

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Genjer

Genjer (*Limnocharis flava*) merupakan tanaman yang hidup di rawa atau kolam berlumpur yang banyak airnya. Tanaman ini berasal dari Amerika, terutama bagian negara beriklim tropis. Selain daunnya, bunga genjer muda juga enak dijadikan masakan. Morfologi tanaman genjer dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun klasifikasi tanaman genjer menurut Plantmor (2008) adalah:

Kingdom : Plantae

Subkingdom : Tracheobionta

Superdivisi : Spermatophyta

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Liliopsida

Subkelas : Alismatidae

Ordo : Alismatales

Famili : Limnocharitaceae

Genus : *Limnocharis* Spesies



Sumber : Plantmor, 2008

Gambar 1. Tanaman Genjer

L. flava atau Genjer dalam bahasa internasional dikenal sebagai *limnocharis*, *sawahflower rush*, *sawah-lettuce*, *velvetleaf*, *yellow bur-head*, atau *cebolla de chucho*. Tumbuhan ini tumbuh di permukaan perairan dengan akar yang masuk ke dalam lumpur. Tinggi tanaman genjer dapat mencapai setengah meter, memiliki daun 4 tegak atau miring, tidak mengapung, batangnya panjang dan berlubang, dan bentuk helainya bervariasi. Genjer memiliki mahkota bunga berwarna kuning dengan diameter 1,5 cm dan kelopak bunga berwarna hijau (Steenis 2009). Tanaman genjer biasa hidup di air, sawah ataupun rawa-rawa. Tanaman ini mempunyai akar serabut. Akar lembaga dari tanaman ini dalam perkembangan selanjutnya mati atau kemudian disusul oleh sejumlah akar yang kurang lebih sama besar dan semuanya keluar dari pangkal batang. Akar-akar ini bukan berasal dari calon akar yang asli yang dinamakan akar liar, bentuknya seperti serabut, dinamakan akar serabut (*radix adventicia*).

Tanaman genjer merupakan tanaman yang mempunyai daun yang termasuk kategori daun lengkap, memiliki ujung daun meruncing dengan pangkal yang tumpul, tepi daun rata, panjang 5-50 cm, lebar 4-25 cm, pertulangan daun sejajar, dan berwarna hijau. Batang tanaman genjer memiliki panjang 5-75 cm, tebal, berbentuk segitiga dengan banyak ruang udara, terdapat pelapis pada bagian dasar. Berdasarkan pada letaknya, bunga pada tanaman genjer ini terdapat di ketiak daun (*flos lateralis* atau *flos axillaries*), majemuk, berbentuk payung, terdiri dari 3-15 kuntum, kepala putik bulat, ujung melengkung ke arah dalam, dan berwarna kuning (Anonim, 2009). Tanaman genjer dapat bereproduksi secara vegetatif dan dengan biji. Biji yang terkandung dalam kapsul matang atau folikel merupakan biji yang ringan. Kapsul yang menekuk ke arah air, menyediakan biji-biji untuk dilepas. Kapsul yang kosong dapat berkembang menjadi tanaman vegetatif yang membentuk tanaman inang atau mengapung untuk menetap di tempat lain. Tanaman ini selalu berbunga sepanjang tahun di wilayah dengan kelembaban yang cukup. Namun, tanaman ini dapat menjadi tanaman tahunan dimana kelembaban bersifat musiman (*Department of Primary Industries and Fisheries*, 2007).

Tabel 1. Kandungan Gizi Tanaman Genjer (*L. flava*)

Komposisi Gizi	Jumlah/100 g bahan	Jumlah
Energi	33 kkal	343,26 ± 9,75 kJ/100 g
Protein Kasar	1,7 g	0,28 ± 0,01 %
Lemak Kasar	0,2 g	1,22 ± 0,01 %
Karbohidrat	7,7 g	14,56 ± 0,14 %
Abu	-	0,79 ± 0,03 %
Kalsium	62 mg	770,87 ± 105,26 mg/100 g
Fosfor	33 mg	-
Besi	2,1 mg	-
Potasium	-	4202,5 ± 292,37 mg/100 g
Tembaga	-	8,31 ± 1,83 mg/100 g
Magnesium	-	228,1 ± 15,26 mg/100 g
Zinc	-	0,66 ± 0,05 mg/100 g
Natrium	-	107,72 ± 17,15 mg/100 g
Vitamin A	3,800 mg	-
Vitamin B1	0,07 mg	-
Vitamin C	54 mg	-
Air	90 g	79,34 ± 0,15 %
Serat Kasar	-	3,81 ± 0,04 %

Sumber: Direktorat Gizi, Departemen Kesehatan (1992), diacu dalam Astawan dan Kasih (2008)

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal ini disebabkan karena karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan adsorben lainnya. Karbon aktif yang baik haruslah memiliki luas area permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga akan besar (Sudibandriyo et al, 2013). Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses aktivasi. Pada proses aktivasi ini terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Pada proses aktivasi juga terbentuk pori-pori baru karena adanya

pengikisan atom karbon melalui oksidasi ataupun pemanasan. Karbon aktif terdiri dari 87 – 97 % karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan. Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm³/gram dan bahkan terkadang melebihi 1 cm³/gram. Luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 500 m²/gram dan bisa mencapai 1908 m²/gram.

Pada umumnya arang aktif digunakan sebagai bahan penyerap dan penjernih. Dalam jumlah kecil digunakan juga sebagai katalisator (lihat Tabel 2).

Tabel 2. Kegunaan Karbon Aktif

No	Maksud/Tujuan	Pemakaian
1.	Gas	
	a. Pemurnian gas	Desulfurisasi, menghilangkan gas beracun, bau busuk, asap, menyerap racun
	b. Pengolahan LNG	Desulfurisasi dan penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas
	c. Katalisator	Reaksi katalisator atau pengangkut vinil klorida dan vinil acetat
2.	Zat Cair	
	a. Industri obat dan makan	Menyaring dan menghilangkan warna, bau, rasa pada makanan
	b. Minuman	menghilangkan warna dan bau
	c. Kimia Perminyakan	Penyulingan bahan mentah dan zat perantara
	d. Pembersih air	Menyaring atau menghilangkan bau, warna, zat pencemar dalam air
	e. Pembersih air buangan	Mengatur dan membersihkan air buangan dan pencemar, warna, bau, logam berat
	f. Recovery pelarut	Penarikan kembali berbagai pelarut, sisa metanol, etil acetat dan lain-lain
3.	Lain-Lain	
	a. Pengolahan pulp	Pemurnian dan menghilangkan bau
	b. Pengolahan pupuk	Pemurnian
	c. Pengolahan emas	Pemurnian
	d. Penyaringan minyak makan dan glukosa	menghilangkan warna, bau, dan rasa yang tidak enak

Sumber : <http://www.lipi.go.id/-PDII-LIPI>, 2011

Karbon aktif memiliki struktur berpori sehingga dapat dilewati oleh molekul. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya kapiler yang besar dan struktur pori yang dimilikinya. Karbon aktif bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang dikontak dengan karbon. Dalam waktu 60 jam karbon aktif tersebut akan jenuh dan tidak aktif lagi. Oleh karena itu karbon aktif dikemas dengan kemasan yang kedap udara. Berdasarkan ukuran pori-porinya karbon aktif dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Mikropori, dengan ukuran diameter < 2 nm.
2. Mesopori, dengan ukuran diameter 2-50 nm.
3. Makropori, dengan ukuran diameter > 50 nm.

2.2.1 Jenis-jenis Karbon Aktif

Ada dua bentuk karbon aktif yang diklasifikasikan sesuai dengan sifat dan kegunaannya:

1. Karbon aktif untuk fasa cair

Karbon aktif untuk fasa cair biasanya berbentuk serbuk dengan ukuran 15-25 μm . Karbon aktif untuk fasa cair biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis rendah seperti kayu, batubara lignit, dan bahan yang mengandung lignin seperti limbah hasil pertanian. Karbon aktif jenis ini banyak digunakan untuk pemurnian larutan dan penghilangan rasa dan bau pada zat cair misalnya untuk penghilangan polutan berbahaya seperti gas amonia dan logam berbahaya pada proses pengolahan air.



Sumber : Adinata, 2013

Gambar 2. Karbon Aktif Fasa Cair (Serbuk)

Keuntungan karbon aktif bentuk serbuk yaitu :

- a. Sangat ekonomis karena ukuran butiran yang kecil dan luas permukaan kontak per satuan berat sangat besar.
- b. Kontak menjadi sangat baik dengan mengadakan pengadukan cepat dan merata.
- c. Tidak memerlukan tambahan alat lagi karena karbon akan mengendap bersama lumpur yang terbentuk.

Kerugian karbon aktif bentuk serbuk yaitu :

- a. Cara penanganan karbon aktif, karena berbentuk serbuk yang sangat halus, kemungkinan mudah terbang dibawa angin, sulit tercampur dengan air dan mudah terbakar.
- b. Karena tercampur dengan lumpur maka sulit diregenerasi dan biaya operasinya mahal.
- c. Kemungkinan terjadi penyumbatan lebih besar karena karbon bercampur dengan lumpur.

2. Karbon aktif untuk fasa uap

Karbon aktif untuk fasa uap biasanya berbentuk butiran/granular dengan ukuran 4 mm – 6 mm. Karbon aktif jenis ini biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis lebih besar seperti tempurung kelapa, batubara, dan residu minyak bumi. Karbon aktif jenis ini digunakan dalam adsorpsi gas dan uap misalnya adsorpsi emisi gas hasil pembakaran bahan bakar pada kendaraan seperti CO dan NOx. Pernyataan mengenai bahan baku yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif untuk 12 masing- masing jenis yang telah disebutkan bukan merupakan suatu keharusan, karena ada karbon aktif untuk fasa cair yang dibuat dari bahan yang mempunyai densitas besar, seperti tulang. Kemudian dibuat dalam bentuk granular dan digunakan sebagai pemucat larutan gula. Begitu pula dengan karbon aktif yang digunakan untuk fasa uap dapat diperoleh dari bahan yang memiliki densitas kecil seperti serbuk gergaji (Sembiring, 2013).



Sumber : Adinata, 2013

Gambar 3. Karbon Aktif Fasa Gas (Granular)

Karbon aktif penyerap uap mempunyai kelebihan sebagai berikut:

- a. Pengoperasiannya mudah karena air mengalir dalam media karbon.
- b. Proses berjalan cepat karena ukuran butiran karbon lebih besar.
- c. Karbon tidak tercampur dengan lumpur sehingga dapat diregenerasi.

Kerugiannya karbon aktif berbentuk granular sebagai berikut:

- a. Perlu tambahan unit pengolahan lagi, yaitu unit filter.
- b. Luas permukaan kontak per satuan berat lebih kecil karena ukuran butiran karbon besar.

2.2.2 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Adapun beberapa proses mengenai pembuatan karbon aktif adalah sebagai berikut:

1. Proses Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif dengan tujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi dan dilakukan dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari atau memanaskannya dalam oven pada suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$.

2. Proses Karbonisasi

Karbonisasi adalah pemecahan atau penguraian selulosa menjadi karbon karena pemanasan pada suhu berkisar 275°C . Pelepasan bahan “volatile” atau

devolatilasi dalam karbonisasi dapat dibagi menjadi beberapa fase, yaitu sebagai berikut:

1. Fase pemanasan awal ($20^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$)
 Pada suhu ini kandungan air bahan mulai terlepas dan terbentuk karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2).
2. Fase pengeringan ($120^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$)
 Pada suhu ini air yang teradsorpsi oleh partikel bahan baku akan terdesak keluar. Pembentukan karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2) masih berlanjut, bahan volatile yang keluar masih banyak.
3. Fase karbonisasi awal ($200^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$)
 Sampai dengan suhu 280°C , tar yang terbentuk mulai banyak, demikian juga gas-gas hydrogen, metana dan hidrokarbon lainnya, seperti methanol, fenol, asam asetat, ammonia, aseton dan sejumlah kecil CO dan CO_2 .
4. Fase karbonisasi utama ($400^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}$)
 Dengan naiknya suhu, jumlah bahan volatile yang dihasilkan akan semakin banyak. Produk utama yang berupa gas adalah CH_4 , H dan CO. Tar yang terbentuk jumlahnya lebih sedikit dari fase sebelumnya. Kadar O dan H dalam residu akan berkurang.
5. Fase Past Karbonisasi ($520^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$)
 Pada fase ini terjadi perengkahan sekunder pada bahan-bahan volatile yang dihasilkan
 (Widodo, 2008)

Karbonisasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut:

1. Waktu karbonisasi
 Bila waktu pemanasan diperpanjang maka reaksi pirolisis makin sempurna sehingga hasil arang semakin turun tapi cairan dangas meningkat. Waktu pemanasan berbeda-beda tergantung pada jenis bahan yang diolah.
2. Suhu pemanasan
 Pada suhu $100 - 200^{\circ}\text{C}$ akan terjadi reaksi endotermis yang mengakibatkan terurainya bahan organik yang mudah menguap selanjutnya pada $225 - 275^{\circ}\text{C}$

akan menjadi reaksi eksotermis sehingga lignoselulosa akan terurai. Semakin tinggi suhu, arang yang diperoleh semakin berkurang sedangkan gas yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan makin banyaknya zat-zat terurai dan teruapkan.

3. Kadar air

Bila kadar air dalam bahan tinggi, pembakaran berjalan kurang baik dan bara yang terbentuk mudah mati sehingga memerlukan waktu yang semakin panjang. Hal ini disebabkan karena uap yang dihilangkan semakin banyak

4. Ukuran bahan

Ukuran bahan berpengaruh sekali pada perataan panas. Makin kecil ukuran bahan makin cepat perataan keseluruhan umpan sehingga pirolisis berjalan lebih sempurna. Proses aktivasi yaitu proses membuka pori-pori agar arang menjadi luas biasanya dengan menggunakan uap air atau melalui proses kimia seperti $ZnCl_2$, $CaCl_2$, dan $NaCl$.

3. Proses Aktivasi

Pengaktifan karbon aktif merupakan hasil kerja aktivator yang memberikan ion-ion dan menyerapkan ke dalam bahan baku sampai menjadi karbon aktif. Metode aktivasi ada 2 macam yaitu sebagai berikut:

1. Aktivasi secara fisika

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 di dalam material karbon tersebut merupakan hasil kerja aktivator. Reaksi mulamula pada karbon amorf dan menyebabkan pori yang tertutup akan terbuka. Proses oksidasi lebih jauh menyebabkan pori-pori terbentuk semakin banyak dalam material karbon.

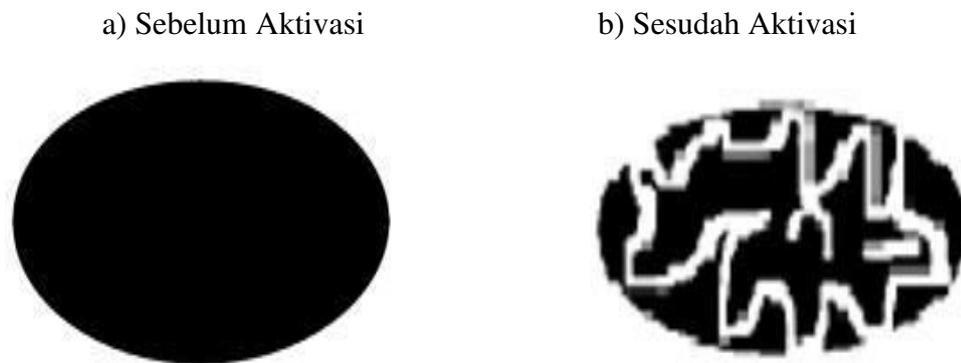
Aktivasi fisika adalah proses untuk mengembangkan struktur pori dan memperbesar luas permukaan karbon aktif dengan perlakuan panas pada temperature 800-1000 °C dengan mengalirkan gas pengoksidasi seperti uap atau karbondioksida. Hasil dari proses aktivasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain laju kenaikan temperatur, laju aliran inert gas, temperatur proses, *activating agent*, lama proses aktivasi dan alat yang digunakan pada penelitian tersebut.

2. Aktivasi Secara Kimia

Aktivasi 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 sehingga 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 $Ca(OH)_2$, $CaCl_2$, HNO_3 , $ZnCl_2$, HCl , H_2SO_4 , dan lain-lain (Tutik dan Faizah, 2011).

Keuntungan penggunaan bahan-bahan mineral adalah waktu aktivasi yang relatif pendek, karbon yang dihasilkan lebih banyak dan daya adsorpsi terhadap suatu adsorbat akan lebih baik, sedangkan kerugian penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif terletak pada proses pencucian karena sult dihilangkan. (Pramiswari, 2011)

Berikut ini mengenai perbedaan stuktur dari karbon aktif sebelum dan sesudah proses aktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber : Adinata, 2013

Gambar 4. Struktur Karbon Aktif Sebelum dan Sesudah Aktivasi

2.2.3 Aktivator

Aktivasi karbon merupakan penghilangan zat-zat yang menutupi pori-pori pada permukaan karbon. Tujuan utama dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa pori baru pada karbon aktif. Zat aktivator bersifat mengikat air yang menyebabkan air yang terikat kuat pada pori-pori karbon yang tidak hilang pada saat karbonisasi menjadi lepas. Selanjutnya zat aktivator tersebut akan memasuki pori dan membuka permukaan karbon 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.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, aktivasi dengan asam yaitu HCl lebih dapat melarutkan pengotor sehingga pori-pori lebih banyak terbentuk dan proses penyerapan adsorbat menjadi lebih maksimal, dibandingkan aktivator seperti H_2SO_4 yang lebih sedikit jumlah pori-porinya. Hal ini dikarenakan dinding struktur dari karbon aktif tersebut dapat dirusak oleh H_2SO_4 yang bersifat destruktif (Miftah, 2008).

Tabel 3. Sifat-Sifat Fisik Asam Sulfat

Rumua Molekul	HCl
Massa Molar	36,461 g/mol
Penampilan	Cairan tak berwarna sampai dengan kuning pucat
Densitas	1,0455 g/cm ³
Titik Didih	-85°C
Titik Beku	-114.17°C
Kelarutan dalam air	Tercampur penuh
Keasaman (pKa)	6,3
Viskositas	1,9 mPa pada 25°C

Sumber: Lide, D. R, 2007

2.2.4 Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif dalam penelitian ini meliputi :

1. Penentuan Kadar Air

Penentuan kadar air dapat dilakukan dengan mengansumsi bahwa dalam karbon aktif tersebut hanya air yang merupakan senyawa yang mudah menguap. Pada dasarnya penentuan kadar air adalah dengan menguapkan air dari karbon aktif dengan pemanasan 150°C sampai didapatkan berat yang konstan. Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis karbon aktif, dimana karbon aktif mempunyai sifat afinitas yang besar terhadap air. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia karbon aktif yang baik mempunyai kadar air maksimal 15% (SNI 06-3730-1995)

2. Penentuan Kadar Abu

Karbon aktif yang dibuat dari bahan alam tidak hanya mengandung senyawa karbon saja, tetapi juga mengandung beberapa mineral. Sebagian mineral ini hilang selama proses karbonisasi dan aktivasi, sebagian lagi tertinggal dalam

karbon aktif. Kadar abu karbon aktif adalah sisa yang tertinggal pada saat karbon dibakar, biasanya pada tempertaur 600-900°C. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia karbon aktif yang baik mempunyai kadar abu maksimal sebesar 10%. (SNI 06-3730-1995)

3. Penentuan Daya Serap Iod

Adsorpsi iodin telah banyak dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Penetapan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan daya serap karbon aktif pada larutan berwarna. Angka iodine didefinisikan sebagai jumlah miligram iodine yang diadsorpsi oleh satu gram karbon aktif. (SNI 06-3730-1995)

Tabel 4. Syarat Mutu Karbon Aktif (SNI 06-3730-1995)

Jenis Persyaratan	Parameter
Kadar Air	Max 15%
Kadar Abu	Max 10%
Kadar Zat Menguap	Max 25%
Kadar Karbon Terikat	Max 65%
Daya Serap Terhadap Iodin	Min 750 mg/gr
Daya Serap Terhadap Benzene	Min 25%

Sumber : Dewan Standarisasi Nasional, 1995

2.3 Proses Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa terakumulasinya partikel pada permukaan atau antarmuka. Partikel yang terakumulasi dan terserap oleh permukaan disebut adsorbat dan material tempat terjadinya adsorpsi disebut adsorben. Adsorpsi juga merupakan proses pengikatan suatu molekul dari fasa gas atau larutan ke dalam suatu lapisan terkondensasi dari permukaan padatan atau cairan (Azamia, 2012).

Proses adsorpsi terdiri atas 2 tipe, yaitu adsorpsi kimia dan fisika yaitu sebagai berikut:

1. Adsorpsi fisika adalah penempelan adsorbat pada permukaan melalui interaksi antar molekul yang lemah. Adsorpsi fisika ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relatif kecil. Ciri-cirinya terjadi pada temperatur rendah, jenis interaksinya ialah reaksi antar molekul (gaya Van der Waals), entalpi rendah < 20 kJ/mol, adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (multilayer) dan energi aktivasi lemah. Aktivasi karbon aktif pada temperatur tinggi akan menghasilkan struktur karbon berpori dan luas permukaan adsorpsi yang besar (Hasanah, 2006).
2. Adsorpsi kimia, molekul menempel pada permukaan melalui pembentukan ikatan kimia (umumnya kovalen) antara permukaan adsorben dan adsorbat, entalpinya tinggi 400 kJ/mol, adsorpsi terjadi hanya pada satu lapisan (monolayer), dan energi aktifasinya tinggi. Dalam adsorpsi kimia, partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat. Contohnya yaitu *metal hidride, calcium sholide, dan ion exchange*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain sifat fisik dan kimia adsorben seperti luas permukaan, ukuran partikel, dan komposisi kimia. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar luas permukaan padatan per satuan volume tertentu, sehingga semakin banyak zat yang teradsorpsi. Faktor lainnya yaitu sifat fisik dan kimia adsorbat, seperti ukuran molekul dan komposisi kimia, serta konsentrasi adsorbat dalam fase cairan. Temperatur juga berpengaruh terhadap adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi temperatur adalah viskositas dan stabilitas senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Senyawa volatil perlakuan adsorpsinya dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih rendah.

pH merupakan suatu parameter yang menyatakan banyaknya ion H^+ di dalam suatu larutan, nilai pH suatu perairan mencirikan kesetimbangan antara asam dan basa dalam air dan merupakan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan (Azamia, 2012). pH sangat mempengaruhi proses adsorpsi, hal ini karena dapat mempengaruhi kelarutan ion logam dan juga muatan pada permukaan adsorbennya. pH (derajat keasaman) akan meningkatkan adsorpsi bila pH diturunkan, yaitu dengan penambahan asam-asam mineral. Ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Sebaliknya apabila pH asam organik dinaikan yaitu dengan penambahan alkali akan berkurang sebagai akibat terbentuknya garam. Penentuan pH optimum dilakukan untuk mengetahui pH interaksi dimana adsorben menyerap ion logam secara maksimal. Peranan pH dalam proses adsorpsi yaitu mempengaruhi gugus-gugus fungsional dari dinding arang yang berperan aktif dalam proses penyerapan logam (Fatimah *et al*, 2010).

Massa adsorben juga menjadi faktor yang penting dalam proses adsorpsi karena berkaitan erat dengan luas permukaan dan juga jumlah muatan pada permukaan arang aktif tersebut. Semakin banyak massa adsorben maka permukaan adsorben akan semakin luas dan adsorpsi akan berlangsung maksimal, namun semakin banyak massa juga akan mempengaruhi jumlah muatan ion H^+ yang membuat adsorpsi akan berkurang.

Faktor lainnya yaitu waktu, bila adsorben ditambahkan dalam cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Proses adsorpsi akan membutuhkan waktu untuk adsorben dan adsorbat saling berinteraksi (tumbukan) dengan yang lainnya. Semakin banyak tumbukan yang terjadi maka reaksi akan berjalan cepat hingga setimbang. Pengadukan juga mempengaruhi waktu, dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel adsorben untuk bersinggungan dengan senyawa serapan. Konsentrasi logam juga sangat berpengaruh terhadap penyerapan logam oleh adsorben. Pada permukaan adsorben, terdapat sejumlah sisi aktif yang akan bereaksi dengan adsorbat. Jadi, dengan memperbesar konsentrasi larutan serapan logam akan meningkat secara linier hingga konsentrasi tertentu.

Berikut ini perbedaan dari adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia

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

Sumber: Adinata, 2013

2.4 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 g/cm³, letaknya di bagian sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan nomor atomnya antara 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7. Logam berat ini umumnya mempunyai sifat toksis yang tinggi dan berbahaya bagi organisme hidup, meskipun ada beberapa diantaranya dibutuhkan dalam tubuh dengan jumlah yang kecil. Meskipun berbahaya, namun logam berat banyak digunakan dalam berbagai kehidupan terutama kegiatan proses industri. Kegiatan tersebut secara langsung maupun tidak langsung menyebabkan pencemaran lingkungan terutama apabila kadar logam beratnya melebihi ambang batas yang ditentukan.

Berdasarkan sifat kimia dan fisiknya, maka tingkat atau daya racun logam berat terhadap organisme makhluk hidup adalah merkuri (Hg), kadmium (Cd), seng (Zn), timah hitam (Pb), krom (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co) (Adli, 2012). Menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup Tahun 2010, logam berat juga dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu :

- a. Toksisitas tinggi : Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn
- b. Toksisitas sedang : Cr, Ni, dan Co
- c. Toksisitas rendah : Mn dan Fe

Logam berat ini berbahaya dikarenakan sifat logam berat yang sulit didegradasi, akibatnya mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya sulit terurai (Adli, 2012).

1. Logam Cu

Logam Cu merupakan salah satu bentuk logam berat esensial untuk kebutuhan makhluk hidup sebagai elemen mikro. Logam ini dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan 8 kompleks Cu-protein yang dibutuhkan untuk pembentukan hemoglobin, kolagen dan pembuluh darah.

Keberadaan unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Tembaga (Cu) di perairan alami terdapat dalam bentuk partikulat, koloid dan terlarut. Fase terlarut merupakan Cu^{2+} bebas dan ikatan kompleks, baik dengan ligan organik maupun anorganik. Ikatan Cu kompleks dengan ligan organik, terutama adalah oleh material humus. Ikatan kompleks Cu yang terjadi dalam sedimen laut adalah yang paling stabil, sementara yang terbentuk dalam kolom air laut stabilitasnya paling rendah (Ardi, 2009). Menurut keputusan Menteri Negara LH Kep.No.03/Men-KLH tahun 2010 tentang penetapan Baku Mutu Air Limbah, batas maksimal keberadaan Cu yang diperbolehkan adalah 2 ppm.

2. Logam Fe

Dalam air besi tersuspensi dan berwarna kecoklatan. Suspensi yang terbentuk akan segera menggumpal dan mengendap di dasar badan air. Besi (Fe) termasuk dalam golongan logam transisi. Suatu sifat khas logam ini, ialah kebanyakan logam ini cenderung untuk memperlihatkan beberapa keadaan oksidasi. Sifat-sifat yang lain adalah unsur-unsur transisi memiliki orbital d atau f yang belum terisi penuh (Syam, 2014).

Zat besi (Fe) merupakan suatu komponen dari berbagai enzim yang mempengaruhi seluruh reaksi kimia yang penting di dalam tubuh meskipun sukar diserap (10-15%). Besi juga merupakan komponen dari hemoglobin yaitu sekitar 75%, yang memungkinkan sel darah merah membawa oksigen dan mengantarkannya ke jaringan tubuh. Logam besi (Fe) sebenarnya adalah mineral yang dibutuhkan tubuh untuk pembentukan hemoglobin, terdapat pada buah, sayuran, serta suplemen makanan (Pratama dkk, 2012). Pada tanaman lamun besi merupakan bagian dari enzim tertentu dan protein yang berfungsi sebagai pembawa elektron pada fase terang fotosintesis dan respirasi (Tahril dkk, 2011).

Kadar besi dalam perairan alami berkisar antara 0,05-0,2 mg/L. Pada air tanah dalam dengan kadar oksigen yang rendah, kadar besi dapat mencapai 10-100 mg/L, pada air hujan mengandung besi sekitar 0,05 mg/L, sedangkan pada air laut sekitar 0,01 mg/L (Effendi, 2013).

2.5 Spektrofotometer Serapan Atom (AAS)

Sejarah singkat tentang serapan atom pertama kali diamati oleh *Frounhofer*, yang pada saat itu menelaah garis-garis hitam pada spectrum matahari. Spektrometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metalloid yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah.

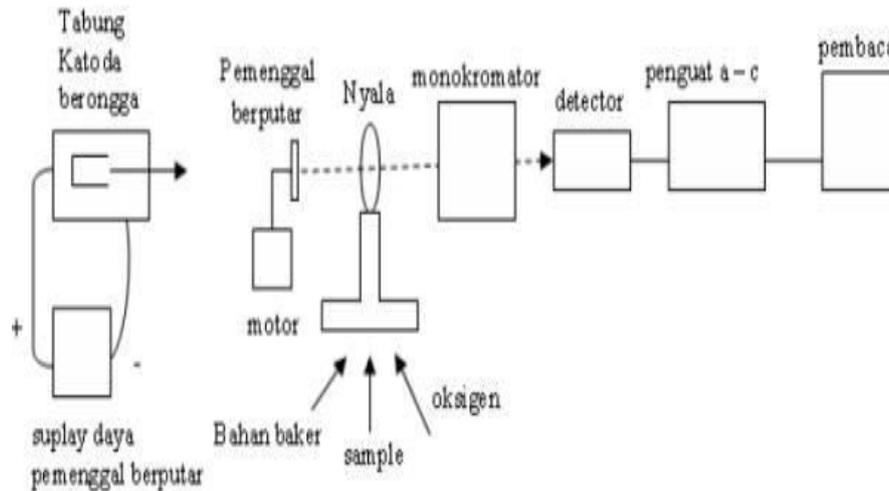
Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metalloid yang

pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog *et al.*, 2008). Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini juga memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode spektroskopi semisi konvensional. Selain dengan metode serapan atom, unsur-unsur dengan energi eksitasi rendah dapat juga dianalisis dengan fotometri nyala, tetapi fotometri nyala tidak cocok untuk unsur-unsur dengan energi eksitasi tinggi. Fotometri nyala memiliki range ukur optimum pada panjang gelombang 400 – 800 nm, sedangkan AAS memiliki range ukur optimum pada panjang gelombang 200 – 300 nm (Skoog *et al.*, 2008).

2.6 Prinsip Kerja Spektrofotometri Serapan Atom (AAS)

Metode AAS berprinsip pada adsorpsi cahaya oleh atom. Atom – atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unturnya. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) meliputi absorpsi sinar oleh atom-atom netral unsur logam yang masih berada dalam keadaan dasarnya (Ground state). Sinar yang diserap biasanya ialah sinar ultra violet dan sinar tampak. Prinsip Spektrometri Serapan Atom (SSA) pada dasarnya sama seperti absorpsi sinar oleh molekul atau ion senyawa dalam larutan.

Hukum absorpsi sinar (Lambert-Beer) yang berlaku pada spektrofotometer absorpsi sinar ultra violet, sinar tampak maupun infra merah, juga berlaku pada Spektrometri Serapan Atom (SSA). Perbedaan analisis Spektrometri Serapan Atom (SSA) dengan spektrofotometri molekul adalah peralatan dan bentuk spectrum absorpsinya (Skoog *et al.*, 2008). Berikut ini skema proses alat spektrofotometri serapan atom dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber: Gunandjar, 2008

Gambar 5. Skema Proses Spektrofotometri Serapan Atom

Intrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom

1. Sumber Sinar

Sumber sinar yang lazim dipakai adalah lampu katoda berongga (*hallow cathode lamp*) yang terdiri atas tabung kaca tertutup yang mengandung suatu katoda dan anoda.

2. Tempat sampel

Dalam analisis dengan SSA, sampel yang akan dianalisis harus di uraikan menjadi atom-atom netral.

3. Monokromator

Pada SSA monokromator dimaksudkan untuk memisahkan dan memilih panjang gelombang yang digunakan dalam analisis.

4. Detektor

Digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melalui tempat pengamatan.

5. *Readout*

Hasil pembacaan dapat berupa angka atau kurva dari suatu recorder yang menggambarkan absorbansi atau intensitas emisi,

(Sudjadi, 2007)