

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nenas

Tanaman buah nenas (*Ananas comosus*) merupakan tanaman yang termasuk golongan tanaman tahunan. Susunan yang terdapat pada buah nenas yaitu akar, batang, daun, bunga dan buah. Akar nenas dapat dibedakan menjadi akar tanah dan akar samping. Akar melekat pada pangkal batang dan termasuk akar serabut, kedalaman perakaran pada media tanah yang baik antara 30-50 cm. Batang merupakan tempat melekatnya akar, daun, bunga, tunas dan buah.



Gambar 2.1 Nenas

Nenas atau bahasa latinnya *Ananas Comosus* bukan berasal dari tanaman Indonesia, yaitu berasal dari Brazil dan Paraguay. Kata *Pineapple* dikenal pertama kali pada tahun 1398 kemudian penelitian Eropa menemukan *Pineapple* tahun 1664 karena bentuknya mirip dengan buah pinus. Colombus menemukan di kepulauan Indies dan membawa ke Eropa. Bangsa Spanyol memperkenalkan ke Filipina dan Hawaii pada awal abad ke-19. Buah nenas (*Ananas comosus*) sangat digemari dan mudah ditemukan. Buah nenas dapat dikonsumsi dalam bentuk kemasan sedemikian rupa sehingga dapat secara praktis sebagai hidangan pencuci mulut.

Buah nenas (*Ananas comosus*) mengandung air dan serat yang tinggi seperti, *homoselulosa* 67%, *selulosa* 38-48%, *alpa selulosa* 31 %, *lignin* 17%, serta *pentosa*

26%. Daun nanas (*Ananas comosus*) memiliki kandungan kalsium oksalat, *pectic substances*, dan enzim *bromelin* (Ii & Pustaka, 2007). Nenas memiliki kandungan nutrisi rendah seperti kalori, sehingga tidak perlu khawatir berapa banyak buah nenas yang dikonsumsi. Nenas memiliki kandungan karbohidrat termasuk didalamnya terdapat gula yang dapat meningkatkan kadar gula darah. Nenas memiliki kandungan air dan serat yang tinggi, yang dapat membersihkan permukaan mulut dan dapat bekerja sebagai sistem pencernaan.

Tabel berikut ini merupakan kandungan buah nenas dalam 100 gram sebagai berikut :

Tabel 2.1. Kandungan gizi buah nenas dalam (100 gr) bahan

| Kandungan Gizi | Banyaknya |
|----------------------------|-------------|
| Kalori | 52 kal |
| Protein | 0,40 gram |
| Lemak | 0,20 gram |
| Karbohidrat | 16 gram |
| Fosfor | 16 gram |
| Zat besi | 0,30 m/gram |
| Vitamin A | 130 S.I |
| Vitamin B1 | 0,08 m/gram |
| Vitamin C | 24 m/gram |
| Air | 85,30 gram |
| Bagian dapat dimakan (Bdd) | 53 % |

Limbah atau sampah ialah hasil dari suatu kegiatan yang kurang atau tidak dimanfaatkan. Limbah pertanian lain yang kurang optimal pemanfaatannya dari pertanian kulit nenas. Sebagian besar sampah kulit nenas hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Karena itu perlu diupayakan pemanfaatan yang lebih besar dari sampah kulit nenas. Pemanfaatan yang optimal dari kulit nenas ini salah satunya ialah di jadikan bahan dasar pembuatan karbon aktif.

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan material karbon yang berpori dengan luas permukaan yang besar sehingga banyak digunakan untuk berbagai aplikasi. Arang atau karbon dalam wujud yang berbeda memegang peranan yang penting dalam kehidupan manusia. Zat ini dapat diperoleh dari bahan alami yang mengandung

karbon, seperti batu bara, tanaman, kayu kering dll. Karbon adalah jenis campuran yang di peroleh dari pembakaran substansi organik atau non organik yang tentunya mengandung unsur karbon. Berpori atau tidaknya karbon tersebut tergantung dari keadaan dari proses yang di gunakan dan proses lanjutan setelah proses kebakaran atau dengan kata lain proses karbonasi. Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang di hasil kan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang di perlukan secara khusus untuk mendapat daya adsorbsi yang tinggi, karbon aktif dapat mengadsorbsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorbsi nya selektif ,tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan.

Karbon aktif merupakan suatu padatan yang berpori yang mengandung 85–95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi sehingga diperoleh luas permukaan yang sangat besar, dimana ukurannya berkisar antara 300 – 2000 m²/gr. Luas permukaan yang besar dari struktur dalam pori-pori karbon aktif dapat terus dikembangkan, struktur ini memberikan kemampuan karbon aktif menyerap (adsorbsi) gas-gas dan uap-uap dari gas dan juga dapat menguraikan zat-zat dari liquida.

Aktivasi merupakan suatu proses penyebab perubahan fisik pada permukaan karbon, melalui proses penghilangan zat hidrogen, gas, air, serta pengotor yang menutupi pori-pori karbon aktif. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon (Maghfirana, 2019).

2.2.1 Fungsi dan Kegunaan Karbon Aktif

Saat ini, arang aktif telah digunakan secara luas dalam industri kimia, makanan/minuman dan farmasi. Pada umumnya arang aktif digunakan sebagai bahan penyerap, dan penjernih. Dalam jumlah kecil digunakan juga sebagai katalisator (Nurhayati et al., 2018).

Tabel 2.2. Kegunaan Arang Aktif

| Maksud/Tujuan | Pemakaian |
|---|--|
| I. Untuk Gas | |
| 1. Pemurnian gas | Desulfurisasi dan penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas |
| 2. Pengolahan LNG | Desulfurisasi dan penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas |
| 3. Katalisator | Reaksi katalisator atau pengangkut vinil klorida, dan vinil acetat |
| 4. Lain-lain | Menghilangkan bau dalam kamar pendingin dan mobil |
| II. Untuk Zat Cair | |
| 1. Industri obat dan makanan | Menyaring dan menghilangkan warna, bau, rasa yang tidak enak pada makanan |
| 2. Minuman ringan, minuman keras | Menghilangkan warna, bau pada arak/ minuman keras dan minuman ringan |
| 3. Kimia perminyakan | Penyulingan bahan mentah, zat perantara |
| 4. Pembersih air | Menyaring/menghilangkan bau, warna, zat pencemar dalam air, sebagai pelindung dan penukaran resin dalam alat/penyulingan air |
| 5. Pembersih air buangan | Mengatur dan membersihkan air buangan dan pencemar, warna, bau, logam berat. |
| 6. Penambakan udang dan Benur | Pemurnian, menghilangkan bau, dan warna |
| 7. Pelarut yang digunakan Kembali | Penarikan kembali berbagai pelarut, sisa metanol, etil acetat dan lain-lain |
| II. Lain-Lain | |
| 1. Pengolahan pulp | Pemurnian, menghilangkan bau |
| 2. Pengolahan pupuk | Pemurnian |
| 3. Pengolahan emas | Pemurnian |
| 4. Penyaringan minyak makan dan glukosa | Menghilangkan bau, warna, dan rasa tidak enak |

2.2.2 Jenis Karbon Aktif

Jenis-jenis karbon aktif dapat dibedakan berdasarkan atas fasa zat yang diadsorbsi oleh karbon aktif, yaitu karbon aktif fasa cair dan karbon aktif fasa gas.

a. Karbon Aktif Fasa Cair

Karbon aktif fasa cair pada umumnya berbentuk serbuk yang sangat halus biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis rendah seperti kayu, serbuk gergaji dan bahan yang mengandung lignin. Karbon aktif jenis ini banyak digunakan untuk menghilangkan bau, rasa, warna dan kontaminan organik lainnya. Bentuk fisiknya berupa bubuk halus dan ringan dengan diameter pori mencapai 1000\AA . tulang, kayu batubara lignit, atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah, serta mengandung bahan lignin seperti limbah-limbah hasil pertanian biasanya di buat untuk karbon aktif fasa cair.

Penggunaan karbon katif fasa cair pada prinsip nya ada dua yaitu, pertama di gunakan untuk menghilangkan warna, bau, rasa, atau pengotor yang menyebabkan busa atau kegagalan pembentukan kristal dan larutan dan yang kedua di gunakan untuk mengurangi konsentrasi larutan. contoh aplikasinya adalah penggunaan filter aquarium, industri minyak dan lemak, industri gula, industri kimia dan farmasi, penjernihan air, dan lain-lain nya .

b. Karbon Aktif Fasa Gas

Bentuk fisiknya butiran dan keras (granular atau pellet) dengan diameter pori berkisar antara $10\text{-}200\text{\AA}$. Pemakaian biasanya yaitu untuk menarik suatu gas dan suatu campuran gas buangan industri. Karbon aktif fasa gas di buat dari batu bara, residu minyak bumi, tulang, batu bata atau bahan baku yang mempunyai struktur keras. Beberapa aplikasinya antara lain pada *system AC (Air conditioning)*, masker gas, *system* reaktor nuklir dan sebagai *filter path* rokok. Biasanya karbon aktif di gunakan untuk menyerap komponen asam tembakau yang berbahaya dan juga dapat dipakai sebagai kolom kromotografi.

2.2.3 Sifat Dan Bentuk Fisika Karbon Aktif

Karbon aktif mempunyai bentuk yang amorf yang terdiri dari pelat-pelat datar di mana atom-atom karbonnya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Karbon aktif umumnya di buat dalam bentuk granular dan serbuk. Karbon aktif dalam bentuk yang halus mempunyai distribusi ukuran partikel 5-10 μm . Karbon dalam bentuk granular yang paling umum adalah silinder (0,8-1,2 mm).

2.2.4 Pori Karbon Aktif

Umumnya karbon aktif granular atau (butiran) dan serbuk. Karbon aktif terbentuk serbu halus memiliki distribusi ukuran partikel 5-10 μm . 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 (<2nm), mesopori (2 nm-50 nm), dan makropori (>50nm). selain itu, lebih jauh terdapat pula ukuran supermikropori (0,7 nm -2 nm) dan ultramikropori (<0,7 nm).

Metode yang paling sering di gunakan untuk menguji keberadaan pori biasanya dengan melibatkan pemakaian SEM (Scanning Electron microscopy), yaitu alat untuk menganalisis permukaan serta pori karbon aktif .

2.2.5 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri proses dehidrasi, karbonasi dan aktivasi. Pada proses dehidrasi, bahan di keringkan dengan cara di jemur atau di panas kan dalam oven. Selanjutnya bahan di potong sesuai ukuran dan melalui proses karbonasi tanpa ada kontak dengan udara, terutama oksigen. Proses karbonisasi menguapkan komponen *volatile* yang pada akhirnya akan terbentuk karbon dengan hasil sampingan seperti gas hidrogen, gas CO-CO₂, dll. proses karbonasi merupakan tahap awal terbentuk nya poro-pori dari karbon. Peningkatan porositas dari karbon aktif berlangsung pada proses aktivasi.

2.2.6 Dehidrasi

Proses dehidrasi bertujuan untuk menghilangkan air yang terkandung di dalam bahan baku. Caranya yaitu dengan menjemur di bawah sinar matahari atau pemanasan di dalam oven sampai diperoleh bobot konstan. Dari proses dehidrasi ini, diperoleh bahan baku yang kering. Hal ini disebabkan oleh kandungan air dalam bahan baku semakin sedikit.

2.2.7 Karbonasi

Karbonisasi adalah pemecahan atau penguraian selulosa menjadi karbon karena pemanasan pada suhu berkisar 275°C . Karbonisasi atau pengarangan adalah suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen sangat terbatas, biasanya dilakukan di dalam *furnace*. Proses ini menyebabkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk methanol, uap asam asetat, tar-tar dan hidrokarbon. Material padat yang tinggal setelah karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang sempit.

Proses ini merupakan proses pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan organik menggunakan alat pembakaran. Alat pembakaran yang di pakai dapat beragam jenisnya, mulai dari alat konvensional menggunakan *drum* hingga tergolong modern seperti *tube furnace*. Prinsip karbonisasi pada dasarnya sama, yaitu dengan mengupayakan keberadaan oksigen yang minimal atau tidak ada sama sekali agar proses pembakaran tidak sempurna. Proses pembakaran dengan oksigen yang minimal atau tanpa oksigen dan menghasilkan karbon dalam kadar yang tinggi (Hartanto & Ratnawati, 2010).

Faktor-faktor yang mempengaruhi karbonisasi yaitu:

1. Suhu

Proses ini sangat berpengaruh pada rendemen karbonisasi. Semakin tinggi suhu, maka arang hasil karbonisasi akan semakin sempurna tetapi jumlah arang yang di dapat semakin sedikit sedang kan hasil cairan dan gas semakin banyak. Hal ini di

sebab kan oleh makin banyak zat-zat terurai dan yang teruapkan. Di samping suhu, waktu juga berpengaruh pada karbonisasi.

2. Waktu

Ssemakin lama waktu karbonisasi maka semakin lama reaksi sehingga reaksi lebih sempurna yang akan menyebabkan kan hasil arang semakin turun tetapi cairan dan gas semakin meningkat. Waktu karbonisasi berbeda-beda tergantung pada sifat fisik dan jumlah bahan baku yang di pakai.

2.2.8 Proses Aktifasi

Aktifasi arang berarti penghilangan zat –zat yang menutupi pori–pori pada permukaan arang. Hidrokarbon pada permukaan arang dapat dihilangkan melalui proses oksidasi menggunakan oksidator yang sangat lemah (CO dan uap air) agar atom karbon yang lain tidak turut teroksidasi. Selain itu dapat juga dilakukan proses dehidrasi dengan garam-garam seperti $ZnCl_2$ atau $CaCl_2$. Unsur mineral akan masuk di antara plat-plat heksagonal dan membuka permukaan yang mula-mula tertutup, sehingga jumlah permukaan karbon aktif bertambah besar.

Proses aktivasi dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Aktivasi Secara Fisika

Pada proses aktivasi fisika, biasanya karbon dipanaskan didalam furnace pada temperatur $800-900^{\circ}C$. Beberapa bahan baku lebih mudah untuk diaktifasi jika diklorinasi terlebih dahulu. Selanjutnya dikarbonisasi untuk menghilangkan hidrokarbon yang terklorinasi dan akhirnya diaktifasi dengan uap. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan memasukkan bahan baku pada reaktor suhu tinggi ($600 - 1000^{\circ}C$) dan proses ini terjadi saat karbon bereaksi dengan uap air/udara dimana akan dihasilkan oksida karbon yang tersebar pada permukaan karbon secara merata. Terbentuknya struktur pori didalam material karbon tersebut merupakan hasil kerja aktifator. Reaksi mula-mula pada karbon amorf dan menyebabkan pori yang tertutup akan terbuka. Proses oksidasi lebih jauh menyebabkan pori-pori terbentuk semakin banyak dalam material karbon.

2. Aktifasi Secara Kimia

Aktifasi secara kimia dilakukan dengan pengisian bahan kimia seperti ZnCl_2 , CaCl_2 , H_2SO_4 , dan NaOH . Prinsip kerjanya adalah pengikisan karbon menggunakan bahan kimia untuk mengintensifkan proses aktifasi tersebut dapat dilakukan dengan pemanasan. Pada cara ini *activating* yang digunakan reagen sebagai bahan kimia dimana sebelum proses karbonisasi dilakukan, dengan demikian cara aktifasi kimia ini lebih mudah dilakukan. Mutu arang aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan baku, bahan pengaktif, dan cara pembuatannya. Untuk menaikkan aktifasi daya adsorpsi arang banyak digunakan bahan kimia. Menurut Othmer, 1940, bahan kimia yang baik digunakan adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 , HNO_3 , ZnCl_2 , H_2SO_4 .

Terdapat 2 cara untuk aktivasi secara kimia, yaitu aktivasi basah dan aktivasi kering. Pada aktivasi basah, bahan mentah yang belum menjadi karbon di rendam terlebih dahulu dalam bahan kimia sebagai zat pengaktivasi, setelah itu proses karbonisasi dilakukan, dalam hal ini proses karbonisasi dan aktivasi dilakukan bersamaan. Pada aktivasi kering, bahan awal perlu melalui proses karbonisasi terlebih dahulu, setelah itu di lanjutkan dengan perendaman karbon dengan zat pengaktivasi. Tahap selanjutnya kembali dilakukan pembakaran yang langsung pada suhu 400°C - 800°C selama kurang lebih $\frac{1}{2}$ hingga 1 jam. Aktivasi kimia biasanya digunakan untuk bahan dasar yang mengandung selulosa. Produk ini diharapkan akan mengalami degradasi selulosa setelah dilakukan karbonisasi yang dilanjutkan aktivasi kimia.

Aktivasi secara kimia dianggap lebih menguntungkan jika dibandingkan proses aktivasi fisika, hal ini disebabkan beberapa faktor, seperti karbonisasi dan aktivasi bisa dilakukan sekaligus, temperatur dan waktu yang digunakan pada aktivasi kimia. Dalam penelitian, digunakan beberapa aktivator antara lain:

a) Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat H_2SO_4 merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan dan merupakan salah satu produk utama industri kimia. Kegunaan utamanya termasuk pemrosesan bijih mineral, sintesis kimia, pemrosesan air limbah dan

pengilangan minyak. Asam sulfat murni yang tidak diencerkan tidak dapat ditemukan secara alami di bumi oleh karena sifatnya yang higroskopis.

- Rumus Molekul : H_2SO_4
- Massa molar : 98,08 gr/mol
- Sifat Fisik : cairan bening, tak berwarna, dan tak berbau
- Densitas : 1,84g/cm
- Kelarutan dalam air : tercampur penuh

b) Kalium Hidroksida (KOH)

Kalium hidroksida adalah senyawa anorganik dengan rumus KOH. Seiring dengan natrium hidroksida, padat berwarna ini adalah prototipe "basa kuat". Ini memiliki banyak industri dan aplikasi niche. Kebanyakan aplikasi mengeksploitasi reaktivitas terhadap asam dan bersifat korosif.

- Berat melekul, gr/mol : 56.10564
- Titik lebur pada 1 atm $^{\circ}\text{C}$:360
- Titik didih pada 1 atm $^{\circ}\text{C}$:1320
- Densitas gr/cm³ :2,044

Kualitas karbon aktif dengan activator HCl lebih baik dibandingkan karbon aktif dengan aktivator KOH (dengan konsentrasi yang sama 2,5 M). Hal ini dikarenakan asam kuat memiliki struktur pori yang lebih kecil dibandingkan basa kuat yang mengakibatkan luas permukaan semakin besarsehingga daya serap juga semakin besar.

c) Asam klorida (HCl)

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida. Ia adalah asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri. Asam klorida harus ditangani dengan mewanti keselamatan yang tepat karena merupakan cairan yang sangat korosif.

- Rumus: HCl
- Titik didih: $-85,05^{\circ}\text{C}$
- Massa molar: 36,458 g/mol

- Kelarutan dalam air: Tercampur penuh
- Rumus kimia: HCl dalam air (H_2O)
- Titik lebur: $-27,32\text{ }^{\circ}C$ (247 K); larutan 38%
- Titik nyala: Tak ternyalakan

Waktu aktivasi juga memegang peranan penting dalam proses aktivasi. Jika waktu yang di butuhkan terlalu sebentar dikhawatirkan bahan aktifator tidak terlepas sempurna dari karbon aktif. Sedangkan jika terlalu lama maka struktur karbon aktif bisa rusak. Peningkatan waktu aktifasi juga mempengaruhi daya serap dari karbon aktif. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu aktivasi, daya serap terhadap Iodin cenderung semakin tinggi (Laos et al., 2016).

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan fenomena yang terjadi pada permukaan. Adsorpsi secara umum didefinisikan sebagai akumulasi sejumlah molekul, ion atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa. Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang memiliki pori karena adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu di dalam adsorben (Pambayun et al., 2013).

Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik menarik atom / molekul pada permukaan adsorben yang tidak seimbang. Gaya yang menggerakkan terjadinya adsorpsi adalah kombinasi dari faktor:

- Afinitas adsorbat terhadap pelarut
- Afinitas adsorbat terhadap adsorben

Adsorpsi pada umumnya terjadi pada suhu rendah dan makin tinggi suhunya maka tingkat penyerapannya semakin kecil.

Daya adsorpsi karbon aktif dapat terjadi karena:

- Adanya pori-pori yang sangat banyak sehingga dapat menimbulkan gaya kapiler yang menyebabkan timbulnya daya serap
- Permukaan yang luas dari arang aktif
- Pada kondisi yang bervariasi yang mempunyai daya serap pada permukaan

- yang aktif saja karena permukaan arang aktif bersifat heterogen
- Sifat fisika dan kimia adsorbent antara lain: ukuran permukaan, ukuran pori-pori, komposisi kimia
- Konsentrasi dari adsorbent
- Sifat fase cair seperti pH dan suhu
- Lamanya proses adsorpsi berlangsung

2.3.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Gaya tarik-menarik dari suatu padatan dibedakan menjadi dua jenis gaya, yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Oscik, 1982). Menurut Martelland Hancock (1996), adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya Van der Waals, sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia. Dalam proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yakni gaya Van der Waals, gaya elektrostatis, ikatan hidrogen serta ikatan kovalen.

2.3.2 Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van Der Waals, yaitu gaya tarik-menarik yang relative lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini terjadi apabila terjadi suatu adsorbat dialirkan pada permukaan-permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisika, adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat diganti oleh adsorbat lainnya.

Dalam adsorpsi fisika, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi ini umumnya bersifat reversibel sehingga substansi yang telah teradsorpsi relatif mudah dilepaskan kembali dengan cara menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Energi yang menyertai fisisorpsi tergolong

rendah yaitu berkisar antara 10 kJ/mol dan lebih rendah dari energi adsorpsi kimia (Adamson and Gast, 1997). Terjadi ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. Contoh : Adsorpsi oleh karbon aktif. Aktivasi karbon aktif pada temperatur yang tinggi akan menghasilkan struktur berpori dan luaspermukaan adsorpsi yang besar. Semakin besar luas permukaan, maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi.

2.3.3 Adsorpsi kimia

Pada adsorpsi kimia terjadi pembentukan dan pemutusan ikatan, sehingga energi adsorpsinya berada pada kisaran yang sama dengan reaksi kimia. Ikatan antara adsorben dan adsorbat cukup kuat sehingga tidak terjadi spesiasi karena zat teradsorpsi menyatu dengan adsorben membentuk lapisan tunggal dan relatif reversibel. Batas minimal suatu adsorpsi dikategorikan sebagai kemisorpsi memiliki harga energi adsorpsi sebesar 20,92 kJ/mol (Gondo, 2020). Energi yang menyertai adsorpsi kimia relatif tinggi yaitu berkisar 42-420 kJ/mol. Hal ini diperkuat oleh studi spektroskopi bahwa terjadi transfer elektron dan terbentuk ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat.

Menurut (Rahmawati & Santoso, 2013), proses adsorpsi larutan secara teoritis berlangsung lebih rumit dibandingkan proses adsorpsi pada gas, uap atau cairan murni. Hal ini disebabkan pada adsorpsi larutan melibatkan persaingan antara komponen larutan dengan situs adsorpsi. Proses adsorpsi larutan dapat diperkirakan secara kualitatif dari polaritas adsorben dan komponen penyusun larutan. Adsorben polar cenderung lebih kuat menyerap adsorbat polar dibandingkan adsorbat non-polar, begitu pula sebaliknya. Kelarutan adsorbat dalam pelarut merupakan faktor yang menentukan dalam proses adsorpsi, umumnya substansi hidrofilik sukar teradsorpsi dalam larutan encer.

2.3.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

a) Kemurnian Adsorben

Adsorben yang lebih murni dan tanpa adanya kontamina pengotor secara umum akan memiliki daya adsorpsi yang lebih baik. Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

b) Luas Permukaan Dan Volume Pori

Semakin luas permukaan adsorben, maka makin banyak zat yang teradsorpsi. Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben. Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi, adsorbensering kali ditingkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

c) Kepolaran

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

d) Jenis Adsorben

- Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi
- Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorb di bandingkan rantai yang lurus.

e) Kosentrasi Karbon

Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben

f) Waktu Kontak

Apabila karbon aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah arang aktif yang digunakan. Untuk larutan yang memiliki viskositas tinggi, dibutuhkan waktu kontak yang lebih lama(Kurniawan et al., 2013).

g) Temperatur

Dalam penggunaan karbon aktif dianjurkan untuk menyelidiki temperatur pada saat berlangsungnya proses adsorpsi karena tidak ada ketentuan umum mengenai temperatur yang digunakan dalam adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

h) Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH dapat mempengaruhi proses adsorpsi zat warna metilen biru pada permukaan adsorben. Semakin tinggi pH larutan metilen biru, maka kemampuan adsorpsi terhadap metilen biru naik 80% hingga 100%. Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan larutan basa Arrhenius karena ion OH^- akan membuat permukaan adsorben bermuatan negatif, sehingga metilen biru yang bermuatan positif akan terikat pada adsorben.

2.3.5 Karakteristik Adsorben

Ukuran pori adsorben dan luas permukaan merupakan karakteristik penting adsorben. Ukuran pori adsorben berhubungan dengan luas permukaan. Semakin kecil ukuran pori-pori adsorben, luas permukaan semakin tinggi sehingga jumlah molekul yang teradsorpsi akan bertambah. Selain itu, ukuran pori adsorben dengan ukuran adsorbat harus sesuai karena diameter dari pori adsorben harus sedikit lebih besar dari pada diameter adsorbat agar adsorbat dapat menempati pori adsorben. Karakteristik lainnya ialah kemurnian adsorben. Sesuai dengan fungsinya untuk adsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

2.3.6 Jenis-Jenis Adsorben

Pada kebanyakan industri, adsorben yang dipakai dapat dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan komponen penyusunnya, yaitu :

- Oxygen-containing compounds

Jenis ini biasanya bersifat hidrofil dan bersifat polar. Contohnya adalah yang silika gel dan zeolit.

- Carbon-based compounds

Jenis ini biasanya bersifat hidrofob dan nonpolar. Contohnya adalah karbon aktif dan grafit.

Jenis ini terdiri dari matriks polimer berpori yang mengandung gugus fungsi polar atau nonpolar. Pemilihan jenis adsorben merupakan hal penting dalam proses adsorpsi. Adsorben yang paling sering digunakan adalah karbon aktif karena memiliki luas permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya lebih besar dari pada adsorben lainnya. Aplikasi proses adsorpsi banyak digunakan di dalam dunia industri. Contoh aplikasi adsorpsi fasa uap adalah pemulihan pelarut organik yang digunakan pada zat, tinta cetak, dan pelapisan tekstil. Sedangkan adsorpsi untuk fasa cair digunakan untuk memisahkan komponen-komponen organik dari limbah cair dan air dari zat cair organik (Atmayudha, 2007) Untuk mengoptimalkan proses adsorpsi pada aplikasinya, diperlukan adsorben dengan luas permukaan yang tinggi. Semakin luas permukaan adsorben, maka makin banyak zat yang teradsorpsi. Karbon aktif merupakan adsorben yang sangat baik karena karbon aktif memiliki luas permukaan dan daya adsorpsi lebih tinggi dari pada adsorben lainnya.

2.4 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm³, tempatnya di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari perioda 4 sampai 7 (Miettinen, 1977). Logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organism hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat

menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, dimana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Purnomo, 2007).

Banyak logam berat baik yang bersifat toksik maupun esensial terlarut dalam air dan mencemari air. Sumber pencemaran ini banyak berasal dari pertambangan, peleburan logam, dan jenis industri lainnya, dan dapat juga berasal dari lahan pertanian yang menggunakan pupuk atau anti hama yang mengandung logam. Di dalam air biasanya logam berikatan dalam senyawa kimia atau dalam bentuk ion logam.

Tingkat konsentrasi logam berat dalam air tergantung pada lokasi dan tingkat pencemarannya. Sebagian logam berat seperti timbal (Pb), cadmium (Cd), dan merkuri (Hg) merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat. Cd, Pb, dan Cu terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transpor melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraian (Siaka, 2008).

Logam berat masih termasuk golongan logam-logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur logam besi (Fe) masuk dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh karena unsur besi (Fe) dibutuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen. Sedangkan unsur logam berat baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga (Cu), bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh dikonsumsi oleh manusia akan mengakibatkan pengaruh buruk bagi kesehatan manusia itu sendiri. Gejala yang timbul pada manusia akibat keracunan akut adalah mual, muntah, sakit perut,

hemolisis, metrifisis, kejang dan akhirnya mati. Pada keracunan kronis, logam tertimbun didalam hati dan menyebabkan hemolisis. Hemolisis terjadi karena tertimbun nya H_2O dalam sel darah merah sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel, akibatnya sel bisa pecah (Darmono1995).

2.4.1 Logam Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur $1083^{\circ}C$, titik didih $2310^{\circ}C$, jari-jari atom $1,173A^{\circ}$ dan jari-jari ion Cu^{2+} $0,96 A^{\circ}$. Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Tembaga bersifat racun bagi makhluk hidup. Isoterm adsorpsi merupakan suatu keadaan kesetimbangan yaitu tidak ada lagi perubahan konsentrasi adsorbat baik di fase terserap maupun pada fase gas atau cair. Isoterm adsorpsi biasanya digambarkan dalam bentuk kurva berupa plot distribusi kesetimbangan adsorbat antara fase padat dengan fase gas atau cair pada suhu konstan. Isoterm adsorpsi merupakan hal yang mendasar dalam penentuan kapasitas dan afinitas adsorpsi suatu adsorbat pada permukaan adsorben (Kundari et al., 2009).

Pencemaran logam berat meningkat sejalan dengan perkembangan industri. Pencemaran logam berat di lingkungan dikarenakan tingkat keracunannya yang sangat tinggi dalam seluruh aspek kehidupan makhluk hidup. Pada konsentrasi yang sedemikian rendah saja efek ion logam berat dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan. Logam berat dapat mengganggu kehidupan biota dalam lingkungan dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia (Erriek, 2012).

Connel dan Miller (1995) menyatakan bahwa Cu merupakan logam esensial yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan organisme sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat. Selanjutnya oleh Palar (1994) dinyatakan bahwa biota perairan sangat peka terhadap kelebihan Cu dalam perairan sebagai empat hidupnya. Konsentrasi Cu terlarut yang mencapai 0,01 ppm akan menyebabkan kematian bagi fitoplankton. Dalam tenggang

waktu 96 jam biota yang tergolong dalam Mollusca akan mengalami kematian bila Cuyang terlarut dalam badan air berada pada kisaran 0,16 sampai 0,5 ppm.

Tembaga adalah logam yang secara jelas mengalami proses akumulasi dalam tubuh hewan seiring dengan pertambahan umurnya, dan ginjal merupakan bagian tubuh ikan yang paling banyak terdapat akumulasi Tembaga. Paparan Tembaga dalam waktu yang lama pada manusia akan menyebabkan terjadinya akumulasi bahan-bahan kimia dalam tubuh manusia yang dalam periode waktu tertentu akan menyebabkan munculnya efek yang merugikan kesehatan penduduk (Asrillah, 2017).

2.4.2 Logam Timbal (Pb)

Timbal (*plumbum*) lebih dikenal timah hitam, logam ini disimbolkan dengan Pb. Pb termasuk dalam kelompok logam golongan IVA pada tabel periodik unsur kimia dengan nomor atom 82 dan berat atom 207,2 (Palar 2004). Sifat-sifat timbal sebagai berikut:

1. Merupakan logam yang lunak
2. Mempunyai titik lebur yang rendah
3. Merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi
4. bila dicampur dengan logam yang lain membentuk logam campuran yang lebih bagus dari pada logam murninya
5. Merupakan penghantar listrik yang tidak baik.

Logam Pb dalam perairan berasal dari debu yang mengandung logam Pb yaitu dari hasil pembakaran bensin yang mengandung Pb tetra etil, erosi dan limbah industri (A'inni et al., 2015) Juga limbah industri yang mengandung logam Pb, seperti industri kimia, industri percetakan, dan industri yang memproduksi logam, dan cat akan menambah kandungan logam Pb dalam perairan apabila limbah tersebut dibuang ke perairan. Kandungan logam Pb yang tinggi pada perairan juga dapat berakibat buruk pada biota yang ada didalamnya (Supriyantini & Soenardjo, 2016).

Konsentrasi Pb yang mencapai 188 mg/l, dapat membunuh ikan (Palar 2004). Logam Pb yang terdapat pada perairan akan menyebabkan proses bioakumulasi dalam tubuh biota yang ada di perairan, misalnya ikan. Ikan yang mengandung Pb apa

bila dikonsumsi oleh manusia akan berdampak buruk bagi manusia tersebut karena logam Pb yang bersifat akumulatif. Keberadaannya Pb didalam tubuh tidak dapat dikeluarkan lagi sehingga makin lama jumlahnya semakin meningkat dan menumpuk di otak, saraf, jantung, hati, dan ginjal yang pada akhirnya dapat menimbulkan kerusakan jaringan yang ditempatinya.

2.5 Limbah Tekstil

Pencemaran air akibat limbah industri tekstil merupakan masalah yang sering terjadi di Negara-negara berkembang dunia, salah satunya Indonesia. Jika dibandingkan dengan negara-negara di Asia Tenggara lainnya, Indonesia merupakan Negara dengan beban air limbah industri tekstil terbesar. Beban air limbah organik yang dihasilkan di Indonesia adalah sebesar 883 ton/hari, yang mana 29% dari beban ini berasal dari industri tekstil.

Setiap aktivitas yang dijalankan selalu menghasilkan limbah, yang berupa padat, cair atau pun gas. Limbah cair adalah sampah cair dari suatu lingkungan masyarakat, terdiri dari air yang telah dipergunakan dengan hampir 0,1%-nya berupa benda-benda padat yang terdiri dari zat organik dan anorganik. Limbah cair yang dihasilkan oleh proses-proses pabrik dan industri yang mempergunakan air dalam jumlah sedang sampai banyak disebut "sampah industri" (Haryono & Rostika, 2018).

Industri tekstil biasanya menghasilkan limbah cair yang berwarna pekat serta mengandung BOD (*biochemical oxygen demand*), COD (*chemical oxygen demand*), pH, temperatur, turbiditas, salinitas, dan bahan kimia toksik yang tinggi dan berfluktuasi. Air limbah tersebut menimbulkan dampak negatif, baik langsung maupun tidak langsung, apabila dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan. Salah satu dampak langsungnya adalah pencemaran air tanah dangkal akibat proses pergerakan air limbah dari permukaan ke dalam tanah (Sitanggang, 2017).