

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air

Sumber air merupakan salah satu komponen utama yang ada pada suatu sistem penyediaan air bersih, karena tanpa sumber air maka suatu system penyediaan air bersih tidak akan berfungsi (Sutrisno, 2000). Macam-macam sumber air yang dapat di manfaatkan sebagai sumber air minum sebagai berikut :

1. Air laut

Mempunyai sifat asin, karena mengandung garam NaCl. Kadar garam NaCl dalam air laut 3 % dengan keadaan ini maka air laut tidak memenuhi syarat untuk diminum.

2. Air Atmosfer

Untuk menjadikan air hujan sebagai air minum hendaknya pada waktu menampung air hujan mulai turun, karena masih mengandung banyak kotoran. Selain itu air hujan mempunyai sifat agresif terutama terhadap pipa-pipa penyalur maupun bak-bak reservoir, sehingga hal ini akan mempercepat terjadinya korosi atau karatan. Juga air ini mempunyai sifat lunak, sehingga akan boros terhadap pemakaian sabun.

3. Air Permukaan

Adalah air hujan yang mengalir di permukaan bumi. Pada umumnya air permukaan ini akan mendapat pengotoran selama pengalirannya, misalnya oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, kotoran industri dan lainnya. Air permukaan ada dua macam yaitu air sungai dan air rawa. Air sungai digunakan sebagai air minum, seharusnya melalui pengolahan yang sempurna, mengingat bahwa air sungai ini pada umumnya mempunyai derajat pengotoran yang tinggi. Debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan akan air minum pada umumnya dapat mencukupi. Air rawa kebanyakan berwarna disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang telah membusuk, yang menyebabkan warna kuning coklat, sehingga

untuk pengambilan air sebaiknya dilakukan pada kedalaman tertentu di tengah-tengah.

4. Air tanah

Air tanah adalah air yang berada di bawah permukaan tanah didalam zone jenuh dimana tekanan hidrostatiknya sama atau lebih besar dari tekanan atmosfer (Suyono,1993).

5. Mata air

Yaitu air tanah yang keluar dengan sendirinya ke permukaan tanah dalam hampir tidak terpengaruh oleh musim dan kualitas atau kuantitasnya sama dengan air dalam.

Sistem penyediaan air bersih meliputi besarnya komponen pokok antara lain: unit sumber baku, unit pengolahan, unit produksi, unit transmisi, unit distribusi dan unit konsumsi, yaitu (1)Unit sumber air baku merupakan awal dari sistem penyediaan air bersih yang mana pada unit ini sebagai penyediaan air baku yang bisa diambil dari air tanah, air permukaan, air hujan yang jumlahnya sesuai dengan yang diperlukan. (2) Unit pengolahan air memegang peranan penting dalam upaya memenuhi kualitas air bersih atau minum, dengan pengolahan fisika, kimia, dan bakteriologi, kualitas air baku yang semula belum memenuhi syarat kesehatan akan berubah menjadi air bersih atau minum yang aman bagi manusia. (3). Unit produksi adalah salah satu dari sistem penyediaan air bersih yang menentukan jumlah produksi air bersih atau minum yang layak didistribusikan ke beberapa tandon atau reservoir dengan sistem pengaliran gravitasi atau pompanisasi. (4). Unit produksi merupakan unit bangunan yang mengolah jenis-jenis sumber air menjadi air bersih.

Adapun beberapa sumber air yang dapat diolah untuk mendapatkan air bersih, yaitu sumur Dangkal/Dalam Pengolahan tidak lengkap hanya pengolahan Fe, Mn, dan pembubuhan desinfektan, sungai Pengolahan lengkap bila kekeruhannya tinggi > 50 . danau NTU (Nephelometric Turbidity Unit) Pengolahan tidak lengkap, bila kekeruhan < 50 NTU, unit transmisi berfungsi sebagai pengantar air yang diproduksi menuju ke beberapa tandon atau reservoir melalui jaringan pipa. (Linsay, 1995)

2.1.1 Karakteristik Air

- **Parameter Fisik**

- a. Suhu

Temperatur air maksimum yang diizinkan oleh MENKES RI No.416/MENKES/PER/IX/1990 adalah 30⁰C. Penyimpangan terhadap ketentuan ini akan mengakibatkan meningkatnya daya/tingkat toksisitas bahan kimia atau bahan pencemar dalam air dan pertumbuhan mikroba dalam air.

- b. Warna

Banyak air permukaan khususnya yang berasal dari daerah rawa rawa seringkali berwarna sehingga tidak dapat diterima oleh masyarakat baik untuk keperluan rumah tangga maupun keperluan industri, tanpa dilakukannya pengolahan untuk menghilangkan warna tersebut. Bahan-bahan yang menimbulkan warna tersebut dihasilkan dari kontak antara air dengan reruntuhan organis yang mengalami dekomposisi.

- c. Bau

Air yang memenuhi standar kualitas harus bebas dari bau. Biasanya bau disebabkan oleh bahan-bahan organik yang dapat membusuk serta senyawa kimia lainnya fenol. Air yang berbau akan dapat mengganggu estetika.

- d. Rasa

Biasanya rasa dan bau terjadi bersama-sama, yaitu akibat adanya dekomposisi bahan organik dalam air. Seperti pada bau, air yang memiliki rasa juga dapat mengganggu estetika.

- e. Kekeruhan

Air dikatakan keruh, apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna/rupa yang berlumpur dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik yang tersebar.

- f. Padatan/*solid*

Semua kontaminan/pengotor dalam air kecuali gas terlarut merupakan bagian dari beban padatan dalam air. Padatan dapat diklasifikasikan menurut ukuran, sifat kimianya, dan distribusi ukurannya. Materi padatan dan semi

padatan dalam air dapat diklasifikasikan menurut ukuran dan posisinya seperti dapat mengendap, suspensi, koloid atau terlarut. Parameter fisik kualitas air dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Fisik Kualitas Air

No	Test	Singkatan	Kegunaan
1	Kekeruhan	NTU	Mengetahui Kejernihan air
2	Padatan (<i>Solids</i>) <i>Total Solid</i> <i>Total Volatile Solids</i> <i>Suspended Solids</i> <i>Volatile Suspended Solids</i> <i>Total Dissolved Solids</i> (TS-SS) <i>Settleble Solids</i>	TS TVS SS VSS TDS	Mengetahui potensi penggunaan kembali air buangan dan untuk menentukan jenis proses pengolahan yang sesuai. Tes TDS untuk mengetahui kesesuaian peruntukan air (rumah tangga, industri atau pertanian). Untuk mengetahui padatan yang dapat mengendap oleh gaya gravitasi data yang diperoleh digunakan untuk rancangan bak sedimentasi.
3	Warna		Untuk mengetahui keberadaan zat warna alami atau sintetis.
4	Bau	MDTOC	
5	Temperatur	°C	Untuk rancangan proses pengolahan: untuk menentukan konsentrasi jenuh beberapa unsur gas.

Untuk lebih terperinci, adapun syarat mutu untuk air sumur menurut Permenkes No. 416/Men. Kes/Per./IX/1990 terdapat di Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Mutu Air Sumur

No.	Parameter	Satuan	Standar	Teknik Pengujian
A. FISIKA				
1.	Bau	-	-	Organoleptik
2.	Jumlah Zat Padat Terlarut	mg/l	1.500	Gravimetri
3.	Kekeruhan	NTU	25	Spektrofotometri
4.	Rasa	-	-	Organoleptik
5.	Suhu	°C	Suhu udara \pm 1-3 ⁰ C	Temometer
6.	Warna	TCU	50	Spektrofotometri
B. KIMIA				
a. Kimia Anorganik				
1.	Air Raksa (Hg)	mg/l	0.001	AAS
2.	Arsen (As)	mg/l	0.05	AAS
3.	Besi (Fe)	mg/l	1.0	AAS
4.	Fluorida (F)	mg/l	1.5	Spektrofotometri
5.	Kadmium (Cd)	mg/l	0.005	AAS
6.	Kesadahan sebagai CaCO ₃	mg/l	500	Titrimetri
7.	Klorida (Cl ⁻)	mg/l	600	Argentometri
8.	Kromium, valensi 6 (Cr ⁶⁺)	mg/l	0.05	AAS
9.	Mangan (Mn)	mg/l	0.5	AAS
10.	Nitrat (NO ₃)	mg/l	10	Spektrofotometri (Brusin)
11.	Nitrit (NO ₂)	mg/l	1.0	Spektrofotometri (Nesler)
12.	pH	-	6.5-9.0	pH meter
13.	Selenium (Se)	mg/l	0.01	-
14.	Seng (Zn)	mg/l	15	AAS
15.	Sianida (CN)	mg/l	0.1	Destilasi
16.	Sulfat (SO ₄)	mg/l	400	Spektrofotometri
17.	Timbal (Pb)	mg/l	0.05	AAS
b. Kimia Organik				
1.	Detergent	mg/l	0.50	Spektrofotometri
2.	Zat Organik	mg/l	10.00	Gravimetri
3.	Pestisida Gol. Organo Fosfat	mg/l	0.00	-
4.	Pestisida Gol. Organo Klorida	mg/l	0.00	-
5.	Pestisida Gol. Organo Karbamat	mg/l	0.00	-
C. MIKROBIOLOGIK				
1.	MPN (Golongan Coliform)	Per 100 ml	50	MPN

(Permenkes No. 416/Men. Kes/Per./IX/1990)

- **Parameter Kimia**

- a. Derajat keasamaan (pH)

pH merupakan salah satu faktor yang sangat penting mengingat pH dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba di dalam air. Sebagian besar mikroba di dalam air. Sebagian besar mikroba akan tumbuh dengan baik pada pH 6,0-8,0 pH juga akan menyebabkan perubahan kimiawi di dalam air. Menurut standar kualitas air, pH 6,5-9,2. Apabila pH kecil dari 6,5 atau lebih besar dari 9,2 maka akan menyebabkan korosifitas pada pipa-pipa air yang dibuat dari logam dan dapat mengakibatkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

- b. Total *Solid*

Tingginya angka total *solid* merupakan bahan pertimbangan dalam menentukan sesuai atau tidaknya air untuk penggunaan rumah tangga. Air yang baik digunakan untuk keperluan rumah tangga adalah dengan angka total solid di dalam air minum adalah 500-1500 mg/l. Apabila melebihi, maka akan berakibat air tidak enak rasanya, rasa mual dan terjadinya cardiac diseases serta toxaemia pada wanita-wanita hamil

- c. Kesadahan jumlah (*total hardness*)

Kesadahan adalah merupakan sifat air yang disebabkan oleh adanya ion-ion (kation) logam valensi dua. Ion-ion ini mampu bereaksi dengan sabun membentuk kerak air. Kation-kation penyebab utama dari kesadahan Ca^{++} , Mg^{++} , Sr^{++} , Fe^{++} dan Mn^{++} . Kesadahan total adalah kesadahan yang disebabkan oleh Ca^{++} dan Mg^{++} secara bersama-sama. Standar kualitas menetapkan kesadahan total adalah 5-10 derajat jerman. Apabila kesadahan kurang dari 5 derajat jerman maka air akan menjadi lunak. Jika lebih dari 10 derajat jerman maka akan mengakibatkan kurangnya efektifitas sabun, menyebabkan lapisan kerak pada alat dapur dan sayur-sayuran menjadi keras apabila dicuci dengan air ini

- d. Zat Organik

Adanya zat organik di dalam air, disebabkan karena air buangan dari rumah tangga, industri, kegiatan pertanian dan pertambangan. Zat organik di dalam air dapat ditentukan dengan mengukur angka permangantnya (KMnO_4). Di dalam

standar kualitas, ditentukan maksimal angka permangantnya 10mg/l. Penyimpangan standar kualitas tersebut akan mengakibatkan timbulnya bau tak sedap dan menyebabkan sakit perut.

e. Kimia Anorganik

1. Calcium (Ca)

Adanya Ca dalam air sangat dibutuhkan dalam jumlah tertentu, yaitu untuk pertumbuhan tulang dan gigi. Sedangkan bila telah melewati ambang batas, kalsium dapat menyebabkan kesadahan, kesadahan dapat berpengaruh secara ekonomis maupun terhadap kesehatan yaitu efek korosif dan menurunnya efektifitas dari kerja sabun. Standar yang ditetapkan DEPKES sebesar 75-200 mg/l. Sedangkan WHO inter-regional water study group adalah sebesar 75-150 mg/l.

2. Tembaga

Ukuran batas ada atau tidaknya tembaga adalah 0,05-1,5 mg/l. Dalam jumlah kecil Cu sangat diperlukan untuk pembentukan sel darah merah, sedangkan dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan rasa yang tidak enak di lidah, disamping dapat menyebabkan kerusakan pada hati.

3. Sulfida (S_2 atau H_2S)

H_2S sangat beracun dan berbau busuk, oleh karena itu zat ini tidak boleh terdapat dalam air minum. Dalam jumlah besar dapat menimbulkan atau memperbesar keasaman air sehingga menyebabkan korosifitas pada pipa-pipa logam.

4. Amonia

Bahan ini sangat berbau yang sangat menusuk hidung atau baunya sangat tajam sehingga tidak boleh sama sekali dalam air minum.

5. Besi (Fe)

Besi adalah metal berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Di alam didapat sebagai hematit. Di dalam air minum Fe menimbulkan rasa, warna (kuning), pengendapan pada dinding pipa, pertumbuhan bakteri besi dan kekeruhan. Besi dibutuhkan oleh tubuh dalam pembentukan hemoglobin. Di dalam standar kualitas ditetapkan kandungan besi di dalam air sebanyak 0,1 -1,0

mg/l. jika dalam jumlah besar Fe dapat merusak dinding usus, rasa tidak enak dalam air, pada konsentrasi lebih dari 2 mg/l dan menimbulkan bau dan warna dalam air.

6. Magnesium

Efek yang ditimbulkan oleh Mg sama dengan kalsium yaitu menyebabkan terjadinya kesadahan. Dalam jumlah kecil Mg dibutuhkan oleh tubuh untuk pertumbuhan tulang, sedang dalam jumlah yang lebih besar dari 150 mg/l dapat menyebabkan rasa mual

7. Florida

Florida selalu ditemukan dalam bentuk senyawa. Florida bersifat lebih toksis dan lebih iritan daripada yang organik. Keracunan kronis dapat menyebabkan orang menjadi kurus, pertumbuhan tubuh terganggu, gangguan pencernaan dan dehidrasi.

8. Cadmium

Dalam standar kualitas ditetapkan konsentrasi maksimal 0,01 mg/l. Apabila cadmium melebihi standar, maka Cadmium tersebut akan terakumulasi dalam jaringan tubuh sehingga mengakibatkan penyakit ginjal, gangguan lambung, kerapuhan tulang, mengurangi hemoglobine darah dan pigmentasi.

9. Mangan

Tubuh manusia membutuhkan Mangan rata-rata 10 mg/l sehari yang dapat dipenuhi dari makanan. Tetapi Mangan bersifat toxis terhadap alat pernafasan. Standar kualitas menetapkan: kandungan mangan di dalam air 0,05-0,5 mg/l.

10. Air Raksa

Merupakan logam berbentuk cair dalam suhu kamar yang bersifat toksis. Di dalam standar ditetapkan sebesar 0,001 mg/l. Jika dalam air terdapat air raksa lebih dari standar, akan menyebabkan keracunan sel-sel tubuh kerusakan ginjal, hati dan syaraf dan keterbelakangan mental dan cerebral polcy pada bayi.

11. Seng

Satuan yang dipergunakan adalah mg/l dengan batas antara 1,0 sampai 15 mg/l. Zn dapat menyebabkan hambatan pada pertumbuhan anak. Akan tetapi apabila jumlahnya besar dapat menimbulkan rasa pahit dan sepat pada air minum.

12. Arsen

Arsen dapat diperbolehkan dalam air paling banyak sebesar 0,05 mg/l. Jika dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan gangguan pada sistem pencernaan, kanker kulit, hati dan saluran empedu

13. *Phenolix*

Phenol hanya boleh terdapat dalam air minum dengan kadar 0,001-0,002 mg/l dan apabila bereaksi dengan chlor dapat menimbulkan bau yang tidak enak

14. NO_3

Batas maksimum NO_2 dalam air minum adalah sebesar 20mg/l. Jumlah Nitra yang besar cenderung berubah menjadi nitrit, yang dapat bereaksi langsung dengan hemoglobine yang dapat menghalangi perjalanan oksigen di dalam tubuh.

15. Sulfat

Kadar yang dianjurkan 200-400 mg/l, apabila jumlahnya besar dapat bereaksi dengan ion natrium atau magnesium dalam air sehingga membentuk garam natrium sulfat atau magnesium sulfat yang dapat menimbulkan rasa mual.

f. Kimia Organik

Jumlah zat organik pada air alam umumnya kecil. Sumber zat organik pada air alam adalah dari tanaman yang membusuk. Adanya zat organik dapat mengakibatkan gangguan misalnya :

- Aldrin dan Dieldrin, terjadi biokumulasi pada organisme air yang dimakan manusia dan menimbulkan kanker dan mutasi
- Benzen, menimbulkan rasa, warna atau bau tidak sedap.
- *Chlordine* (total isomer) merupakan insektisida. Penyakit yang ditimbulkan *hyperexytasi*, konvulsi, anemia, *trombochytopenia*, *agranulocytosis*
- *Heptachlor* dan *Hepachlorepoxide*, meskipun tidak menimbulkan kanker akut tetapi terjadi akumulasi dalam rantai makanan dan bersifat *carcinogenic*.

Karakteristik air berdasarkan parameter- parameter diatas dapat dilihat dari Tabel 3.

Tabel 3 Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia
DAFTAR PERATURAN KUALITAS AIR BERSIH

No	Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang dibolehkan	Keterangan
1	2	3	4	5
<u>FISIKA</u>		-	-	
1	Bau	mg/L	-	Tidak berbau
2	Jumlah zat padat terlarut (TDS)	Skala	1500	-
3	Kekeruhan	NTU	25	-
4	Rasa	-	-	Tidak berasa
5	Suhu	°C	Suhu udara ±	-
6	Warna	Skala	3°C	-
		TCU	50	-
<u>KIMIA</u>				
1	Air raksa	mg/L	0,001	
2	Arsen	mg/L	0,05	
3	Besi	mg/L	1,0	
4	Flourida	mg/L	1,5	
5	Kadnium	mg/L	0,005	
6	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	500	
7	Klorida	mg/L	600	
8	Kromium, Valensi 6	mg/L	0,05	Merupakan batas minimum dan
9	Mangan	mg/L	0,5	maksimum,
10	Nitrat, sebagai N	mg/L	10	khusus air hujan
11	Nitrit, sebagai N	mg/L	1,0	pH minimum 5,5.
12	pH	-	6,5-9,0	

13	Selenium	mg/L	0,01	
14	Seng	mg/L	15	
15	Sianida	mg/L	0,1	
16	Sulfat	mg/L	400	
17	Timbal	mg/L	0,05	
<u>Kimia Organik</u>				
1	Aldrin dan Dieldrin	mg/L	0,0007	
2	Benzena	mg/L	0,01	
3	Benzo (a) <i>pyrene</i>	mg/L	0,00001	
4	<i>Chlordane</i> (total isomer)	mg/L	0,007	
5	Coloroform	mg/L	0,03	
6	2,4 D	mg/L	0,10	
7	DDT	mg/L	0,03	
8	Deterjen	mg/L	0,5	
9	1,2 <i>Discloroethane</i>	mg/L	0,01	
10	1,1 <i>Discloroethane</i>	mg/L	0,0003	
11	<i>Heptachlor</i> dan <i>heptachlor epoxide</i>	mg/L	0,003	
12	<i>Hexachlorobenzene</i>	mg/L	0,00001	
13	Gamma-HCH (<i>Lindane</i>)	mg/L	0,004	
14	<i>Methoxychlor</i>	mg/L	0,10	
15	<i>Pentachlorophanol</i>	mg/L	0,01	
16	Pestisida total	mg/L	0,10	
17	2,4,6 <i>Urichlorophenol</i>	mg/L	0,01	
18	Zat <i>organic</i> (KMnO ₄)	mg/L	10	
<u>MIKROBIOLOGI</u>				
	Total koliform (MPN)	Jumlah per	50	Bukan air
		100 ml		perpipaan

	Jumlah per 100 ml	10	Air perpipaan
<u>RADIOAKTIVITAS</u>			
Aktivitas Alpha (<i>Gross Alpha Activity</i>)	Bq/L	0,1	
Aktivitas Beta (<i>Gross Beta Activity</i>)	Bq/L	1,0	

(Nomor : 416/MENKES/PER/IX/1990/ Tanggal 3 September 1990)

Golongan A : air untuk air minum tanpa pengolahan terlebih dahulu

Golongan B : air yang dipakai sebagai bahan baku air minum melalui suatu pengolahan

Golongan C : air untuk perikanan dan peternakan

Golongan D : air untuk pertanian dan usaha perkotaan, industri dan PLTA.

2.1.2 Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air

Air merupakan zat kehidupan dimana tidak satupun makhluk hidup yang tidak membutuhkan air. Hasil penelitian menunjukkan 65 - 75 % dari berat badan manusia terdiri dari air. Menurut ilmu kesehatan, setiap orang memerlukan air minum sebanyak 2,5 – 3 liter setiap hari termasuk air yang berada didalam makanan. Adapun kegunaan air antara lain adalah untuk minum, keperluan rumah tangga, untuk industri, mengairi sawah, kolam perikanan dan lain-lain.

Sehingga pada umumnya air tanah mengandung kation dan anion terlarut dan beberapa senyawa anorganik. Ion-ion yang sering ditemui pada air tanah adalah besi dan mangan. Keberadaan zat besi dan mangan di dalam sistem penyediaan air minum domestik telah menjadi masalah yang serius sejak lama karena pada umumnya berada dalam keadaan bervalensi dua. Adanya kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam air menyebabkan warna air tersebut berubah menjadi kuning kecoklatan setelah beberapa saat kontak dengan udara. Disamping menimbulkan gangguan kesehatan juga menimbulkan bau yang kurang enak dan menyebabkan warna kuning pada dinding bak kamar mandi serta bercak-bercak kuning pada pakaian.

Air tanah mengalami kontak dengan berbagai macam material yang terdapat di dalam bumi. Sehingga pada umumnya air tanah mengandung kation dan anion terlarut dan beberapa senyawa anorganik seperti silika (SiO_2). Ion-ion yang biasanya terkandung dalam air tanah meliputi kalsium, besi, magnesium, natrium, kalium, klorida. Sedangkan gas-gas terlarut meliputi nitrogen, karbondioksida, metana, oksigen, dan hidrogen sulfida (Fetter, 1999)

Pada umumnya besi dalam air dapat bersifat:

1. Terlarut sebagai Fe^{2+} (Ferro) atau Fe^{3+} (Ferri).
2. Tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter $< 1 \mu\text{m}$) atau yang lebih besar seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan sebagainya.
3. Tergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik seperti tanah liat.

Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/Liter, tetapi dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi Fe yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain, perkakas dapur, dan alat sanitasi.

Kehadiran mangan dalam air tanah bersamaan dengan besi yang berasal dari tanah dan bebatuan. Mangan dalam air berbentuk mangan bikarbonat ($\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$), mangan klorida (MnCl_2) dan mangan sulfat (MnSO_4).

Besi (Fe) adalah logam berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Fe di dalam susunan unsur berkala termasuk logam golongan VIII, dengan berat atom $55,85\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, nomor atom 26, berat jenis $7,86\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ dan umumnya mempunyai valensi 2 dan 3 (selain 1, 4, 6). Besi (Fe) adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, dan jarang dijumpai dalam keadaan bebas, untuk mendapatkan unsur besi, campuran lain harus dipisahkan melalui penguraian kimia. Besi digunakan dalam proses produksi besi baja, yang bukan hanya unsur besi saja tetapi dalam bentuk alloy (campuran beberapa logam dan bukan logam, terutama karbon) (Eaton Et.al, 2005; Rumapea, 2009 dan Parulian, 2009).

Kandungan Fe di bumi sekitar 6.22 %, di tanah sekitar 0.5 – 4.3%, di sungai sekitar 0.7 mg/l, di air tanah sekitar 0.1 – 10 mg/l, air laut sekitar 1 – 3 ppb, pada air minum tidak lebih dari 200 ppb. Pada air permukaan biasanya kandungan zat besi relatif rendah yakni jarang melebihi 1 mg/L sedangkan

konsentrasi besi pada air tanah bervariasi mulai dari 0,01 mg/l sampai dengan ± 25 mg/l. Di alam biasanya banyak terdapat di dalam bijih besi *hematite*, *magnetite*, *taconite*, *limonite*, *goethite*, *siderite* dan *pyrite* (FeS), sedangkan di dalam air umumnya dalam bentuk terlarut sebagai senyawa garam ferri (Fe^{3+}) atau garam ferro (Fe^{2+}); tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter < 1 mm) atau lebih besar seperti, $\text{Fe}(\text{OH})_3$; dan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (seperti tanah liat dan partikel halus terdispersi). Senyawa ferro dalam air yang sering dijumpai adalah FeO, FeSO_4 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, FeCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCl_2 sedangkan senyawa ferri yang sering dijumpai yaitu FePO_4 , Fe_2O_3 , FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$. (Eaton Et.al, 2005).

Pada air yang tidak mengandung oksigen O_2 , seperti seringkali air tanah, besi berada sebagai Fe^{2+} yang cukup dapat terlarut, sedangkan pada air sungai yang mengalir dan terjadi aerasi, Fe^{2+} teroksidasi menjadi Fe^{3+} yang sulit larut pada pH 6 sampai 8 (kelarutan hanya di bawah beberapa mg/l), bahkan dapat menjadi ferrihidroksida $\text{Fe}(\text{OH})_3$, atau salah satu jenis oksida yang merupakan zat padat dan bisa mengendap. (Alaerts, 1987)

Konsentrasi besi dalam air minum dibatasi maksimum 0.3 mg/l (sesuai Kepmenkes RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002), hal ini berdasarkan alasan masalah warna, rasa serta timbulnya kerak yang menempel pada sistem perpipaan. Manusia dan makhluk hidup lainnya dalam kadar tertentu memerlukan zat besi sebagai nutrient tetapi untuk kadar yang berlebihan perlu dihindari. Garam ferro misalnya (FeSO_4) dengan konsentrasi 0.1 – 0.2 mg/L dapat menimbulkan rasa yang tidak enak pada air minum. Dengan dasar ini standar air minum WHO untuk Eropa menetapkan kadar besi dalam air minum maksimum 0.1 mg/l sedangkan USEPA menetapkan kadar maksimum dalam air yaitu 0.3 mg/l. (Arifin, 2007).

Unsur besi mempunyai sifat – sifat yang sangat mirip dengan mangan sehingga pengaruhnya juga hampir sama meskipun beberapa hal berbeda terutama nilai ambang batas.

Di dalam air minum besi (Fe) dan mangan (Mn) dapat berpengaruh seperti tersebut dibawah ini :

1. Menimbulkan penyumbatan pada pipa disebabkan. Secara langsung oleh deposit (*tubercule*) yang disebabkan oleh endapan besi sedangkan secara tidak langsung, disebabkan oleh kumpulan bakteri besi yang hidup di dalam pipa, karena air yang mengandung besi, disukai oleh bakteri besi.
2. Selain itu kumpulan bakteri ini dapat meninggikan gaya gesek (*losses*) yang juga berakibat meningkatnya kebutuhan energi. Selain itu pula apabila bakteri tersebut mengalami degradasi dapat menyebabkan bau dan rasa tidak enak pada air.
3. Besi dan mangan sendiri dalam konsentrasi yang lebih besar dan beberapa mg/l, akan memberikan suatu rasa pada air yang menggambarkan rasa logam, atau rasa obat.
4. Keberadaan besi dan mangan juga dapat memberikan kenampakan keruh dan berwarna pada air dan meninggalkan noda pada pakaian yang dicuci dengan menggunakan air ini, oleh karena itu sangat tidak diharapkan pada industri kertas, pencelupan/textil dan pabrik minuman.
5. Meninggalkan noda pada bak-bak kamar mandi dan peralatan lainnya (noda kecoklatan disebabkan oleh besi dan kehitaman oleh mangan).
6. Endapan logam ini juga yang dapat memberikan masalah pada sistem penyediaan air secara individu (sumur).
7. Pada *ion exchanger* endapan besi dan mangan yang terbentuk, seringkali mengakibatkan penyumbatan atau menyelubungi media pertukaran ion (resin), yang mengakibatkan hilangnya kapasitas pertukaran ion.
8. Menyebabkan keluhan pada konsumen (seperti kasus “*red water*”) bila endapan besi dan mangan yang terakumulasi di dalam pipa, tersuspensi kembali disebabkan oleh adanya kenaikan debit atau kenaikan tekanan di dalam pipa/sistem distribusi, sehingga akan terbawa ke konsumen.
9. Fe^{2+} juga menimbulkan *corrosive* yang disebabkan oleh bakteri golongan *Crenothrix* dan *Clonothrix* (Oktiawan, dkk., 2007).

Zat besi (Fe) adalah 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. Kelebihan zat besi (Fe) bisa menyebabkan keracunan dimana terjadi muntah, kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, mudah marah, radang sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, *cardiomyopathies*, sirosis ginjal, sembelit, diabetes, diare, pusing, mudah lelah, kulit kehitam – hitaman, sakit kepala, gagal hati, hepatitis, mudah emosi, hiperaktif, hipertensi, infeksi, insomnia, sakit liver, masalah mental, rasa logam di mulut, *myasthenia gravis*, mual, nevi, mudah gelisah dan iritasi, parkinson, reumatik, sikoprenia, sariawan perut, *sickle-cell anemia*, keras kepala, *strabismus*, gangguan penyerapan vitamin dan mineral, serta hemokromatis. (Parulian, 2009).

Besi (Fe) dibutuhkan oleh tubuh dalam pembentukan haemoglobin sehingga jika kekurangan besi (Fe) akan mempengaruhi pembentukan haemoglobin tersebut. Besi (Fe) juga terdapat dalam serum protein yang disebut dengan “*transferrin*” berperan untuk mentransfer besi (Fe) dari jaringan yang satu ke jaringan lain. Besi (Fe) juga berperan dalam aktifitas beberapa enzim seperti sitokrom dan flavo protein. Apabila tubuh tidak mampu mengekskresikan besi (Fe) akan menjadi akumulasi besi (Fe) karenanya warna kulit menjadi hitam. Debu besi (Fe) juga dapat diakumulasi di dalam alveoli menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru. Kekurangan besi (Fe) dalam diet akan mengakibatkan defisiensi yaitu kehilangan darah yang berat yang sering terjadi pada penderita tumor saluran pencernaan, lambung dan pada menstruasi. Defisiensi besi (Fe) menimbulkan gejala anemia seperti kelemahan, fatigue, sulit bernafas waktu berolahraga, kepala pusing, diare, penurunan nafsu makan, kulit pucat, kuku berkerut, kasar dan cekung serta terasa dingin pada tangan dan kaki. (Rumapea, 2009 dan Siregar, 2009).

Mangan (Mn) adalah logam berwarna abu – abu keperakan yang merupakan unsur pertama logam golongan VIIB, dengan berat atom 54.94 g.mol^{-1} , nomor atom 25, berat jenis 7.43 g.cm^{-3} , dan mempunyai valensi 2, 4, dan 7 (selain 1, 3, 5, dan 6). Mangan digunakan dalam campuran baja, industri pigmen, las, pupuk, pestisida, keramik, elektronik, dan *alloy* (campuran beberapa logam dan bukan logam, terutama karbon), industri baterai, cat, dan zat tambahan pada

makanan. Di alam jarang sekali berada dalam keadaan unsur. Umumnya berada dalam keadaan senyawa dengan berbagai macam valensi. Di dalam hubungannya dengan kualitas air yang sering dijumpai adalah senyawa mangan dengan valensi 2, valensi 4, valensi 6.

Di dalam sistem air alami dan juga di dalam sistem pengolahan air, senyawa mangan dan besi berubah-ubah tergantung derajat keasaman (pH) air. Perubahan senyawa besi dan mangan di alam berdasarkan kondisi pH secara garis besar dapat ditunjukkan sesuai gambar 1 yang memperlihatkan bahwa di dalam sistem air alami pada kondisi reduksi, mangan dan juga besi pada umumnya mempunyai valensi dua yang larut dalam air. Oleh karena itu di dalam sistem pengolahan air, senyawa mangan dan besi valensi dua tersebut dengan berbagai cara dioksidasi menjadi senyawa yang memiliki valensi yang lebih tinggi yang tidak larut dalam air sehingga dapat dengan mudah dipisahkan secara fisik. Mangan di dalam senyawa MnCO_3 , Mn(OH)_2 mempunyai valensi dua, zat tersebut relatif sulit larut dalam air, tetapi untuk senyawa Mn seperti garam MnCl_2 , MnSO_4 , $\text{Mn(NO}_3)_2$ mempunyai kelarutan yang besar di dalam air (Eaton, 2005).

Kandungan Mn di bumi sekitar 1060 ppm, di tanah sekitar 61 – 1010 ppm, di sungai sekitar 7 mg/l, di laut sekitar 10 ppm, di air tanah sekitar <0.1 mg/l. Mangan terdapat dalam bentuk kompleks dengan bikarbonat, mineral dan organik. Unsur mangan pada air permukaan berupa ion bervalensi empat dalam bentuk organik kompleks. Mangan banyak terdapat dalam *pyrolusite* (MnO_2), *braunite*, $(\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+})_6(\text{SiO}_3)_2$, *psilomelane* $(\text{Ba,H}_2\text{O})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}$ dan *rhodochrosite* (MnCO_3). (Eaton, 2005)

Konsentrasi mangan di dalam sistem air alami umumnya kurang dari 0.1 mg/l, jika konsentrasi melebihi 1 mg/l maka dengan cara pengolahan biasa sangat sulit untuk menurunkan konsentrasi sampai derajat yang diijinkan sebagai air minum. Oleh karena itu perlu cara pengolahan yang khusus. Pada tahun 1961 WHO menetapkan konsentrasi mangan dalam air minum di Eropa maksimum sebesar 0.1 mg/l, tetapi selanjutnya diperbaharui menjadi 0.05 mg/L. Di Amerika Serikat (U.S. EPA) sejak awal menetapkan konsentrasi mangan di dalam air

minum maksimum 0.05 mg/l. Jepang menetapkan total konsentrasi besi dan mangan di dalam air minum maksimum 0.3 mg/l. Indonesia berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 907 tahun 2002 menetapkan kadar zat besi di dalam air minum maksimum 0.3 dan Mangan maksimum sebesar 0.1 mg/l (Eaton, 2005).

Baik besi maupun mangan, dalam air biasanya terlarut dalam bentuk senyawa atau garam bikarbonat, garam sulfat, hidroksida dan juga dalam bentuk kolloid atau dalam keadaan bergabung dengan senyawa organik. Oleh karena itu cara pengolahannyapun harus disesuaikan dengan bentuk senyawa besi dan mangan dalam air yang akan diolah. Pada proses penghilangan besi dan mangan, prinsipnya adalah proses oksidasi, yaitu menaikkan tingkat oksidasi oleh suatu oksidator dengan tujuan merubah bentuk bentuk besi terlarut menjadi bentuk besi tidak terlarut (endapan). Endapan yang terbentuk dihilangkan dengan proses sedimentasi dan filtrasi (Oktiawan, dkk., 2007).

Pada umumnya metode yang digunakan untuk menghilangkan besi dan mangan adalah metode fisika, kimia, biologi maupun kombinasi dari masing – masing metode tersebut. Metode fisika dapat dilakukan dengan cara filtrasi, aerasi, presipitasi, elektrolitik, pertukaran ion (*ion exchange*), adsorpsi dan sebagainya. Metode kimia dapat dilakukan dengan pembubuhan senyawa khlor, permanganat, kapur – soda, ozon, polyphosphat, koagulan, flokulan, dan sebagainya. Metode biologi dapat dilakukan dengan cara menggunakan mikroorganisme autotropis tertentu seperti bakteri besi yang mampu mengoksidasi senyawa besi dan mangan (Oktiawan, dkk, 2007).

Pemilihan proses tersebut dipilih berdasarkan besarnya konsentrasi zat besi atau mangan serta kondisi air baku yang digunakan. Untuk menghilangkan zat besi dan mangan di dalam air yang paling sering digunakan adalah dengan cara proses oksidasi secara kimiawi kemudian dilanjutkan dengan pemisahan endapan/ suspensi/ dispersi atau (*suspended solid*) yang terbentuk menggunakan proses sedimentasi dan atau filtrasi. Untuk meningkatkan efisiensi pemisahan endapan tersebut maka dapat digunakan proses koagulasi-flokulasi yang dilanjutkan dengan sedimentasi dan filtrasi (Said, 2003).

2.2. Karbon Aktif

Karbon aktif, atau sering juga disebut sebagai arang aktif, adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Hanya dengan satu gram dari karbon aktif, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira-kira sebesar 500 m^2 (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri. Karbon aktif merupakan bentuk umum untuk senyawa berbahan dasar karbon yang telah diolah, sehingga menghasilkan derajat porositas tinggi. Karbon atau arang aktif adalah material yang berbentuk butiran atau bubuk yang berasal dari material yang mengandung karbon misalnya batubara, kulit kelapa, dan sebagainya (Anonim, 2012).

Dalam satu gram karbon aktif, pada umumnya memiliki permukaan seluas $500\text{-}1500 \text{ m}^2$, sehingga sangat efektif dalam menangkap partikel-partikel yang sangat halus berukuran $0.01\text{-}0.0000001 \text{ mm}$. Karbon aktif bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang kontak dengan karbon tersebut. Dalam waktu 60 jam biasanya karbon aktif tersebut menjadi jenuh dan tidak aktif lagi. Oleh karena itu biasanya karbon aktif dikemas dalam kemasan kedap udara.

Ada tiga jenis karbon aktif yang banyak dipasarkan yaitu:

- Bentuk serbuk.

Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari $0,18 \text{ mm}$ (80#). Terutama digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Digunakan pada industri pengolahan air minum, industri farmasi, terutama untuk pemurnian monosodium glutamate, bahan tambahan makanan, penghilang warna asam furan, pengolahn pemurnian jus buah, penghalus gula, pemurnian asam sitrat, asam tartarikk, pemurnian glukosa dan pengolahan zat pewarna kadar tinggi.

- Bentuk Granular.

Karbon aktif bentuk granular/tidak beraturan dengan ukuran $0,2 \text{ -} 5 \text{ mm}$. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Beberapa aplikasi

dari jenis ini digunakan untuk: pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, pemurni pelarut dan penghilang bau busuk.

- Bentuk Pellet. 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. Digunakan untuk pemurnian udara, control emisi, tromol otomotif, penghilangbau kotoran dan pengontrol emisi pada gas buang.

Dalam pembuatan karbon aktif harus memenuhi syarat mutu karbon aktif, dimana syarat mutu tersebut digunakan sebagai standart untuk suatu karbon aktif.

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	%	Maks. 15	Maks. 25
2	Air	%	Maks. 4,4	Maks. 15
3	Abu	%	Maks. 2,5	Maks. 10
4	Daya Serap I ₂	Mg/g	Min. 750	Min. 750
5	Karbon Aktif Murni	%	Min. 80	Min. 65

Tabel 4. Syarat Mutu Karbon Aktif Teknis (SNI) No. 06-3730-1995

(Sumber : LIPI, 2005)

2.2.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Secara umum proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Dehidrasi : Proses penghilangan air dimana bahan baku dipanaskan sampai temperatur 170°C.
2. Karbonisasi : Pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Suhu diatas 170°C akan menghasilkan CO, CO₂ dan asam asetat. Pada suhu 275°C, dekomposisi menghasilkan “ter”, metanol dan hasil samping lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400-600°C

3. Aktivasi : Dekomposisi tar dan perluasan pori-pori. Dapat dilakukan dengan uap atau CO_2 sebagai aktivator. Proses aktivasi merupakan hal yang penting diperhatikan disamping bahan baku yang digunakan. Yang dimaksud dengan aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap karbon yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap adsorpsi.

Metode aktivasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif adalah

1. Aktivasi Kimia

Aktivasi ini merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Aktivator yang digunakan adalah bahan-bahan kimia seperti: hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl_2 , asam-asam anorganik seperti H_2SO_4 , HCl dan H_3PO_4 .

2. Aktivasi Fisika

Aktivasi ini merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO_2 . Umumnya arang dipanaskan didalam tanur pada temperatur rendah merupakan reaksi eksoterm sehingga sulit untuk mengontrolnya. Sedangkan pemanasan dengan uap atau CO_2 pada temperatur tinggi merupakan reaksi endoterm, sehingga lebih mudah dikontrol dan paling umum digunakan.

2.2.2 Penggunaan Karbon Aktif

Hampir 60% produksi karbon aktif di dunia digunakan pada industri-industri gula dan pembersih minyak dan lemak, kimia dan farmasi. Penggunaan karbon aktif secara umum dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Industri Gula

Pemakaian karbon aktif pada industri gula dimulai pada tahun 1974 di Inggris. Selain itu menghilangkan zat-zat warna, arbon aktif juga dapat menyerap

senyawa-senyawa nitrogen, sehingga proses penyaringan menjadi lebih sempurna. Basa yang timbul pada proses penguapan akan berkurang serta akan mempercepat proses kristalisasi. Pada industri gula bit dan glukosa, ternyata pemakaian karbon aktif memberikan hasil lebih memuaskan dan operasionalnya lebih fleksibel.

2. Industri Minyak dan Lemak

Pada pengolahan minyak nabati, hasil yang lebih ekonomis akan diperoleh bila pada proses pemurniannya digunakan campuran karbon aktif. Dalam hal ini fungsi karbon aktif adalah menghilangkan zat-zat warna dan feroksid. Untuk minyak yang mengalami hidrolisa, pemakaian karbon aktif berfungsi untuk menghilangkan katalis yang masih tersisa pada minyak. Pada umumnya pemurnian dengan karbon aktif dilaksanakan pada temperatur 70–120 °C.

3. Industri Kimia dan Farmasi

Karbon aktif digunakan untuk menyerap kotoran-kotoran yang tidak diinginkan yang berupa koloid, karbon aktif dapat juga berfungsi sebagai filter sehingga proses kristalisasi dapat dipercepat. Penggunaan karbon aktif dalam industri kimia dan farmasi sering dijumpai dalam pembuatan kafein, asam sitrat, gliserin, asam laktat, dan antibiotika penisilin dan *streptomysin*.

4. Penjernih Air

Pemakaian klorin sebagai disinfektan pada penjernih air akan menimbulkan bau dan rasa yang tidak enak, ini ditimbulkan oleh reaksi antara klorin dengan mikro organisme. Untuk mencegah hal ini maka pada tahapan proses yang terakhir dapat digunakan karbon aktif sebagai adsorben dari reaksi yang ditimbulkan klorin dengan mikro organisme (Sihite, 2003).

2.3. Bambu

2.3.1. Pengertian Bambu

Bambu adalah tanaman jenis rumput-rumputan dengan rongga dan ruas di batangnya. Bambu memiliki banyak tipe. Nama lain dari bambu adalah buluh,

aur, dan eru. Di dunia ini bambu merupakan salah satu tanaman dengan pertumbuhan paling cepat. Karena memiliki sistem rhizoma-dependen unik, dalam sehari bambu dapat tumbuh sepanjang 60cm (24 Inchi) bahkan lebih, tergantung pada kondisi tanah dan klimatologi tempat ia ditanam (Adri, 2011).

2.3.2. Anatomi Bambu

Kolom bambu terdiri atas sekitar 50% parenkim, 40% serat dan 10% sel penghubung (pembuluh dan *sieve tubes*). Parenkim dan sel penghubung lebih banyak ditemukan pada bagian dalam dari kolom, sedangkan serat lebih banyak ditemukan pada bagian luar. Sedangkan susunan serat pada ruas penghubung antar buku memiliki kecenderungan bertambah besar dari bawah ke atas sementara parenkimnya berkurang. Semakin besar dinding sel serat maka makin besar pula kandungan alfa dan holoselulosa serta lignin. Selulosa dan lignin adalah komponen utama dinding sel serat batang bambu. Pada bambu betung selulosa yang terkandung 44,94%, lignin sebesar 27,37%, dan holoselulosa sebesar 73,63% (E. Manuhuwa dan M. Loiwatu).

2.4. Adsorpsi

2.4.1. Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pemisahan dimana komponen tertentu dari satu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap. Peristiwa adsorpsi ini disebabkan oleh gaya tarik molekul-molekul di permukaan adsorben. Biasanya partikel-partikel kecil zat menyerap ditempatkan didalam suatu hamparan tetap, dan fluida dialirkan melalui hamparan itu sampai zat padat itu mendekati jenuh dan pemisahan yang dikehendaki tidak dapat lagi berlangsung. Aliran itu lalu dipindahkan ke hamparan kedua sampai adsorbat telah jenuh dapat diganti atau diregenerasi.

Kebanyakan zat adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori yang sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar dari permukaan luar. Pemisahan terjadi karena perbedaan molekul atau karena perbedaan polaritas yang

menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan yang lebih erat daripada molekul-molekul lainnya. Dalam kebanyakan hal, komponen yang diadsorpsi atau adsorbat melekat sedemikian kuat sehingga memungkinkan pemisahan komponen itu secara menyeluruh dari fluida tanpa terlalu banyak adsorpsi terhadap komponen yang lain. Regenerasi adsorben dapat dilaksanakan untuk mendapatkan adsorbat dalam bentuk terkonsentrasi atau hampir murni (Mc.Cabe, 1999).

Karbon aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen, dengan demikian permukaan karbon aktif bersifat non polar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor yang penting.

Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori karbon aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar sehingga kecepatan adsorpsi bertambah. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi, dianjurkan agar menggunakan karbon aktif yang telah dihaluskan. Sifat karbon aktif yang paling penting adalah daya serap.

Dalam hal ini, ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi, yaitu:

1. Luas permukaan

Semakin luas permukaan adsorben, maka makin banyak zat yang teradsorpsi.

Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben.

2. Jenis adsorbat

- a. Peningkatan polarisabilitas adsorbat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul yang mempunyai polarisabilitas yang tinggi (polar) yang memiliki kemampuan tarik menarik terhadap molekul lain dibandingkan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (non polar)
- b. Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi
- c. Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorpsi dibandingkan rantai yang lurus

3. Struktur molekul adsorbat

Hidroksil dan amino mengakibatkan penurunan kemampuan penyisihan sedangkan nitrogen meningkatkan kemampuan penyisihan

4. Konsentrasi Adsorbat

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

5. Temperatur

- a. pemanasan atau pengaktifan adsorben akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorbat yang menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka
- b. Pemanasan yang terlalu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben sehingga kemampuan penyerapannya menurun

6. pH

pH larutan mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi pada biosorben dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi

7. Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan

Mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu:

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

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

Sifat dan daya serap karbon aktif terbagi atas dua bagian yaitu absorpsi (gaya van der Waals) tetapi dalam hal-hal tertentu dapat melibatkan adsorpsi kimia (*khemisorpsi*). Keduanya didapat dari ada atau tidaknya perubahan kimia yang terjadi antara zat yang dikumpulkan (absorban) dan zat mengumpulkan (absorben). Adsorpsi fisik biasanya melibatkan perubahan energi yang lebih kecil (ikatan lebih lemah) dari pada *khemisorpsi*.

Contohnya dari adsorpsi N₂ pada karbon melepaskan energi kira-kira 5000 kalori per mol, sedangkan adsorpsi O₂ pada 0 °C melepaskan energi lebih 100.000 kalori per mol. Hal ini terjadi karena adsorpsi O₂ pada karbon juga melibatkan *khemisorpsi* yang ditunjukkan dengan terbentuknya gas CO dan CO₂ jika karbon dipanaskan. Pada karbon yang mengadsorpsi N₂ jika dipanaskan hanya dilepaskan gas N₂.

Beberapa teori yang menerangkan gejala daya serap yang sebenarnya, belum cukup untuk mengemukakan dengan daya serap tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Dengan adanya pori-pori mikro yang sangat banyak jumlahnya pada karbon aktif ini, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap.
- b. Permukaan yang luas 500 – 1000 m²/gr yang dimiliki karbon aktif dapat menyebabkan timbulnya daya serap (Sihite, 2003).

Pada kondisi yang bervariasi ternyata hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini terjadi karena permukaan dianggap heterogen, sehingga hanya beberapa jenis zat yang diserap oleh sebagian permukaan yang lebih aktif yang disebut “*active center*”.

2.4.2 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm Freundlich, Langmuir, dan Breneur, Emmet dan Teller (BET). Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi cair-padat pada umumnya menganut

tipe isoterm Freunlich dan Lengmuir (Atkins, 1999). Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan persentasi penyerapan yang tinggi.

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{m} \times V$$

Sedangkan persentasi adsorpsi (efisiensi adsorpsi) dan dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\%E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

Keterangan:

- Q = kapasitas adsorpsi per bobot molekul (mg/g)
- C1 = konsentrasi awal larutan (mg/L)
- C2 = konsentrasi akhir larutan (mg/L)
- M = massa adsorben (g)
- V = volume larutan (mL)
- %E = efisiensi adsorpsi

2.4.3 Isoterm Freunlich

Isoterm Freunlich merupakan isoterm yang paling umum digunakan dan dapat mencirikan proses adsorpsi dengan lebih baik (Jason,2004). Isoterm Freunlich menggambarkan hubungan antara sejumlah komponen yang teradsorpsi per unit adsorben dan konsentrasi komponen tersebut padakesetimbangan. Freunlich memformulasikan persamaan isotermnya sebagai berikut:

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n}$$

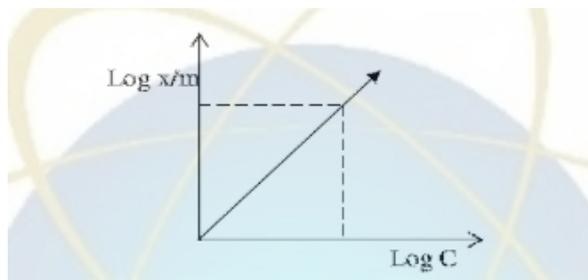
Apabila dilogaritmakan, persamaan akan menjadi:

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C$$

Keterangan:

- x/m = jumlah adsorbat teradsorpsi perunit massa adsorben (mg/g)
- c = konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah diadsorpsi
- k,n = konstanta empiris

Isoterm Freunlich menganggap bahwa pada semua sisi permukaan adsorben akan terjadi proses adsorpsi dibawah kondisi yang diberikan. Isoterm Freunlich tidak mampu memperkirakan adanya sisi-sisi pada permukaan yang mampu mencegah adsorpsi pada saat kesetimbangan tercapai dan hanya ada beberapa sisi aktif saja yang mampu mengadsorpsi molekul terlarut (Jason,2004).



sumber: Ade Apriliani,2010

Gambar 1. Kurva Isoterm Freunlich

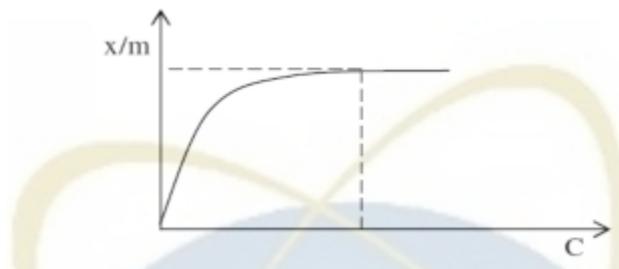
2.4.4 Isoterm Langmuir

Tipe Isoterm Langmuir merupakan proses adsorpsi yang berlangsung secara kimisorpsi satu lapisan. Kimisorpsi adalah adsorpsi yang terjadi melalui ikatan kimia yang sangat kuat antara sisi aktif permukaan dengan molekul adsorbat dan dipengaruhi oleh densitas elektron. Adsorpsi satu lapisan terjadi karena ikatan kimia biasanya bersifat spesifik sehingga permukaan adsorben mampu mengikat adsorbat dengan ikatan kimia. Isoterm Langmuir diturunkan berdasarkan teori dengan persamaan:

$$\frac{w}{m} = \frac{\alpha\beta c}{1 + \beta c}$$

Isoterm Langmuir dipelajari untuk menggambarkan pembatasan sisi adsorpsi dengan asumsi bahwa sejumlah tertentu sisi sentuh adsorben ada pada permukaannya dan semua memiliki energi yang sama, serta adsorpsi bersifat balik (Atkins, 1999). Konstanta α dan β dapat ditemukan dari kurva hubungan $\frac{c}{x/m}$ terhadap c dengan persamaan:

$$\frac{c}{x/m} = \frac{1}{\alpha\beta} + \frac{1}{\alpha} c$$



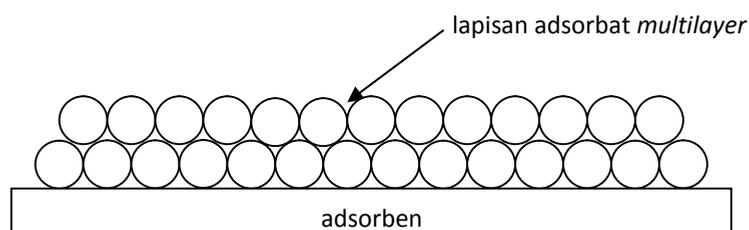
sumber: Ade Apriliani, 2010

Gambar 2. Kurva Isoterm Lengmuir

2.4.5 Isoterm Brunauer, Emmet and Teller (BET)

Teori isoterm adsorpsi BET merupakan hasil kerja dari S. Brunauer, P.H. Emmet, dan E. Teller. Teori ini menganggap bahwa adsorpsi juga dapat terjadi di atas lapisan adsorbat *monolayer*. Sehingga, isoterm adsorpsi BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi *multilayer*. Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai

- Penempelan molekul pada permukaan padatan (adsorben) membentuk lapisan *monolayer*
- Penempelan molekul pada lapisan *monolayer* membentuk lapisan *multilayer*



Gambar 3 . Pendekatan isoterm adsorpsi BET

Pada pendekatan ini, perbandingan kekuatan ikatan pada permukaan adsorben dan pada lapisan adsorbat *monolayer* didefinisikan sebagai konstanta c .

Lapisan adsorbat akan terbentuk sampai tekanan uapnya mendekati tekanan uap dari gas yang teradsorpsi. Pada tahap ini, permukaan dapat dikatakan "basah (*wet*)". Bila V menyatakan volume gas teradsorpsi, V_m menyatakan volume gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer*, dan x adalah P/P^* , maka isoterm adsorpsi BET dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{V}{V_m} = \frac{cx}{(1-x)(1-x+cx)}$$

Keseimbangan antara fasa gas dan senyawa yang teradsorpsi dapat dibandingkan dengan keseimbangan antara fasa gas dan cairan dari suatu senyawa. Dengan menggunakan analogi persamaan Clausius – Clapeyron, maka

$$\frac{d(\ln P)}{dT} = -\frac{\Delta H_{ads}}{RT^2}$$

dimana ΔH_{ads} adalah entalpi adsorpsi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan kesetimbangan dari gas teradsorpsi bergantung pada permukaan dan entalpi adsorpsi.