Freundlich

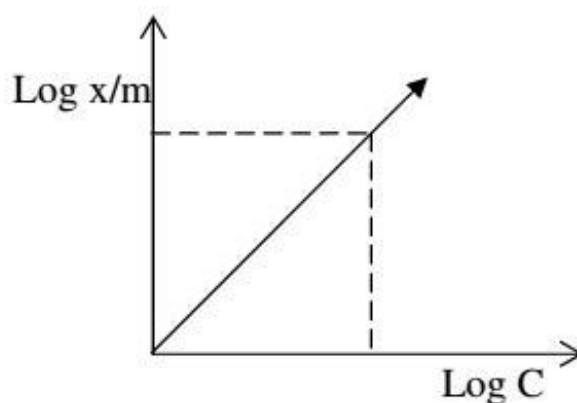
Adsorpsi zat terlarut (berasal suatu larutan) dalam padatan adsorben ialah hal yang krusial. Penggunaan prinsip ini diantaranya penghilangan warna larutan (decolorizing) memakai batu apung (charcoal) serta proses pemisahan dengan mengaplikasikan teknik kromatografi. Pendekatan isoterm adsorpsi dijelaskan oleh H. Freundlich. Freundlich beranggapan, Bila  $y$  ialah berat zat terlarut per gram adsorben dan  $c$  ialah konsentrasi zat terlarut pada larutan. Namun di adsorpsi ini situs-situs aktif di permukaan adsorbent bersifat heterogen. Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich bisa dituliskan menjadi berikut:

$$\text{Log} \left( \frac{x}{m} \right) = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

Dimana:

- $X_m$  = Berat zat yang diadsorpsi
- $m$  = Berat adsorben (ampas kopi)
- $C$  = Konsentrasi zat terlarut pada larutan

Sedangkan Gambar 2.12 menampilkan grafik isoterm adsorpsi freundlich



**Gambar 2. 10** Kurva Isoterm Adsorpsi Freundlich

## 2.7 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Adsorpsi secara umum adalah proses penempelan substansi terlarut (soluble) yang ada dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapnya. Ada 2 tipe adsorpsi antara lain adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia, yaitu :

- Adsorpsi fisik

Adsorpsi fisik adalah adsorpsi yang disebabkan oleh Gaya Vander Waals yang terdapat di permukaan adsorben. Gaya Van Der Waals ialah gaya tarik menarik listrik yang cukup lemah diakibatkan oleh kepolaran molekul yang tetap atau terinduksi (tidak tetap).

Yang mengakibatkan kepolaran tetap yaitu kepolaran ikatan dalam molekulnya, sedangkan yang mengakibatkan kepolaran tidak tetap adalah molekulnya terinduksi oleh partikel lain yang bermuatan sebagai akibatnya molekul bersifat polar sesaat secara spontan. Gaya Van Der Waals bisa terjadi antara partikel yang sama atau tidak selaras. Penyebab ikatan Van Der Waals timbul adalah adanya kepolaran, maka semakin kecil kepolaran molekulnya maka Gaya Van Der Waalsnya akan semakin kecil juga.



- Adsorpsi kimia

Adsorpsi yang diakibatkan oleh adanya reaksi antara zat yang diserap dengan adsorben. Pada permukaan adsorben hanya terdapat satu lapisan molekul dan memiliki panas adsorpsi yang tinggi. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi, antara lain :

1. Agitasi

Apabila agitasi yang terjadi antara partikel karbon dengan cairan cukup kecil, permukaan lapisan film dari cairan disekitar partikel akan menebal serta difusi film akan terbatas.

2. Karakteristik karbon aktif

Ukuran partikel serta luas permukaan adalah karakteristik paling penting dari karbon aktif sebagai adsorben. Tingkat adsorpsi yang terjadi sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel karbon. Semakin kecil ukuran partikel maka tingkat adsorpsi semakin tinggi.

3. Ukuran molekul adsorbat

Bagian yang krusial dalam adsorpsi ialah ukuran molekul sebab molekul harus bisa memasuki micropore dari karbon untuk diadsorpsi. Semakin besarnya ukuran pori adsorbat maka tingkat adsorpsi umumnya semakin tinggi.

4. pH

pH memiliki efek yang sangat besar pada proses adsorpsi, sebab pH menetapkan tingkat ionisasi larutan. Asam organik bisa diadsorpsi dengan mudah pada pH rendah, kebalikannya basa organik bisa diadsorpsi pada pH tinggi..

5. Suhu

Semakin tinggi suhu maka tingkat adsorpsi akan semakin tinggi dan semakin rendah suhu maka tingkat adsorpsinya akan semakin rendah. Akan tetapi bila reaksi adsorpsi terjadi secara eksoterm, maka tingkat adsorpsi biasanya semakin tinggi seiring dengan menurunnya suhu.

6. Waktu kontak

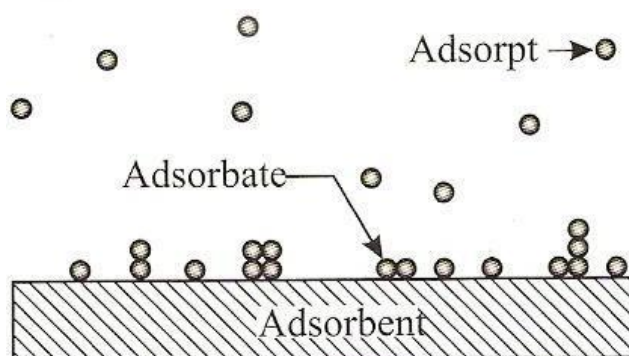
Waktu kontak adalah hal yang sangat menentukan pada proses adsorpsi. Bila waktu kontak dengan karbon aktif semakin lama maka gaya adsorpsi molekul yang terjadi dari suatu zat terlarut akan semakin tinggi. Waktu kontak yang lama mengakibatkan proses difusi serta penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih baik.

### 2.7.1 Mekanisme Adsorpsi

Tahapan pada proses adsorpsi yaitu :

- Molekul-molekul adsorben akan berpindah dari fase bagian terbesar ke permukaan antara adsorben atau biasa disebut 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, kemudian molekul tersebut akan menyebar menuju pori-pori adsorben.
- Molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan pori-pori adsorben.

Sifat utama yang dimiliki oleh karbon aktif ialah kemampuannya dalam menyerap. Sifat ini dilatar belakangi oleh sifat karbon aktif yang mempunyai luas permukaan atau pori-pori yang besar. Daya serap karbon aktif sangat berhubungan dengan sifat keaktifan karbon tadi. Jika suatu larutan terkontak dengan butiran karbon aktif yang memiliki pori, maka molekul zat terlarut tersebut akan tertarik pada permukaan pori dan tertahan ditempat tersebut melalui gaya-gaya yang lemah.



**Gambar 2. 11** Mekanisme adsorpsi

(Sumber : addy rachmat, 2011)

Proses adsorpsi dibedakan menjadi 3 tahap :

#### 1. Tahap Adsorpsi

Tahap dimana *adsorbate* tertahan pada permukaan adsorbent (gas atau uap tertahan pada permukaan padatan). Umumnya, pada proses adsorpsi dilakukan untuk senyawa organik dengan berat molekul lebih besar dari 46 dan dengan konsentrasi yang kecil. Berat molekul yang besar mengakibatkan proses adsorpsi akan semakin baik.

#### 2. Tahap Desorpsi

Tahap ini adalah kebalikan dari tahap adsorpsi, dimana adsorbate dilepaskan dari adsorbent atau lepasnya gas atau uap atau molekul pada permukaan padatan.

Desorpsi dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain :

- Temperature *adsorbent* dinaikkan di atas temperature didih adsorbent, dengan cara mengalirkan uap panas/ udara panas atau dengan pemansan.
- Bahan kimia ditambahkan atau secara kimia
- Tekanan diturunkan

#### 3. Tahap *Recovery*

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

- Kondensasi
- Dibakar
- Solidifikasi

### 2.7.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu adsorben (Treybal, 1980).

#### 1. Jenis Adsorbat

##### a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul merupakan bagian yang penting diperhatikan supaya proses adsorpsi dapat terjadi dan berjalan dengan baik. Ukuran molekul adsorbat

nantinya mempengaruhi ukuran pori dari adsorben yang digunakan. Molekul-molekul berdiameter adsorbat lebih kecil dari diameter pori adsorben yang dapat mengadsorpsi adsorbat.

b. Kepolaran Zat

Sifat kepolaran dari adsorbat dan adsorben juga mempengaruhi proses adsorpsi. Misalnya karbon aktif, adsorpsi lebih kuat terjadi pada molekul polar dibandingkan dengan molekul non-polar pada kondisi diameter yang sama.

2. Karakteristik Adsorben

a. Kemurnian Adsorben

Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni yang diinginkan karena memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Meningkatnya jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi menyebabkan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi, adsorben sering kali ditingkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

c. Temperatur

Berdasarkan prinsip Le Chatelier, maka proses adsorpsi yang merupakan proses eksotermis, dengan meningkatnya temperatur pada tekanan tetap maka jumlah senyawa yang teradsorpsi akan berkurang.

d. Tekanan adsorbat

Untuk setiap jenis adsorpsi berdasarkan interaksi molekular yang terjadi, tekanan adsorbat akan mempengaruhi jumlah molekul adsorbat. Pada adsorpsi fisika, bila tekanan adsorbat meningkat, jumlah molekul adsorbat akan bertambah. Namun pada adsorpsi kimia, jumlah molekul adsorbat akan berkurang bila tekanan adsorbat meningkat.

## 2.8 Adsorben

Adsorben ialah zat yang melakukan penyerapan terhadap zat lain (baik cairan maupun gas) pada proses adsorpsi. Jenis adsorben yang baik antara lain :

- Luas permukaan adsorben, dimana luas permukaan yang semakin besar maka semakin besar pula daya adsorpsinya karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben.
- Tidak terjadi perubahan volume yang signifikan selama proses adsorpsi.
- Kemurnian adsorben, dimana tingkat kemurnian adsorben yang tinggi maka daya adsorpsinya semakin baik.
- Sifat atom yang ada pada permukaan adsorben, dimana sifat-sifat atom di permukaan berkaitan dengan interaksi molekular antara adsorbat dan adsorben.

Jenis adsorben yang banyak digunakan :

- Silika gel

Bahan bakunya terbuat dari silika dengan ikatan kimia mengandung air sekitar 5 %. Umumnya temperatur kondisi operasi silika gel mencapai suhu 200°C. Jika dioperasikan melebihi batas temperatur kondisi operasinya maka air yang terkandung dalam silika gel akan menghilang dan kemampuan adsorpsinya hilang.

- Karbon Aktif

Hampir semua adsorbat bisa diserap oleh karbon aktif kecuali air. Umumnya karbon aktif dapat mengadsorpsi ammonia atau methanol hingga mencapai 30 %. Menurut SII No.0258-79, persyaratan karbon aktif yang baik tercantum pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.6** Syarat mutu arang aktif

Jenis	Persyaratan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	Maks. 15%
Air	Maks. 10%
Abu	Maks. 2,5%
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata
Daya serap terhadap larutan	Min. 20%

- Zeolit

Kristal zeolit yang terkandung yaitu mineral aluminosilicate atau biasa disebut sebagai penyaring molekul.

Adsorben terbuat dari bahan-bahan yang berpori dan bersifat spesifik. Jenis adsorben yang dipilih dalam proses adsorpsi harus disesuaikan dengan sifat serta keadaan zat yang akan diadsorpsi. Berikut ini adalah jenis-jenis adsorben.

1. Adsorben polar

Adsorben polar disebut juga hydrophilic. Jenis adsorben yang termasuk ke dalam adsorben polar adalah silika gel, alumina aktif, dan zeolit.

2. Adsorben nonpolar

Adsorben non polar disebut juga hydrophobic. Adsorben yang termasuk ke dalam adsorben non polar adalah polimer adsorben dan karbon aktif.

Adsorben yang mudah ditemui dan paling banyak digunakan untuk menyerap zat-zat dalam larutan adalah arang aktif atau karbon aktif, dikarenakan harganya yang murah dan banyak kegunaannya. Arang aktif juga sering diaplikasikan dalam berbagai bidang, baik di bidang industri maupun kesehatan, serta arang aktif sangat cocok untuk mengadsorpsi zat-zat organik.

## 2.9 Karakteristik Air Buangan Industri Tekstil

Karakteristik dari air limbah industri tekstil antara lain :

1. Suhu

Suhu air limbah yang dihasilkan dari proses produksi tekstil biasanya lebih tinggi dari suhu badan air penerimanya, terutama pada saat proses pencelupan, suhu air hasil bilasan bisa mencapai suhu 90°C.

2. Warna

Faktor utama warna air buangan industri tekstil diakibatkan oleh sisa-sisa zat warna yang tidak terpakai dan kotoran-kotoran yang berasal dari serat alam. Air limbah buangan tekstil yang berwarna dapat menyebabkan turunnya kandungan oksigen dalam air sehingga dalam waktu yang lama akan mengakibatkan air berwarna hitam dan berbau.

3. Bau

Bau yang ditimbulkan dari air buangan adalah menandakan adanya pelepasan gas yang berbau, misalnya senyawa Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S). Gas tersebut dihasilkan dari

hasil penguraian zat organik yang mengandung belerang atau senyawa sulfat dalam kondisi sedikit oksigen dan terjadinya proses anaerob.

4. BOD (*Biochemichal Oxygen Demand*)

BOD menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan zat-zat organik secara biokimia oleh mikroorganismenya. Bahan organik yang terdapat dalam air buangan terdiri dari karbon, oksigen dan sedikit unsur-unsur lainnya, seperti belerang dan nitrogen. Mikroorganismenya mempunyai potensi untuk bereaksi dengan oksigen yang dipergunakan oleh mikroorganismenya untuk respirasi sehingga dapat menguraikan senyawa organik. Sehingga semakin lama maka kadar oksigen dalam air buangan akan berkurang dan air buangan akan menjadi bertambah keruh dan menimbulkan bau, karena pada lingkungan air mengalami proses anaerob

5. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD adalah banyaknya oksigen untuk menguraikan zat-zat organik di dalam air. Oleh karena itu, parameter COD menunjukkan banyaknya senyawa organik dalam air yang dapat dioksidasi secara kimia.

6. pH

Ketidakstabilan pH yang signifikan adalah karakteristik yang tidak diharapkan dari air buangan (limbah) industri tekstil. Penyebab variasi pH ini terutama oleh berbagai macam warna yang dipakai pada proses pencelupan.

Persyaratan baku mutu limbah dari zat warna tekstil tercantum pada tabel berikut ini:

**Tabel 2.7** Syarat Baku Mutu Limbah dari Zat Warna Tekstil

No	PARAMETER	KADAR MAKS (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)							
			Tekstil Terpadu	Pencucian Kapas, Pemintalan, Penenunan	Perekatan (Sizing) Desizing	Pengikisan, Pemasakan (Klering, Scouring)	Pemucatan (Bleaching)	Merseri sasi	Pencelupan (Dyeing)	Pencetakan (Printing)
1	Temperatur	38 °C	-	-	-	-	-	-	-	-
2	BODs	60	6,00	0,42	0,6	1,44	1,08	0,9	1,2	0,36
3	COD	150	15,0	1,05	1,5	3,6	2,7	2,25	3,0	0,9
4	TSS	50	5,00	0,35	0,5	1,2	0,9	0,75	1,0	0,3
5	Fenol Total	0,5	0,05	0,004	0,005	0,012	0,009	0,008	0,01	0,003
6	Khrom Total (Cr)	1,0	0,10	-	-	-	-	-	0,02	0,006
7	Amoniak total (NH <sub>3</sub> -N)	8,0	0,80	0,056	0,08	0,192	0,144	0,12	0,16	0,048
8	Sulfida (Sebagai S)	0,3	0,03	0,002	0,003	0,007	0,0054	0,005	0,006	0,002
9	Minyak dan Lemak	3,0	0,30	0,021	0,03	0,07	0,054	0,045	0,06	0,018
10	pH	6,0 – 9,0								
11	Debit Maksimum (m <sup>3</sup> /ton produk tekstil)	100	7	10	24	18	15	20	6	