

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat terbesar yang dihasilkan oleh Perkebunan Kelapa Sawit (PKS). Setiap pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) menghasilkan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebesar 22 – 23% TKKS atau sama dengan 220 – 230 kg TKKS. Jika pabrik kelapa sawit berkapasitas 100 ton/jam maka akan menghasilkan TKKS sebanyak 22 -23 ton (Fuadi dan Pranoto, 2016). Komponen utama dari limbah TKKS adalah selulosa dan lignin atau dapat disebut sebagai limbah lignoselulosa (Darnoko, 1992; Fuadi dan Pranoto, 2016). Komponen penyusun Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) terdiri dari material yang kaya unsur karbon diantaranya adalah selulosa 42,7%, hemiselulosa 27,3%, dan lignin 17,2% (Yanti, 2018).

Pada umumnya Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dimanfaatkan oleh masyarakat menjadi pupuk kompos atau mulsa. TKKS dapat memperbaiki struktur tanah diantaranya dapat mengurangi cepatnya aliran air dipermukaan tanah, mengurangi laju air terserap ke tanah. Pada pemanfaatan sebagai mulsa, TKKS langsung diletakkan di piringan kelapa sawit atau didekat pohon kelapa sawit yang bertujuan untuk memperbaiki struktur tanah disekitar pohon kelapa sawit. TKKS merupakan bahan organik yang kaya akan unsur N, P, K, dan Mg (Yanti, 2018). Dalam setiap satu ton TKKS mengandung unsur hara N 1,5%, P 0,5%, K 7,3%, dan Mg 0,9% (Sarwono, 2008).



Gambar 2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit (BPDP, 2020)

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) memiliki kandungan karbon yang tinggi dan kaya akan lignin, sehingga dapat berpotensi untuk diproduksi menjadi karbon aktif yang dapat bermanfaat pada pemurnian larutan, pemisahan polutan pada gas, menurunkan polutan organik dalam suatu cairan, dan manfaat lainnya (Hidayu, 2013).

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu padatan berpori yang mengandung 85-95 % karbon dan telah mengalami perubahan sifat fisik kimia setelah dilakukan aktivasi menggunakan bahan kimia sehingga dapat dijadikan sebagai adsorben (penyerap). Karbon aktif memiliki luas permukaan antara 300-3500 m²/g dan daya serap yang besar yaitu 25-100% dari berat karbon. Sifat karbon aktif yang paling penting adalah daya serap. Untuk menghilangkan bahan-bahan terlarut dalam air, biasa menggunakan karbon aktif dengan mengubah sifat permukaan partikel karbon melalui proses oksidasi. Partikel ini akan menyerap bahan-bahan organik dan akan terakumulasi pada bidang permukaannya (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

Karbon aktif adalah bahan padat berpori tinggi dimana permukaannya dapat menyebabkan terakumulasinya adsorbat. Karbon aktif dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yaitu sebagai penghilang warna, rasa, bau, dan pemurni dalam industri (Arif, 2014). Umumnya bahan baku pembuatan karbon aktif yaitu dari bahan organik seperti kayu, gambut, batu bara, cangkang kelapa sawit, cangkang kelapa, sekam padi, lignin, serbuk gergaji, tulang, dan lain-lain. Kualitas karbon aktif tergantung dari jenis bahan baku yang digunakan, teknologi pengolahan, cara pengerjaan dan penggunaannya. Karbon aktif memiliki kemampuan paling efektif, serba guna, dan bermanfaat sebagai adsorben untuk menghilangkan polutan dari gas maupun cairan karena kapasitas penyerapannya besar, luas permukaannya sangat tinggi, struktur pori-porinya besar, kinetika penyerapan cepat dan sifat mekaniknya baik. Bahan yang paling banyak digunakan dalam pembuatan karbon aktif yaitu dari bahan organik yang terdapat di alam. Limbah pertanian, seperti tongkol jagung, tempurung kelapa, serat kelapa sawit, dan lain-lain adalah bahan yang biasa digunakan sebagai karbon aktif dikarenakan kemampuan mekanisnya tinggi (Hidayu dkk, 2013).

Karbon aktif dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu (Anggraeni dan Yuliana, 2015):

1. Karbon Aktif Sebagai Pemucat

Biasanya berbentuk powder yang halus dengan diameter pori 1000 Å, digunakan dalam fase cair dan berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu.

2. Karbon Aktif Sebagai Penyerap Uap

Biasanya berbentuk granular atau pelet yang sangat keras, diameter porinya 10-200 Å, umumnya digunakan pada fase gas yang berfungsi untuk pengembalian pelarut, katalis, dan pemurnian gas.

Karbon aktif adalah arang yang telah melalui proses aktivasi dengan menggunakan gas CO₂, uap air, atau bahan kimia yang menyebabkan pori-porinya terbuka sehingga daya adsorpsinya lebih tinggi terhadap zat warna dan bau.

2.2.1 Jenis-jenis Karbon Aktif

Berdasarkan bentuknya karbon aktif terbagi menjadi 3 jenis yaitu (Suprianofa, 2016):

- a. Karbon Aktif Bentuk Serbuk

Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 0,18 mm. Terutama digunakan dalam aplikasi fasa cair. Biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis rendah seperti kayu, batu bata limit, dan bahan yang mengandung lignin seperti limbah hasil pertanian. Biasanya digunakan pada industri pengolahan air minum, industry farmasi, bahan tambahan makanan, penghalus gula, pemurnian glukosa dan pengolahan zat pewarna kadar tinggi.



Gambar 2.2 Karbon Aktif Berbentuk Serbuk (Peepalleaf, 2019)

b. Karbon Aktif Bentuk Granular

Karbon aktif bentuk granular/tidak beraturan dengan ukuran 0,2 -5 mm. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis lebih besar seperti tempurung kelapa, batubara, dan residu minyak bumi. Beberapa aplikasi dari jenis ini digunakan untuk: pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, pemurni pelarut dan penghilang bau busuk.



Gambar 2.3 Karbon Aktif Berbentuk Granular (Cahyo, 2015)

c. Karbon Aktif Bentuk Pelet

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. Biasanya digunakan untuk pemurnian udara, control emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran dan pengontrol emisi pada gas buang.



Gambar 2.4 Karbon Aktif Berbentuk Pelet (Syariahmad, 2012)

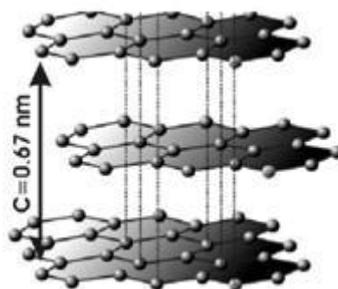
2.2.2 Struktur Fisika dan Kimia Karbon Aktif

Karbon aktif tersusun atas dua jenis struktur yaitu sebagai berikut (Suprianofa, 2016):

a. Struktur Fisika Karbon Aktif

Karbon aktif memiliki struktur dasar berupa kristalin yang sangat kecil (mikrokristalin). Karbon aktif berbentuk amorf yang terdiri dari lapisan bidang

datar dimana atom-atom karbon terikat dan tersusun secara kovalen dalam tatanan atom heksagonal. Hal tersebut telah dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit.



Gambar 2.5 Struktur Fisika Karbon Aktif (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 diselengi oleh retakan-retakan dan celah yang disebut pori dan kebanyakan berbentuk silindris. Secara umum, ukuran diameter pori dalam suatu karbon aktif biasanya dikelompokkan sebagai berikut:

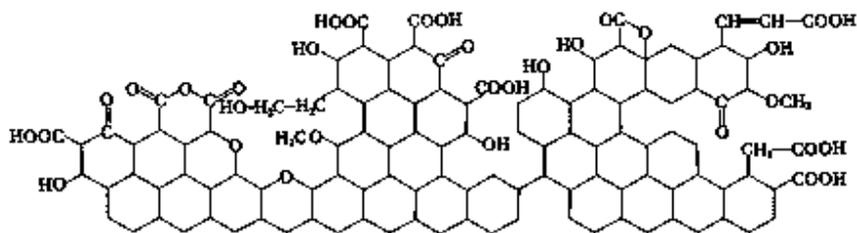
- 1) Mikropori memiliki dimensi $< 2,0$ nm
- 2) Mesopori memiliki dimensi antara 2 sampai 50 nm
- 3) Makropori memiliki dimensi > 50 nm

Pori-pori yang dimiliki karbon aktif memungkinkan karbon tersebut dapat digunakan dalam menyerap bahan berfasa cair maupun gas.

b. Struktur Kimia Karbon Aktif

Pada karbon aktif terkandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang terikat pada gugus fungsi seperti karboksil, fenol, lakton, quinon, dan eter. Gugus fungsi dapat berasal dari bahan baku dan juga dapat terbentuk selama proses aktivasi yang dikarenakan interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer. Akibat gugus fungsi tersebut

dapat mempengaruhi permukaan karbon aktif sehingga menjadi reaktif secara kimia.



Gambar 2.6 Struktur Kimia Karbon Aktif (Suprianofa, 2016)

2.2.3 Standar Kualitas Karbon Aktif

Berdasarkan standar kualitas karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) yang disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Standar Kualitas Karbon Aktif Menurut SNI (1995)

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 ₂ , 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	-

(Anonim, 1995)

2.2.4 Kegunaan Karbon Aktif

Karbon aktif umumnya digunakan dalam kalangan industri dengan penggunaan hampir mencapai 60% dari produksi karbon aktif. Industri yang biasa menggunakan karbon aktif yaitu industri gula dan pemurnian minyak dan lemak,

kimia, dan farmasi. Penggunaan karbon aktif secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kegunaan Karbon Aktif

No.	Pemakai	Kegunaan
1.	Industri obat dan makanan	Menyaring, penghilangan bau dan rasa
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	Permurnian, penghilangan ammonia, <i>netrite phenol</i> 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 acetat
10.	Pengolahan pupuk	Pemurnian, penghilangan bau

(Sembiring, 2003)

Karbon aktif digunakan untuk mengadsorpsi gas maupun cairan. Salah satu fungsi utama pada adsorpsi gas dengan karbon aktif adalah pemurnian gas buangan pada komponen beracun yang mengandung sulfur seperti sulfur dioksida (SO_2), hidrogen sulfida (H_2S), karbon disulfida dan komponen organik sulfur. Diantara banyaknya metode *recovering* dan *neutralizing* SO_2 dari gas buangan, adsorpsi dengan karbon aktif memiliki peran yang lebih besar. Pada adsorpsi fisika dari SO_2 dengan karbon aktif menggunakan katalis oksidasi *sulfur trioxide*, selanjutnya akan mengalami pembentukan dari asam sulfur dan sebagian cairan. Sehingga sulfur akan terperangkap oleh permukaan karbon aktif dalam tiga bentuk, sebagai adsorpsi fisika SO_2 , sebagai larutan asam sulfur, dan sebagai pembatas komponen penyusun sulfur pada permukaan (Jankowska, 1991).

Adsorpsi karbon aktif dari fase cairan banyak digunakan di industri makanan untuk berbagai produksi dan proses pembuatan makanan, seperti pada

industri gula yang menggunakan adsorben karbon aktif untuk pemurnian sirup dan proses deklorinasi gula sirup yang merupakan tahapan terakhir dalam pemurnian gula. Secara teknologi, sistem pemurnian air dengan karbon aktif digunakan untuk menghilangkan substansi yang berasa dan berbau tidak enak, serta untuk menghilangkan oksidasi produk yang dihasilkan dari *treatment* air dengan oksidator yang kuat (Jankowska, 1991).

2.2.5 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif dibedakan menjadi 2 metode, yaitu metode secara langsung dan tidak langsung. Pada pembuatan karbon aktif dengan metode langsung biasanya digunakan pada pembuatan karbon aktif berbentuk serbuk atau *Powdered Activated Carbon* (PAC). Bahan dasar yang digunakan umumnya tempurung kelapa, batu bara yang relatif padat, dan lain-lain. Bahan dibentuk sesuai ukuran yang diinginkan kemudian melewati proses karbonisasi dan aktivasi, lalu produk disaring. Sedangkan pada metode secara tidak langsung diperlukan proses *reconstitution* dan *pretreatment* serta bahan yang digunakan yaitu seperti batu bara muda, *peat*, dan *petral coke* (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

Cheremisinoff dan AC. Moressi (1978) menjelaskan bahwa proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahapan yaitu (Anggraeni dan Yuliana, 2015):

a. Dehidrasi

Dehidrasi merupakan proses menghilangkan air dengan dilakukan pemanasan hingga suhu 170°C pada bahan baku yang digunakan. Proses ini dilakukan pada bahan yang masih berbentuk bahan mentah atau setelah dijadikan karbon aktif dengan kadar air yang tidak boleh melebihi standar SNI sehingga layak untuk digunakan sebagai karbon aktif.

b. Karbonisasi

Proses karbonisasi merupakan suatu proses pembakaran atau pirolisis yang tak sempurna dengan udara terbatas dari bahan yang mengandung karbon. Tujuan proses ini untuk menghasilkan butiran yang memiliki daya serap dan struktur yang rapi. Pada pemanasan menggunakan suhu diatas 170°C akan terjadi proses pemecahan bahan organik menjadi karbon dengan menghasilkan CO dan CO_2 . Pada suhu 275°C terjadi proses dekomposisi dan menghasilkan tar, methanol, dan

hasil samping lainnya. Pada suhu 400-600°C dapat terjadi pembentukan karbon. Bahan organik didekomposisi dengan menyisakan karbon dan komponen *volatile* yang lain diuapkan.

c. Aktivasi

Proses aktivasi adalah proses yang bertujuan untuk memperbesar pori-pori karbon aktif dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan agar terjadi perubahan sifat fisika dan sifat kimia sehingga luas permukaannya bertambah besar serta memiliki daya adsorpsi yang baik. Pada proses ini diperlukan penggunaan cairan atau padatan berupa asam, basa, atau garam yang digunakan sebagai aktivator. Jenis aktivator yang digunakan sangat mempengaruhi kualitas dari pembuatan suatu karbon aktif. Suatu karbon yang belum diaktivasi tidak dapat digunakan sebagai karbon aktif dikarenakan struktur porusnya tidak berkembang. Adapun faktor yang mempengaruhi proses aktivasi yaitu waktu, temperatur, ukuran partikel, rasio, dan jenis aktivator. Aktivasi dibagi menjadi dua cara yaitu secara kimia dan fisika.

1. Aktivasi Secara Kimia

Aktivasi yang dilakukan secara kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan menggunakan bahan kimia sebagai aktivatornya. Bahan mentah yang biasa dipakai pada aktivasi secara kimia yaitu bahan yang mengandung selulosa seperti kayu, ampas tebu, tempurung kelapa, dan sebagainya. Kelebihan aktivasi kimia yaitu permukaan karbon aktif lebih luas daripada karbon aktif yang dihasilkan dari aktivasi fisika. Biasanya bahan kimia yang digunakan yaitu garam kalsium klorida (CaCl_2), magnesium klorida (MgCl_2), seng klorida (ZnCl_2), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na_2CO_3) dan natrium klorida (NaCl). Selain garam mineral juga dapat digunakan dari berbagai asam dan basa organik seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam hipoklorit (HClO), kalium hidroksida (KOH), dan natrium hidroksida (NaOH). Jenis aktivator tersebut bertujuan untuk mendegradasi molekul organik, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik, serta dapat menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan pada proses karbonisasi (Yuliasuti dan Cahyono, 2018). Karbon aktif yang diproduksi dengan cara ini adalah karbon aktif berbentuk

serbuk dengan densitas yang rendah, tanpa proses treatment yang khusus, serta mempunyai proporsi pori-pori kecil yang rendah (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

Kerugian penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif terletak pada proses pencucian bahan-bahan mineral tersebut kadang-kadang sulit dihilangkan lagi dengan pencucian. 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. Karbon aktif dengan seng klorida dinyatakan baik untuk proses decolorizing tetapi untuk mengadsorpsi *methylene blue* dan *iodine number* akan rendah (Jankowska, 1991).

2. Aktivasi Secara Fisika

Proses aktivasi secara fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap, dan CO₂. Aktivasi ini dilakukan dengan menggunakan uap air, gas karbon dioksida, oksigen dan nitrogen. Fungsi dari gas tersebut yaitu untuk mengembangkan struktur rongga karbon aktif sehingga permukaan pori-porinya luas, zat volatil serta tar atau hidrokarbon pengotor yang terkandung didalamnya hilang dapat dibuang. Temperatur yang digunakan pada aktivasi fisika yaitu antara 400°C hingga 800°C dengan kondisi inert melalui penginjeksian nitrogen dalam reaktor aktivasi. Gas nitrogen digunakan karena nitrogen merupakan gas inert sehingga pemanasan dapat dikurangi serta dapat memperluas permukaan rongga pori-pori karbon aktif (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

Aktivasi fisika bertujuan untuk mempertinggi volume serta memperluas diameter pori yang terbentuk selama karbonisasi dan juga dapat menimbulkan beberapa pori yang baru. Karbon aktif hasil dari aktivasi fisika biasanya digunakan pada pengolahan air dan prosesnya endotermis yaitu melibatkan kontak antara activating agent fasa gas dengan karbon pada temperatur 850-1000°C. Pada proses ini terjadi reduksi dari ukuran adsorben dikarenakan oksidasi eksternal yang berlebihan selama gas oksidasi berdifusi ke dalam karbon yang tidak teraktivasi (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses fisika atau kimia yang disertai terakumulasi zat padatan-cairan. Zat padat tersebut dapat berupa bahan alami (seperti permukaan tanah, endapan laut, atau sungai) atau dapat juga berupa antropogenik alami (karbon aktif) (Michelcic, 1999). Adsorpsi (penyerapan) adalah proses pemisahan yaitu komponen tertentu dari fasa fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben) (Harriot dkk, 1999; Wahyuni, 2007).

Pada adsorpsi ada yang disebut sebagai adsorben dan adsorbat. Adsorben adalah suatu padatan yang memiliki kemampuan menyerap kontaminan ke dalam bagian permukaannya, sedangkan adsorbat adalah kontaminan yang diserap oleh adsorben dan dapat berupa bahan organik, zat warna atau zat pelembab. Adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu. Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau karena perbedaan polaritas menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan itu lebih erat daripada molekul-molekul lain.

Keseimbangan adsorpsi terjadi ketika larutan dikontakkan dengan adsorben maka molekul dari adsorbat akan berpindah dari larutan ke padatan (adsorben) hingga konsentrasi adsorbat di larutan dan padatan dalam keadaan setimbang (Arif, 2014). Daya adsorpsi dari karbon aktif disebabkan oleh permukaan karbon yang memiliki pori-pori dalam jumlah besar dan dikarenakan adanya perbedaan energi potensial pada permukaan karbon dengan zat yang diserap sehingga menyebabkan terjadinya adsorpsi. Menurut tinjauan termodinamika, molekul-molekul selalu memilih keadaan energi yang lebih rendah. Interaksi molekul dengan permukaan dapat disebabkan oleh gaya fisika atau kimia. Gaya elektrostatik merupakan prinsip fisika dasar yang bertanggung jawab terhadap interaksi antara adsorbat dan adsorben. Gaya ini meliputi interaksi dipol-dipol, dispersi (gaya London) dan ikatan hidrogen (Michelcic, 1999).

Karbon aktif secara signifikan dipengaruhi oleh gugus fungsi seperti gugus fungsional karbonil dan hidroksil. Permukaan karbon aktif bersifat nonpolar dikarenakan terdiri dari unsur karbon bebas yang saling berikatan. Karbon aktif juga dipengaruhi oleh luas permukaan yang berhubungan dengan struktur pori yang

dimilikinya, dimana semakin kecil pori-pori karbon aktif maka luas permukaannya semakin besar (Arif, 2014). Pada penyerapan logam atau senyawa, umumnya kelarutannya lebih kecil daripada karbon aktif dan ukuran porinya lebih kecil dibandingkan ukuran pori karbon aktif.

2.3.1. Jenis-jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekul antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Hendra, 2008).

1. Adsorpsi Fisika (*physisorption*)

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang menggunakan gaya Van der Waals yaitu gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika termasuk peristiwa reversibel dimana kondisi operasinya diubah sehingga terbentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150–200°C selama 2-3 jam.

2. Adsorpsi Kimia (*chemisorption*)

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan monolayer. Pada adsorpsi kimia yang terpenting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan monolayer sehingga pendekatan yang digunakan adalah dengan menentukan kondisi reaksi. Adsorpsi kimia tidak bersifat reversibel dan umumnya terjadi pada suhu tinggi diatas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, untuk melakukan proses desorpsi dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat.

2.3.2. Mekanisme Adsorpsi

Menurut Reynolds (1982) dalam Safitri (2016), mekanisme penyerapan adsorben terhadap zat terlarut terbagi menjadi 4 tahap yaitu :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film yang mengelilingi adsorben (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler atau pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben.

2.3.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Karbon aktif yang baik memiliki daya serap yang baik pula. Adapun faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi, yaitu (Treybal, 1980):

1. Luas Permukaan

Jumlah gas yang teradsorpsi tergantung dari jenis adsorben yang digunakan, semakin besar luas permukaan karbon aktif yang digunakan, maka semakin banyak jumlah gas yang dapat teradsorpsi.

2. Berat Molekul

Permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul-molekul zat terlarut pada permukaannya akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan. Adsorpsi kimia menghasilkan pembentukan lapisan monomolekular adsorbat pada permukaan melalui gaya-gaya dari valensi sisa dari molekul-molekul pada permukaan. Adsorpsi fisika diakibatkan kondensasi molekular dalam kapiler-kapiler dari padatan. Secara umum, unsur-unsur dengan berat molekul yang lebih besar akan lebih mudah diadsorpsi. Sehingga, semakin berat molekul dalam suatu unsur akan semakin mudah proses adsorpsi yang berlangsung.

3. Porositas

Pada umumnya adsorben mengandung bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori didalam partikel. Oleh karena itu, ukuran pori-pori biasanya sangat kecil dengan luas permukaan

dalam yang lebih besar dari permukaan luar. Sehingga pemisahan terjadi karena perbedaan porositas menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan itu lebih erat daripada molekul-molekul lainnya.

4. Temperatur

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

5. Tekanan Adsorbat

Pada 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.

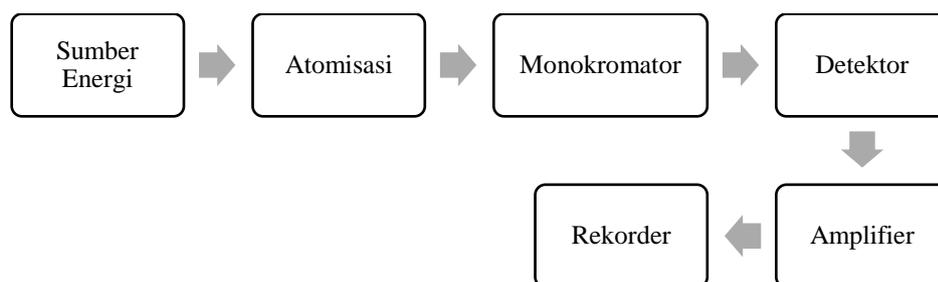
2.4 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)



Gambar 2.7 Atomic Absorption Spectrophotometer (Fadri, 2018)

Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) atau Spektrofotometer Serapan Atom dimanfaatkan untuk analisis kuantitatif yang menentukan kadar total unsur logam dalam jumlah banyak maupun sangat banyak. Prinsip dari AAS yaitu larutan sampel diaspirasikan ke suatu nyala dan unsur-unsur dalam sampel diubah menjadi uap atom sehingga nyala mengandung unsur-unsur yang dianalisis. Beberapa di antara atom akan tereksitasi secara termal oleh nyala, tetapi kebanyakan atom tetap tinggal sebagai atom netral dalam keadaan dasar (*ground state*). Atom-atom *ground state* ini kemudian akan menyerap radiasi yang diberikan oleh sumber radiasi yang terbuat dari unsur-unsur yang bersangkutan. Panjang gelombang yang dihasilkan oleh sumber radiasi adalah sama dengan panjang gelombang yang diabsorpsi oleh

atom dalam nyala. Absorpsi ini mengikuti hukum Lambert-Beer, yaitu absorbansi berbanding lurus dengan panjang nyala yang dilalui sinar dan konsentrasi uap atom dalam nyala (Wahyuni, 2007). Banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan konsentrasi atom dalam sampel. Dengan menempatkan absorbansi dari suatu cuplikan pada kurva standar akan diperoleh konsentrasi dalam larutan cuplikan. SSA terdiri dari 5 komponen utama. Komponen-komponen ini dikontrol oleh piranti lunak komputer.



Gambar 2.8 Bagan Instrumen AAS (Sugiarto, 1990)

a. Sumber Energi

Sumber energi ini berupa lampu HCl. Lampu ini merupakan sumber radiasi dengan spektra yang tajam dan mengemisikan gelombang monokromatis. Lampu ini terdiri dari katoda cekung yang silindris yang terbuat dari unsur yang akan ditentukan atau campurannya (*alloy*) dan anoda yang terbuat dari tungsten.

b. Atomisasi

Atomisasi dapat dilakukan dengan nyala api. Fungsi pokok nyala api adalah untuk mengubah unsur logam yang dianalisis menjadi atom-atom netral yang masih dalam keadaan dasarnya.

c. Monokromator

Monokromator berfungsi untuk meneruskan panjang gelombang emisi dari lampu katode berongga yang diabsorpsi paling kuat oleh atom-atom dalam nyala api, dan menahan garis-garis emisi lain dari lampu katode berongga yang tidak digunakan untuk analisis.

d. Detektor

Detektor berfungsi untuk mengubah energi sinar menjadi energi listrik.

e. Amplifier

Amplifier berfungsi sebagai penguat sinyal listrik yang dihasilkan oleh detektor.

f. Rekorder (Pencatat)

Recorder (pencatat) berfungsi untuk menampilkan bentuk sinyal listrik menjadi satuan yang dapat dibaca.

2.5 Logam Besi (Fe)



Gambar 2.9 Logam Besi (Nurjamal, 2018)

Besi adalah unsur kimia yang memiliki simbol Fe yang berasal dari bahasa latin ferrum. Besi (Fe) merupakan logam transisi yang memiliki nomor atom 26. Bilangan oksidasi Fe adalah +3 dan +2. Fe menempati urutan sepuluh besar sebagai unsur di bumi. Fe menyusun 5–5,6% dari kerak bumi dan menyusun 35% dari massa bumi (Fadri, 2018).

2.5.1. Sifat Fisik dan Kimia Besi (Fe)

Besi memiliki sifat fisik dan sifat kimia yang berbeda dengan unsur lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 2.3

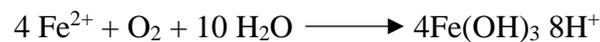
Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Sifat Kimia Besi (Fe)

Sifat fisik dan Kimia	Keterangan
Lambang	Fe
Nomor atom	26
Golongan, Periode	Golongan 8, Periode 4
Penampilan	Metalik mengkilap keabu-abuan
Massa atom relatif	55,854
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ⁶ 4s ²
Fasa	Padat
Massa jenis	7,86 g/cm ³
Titik lebur	1.811 K
Titik didih	3.134 K
Isotop	8
Kepadatan	7,8 g/cm ³ pada 20°C
Energi ionisasi pertama	761 kJ/mol
Energi ionisasi kedua	1.556,5 kJ/mol
Energi ionisasi ketiga	2.951 kJ/mol
Kapasitas kalor	(25°C) 25,10 J/(mol.K)

(Pradita dkk, 2018)

2.5.2. Dampak Besi

Logam besi dengan bilangan oksidasi +2 (kation ferro) umumnya ditemukan dalam air tanah, konsumsi oksigen bahan organik dalam media mikroorganisme sehingga menghasilkan keadaan reduksi dalam air tanah. Jika air tanah tidak mengandung oksigen maka warnanya jernih, namun jika mengalami oksidasi oleh oksigen yang berasal dari atmosfer maka air akan keruh dengan persamaan sebagai berikut :



Sedangkan pada pembentukan besi dengan bilangan oksidasi +3 (kation ferri) mengalami oksidasi terhidrat yang tidak larut sehingga air berubah menjadi abu-abu (Ahmad, 2004).

Endapan besi dapat bersifat korosif terhadap pipa sehingga dapat menyebabkan penyumbatan pada aliran pipa tersebut. Berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, konsentrasi maksimal besi yang diperbolehkan dalam air yaitu 0,3 mg/L. Besi dalam perairan yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan kekeruhan, air berwarna kecoklatan, dan bau. Populasi biota didalam air juga akan berpengaruh sehingga menyebabkan hewan seperti kerang dan ikan menjadi tidak layak dikonsumsi (Pradita, 2018).

Besi dalam jumlah yang berlebihan juga dapat menyerang kesehatan masyarakat seperti mudah lelah, mual, muntah, diare, dan penyakit lainnya sehingga diperlukan suatu tindakan khusus untuk mengolah air yang telah memiliki kadar besi diatas ambang batas.

2.6 Asam Klorida (HCl)

Asam klorida merupakan senyawa yang dapat mengklorinasi bahan-bahan hidrokarbon. Asam klorida memiliki rumus molekul HCl, larut dalam air dan mengeluarkan panas yang cukup besar. Kelarutan asam klorida didalam air pada tekanan atmosfer dan suhu kamar adalah sebesar 42% berat. Warna larutan asam klorida akan berubah menjadi kekuningan jika mengandung besi, klorin atau bahan-bahan organik yang lain. Larutan asam klorida ini dapat bereaksi dengan logam (Wirani, 2017).

Asam klorida (HCl) sebagai zat aktivator kimia bersifat higroskopis yang dapat mengurangi kadar air pada arang aktif yang dihasilkan. Dibandingkan dengan aktivator lainnya seperti H_2SO_4 dan HNO_3 , arang aktif yang diaktivasi HCl memiliki daya jerap ion yang lebih baik karena HCl lebih dapat melarutkan pengotor sehingga pori-pori lebih banyak terbentuk dan proses penjerapan adsorbat menjadi lebih maksimal. Larutan ini jika murni merupakan cairan yang tidak berwarna, sangat korosif, asapnya berbau sangat menyengat dan dapat mematikan jika dihirup dalam jumlah yang banyak. Unsur-unsur yang menyusun HCl berikatan secara kovalen polar. Dengan demikian, senyawa HCl lebih didominasi oleh karakter kovalen. Arang yang tersusun dari atom-atom C yang secara kovalen membentuk struktur heksagonal datar dengan satu atom C pada tiap sudut, akan berinteraksi lebih baik dengan zat yang memiliki karakter kovalen. Maka dari itu, HCl memiliki kemampuan berinteraksi yang baik dengan arang (Safitri, 2016). Sifat Fisika Asam Klorida dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Asam Klorida (HCl)

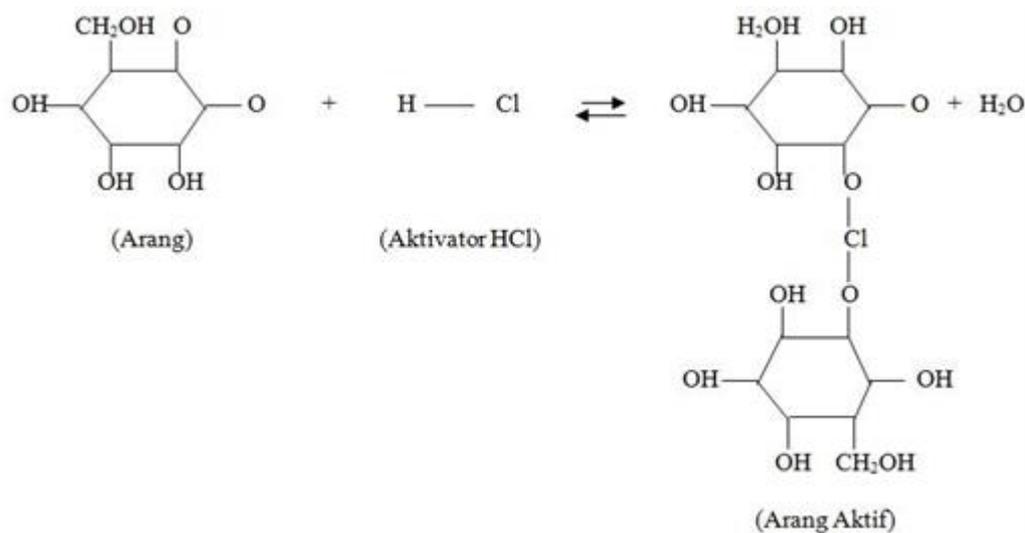
Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Nama IUPAC	Asam Klorida
Rumus Molekul	HCl
Berat Molekul	36,461 gr/mol
Titik didih	110°C (383 K) larutan 20,2%
Titik leleh	-27,32°C (247 K) larutan 38%
Densitas	1,18 gr/cm ³
Penampilan	Tidak berwarna
Viskositas	1,9 mPa.s pada 25°C larutan 31,5%
Kelarutan	Larut dalam air, alkohol, dan eter

(William L. Jolly, 1984; Safitri, 2016)

2.6.1. Mekanisme Aktivasi Menggunakan HCl Pada Karbon Aktif

Proses aktivasi bertujuan untuk menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa pori baru pada karbon aktif. Mekanisme yang terjadi pada proses aktivasi yaitu air yang masih terikat kuat pada pori-pori karbon yang

telah dikarbonisasi dilepaskan oleh zat aktivator, dimana zat aktivator ini memiliki sifat mengikat air. Selanjutnya zat aktivator tersebut akan memasuki pori dan membuka permukaan arang yang tertutup. Dengan demikian pada saat dilakukan aktivasi, senyawa pengotor yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terserap sehingga luas permukaan karbon aktif semakin besar dan meningkatkan daya serapnya (Li dkk, 2008; Safitri, 2016). Pada penelitian ini akan dilakukan aktivasi dengan menggunakan aktivator HCl, adapun mekanisme aktivasi arang dengan larutan HCl ditunjukkan pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Mekanisme Aktivasi Karbon Aktif dengan Larutan HCl
(Safitri, 2016)

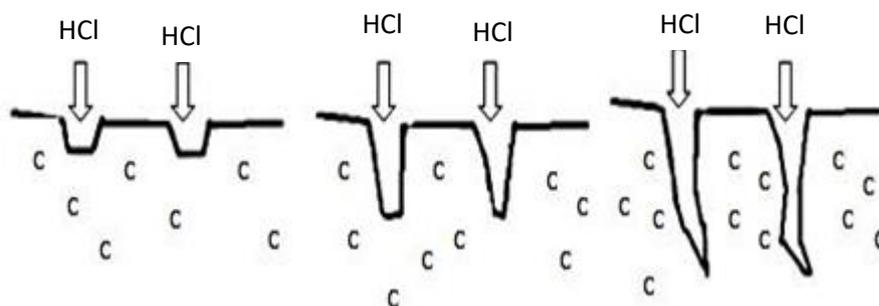
HCl merupakan *activating agent* yang bersifat asam. *Activating agent* yang bersifat asam, lebih baik digunakan untuk material selulosa dikarenakan material selulosa mengandung banyak oksigen. Asam akan bereaksi baik dengan oksigen pada selulosa sehingga aktivator HCl cocok untuk digunakan dalam pembuatan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit, karena tandan kosong kelapa sawit merupakan bahan baku yang mengandung material selulosa.

Karbon aktif memiliki mikro pori-pori semakin banyak setelah diaktivasi menggunakan aktivator, hal ini dikarenakan zat pengaktivator telah mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi keluar dari mikropori karbon, sehingga permukaannya semakin berpori (*porous*). Perubahan karbon aktif sebelum dan sesudah diaktivasi dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Skema Karbon Aktif (a) Sebelum Aktivasi (b) Setelah Aktivasi (Sontheimer, 1985)

Seiring bertambahnya konsentrasi aktivator yang digunakan dan waktu aktivasi yang dicapai, HCl sebagai *activating agent* akan bereaksi dengan karbon dan merusak bagian dalam karbon sehingga membentuk pori-pori yang semakin banyak terlihat, peristiwa ini dapat dilihat dalam bentuk ilustrasi pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Ilustrasi Pembentukan Pori-pori Karbon Aktif (Safitri, 2016)

2.7 Asam Fosfat (H_3PO_4)

Asam fosfat juga dikenal sebagai *orthophosphoric acid* merupakan asam anorganik yang memiliki rumus kimia H_3PO_4 . Peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian tentang pemakaian berbagai aktivator dalam pembuatan arang aktif dan diperoleh bahwa asam fosfat (H_3PO_4) merupakan aktivator yang baik karena lebih efektif untuk menghasilkan arang aktif dengan daya serap yang tinggi bila dibandingkan dengan aktivator lain seperti H_2SO_4 , ZnCl_2 , KOH , NaOH (Silalahi, 1996; Apriyanti, 2016).

Selain itu, H_3PO_4 memiliki stabilitas termal yang baik dan memiliki karakter kovalen yang tinggi. Stabilitas termal berperan dalam mempertahankan kestabilan zat pengaktif dalam proses aktivasi yang dilakukan pada suhu tinggi sedangkan karakter kovalen berkaitan dengan interaksi kovalen antara arang dengan zat pengaktif yang berlangsung pada suhu tinggi. Unsur-unsur yang menyusun H_3PO_4 berikatan secara kovalen polar. Dengan demikian, senyawa H_3PO_4 lebih didominasi oleh karakter kovalen. Arang yang tersusun dari atom-atom C yang secara kovalen membentuk struktur heksagonal datar dengan satu atom C pada tiap sudut, akan

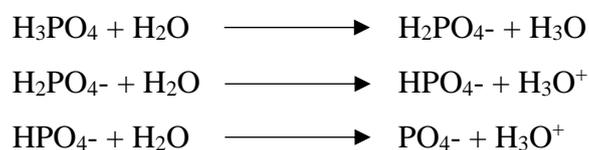
berinteraksi lebih baik dengan zat yang memiliki karakter kovalen. Jadi, H_3PO_4 memiliki kemampuan berinteraksi lebih baik dengan arang (Koleangan dan Wuntu, 2008). Asam fosfat memiliki beberapa sifat fisika yang dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Sifat Fisika Asam Fosfat (H_3PO_4)

Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Rumus Molekul	H_3PO_4
Berat Molekul	98 gr/mol
Titik didih	213°C
Titik leleh	42°C
Densitas	$1,685 \text{ gr/cm}^3$
Penampilan	Tidak berwarna

(Lukmanadin dan Febriyanto, 2019)

Sedangkan sifat kimia dari asam fosfat (H_3PO_4) yaitu asam fosfat merupakan asam tribasa, pelepas ion hidrogen yang pertama adalah ionisasi yang paling cepat. Ionisasi kedua adalah sedang dan yang ketiga sudah lambat. Hal ini bisa dilihat dari ketetapan penguraian ionisasi (kirk-Othmer, 1978; Lukmanadin dan Febriyanto, 2019):



Asam fosfat lebih kuat dari asam asetat, asam oksalat, dan asam borak, tetapi lebih lemah dibandingkan asam nitrat, asam sulfat, dan asam klorida.

Asam fosfat (H_3PO_4) dipilih sebagai aktivator karena tidak mencemari lingkungan dan proses penetralan produk karbon aktif yang mudah yaitu hanya dengan pencucian menggunakan air (Foo dan Lee, 2010; Hasibuan, 2020). Sebagai agen aktivator, H_3PO_4 dapat menyerap kandungan mineral pada bahan yang akan dijadikan karbon aktif sehingga mencegah terbentuknya abu pada karbon aktif.

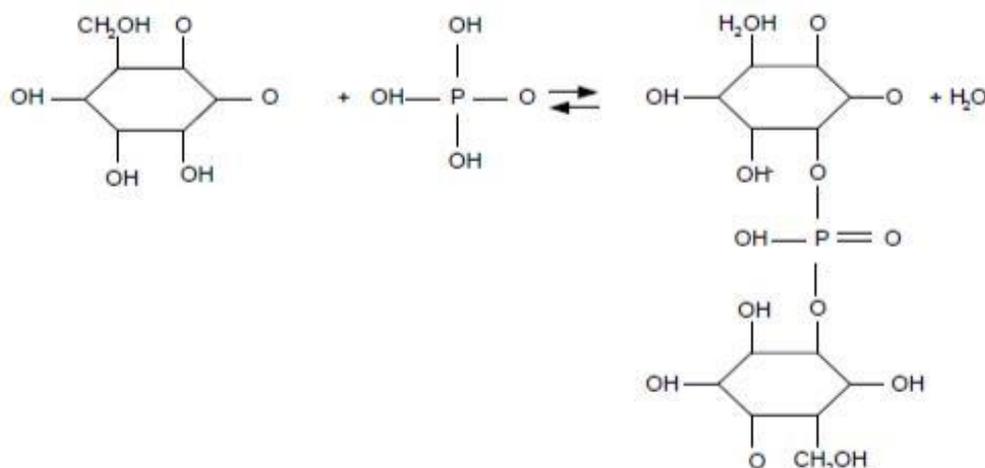
2.7.1. Mekanisme Aktivasi Menggunakan H_3PO_4 Pada Karbon Aktif

Menurut Hsu dan Teng (2000) dalam pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia, aktivator yang bersifat asam lebih baik dibandingkan dengan aktivator basa. Hal ini dikarenakan material lignoselulosa memiliki kandungan

oksigen yang tinggi dan aktivator yang bersifat asam bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen. Gugus OH yang terikat pada selulosa apabila dipanaskan pada suhu tinggi akan kehilangan atom-atom hidrogen dan oksigen sehingga tinggal atom karbon yang terletak pada setiap sudutnya (Lukmanadin dan Febriyanto, 2019).

H_3PO_4 yang merupakan *activating agent* yang dapat mengoksidasi karbon dan merusak permukaan bagian dalam karbon sehingga akan terbentuk pori serta meningkatkan daya adsorpsi. *Activating agent* ini berperan sebagai *dehydrating agent* yang akan mempengaruhi dekomposisi pirolisis, menghambat pembentukan tar, dan mengurangi pembentukan asam asetat, metanol, dan lain-lain (Manocha, 2003; Lukmanadin dan Febriyanto, 2019). Asam fosfat memiliki banyak kegunaan, yaitu sebagai reagen kimia, inhibitor karat, aditif makanan, etchant industri, bahan baku pupuk dan juga dapat digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif.

Mekanisme dari proses aktivasi menggunakan H_3PO_4 yaitu zat aktivator menembus celah atau pori-pori di antara pelat-pelat kristalit karbon pada karbon aktif yang berbentuk heksagonal dan menyebar didalam celah atau pori-pori tersebut, sehingga terjadi pengikisan pada permukaan kristalit karbon. *Amorphous carbon* yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlanjut dengan mengikis dinding karbon untuk membentuk pori-pori baru. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Mekanisme Aktivasi Karbon Aktif dengan Larutan H_3PO_4
(Marit dkk, 2006)

2.8 Isoterm Adsorpsi

Pada umumnya adsorpsi dikaitkan dengan isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi didefinisikan sebagai fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan (Arif, 2016). Isoterm adsorpsi digunakan untuk menentukan kapasitas maksimum dari adsorben terhadap kontaminan yang diserap (Nasruddin dkk, 2017). Adapun tipe adsorpsi yang biasa digunakan dalam penentuan kapasitas adsorpsi dari suatu karbon aktif yaitu isoterm Freundlich dan Langmuir. Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi pada fase cair-padat yang umumnya menganut tipe isoterm Freundlich dan Langmuir. Kualitas suatu adsorben dapat dilihat dari kapasitas dan persentase penyerapannya terhadap zat yang diserap.

Kapasitas suatu adsorben dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Q = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \dots\dots\dots(\text{Arif, 2014})$$

Sedangkan persentase adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kadar adsorbat yang teradsorpsi (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Arif, 2014})$$

Dimana,

Q = Kapasitas adsropsi (mg/g)

C₀ = Konsentrasi awal Fe (mg/l)

C_e = Konsentrasi akhir Fe (mg/l)

V = Volume sampel (Liter)

W = Berat adsorben (gram)

2.8.1 Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich didasarkan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) yang bersifat heterogen sehingga memiliki potensi penyerapan yang berbeda-beda. Jika y adalah berat zat terlarut per gram adsorben dan c adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan, maka dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut:

$$\frac{x_m}{m} = k \cdot C^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(\text{Alam, 2007})$$

Persamaan tersebut jika diubah ke logaritma menjadi:

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = \log k + \frac{1}{n} \cdot \log C_e \dots\dots\dots (Alam, 2007)$$

Dimana:

X_m = berat zat yang diadsorpsi

m = berat adsorben

C_e = konsentrasi zat

k = konstanta adsorpsi Freundlich

n = konstanta empiris

2.8.2 Isoterm Langmuir

Teori ini diturunkan dari Langmuir pada tahun 1918 dengan menggunakan model sederhana yaitu padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Berdasarkan model ini, kapasitas adsorpsi maksimum terjadi karena adanya lapisan *monolayer* (tunggal) adsorbat di permukaan adsorben (Arif, 2016). Penurunan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir sistem cair-padat didasarkan kesetimbangan proses adsorpsi dan desorpsi adsorbat di permukaan padatan.

Persamaan isoterm Langmuir:

$$Q = \frac{b \cdot k \cdot C_e}{1 + k \cdot C_e} \dots\dots\dots (Arif, 2014)$$

Persamaan tersebut dapat diturunkan secara linier menjadi:

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{k \cdot b} + \frac{1}{b} \cdot C_e \dots\dots\dots (Arif, 2014)$$

Dimana:

C_e = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)

Q = Jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

k = Konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

b = Kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g)

$1/kb$ = Intersep

$1/b$ = Slope

2.8.3 Isoterm Brenauer-Emmet-Teller (BET)

Metode Brenauer-Emmet-Teller (BET) digunakan untuk prosedur penentuan permukaan area dan pori dari bahan padatan serbuk. Dalam penentuannya menggunakan persamaan BET. Prinsip kerjanya menggunakan

mekanisme adsorpsi gas, umumnya nitrogen, argon dan helium, pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada temperatur konstan seringkali pada suhu didih dari gas tersebut. Alat tersebut pada dasarnya hanya mengukur jumlah gas yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada tekanan dan temperatur tertentu. Salah satu karakteristik karbon aktif berkualitas ialah memiliki luas permukaan yang tinggi. Semakin besar luas permukaan karbon aktif, semakin besar pula daya adsorpsinya. Luas permukaan suatu adsorben dapat diketahui dengan alat pengukur luas permukaan yang menggunakan prinsip metode Brenauer-Emmet-Teller (BET). Pengukuran luas permukaan dengan model BET ini biasanya menggunakan nitrogen sebagai adsorbat. Adsorpsi isotermis dengan prinsip BET merupakan jenis adsorpsi fisis.

Metode BET pertama kali ditemukan oleh Brenauer, Emmet, dan Teller pada tahun 1938. Metode BET ini merupakan pengembangan dari teori Langmuir. Teori Langmuir digunakan untuk adsorpsi monolayer kemudian dikembangkan menjadi teori BET yang menyatakan bahwa adsorpsi dapat terjadi di atas lapisan adsorbat monolayer sehingga teori dan model BET ini dapat digunakan untuk adsorpsi multilayer.

$$\frac{P}{v(P_0-P)} = \frac{1}{vmC} + \left(\frac{C-1}{V}\right) \frac{P}{P_0} \dots\dots\dots(\text{Maulana, 2011})$$

Dimana:

- V = volume gas yang diadsorpsi
- vm = volume gas diserap, diadsorpsi saat permukaan tertutup oleh lapisan unimolekular
- P₀ = tekanan uap jenuh gas
- P = tekanan dari gas
- c = konstanta

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan dilakukan. Kesamaan yang dimaksud meliputi bahan adsorben yang digunakan yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan metode yang akan digunakan. Daftar penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Daftar Penelitian Karbon Aktif Terdahulu

Judul Penelitian	Penulis	Parameter yang dianalisa	Aktivator	Hasil Penelitian
<i>Activated carbons derived from oil palm empty - fruitbunches: Application to environmental problems</i>	Md. Zahangir Alam, Suleyman A. Muyibi, Mariatul F. Mansor, Radziah Wahid	Fenol	Aktivasi Termal (300, 500, 800 °C) dan Aktivasi Fisik (pada 150°C 2 jam)	Karbon aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator termal pada suhu 800°C lebih efisien dalam menurunkan kadar fenol. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi yang lebih besar pada isoterm freundlich sebesar $R^2 = 0,9988$.
Pemanfaatan Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Karbon Aktif untuk Pembersih Air Limbah Aktivitas Penambangan Emas	Erman Taer, Widya Sinta Mustika, Sugianto	Besi (Fe) dan Seng (Zn).	KOH	Pada pengujian menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) diperoleh serapan optimum untuk Fe 78,52% dan Zn 77,23%, dan pada uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) diperoleh kontaminasi Fe 2,36% dan Zn 0,61%.
Pemanfaatan Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit (<i>Elais Guineensis Jacq</i>) sebagai Bahan Dasar C-Aktif untuk Adsorpsi Logam Perak dalam Larutan	Winda Rahmalia, Fitriya Yulistira, Janiar Ningrum, Mahwar Qurbaniah, Muhammad Ismadi	Perak (Ag)	ZnCl ₂ 50%	Kapasitas adsorpsi Ag(I) pada karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir dengan harga kapasitas adsorpsi sebesar $2,8583 \times 10^{-4}$ mol/g dan harga konstanta laju adsorpsi Ag(I) pada karbon aktif sebesar $2,2400 \times 10^{-2}$ menit ⁻¹