

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Siklus Hidrologi

Pada prinsipnya, jumlah air di alam ini tetap dan mengikuti suatu aliran yang dinamakan siklus hidrologi. Dengan adanya penyinaran matahari, semua air yang ada di permukaan bumi akan menguap dan membentuk uap air. Karena adanya angin, maka uap air ini akan bersatu dan berada di tempat yang tinggi yang disebut awan. Oleh angin, awan ini akan terbawa makin lama makin tinggi di mana temperatur di atas makin rendah, dalam kondisi tertentu awan ini akan berubah menjadi tetesan-tetesan air dan jatuh kembali ke bumi sebagai hujan. Air hujan ini sebagian mengalir kedalam tanah, jika menjumpai lapisan rapat air, maka peresapan akan berkurang, dan sebagian air akan mengalir di atas lapisan rapat air ini. Jika air ini keluar pada permukaan bumi, maka air ini akan disebut mata air. Air permukaan yang mengalir di permukaan bumi, umumnya berbentuk sungai-sungai dan jika melalui tempat yang rendah (cekungan) maka air akan berkumpul, membentuk suatu danau atau telaga. Tetapi banyak diantaranya mengalir ke laut kembali dan kemudian mengikuti siklus hidrologi ini. Sumber-sumber air yang dapat di manfaatkan oleh manusia antara lain :

1. Air permukaan
2. Air tanah
3. Air atmosfer/angkasa
4. Air laut

2.2. Air tanah

Air tanah (*Groundwater*) merupakan air yang berada di bawah permukaan tanah. Air tanah ditemukan pada akifer. Pergerakan air tanah sangat lambat; kecepatan arus berkisar antara 10^{-10} – 10^{-3} m/detik dan dipengaruhi oleh porositas, permeabilitas dari lapisan tanah, dan pengisian kembali air (*recharge*). Karakteristik utama yang membedakan air tanah dengan air permukaan adalah pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal. Karena pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal yang lama tersebut air tanah akan sulit untuk pulih kembali jika mengalami pencemaran.

Daerah di bawah tanah yang terisi air tersebut adalah daerah saturasi (*zone of saturation*). Pada daerah saturasi, setiap pori tanah dan batuan terisi oleh air, yang merupakan air tanah (*groundwater*). Batas atas daerah saturasi disebut *water table*, yang merupakan peralihan antara daerah saturasi yang banyak mengandung air dan daerah belum saturasi/jenuh (*unsaturated/vadose zone*) yang masih mampu menyerap air (Hefni, 2003).



Gambar 2.1. Penampang melintang tanah dan posisi air tanah (*groundwater*) didalam tanah (modifikasi Miller, 1992 dalam Hefni, 2003)

Air tanah dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

2.2.1. Air tanah dangkal

Terjadi karena daya proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, demikian pula dengan sebagian bakteri, sehingga air tanah akan jernih tetapi lebih banyak mengandung zat kimia (garam-garam yang terlarut) karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah.

Lapisan tanah disini berfungsi sebagai saringan. Disamping penyaringan, pengotoran juga terus berlangsung, terutama pada muka air yang dekat muka tanah. Setelah menemui lapisan rapat air, maka air akan terkumpul merupakan air tanah dangkal dimana air tanah ini dimanfaatkan untuk sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal. Air tanah dangkal ini terdapat pada kedalaman 15 m. Sebagai sumur air minum, air tanah dangkal ini ditinjau dari segi kualitas agak baik. Kuantitas kurang cukup dan tergantung pada musim.

2.2.2. Air tanah dalam

Air tanah dalam biasanya memiliki karbondioksida dengan jumlah yang relatif banyak, dicirikan dengan rendahnya pH, dan biasanya disertai dengan kadar oksigen terlarut yang rendah atau bahkan terbentuk suasana anaerob. Pada kondisi ini, jumlah ferri karbonat akan larut sehingga terjadi peningkatan kadar besi ferro (Fe^{2+}) di perairan. Dengan kata lain, besi (Fe^{2+}) hanya ditemukan pada perairan yang bersifat anaerob, akibat proses dekomposisi bahan organik yang berlebihan. Jadi, di perairan, kadar besi (Fe^{2+}) yang tinggi berkorelasi dengan kadar bahan organik yang tinggi, atau kadar besi yang tinggi terdapat pada air

yang berasal dari air tanah dalam yang bersuasana anaerob atau dari lapisan yang sudah tidak mengandung oksigen (Hefni, 2003).

Terdapat setelah lapisan rapat air yang pertama. Pengambilan air tanah dalam, tidak semudah pada air tanah dangkal. Dalam hal ini harus digunakan bor dan memasukkan pipa kedalamnya sehingga pada suatu kedalaman tertentu (biasanya antara 100-300 m) akan didapatkan suatu lapisan air. Jika tekanan air tanah ini besar, maka air dapat menyembur keluar dan dalam keadaan ini, sumur ini disebut dengan sumur artesis. Jika air tidak dapat keluar dengan sendirinya, maka digunakan pompa untuk membantu mengeluarkan air tanah dalam ini.

Air tanah dalam pada umumnya lebih baik dari air dangkal, karena penyaringannya lebih sempurna dan bebas dari bakteri. Susunan unsur-unsur kimia tergantung pada lapisan tanah yang dilalui. Jika melalui tanah kapur, maka air itu akan menjadi sadah, karena mengandung $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Jika melalui batuan granit, maka air itu lunak dan agresif karena mengandung gas CO_2 dan $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$.

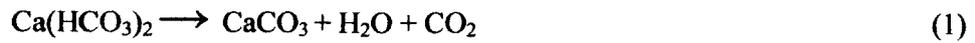
Untuk mengurangi kadar Fe yang menyebabkan korosi itu harus diadakan pengolahan dengan jalan aerasi yaitu memberikan kontak dengan udara sebanyak-banyaknya agar $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan $(\text{OH})_4$ mengendap dan kemudian disaring. Air sadah tidak ekonomis dalam penggunaannya, karena:

1. Terlalu boros dalam pemakaian sabun.

Hal ini disebabkan karena air sudah mengandung Ca^{++} yang jika bereaksi dengan $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$ yang menyebabkan tidak terbentuknya busa sabun.

Setelah Ca habis, barulah busa akan terbentuk.

2. Mengganggu pada ketel-ketel air karena terjadi reaksi:



Dengan terjadinya endapan CaCO_3 sebagai batu ketel, maka hal ini sangat mengganggu dalam pemindahan panas (ada beda suhu) sehingga sering terjadi ledakan pada ketel-ketel air atau sumbatan pada pipa-pipa. Kualitas pada air tanah pada umumnya mencukupi (tergantung pada lapisan keadaan tanah) dan sedikit pengaruh oleh perubahan musim.

Karakteristik Air

Air minum yang ideal seharusnya memenuhi persyaratan baku mutu air minum, yang meliputi :

1. Parameter Fisis

- | | |
|-----------------------------------|---------|
| - Bau | - Rasa |
| - Jumlah zat padat terlarut (TDS) | - Suhu |
| - Kekeruhan | - warna |

2. Parameter Kimia

a. Kimia anorganik

- | | |
|-------------|------------|
| - Air raksa | - Nitrat |
| - Arsen | - Nitrit |
| - Besi | - pH |
| - Fluorida | - Selenium |
| - Cadmium | - Seng |
| - Kesadahan | - Sianida |
| - Khlorida | - Sulfat |

- Kromium

- Timbal

- Mangan

b. Kimia organik

- Aldrin dan dieldrin

- Heptachlor dan heptachlor epoxide

- Benzene

- Hexachlorobenzene

- Benzo (a)pyrene

- Gamma-HCH (lindane)

- Chlordane (total isomer)

- Methoxychloropentachlorophenol

- Chloroform

- Pesticida total

- DDT

- 2,4,6 trichlorophenol

- Detergen

- Zat organik (KMnO₄)

- 1,2 dichloroetane

3. Parameter mikrobiologi

- Coliform tinja

- Total coliform (MPN)

4. Parameter radioaktivitas

- Aktivitas alpha (gross alpha activity)

- Aktivitas beta (gross beta activity)

Menurut peraturan pemerintah RI no. 82 tahun 2001

“Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya”.

Walaupun penetapan standar air yang bersih tidak mudah, namun ada kesepakatan bahwa air yang bersih tidak ditetapkan pada kemurnian air, akan tetapi didasarkan pada keadaan normalnya. Bila terjadi keadaan menyimpang dari keadaan normal, maka hal itu berarti air tersebut telah mengalami pencemaran (*Mukono, H.J., 2000*).

Air yang ada di bumi ini tidak pernah dalam keadaan murni bersih, tetapi selalu ada senyawa/ mineral (unsur) lain yang terlarut didalamnya. Hal ini tidak berarti semua air yang ada di bumi ini telah tercemar. Sebagai contoh air yang di ambil dari mata air di pegunungan dan air hujan. Keduanya dapat dianggap sebagai air bersih, namun senyawa atau mineral (unsur) yang terdapat didalamnya berlainan.

seperti tampak dalam keterangan berikut ini :

- Air hujan mengandung : SO_4 , Cl, NH_3 , CO_2 , H, C, O_2 , dan debu.
- Mata air mengandung : Na, Mg, Ca, Fe, O_2

Selain itu air juga seringkali mengandung bakteri atau mikroorganisme lainnya. Air yang mengandung bakteri atau mikroorganisme tidak dapat langsung digunakan sebagai air minum, tetapi harus direbus dulu. Pada batas-batas tertentu air minum justru diharapkan mengandung mineral agar air itu terasa segar. Air murni tanpa mineral justru tidak enak untuk diminum.

Kualitas air dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu zat yang terlarut, zat yang tersuspensi dan makhluk hidup khusus jasad di dalam air. Air murni yang tidak mengandung zat yang tidak terlarut, tidak baik untuk kehidupan. Sebaliknya zat yang terlarut ada yang bersifat racun. Apabila zat yang terlarut, zat yang

tersuspensi dan makhluk hidup dalam air membuat kualitas air menjadi tidak sesuai untuk kehidupan air itu disebut tercemar.

Sumber air harus memenuhi syarat baku mutu air untuk air minum. Baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air. Kualitas air sangat penting karena merupakan dasar pedoman untuk mencapai pengolahan air sesuai dengan peruntukannya.

Berdasarkan uraian tersebut dapat dipahami bahwa air tercemar apabila air tersebut telah menyimpang dari keadaan normalnya. Keadaan normal air masih tergantung pada faktor penentu, yaitu kegunaan air itu sendiri dan asal sumber air.

2.3. Besi (Fe) dan Mangan(Mn)

Air tanah sering mengandung zat besi (Fe) dan mangan (Mn) yang cukup besar. Kandungan Fe dan Mn itu seringkali mengubah warna air yang sebetulnya bening menjadi coklat kekuning-kuningan. Apabila kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) melampaui standart baku mutu maka dapat membahayakan kesehatan manusia. Ada tiga metode yang biasa digunakan untuk menurunkan kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) (Al Layla,1978):

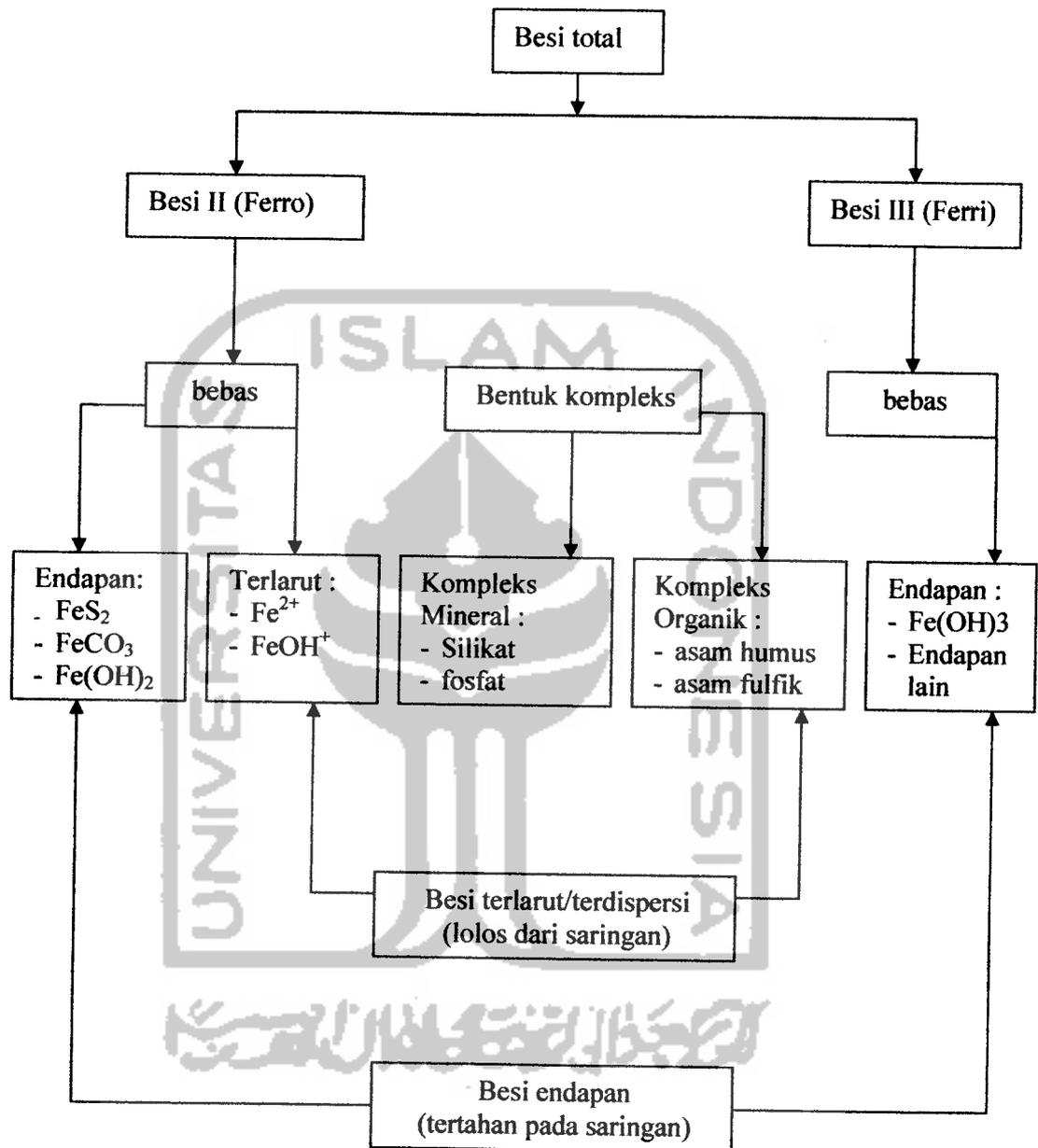
- a. Presipitasi dan filtrasi
- b. Ion exchange
- c. Stabilisasi

2.3.1. Besi (Fe)

Besi atau ferrum (Fe) adalah metal berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Besi dilambangkan dengan Fe, sebagai salah satu unsur logam berat dan termasuk dalam golongan VIII. Besi mempunyai nomor atom (NA) 26 dan berat atom (BA) 55.847, keelektronegatifan 1.8, kerapatan g ml^{-3} 7,86. Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hamper atau hematite pada semua lapisan geologis dan semua badan air.

Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/L, tetapi di dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Pada air yang 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+} . Fe^{3+} ini sulit larut pada pH 6 sampai 8 (kelarutan hanya dibawah beberapa $\mu\text{g/l}$), bahkan dapat menjadi ferihidroksida $\text{Fe}(\text{OH})_3$, atau salah satu jenis oksida yang merupakan zat padat dan bisa mengendap. Demikian dalam air sungai, besi berada dalam Fe^{2+} , Fe^{3+} terlarut dan Fe^{3+} dalam bentuk senyawa organik berupa koloidal (*Alaerts dan Santika, 1984*).

Bentuk besi dalam air dapat dilihat dalam bagan berikut ini :



Gambar 2.2. Bagan Bentuk Besi (Fe) di dalam air (Degremond, 1979)

Pada umumnya, besi yang ada didalam air dapat bersifat :

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

Adanya unsur-unsur besi dalam air diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tubuh akan unsur tersebut. Zat besi merupakan suatu unsur yang penting dan berguna untuk metabolisme tubuh. Untuk keperluan ini tubuh membutuhkan 7-35 mg unsur tersebut perhari, yang tidak hanya diperolehnya dari air. Dalam jumlah kecil, unsur ini diperlukan tubuh untuk pembentukan sel-sel darah merah. Banyaknya Fe di dalam tubuh dikendalikan pada fase absorpsi, sedangkan tubuh manusia tidak dapat mengekskresi Fe.

Akibat yang dapat ditimbulkan oleh besi (Fe), antara lain :

- Air menjadi keruh dan berwarna kuning kecoklatan sampai kehitam-hitaman.
- Menimbulkan noda-noda pada peralatan dan bahan-bahan yang berwarna putih.
- Pengendapan pada dinding pipa .
- Menyebabkan bau dan rasa yang tidak enak pada minuman.
- Bagi yang sering mendapat transfuse darah, warna kulit menjadi hitam karena terjadi akumulasi Fe.

- Dalam dosis tinggi dapat merusak dinding usus, bahkan dapat menyebabkan kematian karena rusaknya dinding usus ini.
- Debu Fe juga dapat diakumulasi di dalam alveoli, dan menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru.

Atas dasar pertimbangan tersebut diatas, maka ditetapkanlah standar konsentrasi maksimum besi dalam air minum, dalam PP no. 82 tahun 2001 sebesar 0,3 mg/L. Dengan dipenuhinya standar tersebut oleh air minum, diharapkan berbagai hal yang tidak diinginkan tersebut diatas tidak dapat terjadi.

2.3.2. Mangan (Mn)

Mangan (Mn) adalah metal kelabu-kemerahan. Mangan dilambangkan dengan Mn sebagai salah satu logam berat termasuk dalam golongan VIIB. Mangan mempunyai nomor atom (NA) 25 dan berat atom (BA) 54.938, keelektronegatifan 1.5, kerapatan g ml^{-3} 7.43. Disamping itu, konsentrasi 0,05 mg/L unsur ini merupakan akhir batas dari usaha penghilangan dari kebanyakan air yang dapat dicapai. Kemungkinan unsur ini merupakan nutrient yang penting dengan kebutuhan perhari 10 mg/L yang dapat diperoleh dari makanan. Unsur ini bersifat toksis pada alat pernafasan.

Toksisitas mangan relatif sudah tampak pada konsentrasi rendah. Untuk keperluan domestik, batas yang diijinkan adalah sangat rendah, di bawah 0.05 mg/L (Saeni, 1989).

Mangan termasuk unsur mikro yang keberadaannya oleh tanaman dibutuhkan untuk pembentukan hijau daun (Rinsena, 1983).

Gejala yang timbul berupa gejala susunan syaraf: insomnia, kemudian lemah pada kaki dan otot muka sehingga ekspresi muka menjadi beku dan muka tampak seperti topeng. Bila pemaparan berlanjut maka, bicaranya melambat dan monoton, terjadi hiperrefleksi, clonus pada patella dan tumit, dan berjalan seperti penderita Parkinsonism. Selanjutnya akan terjadi *paralysis bulbar*, *post encephalitic Parkinsonism*, *multiple sclerosis*, *amyotropic lateral sclerosis*, dan degenerasi lentik yang progresif (peny. Wilson) Tidak ada gejala GI, saluran urogenital (UG), kelainan sensoris atau kelainan pada liquor cerebrospinalis. Keracunan Mn ini adalah salah satu contoh, di mana kasus keracunan tidak menimbulkan gejala muntah berak, sebagaimana orang awam selalu memperkirakannya.

Akibat yang dapat ditimbulkan oleh mangan, antara lain :

- Menimbulkan noda-noda pada bahan/benda yang berwarna putih
- Dapat bersifat toksis pada alat pernafasan
- Menimbulkan warna ungu/hitam pada air minum
- Dapat menimbulkan rasa dan bau yang tidak enak pada minuman
- Dapat menyebabkan kerusakan pada hati.

Konsentrasi standar maksimum yang ditetapkan Dep.Kes.RI. untuk Mn adalah sebesar 0,05-0,5 mg/L. 0,05 adalah merupakan batas konsentrasi maksimal yang dianjurkan, sedangkan 0,5 mg/L adalah merupakan batas konsentrasi maksimal yang diperbolehkan.

2.4. Aerasi

Adalah fenomena fisik dimana terjadi pertukaran molekul-molekul gas diudara dengan cairan pada gas-liquid interface. Pertukaran tersebut menyebabkan konsentrasi molekul gas di dalam cairan mencapai titik jenuh. Karena pertukaran gas hanya terjadi pada permukaan (*interface*), maka proses tersebut harus dilakukan dengan kontak sebanyak-banyaknya antara ke dua permukaan tersebut. Atau dengan kata lain aerasi adalah proses pengolahan air dengan mengontakkannya dengan udara. Sasaran yang utama adalah memaksimalkan luas dari permukaan air ke udara. Dengan maksud perpindahan efisien terbesar dari satu medium ke medium yang lain. Hal ini sangat penting agar dalam proses ini cukup berlangsung percampuran antara air dengan udara (Walker, 1978).

Aerasi bertujuan untuk (Agustjik, 1991) :

- a. Penambahan jumlah oksigen
- b. Penurunan jumlah karbon dioksida (CO_2)
- c. Menghilangkan hidrogen sulfida (H_2S), metan (CH_4) dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan untuk rasa dan bau.

Pengambilan zat pencemar yang terkandung di dalam air merupakan tujuan pengolahan air. Penambahan oksigen adalah salah satu usaha dari pengambilan zat pencemar tersebut, sehingga konsentrasi zat pencemar akan berkurang atau bahkan dapat dihilangkan sama sekali. Zat yang diambil dapat berupa gas, cairan, ion, koloid atau bahan tercampur.

2.4.1 Jenis-jenis aerasi

Beberapa jenis aerasi untuk pengolahan air minum adalah sebagai berikut :

a. *Cascade Aerator*

Merupakan suatu proses perputaran dimana selapis tipis aliran air kebawah yang diusahakan sedemikian sehingga saling bertemu. Sistem *cascade* sendiri ada beberapa macam antara lain air diterjunkan lewat step atau terjunan, biasanya terdiri atas 4-8 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira 0,01 m³/detik. untuk menghilangkan putaran (turbulen) guna menaikkan efisiensi aerasi hambatan sering terjadi di tepi peralatan pada setiap step. Atau air dapat juga dilewatkan melalui menara yang berisi batu sehingga terjadi pertukaran aliran udara. Metode ini dapat menurunkan CO₂ bebas sebesar 90%, sedangkan metode dengan terjunan anak tangga dapat menurunkan CO₂ bebas sebesar 20-45% (Holden, 1970). Keuntungan dari cascade adalah pemeliharaannya mudah.

b. *Spray aerator*

Merupakan aerasi yang dapat menghasilkan semprotan air, sehingga air yang jatuh keluar akan berupa butiran-butiran. Hal ini sangat menguntungkan bila air yang dihasilkan semakin kecil, karena dengan butiran yang kecil maka permukaan air yang kontak dengan udara akan semakin luas. Disamping itu juga membantu proses difusi gas ke dalam air.

c. *Diffused aerator*

Tipe ini terdiri dari sebuah basin dengan pipa perlokasi, tabing-tabling porous yang digunakan untuk memompakan udara yang akan dilewatkan ke

air, sehingga air tersebut teraerasikan. Tingkat terjadinya gelembung-gelembung itu banyak dipengaruhi oleh *spray aerator*, tetapi meskipun demikian udara harus ditekan sedemikian di atas tekanan kedalaman air dimana *diffused* itu ditetapkan. *Diffuser* ini biasanya ditempatkan didasar basin atau pada ketinggian tertentu dari dasar basin.

d. *Multiple Tray Aerator*

Nerupakan aerasi dengan sistem gravitasi yang dilewatkan pada bak yang berpori-pori dengan beberapa kali menjatuhkan air. *Multiple Tray Aerator* susunannya mudah dan sederhana serta memerlukan ruang kecil. Jenis aerator ini terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lubang-lubang. Melalui pipa berlubang air dibagi rata melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun kebawah dengan kecepatan kira-kira $0,02 \text{ m}^3/\text{detik}/\text{m}^2$ permukaan tray. Tetesan-tetesan kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap tray berikutnya. Untuk penyebaran air yang lebih halus, tray-tray aerator biasanya diisi dengan kerikil-kerikil kasar kira-kira ketebalan 10 cm. Kadang-kadang digunakan lapisan batu arang yang bertindak sebagai katalisator (mempercepat reaksi) dan menaikkan penggumpalan besi dalam air (Agustjik, 1991).

Kriteria desain yang pada umumnya digunakan pada *multipletray aerator* :

- Jarak antar jatuhan/tray bervariasi antara 0,3-0,6 m
- Jumlah tray 4 sampai 9 tray

Persamaan yang digunakan dalam tray aerator :

$$C_t - C_o = (C_s - C_o)(1 - \exp(-kg \times t)) \quad (2)$$

Sedangkan persamaan untuk waktu jatuh air :

$$T = \sqrt{(2 \times h) / g} \quad (3)$$

Dimana :

C_s = konsentrasi jenuh oksigen pada suhu operasi, mg/L

C_o = konsentrasi oksigen pada saat $t=0$, mg/L

C_t = konsentrasi oksigen pada saat t , mg/L

K_g = koefisien mass transfer

t = waktu jatuh air

h = tinggi tray

g = percepatan gravitasi

2.4.2 Pengurangan Besi dan Mangan

Ion Fe dan Mn sering kali dijumpai pada air alami dengan kadar oksigen yang rendah, seperti pada air tanah dan pada daerah danau yang tanpa udara. Keberadaan ferric dan manganic larutan dapat terbentuk dengan adanya pabrik tenun, kertas, dan proses industri. Fe dan Mn dapat dihilangkan dari dalam air dengan melakukan oksidasi menjadi $Fe(OH)_3$ dan MnO_2 yang tidak terlarut di dalam air, kemudian diikuti dengan pengendapan dan penyaringan. Oksidator utama adalah molekul oksigen dari udara, klorin atau $KMnO_4$, sedangkan kecepatan pengendapan dipengaruhi oleh jenis dan kadar oksidator, pH, kesadahan, dan kemungkinan ditamapkannya katalisator. Oksigen terlarut mengubah Fe dan Mn ion menjadi komponen yang tidak terlarut.

Untuk setiap tahap percikan air antara tray yang satu dengan tray berikutnya terjadi reaksi antara besi (Fe) dalam air, dengan udara yang ada disekitarnya, mengikuti reaksi sebagai berikut :

Menurut *Syed R. Qasim* reaksi oksidasi yang terjadi pada Fe^{2+} dan Mn^{2+} adalah sebagai berikut :

Persamaan reaksi untuk Fe adalah sebagai berikut :



Dari persamaan di atas maka besarnya kebutuhan oksigen untuk mengikat setiap 1 mg/L Fe dapat dihitung sebagai berikut :

$$1 \text{ mg/L Fe}^{2+} = (\frac{1}{2} \times 2 \times 16) / (2 \times 55.8) = 0.14 \text{ mg/L O}_2$$

Sedangkan untuk Mn persamaan reaksi adalah sebagai berikut :



Dari persamaan di atas maka besarnya kebutuhan oksigen untuk mengikat setiap 1 mg/L Mn dapat dihitung sebagai berikut :

$$1 \text{ mg/L Mn}^{2+} = (\frac{1}{2} \times 2 \times 16) / (54.94) = 0.29 \text{ mg/L O}_2$$

Rata-rata oksidasi Fe akan meningkat mencapai 90% dalam waktu 10 - 20 menit pada pH 7, sedangkan rata-rata perubahan oksidasi Mn lebih rendah dari pH 7 tersebut. Apabila pH mendekati 10 baru kecepatan reaksinya akan normal. Untuk mempercepatnya biasanya digunakan katalisator peralatan pembubuh oksigen (aerasi) yang berupa menara (tray) talam dimana air menetes di atas talam tersebut atau berupa penyemburan ke udara.

Kelarutan molekul gas ke dalam cairan tergantung pada :

- a. Sifat gas yang bersangkutan
- b. Konsentrasi gas pada fase gas, dimana tergantung pada tekanan relative 'p' pada fase gas
- c. Temperatur
- d. Impurities

Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan unit aerasi adalah :

- a. kecepatan gas transfer berbanding langsung dengan luas kontak per unit volume
- b. Peralatan aerasi yang ideal akan memaksimalkan luas kontak. Misal untuk aerator cascade, terjunan yang lebih tinggi akan meningkatkan luas kontak. Untuk spray aerator, nozzle yang menghasilkan butiran yang lebih kecil memberikan luas kontak yang lebih besar.
- c. Kecepatan transfer gas juga berbanding langsung dengan waktu kontak, sehingga unit aerator harus memperbesar waktu kontak.
- d. Kecepatan transfer gas terhadap perbedaan antara konsentrasi jenuh dan konsentrasi awal dari gas ($C_t - C_o$). konsentrasi jenuh tergantung pada faktor-faktor yang telah disebutkan diatas.

2.5. Karbon aktif

Karbon aktif adalah karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga pori-porinya terbuka, dan dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang akan membentuk amorf, yang sebagian

besar terdiri dari karbon bebas serta memiliki permukaan dalam (*internal surface*), sehingga mempunyai daya serap yang lebih baik. Keaktifan menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85% sampai 95% karbon bebas.

Karbon aktif berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu antara 300 sampai 2000 m²/gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) yang berongga, sehingga mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan.

Karbon aktif untuk semua tujuan, dan dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bubuk dan granular. Karbon bentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan. Misalnya untuk menghilangkan warna (*decolorisasi*), sedangkan karbon bentuk granular digunakan untuk adsorpsi gas dan uap, dikenal pula sebagai karbon pengadsorpsi gas. Karbon bentuk granular kadang-kadang juga digunakan di dalam media larutan khususnya untuk deklorinasi air dan untuk penghilang warna dalam larutan serta pemisahan komponen-komponen dalam suatu sistem yang mengalir.

Syarat mutu arang aktif

Menurut Standard Industri Indonesia (SII No. 0258-79) persyaratan arang aktif adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 syarat mutu arang aktif

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1. Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Maksimum 15
2. Air	%	Maksimum 10
3. Abu	%	Maksimum 2,5
4. Bagian yang tidak mengarang	%	Tidak ternyata
5. Daya serap terhadap larutan I ₂	%	Maksimum 20

Sumber: <http://apps5.oingo.com/apps/domainpark/result.cgi?karbon+aktif&acid=DOTS429&url=http%3A%2F%2Fwarintek.com>, www.warintek.net

2.5.1. Struktur karbon aktif

Struktur dasar karbon aktif dan karbon hitam diperkirakan menyerupai struktur grafit murni. Kristal grafit tersusun dari lapisan-lapisan heksagonal yang tersusun dari atom-atom karbon, yang terikat dengan gaya van der Waals yang lemah dan jarak antara lapisan-lapisan bidang tersebut adalah 3,35 Angstrom. Jarak ikatan antara atom-atom karbon dalam masing-masing lapisan adalah 1,415 Angstrom. Tiga dari keempat elektron karbon membentuk ikatan kovalen dengan atom yang berdekatan, sedangkan elektron yang keempat beresonansi dengan beberapa struktur ikatan valensi. Struktur karbon aktif sedikit berbeda dari grafit. Selama proses karbonisasi terbentuk dari beberapa inti aromatis yang mempunyai struktur yang sama dengan grafit. Dari data spektrograf sinar x, struktur diinterpretasikan sebagai struktur mikrokristal yang tersusun dari gabungan cincin-cincin heksagonal dari atom-atom karbon. Adanya pengotor pada saat pembuatan ini mempengaruhi pembentukan senyawa-senyawa didalam mikrokristal. Garten dan Weiss (1983) menyatakan bahwa struktur cincin pada ujung-ujung bidang seringkali merupakan gugus heterosiklis yang berasal baik dari

bahan baku maupun dari proses pembuatannya. Gugus-gugus heterosiklis akan cenderung mempengaruhi jarak dari bidang sekitarnya dan sifat adsorpsi karbon.

Susunan teratur dari ikatan-ikatan karbon pada permukaan kristal dirusak selama proses aktivasi, menghasilkan valensi bebas yang sangat reaktif. Perkembangan struktur yang dihasilkan adalah fungsi dari temperatur karbonisasi dan struktur aktivasi.

Struktur pori suatu adsorben dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu, macro pori, transisional pori dan mikropori. Dua tingkat oksidasi terjadi selama proses aktivasi dengan gas pengoksidasi pada temperatur tinggi. Pertama, makropori terbentuk karena terbakarnya gugus ujung mikrokristal. Kedua, mikropori terbentuk terutama karena terbakarnya bidang mikrokristal.

Pori yang mempunyai radius efektif lebih besar dari 50-100 nm dikelompokkan oleh Dubinin sebagai mikropori. Pada karbon aktif, radius efektif mikro porinya berkisar 500-2000 nm, volumenya antara 1,2 – 0,8 ml/gram. Harga luas permukaan yang kecil atau dapat diabaikan, menunjukkan bahwa mikro pori karbon aktif tidak cukup berperan dalam adsorpsi kecuali untuk senyawa-senyawa organik yang mempunyai ukuran molekul yang besar.

Transisional pori menurut Duninin mempunyai ukuran antara 100-200 nm dan 1,6 nm. Adsorpsi monomolekuler terjadi pada permukaan dalam pori ini. Biasanya karbon aktif mempunyai volume transisional pori relatif kecil dan berkisar antara 20-70 m/gram. Untuk karbon aktif dengan porositas transisional pori dapat mencapai 7 ml/gram dan luas permukaan spesifiknya dapat mencapai 450 m/gram. Radius efektifnya biasanya 4-20 nm. Radius efektif mikro pori lebih

kecil daripada 1,82 nm, berkaitan dengan ukuran molekul. Untuk karbon aktif, volume mikro porinya kira-kira 0,15-0,5 ml/gram dan luas spesifiknya minimal 95% dari luas permukaan seluruhnya.

Karakteristik karbon aktif antara jenis karbon aktif granular dan serbuk (powder) dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan antara karbon aktif granular dan karbon aktif powder

Parameter	Karbon aktif		Satuan
	Granular	Serbuk(powder)	
Total luas permukaan	700-1300	800-1800	m ² /g
Densitas unggun	400-500	360-740	kg/m ³
Densitas partikel	1.0-1.5	1.3-1.4	kg/L
Ukuran butiran	0.1-2.36	(5-50)	mm(μm)
Ukuran Efektif	0.6-0.9	na	mm
Koefisien uniformitas	≤1.9	na	UC
Luas pori rata-rata	16-30	20-40	Å
Nomor iodium	600-1100	800-1200	
Angka abrasi	75-85	70-80	minimum
Abu	≤8	≤6	%
<i>Moisture as packed</i>	2-8	3-10	%

Sumber : *Metcalf and Eddy, 1991*

Karbon aktif dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, tetapi mekanisme penyerapan senyawa tersebut belum semua diketahui dengan jelas. Mekanisme penyerapan yang telah diketahui antarlain penyerapan golongan fenol dan aldehid aromatis maupun derivatnya. Senyawa fenol-aldehid maupun derivatnya terserap oleh karbon karena adanya peristiwa donor-akseptor elektron. Gugus karbonil pada permukaan karbon bertindak sebagai donor elektron. Karena

ada peristiwa tersebut, maka inti benzena akan berikatan dengan gugus karbonil pada permukaan berikut :

- a. Dengan adanya pori-pori mikro antar partikuler yang sangat banyak jumlahnya pada karbon aktif, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap. Selain itu distribusi ukuran pori merupakan faktor penting dalam menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Misalnya, ukuran 20 angstrom dapat digunakan untuk menghilangkan campuran rasa dan bau, hanya lebih efektif untuk pembersihan gas, sedangkan untuk ukuran 20-100 angstrom efektif untuk menyerap warna.
- b. Pada kondisi yang bervariasi ternyata hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini dapat terjadi karena permukaan karbon dianggap heterogen, sehingga hanya beberapa jenis zat yang dapat diserap oleh bagian permukaan yang lebih aktif, yang disebut pusat aktif.

Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah sebagai berikut :

- a. Karakteristik fisika dan kimia adsorben, antara lain : luas permukaan, ukuran pori, komposisi kimia
- b. Karakteristik fisis dan kimia adsorbat, antara lain : ukuran molekul, polaritas molekul komposisi kimia.
- c. Konsentrasi adsorbat dalam fase cair.
- d. Sistem waktu adsorpsi.

2.5.2. 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 (lihat tabel 2.3).

Tabel 2.3 Penggunaan karbon aktif

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

Sumber: <http://apps5.ingo.com/apps/domainpark/result.cgi?karbon+aktif&acid=DOTS429&url=http%3A%2F%2Fwarintek.com>, www.warintek.net

2.5.3. Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif telah banyak diteliti, dan dalam pustaka telah didapat data yang cukup banyak. Diantaranya dituliskan bahwa karbonisasi untuk memperoleh karbon yang baik untuk diaktivasi harus dilakukan pada temperatur dibawah 600°C . Disamping itu ditemukan pula bahwa aktivasi arang dengan uap air sangat baik pada temperatur $900-1000^{\circ}\text{C}$, dan penambahan garam KCNS akan mempertinggi daya adsorpsi karbon aktif yang diperoleh.

Secara umum dalam pembuatan karbon aktif terdapat dua tingkatan proses yaitu :

a. Proses pengarangan (karbonisasi)

Proses ini merupakan proses pembentukan arang dari bahan baku. Secara umum, karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara, sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Hasil yang diperoleh biasanya kurang aktif dan hanya mempunyai luas permukaan beberapa meter persegi per gram.

Selama proses karbonisasi dengan adanya dekomposisi pirolitik bahan baku, sebagian elemen-elemen bukan karbon, yaitu hidrogen dan oksigen dikeluarkan dalam bentuk gas dan atom-atom yang terbebaskan dari karbon elementer membentuk kristal yang tidak teratur, yang disebut sebagai kristal grafit elementer. Struktur kristalnya tidak teratur dan celah-celah kristal ditempati oleh zat dekomposisi tar. Senyawa ini menutupi pori-pori karbon, sehingga hasil proses karbonisasi hanya mempunyai kemampuan adsorpsi yang kecil. Oleh karena itu karbon aktif dapat juga dibuat dengan cara lain, yaitu dengan mengkarbonisasi bahan baku yang telah dicampur dengan garam dehidrasi atau zat yang dapat mencegah terbentuknya tar, misalnya $ZnCl_2$, $MgCl_2$, dan $CaCl_2$. Perbandingan garam dengan bahan baku adalah penting untuk menaikkan sifat-sifat tertentu dari karbon.

b. Proses aktivasi

Secara umum, aktivasi adalah mengubah karbon dengan daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi, misalnya dengan menggunakan uap panas, gas karbondioksida dengan temperatur antara

700-1100⁰C, atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai aktivator (Smisek, 1970). Selain itu aktivasi juga berfungsi untuk mengusir tar yang melekat pada permukaan dan pori-pori karbon.

Aktivasi menaikan luas permukaan dalam (internal area), menghasilkan volume yang besar, berasal dari kapiler-kepiler yang sangat kecil, dan mengubah permukaan dalam dari struktur pori.

Jadi karbon aktif dapat dibuat dengan dua metode aktivasi (Smisek, 1970), yaitu :

1. Aktivasi fisika, pada aktivasi ini digunakan gas pengaktif, misalnya uap air atau CO, yang dialirkan pada karbon hasil yang dibuat dengan metode karbonasi biasa. Pada saat ini senyawa-senyawa hasil ikutan akan hilang dan akhirnya akan memperluas hasil permukaan. Aktivasi ini dilakukan sampai derajat aktivasi cukup, yaitu sampai kehilangan berat berkisar antara 30-70%.
2. Aktivasi kimia, pada aktivasi ini bahan dikarbonisasi dengan tambahan zat pengaktif (aktivator) yang mempengaruhi jalannya pirolisis. Kemudian dicuci dengan air dan kemudian dikeringkan.

Biasanya proses aktivasi fisika merupakan awal dari proses aktivasi kimia. Pembuatan karbon aktif akan melalui beberapa tahapan sebagai berikut : penghilangan air (dehidrasi), pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon, dan komposisi tar yang juga memperluas pori-pori. Pada proses produktif karbon aktif, metode tersebut dapat dikembangkan untuk maksud tertentu.

2.6. Pasir Zeolit

Istilah zeolit berasal dari kata *zein* (bahasa Yunani) yang berarti membuih dan *lithos* berarti batu. Nama ini sesuai dengan sifat yang membuih bila dipanaskan pada suhu 100° celcius.

Zeolit adalah senyawa aluminosilat yang terhidrasi dengan unsur utama terdiri dari kation alkali dan alkali tanah. Senyawa ini memiliki struktur tiga dimensi dan memiliki pori-pori yang dapat diisi dengan air. Selain itu zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan komponen yang terkandung serta dapat menukar berbagai jenis kation tanpa merubah struktur utama penyusunnya.

Zeolit merupakan batuan yang secara kimia termasuk bahan silikat yang dinyatakan sebagai aluminosilat terhidrasi, yang merupakan hasil produksi sekunder, baik dari hasil pelapukan ataupun sedimentasi. Batuan zeolit dengan struktur berongga sebagai suatu aluminosilat yang mempunyai struktur rongga dengan rongga-rongga di dalamnya terdapat ion-ion logam dan molekul-molekul air yang keduanya dapat bergerak sehingga dapat dipakai sebagai penukar ion dan dihidrasi secara reversible tanpa terjadi perubahan struktur (Barrers, 1978).

2.6.1. Sifat-sifat zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh sebab itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai : penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator.

Sifat zeolit meliputi :

a. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit berpengaruh terhadap sifat adsorbsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam permukaan rongga yang menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan efektif berinteraksi dengan molekul yang diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang terbentuk apabila unit sel kristal tersebut dipanaskan.

b. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Apabila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300° - 400° celcius maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya.

c. Penukaran Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini akan bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktivitas katalis.

d. Katalis

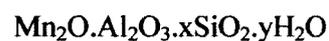
Ciri khusus zeolit yang secara praktis menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran di dalam struktur. Apabila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas di antara kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori besar dan permukaan yang maksimum.

e. Penyaring/pemisah

Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari campuran tertentu, karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam (berkisar antara 2A-8A tergantung dari jenis zeolit). Volume dan ukuran ruang hampa dalam kisi-kisi kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring.

2.6.2. Komposisi zeolit

Struktur kristal zeolit dibentuk oleh ion Al-Si-O, sedangkan logam alkali adalah kation yang mudah tertukar. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral AlO_4 dan SiO_4 yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur tersebut Si^{4+} dapat diganti dengan Al^{3+} , sehingga rumus empiris zeolit menjadi :



Keterangan :

M = kation alkali atau alkali tanah

- n = valensi logam alkali
 x = bilangan tertentu (2 s/d 10)
 y = bilangan tertentu (2 s/d 10)

sebagai contoh adalah penurunan unit klinoptilolit yang merupakan jenis umum dijumpai yaitu : $(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$. ion K^{3+} dan Na^{3+} merupakan struktur kation dengan oksigen yang membentuk struktur tetrahedral. Molekul-molekul air yang terdapat dalam zeolit merupakan molekul yang mudah lepas. Komponen utama pembangunan struktur zeolit adalah bangunan primer $(\text{SiO}_4)^{4-}$ yang mampu membentuk struktur tiga dimensi. Muatan listrik yang dimiliki oleh kerangka zeolit, baik yang ada di permukaan maupun di dalam pori-pori menyebabkan zeolit berperan sebagai penukar ion, mengadsorpsi dan katalis.

2.6.3. Penggolongan Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi) dari batuan tuf vulkanik, dan zeolit sintetis direkayasa oleh manusia secara kimia.

1. Zeolit Alam

Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang-lubang lava, dan dalam batuan piroklasik berbutir halus. Berdasarkan proses pembentukannya zeolit alam dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

a. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah atau di antara lapisan batuan.

Zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-

sama dengan mineral lain, seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, flourit, mineral sulfide dan lain-lain.

b. Zeolit yang berupa batuan

Zeolit ini dapat dibedakan menjadi 7 (tujuh) kelompok, yaitu :

- Mineral zeolit yang terbentuk dari gunung api di danau asin yang tertutup.
- Mineral zeolit yang terbentuk di dalam danau air tawar atau di dalam lingkungan air tanah terbuka.
- Mineral zeolit yang terbentuk di lingkungan laut
- Mineral zeolit yang terbentuk karena proses metamorphose berderajat rendah, karena pengaruh timbunan.
- Mineral zeolit yang terbentuk oleh aktivitas hidrotermal atau air panas.
- Mineral zeolit yang terbentuk dari gunung api di dalam tanah yang bersifat alkali
- Mineral zeolit yang terbentuk dari batuan atau mineralisasi yang tidak menunjukkan bukti adanya hubungan langsung dengan kegiatan vulkanis

2. Zeolit Sintetis

Susunan atom maupun komposisi zeolit dapat dimodifikasi, maka dapat dibuat zeolit sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Sifat zeolit sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si dari zeolit tersebut. Oleh karena itu zeolit sintetis dikelompokkan sesuai dengan perbandingan

kadar komponen Al dan Si dalam zeolit menjadi zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si sedang dan zeolit kadar Si tinggi.

2.6.4. Pengaktifan Zeolit

Beberapa cara pengaktifan zeolit, antara lain :

1. Cara Pemanasan

Pemanasan di sini dimaksudkan untuk melepaskan molekul-molekul air yang terdapat pada zeolit yang nantinya akan digantikan oleh molekul yang diadsorpsi.

2. Cara Kimia

Pengaktifan cara kimia dilakukan dengan perendaman dan pengadukan dalam suatu larutan asam (H_2SO_4) atau basa ($NaOH$) dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Selain itu juga dapat menggunakan $KMnO_4$ 1% untuk mengaktifkan zeolit tersebut.

2.7. Pasir kuarsa

Pasir adalah media filter yang paling umum dipakai dalam proses penjernihan air, karena pasir dinilai ekonomis, tetapi tidak semua pasir dapat dipakai sebagai media filter. Artinya diperlukan pemilihan jenis pasir, sehingga diperoleh pasir yang sesuai dengan syarat-syarat media pasir.

Dalam memilih jenis pasir sebagai media filter hal-hal yang diperhatikan adalah :

- a. Senyawa kimia pada pasir
- b. Karakteristik fisik pasir
- c. Persyaratan kualitas pasir yang disyaratkan
- d. Jenis pasir dan ketersediaannya

Susunan Kimia Pasir

Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain : SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan SiO_2 , yang tinggi, karena SiO_2 yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakin tinggi pula (Lewis, 1980). Proses yang terpenting dalam filter yang berhubungan dengan kekerasan pasir adalah pencucian pasir.

Karakteristik Fisik Pasir

Karakteristik fisik pasir yang perlu diperhatikan untuk media filter antara lain adalah :

- a. Bentuk Pasir

Bentuk pasir sangat berpengaruh terhadap kelolosan/permeabilitas. Menurut bentuknya pasir dapat dibagi menjadi 3, yaitu : bundar, menyudut tanggung, dan bundar menyudut (Lewis, 1980). Umumnya dalam satu jenis pasir ditemukan bentuk lebih dari satu bentuk butir. Pasir dengan bentuk bundar memberikan kelolosan lebih tinggi dari pada pasir bentuk lain.

b. Ukuran Butiran Pasir

Butiran pasir berukuran kasar dengan diameter > 2 mm memberikan kelolosan yang besar, sedangkan ukuran pasir berukuran halus dengan diameter 0,15-0,45 mm memberikan kelolosan yang rendah. Faktor yang penting dalam memilih ukuran butiran pasir sebagai media saring adalah *effective size (ES)*.

c. Kemurnian pasir

Pasir yang digunakan sebagai media saringan semurni mungkin, artinya pasir benar-benar bebas dari kotoran, misalnya lempung. Pasir dengan kandungan lempung yang tinggi jika digunakan sebagai media filter akan berpengaruh pada kualitas filtrat yang dihasilkan.

d. Kekerasan pasir

Kekerasan pasir dihubungkan dengan kehancuran pasir selama pemakaian sebagai media filter. Kekerasan berhubungan erat dengan kandungan SiO_2 yang tinggi, maka akan memberikan kekerasan yang tinggi pula.

Saringan pasir bertujuan mengurangi kandungan lumpur dan bahan-bahan padat yang ada di air. Ukuran pasir untuk menyaring bermacam-macam, tergantung jenis bahan pencemar yang akan disaring. Pengamatan tentang bahan padat yang terapung, seperti potongan kayu, dedaunan, sampah, dan kekeruhan air perlu dilakukan untuk menentukan ukuran yang akan dipakai. Semakin besar bahan padat yang perlu disaring, semakin besar ukuran pasir.

2.8. Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Atau dengan kata lain adsorpsi adalah proses adhesi yang terjadi pada permukaan suatu zat padat atau zat cair yang berkontak dengan media lainnya, sehingga menghasilkan akumulasi atau bertambahnya konsentrasi molekul-molekul dari media tersebut pada permukaannya. Zat yang diserap disebut fase terserap (adsorbat), sedangkan zat yang menyerap disebut adsorbens. Adsorpsi padat yang baik adalah yang memiliki porositas yang tinggi seperti arang dan silika gel. Permukaan zat ini sangat luas, sehingga terjadi pada banyak tempat. Namun demikian, adsorpsi dapat terjadi pada permukaan yang halus, seperti gelas atau platina. Kecuali zat padat, adsorbens dapat pula berupa zat cair, karena itu adsorpsi dapat terjadi antara : zat padat dan zat cair, zat padat dan gas, zat cair dan zat cair atau gas dan cair.

Peristiwa adsorpsi ini disebabkan oleh gaya tarik molekul-molekul dipermukaan adsorbens. Adsorpsi berbeda dengan absorpsi, karena pada absorpsi zat yang diserap masuk ke dalam adsorbens, misalnya absorpsi air oleh sponge atau uap air oleh CaCl_2 anhidrous.

Adsorpsi sangat penting dalam proses penyaringan, sebab dapat menghilangkan bau, warna dan rasa tidak enak dalam air serta dapat menghimpun atau mengkonsentrasikan bahan-bahan organik sampai sekecil-kecilnya.

Arang merupakan adsorbens yang paling banyak dipakai untuk menyerap zat-zat dalam larutan. Zat ini banyak dipakai di pabrik untuk menghasilkan zat warna dalam larutan. Penyerapan zat dari larutan, mirip dengan penyerapan gas

oleh zat padat. Penyerapan bersifat selektif, yang diserap hanya zat terlarut atau pelarut. Bila dalam larutan ada dua zat atau lebih, zat yang satu akan diserap lebih kuat dari yang lain. Makin kompleks zat yang terlarut, maka makin kuat diserap oleh adsorbens. Makin tinggi temperatur, makin kecil daya serap, namun demikian pengaruh temperatur tidak sebesar seperti pada adsorpsi gas. Jumlah gas yang diserap setiap berat adsorbens, tergantung konsentrasi dari zat terlarut. Namun demikian, bila adsorbens sudah jenuh, konsentrasi tidak lagi berpengaruh.

Jenis adsorpsi

Ada 2 jenis adsorpsi :

1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika disebabkan oleh gaya van der Waals, yang ada pada permukaan adsorbens. Proses adsorpsi fisika biasanya rendah dan lapisan yang terjadi pada permukaan adsorbens biasanya dari satu molekul.

2. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia terjadi reaksi antara zat yang diserap dan adsorbens. Lapisan molekul pada permukaan adsorbens hanya satu lapisan. Pada saat adsorpsi terjadi temperatur tinggi.

2.9. Filtrasi

Filtrasi adalah suatu proses pemisahan zat padat dari fluida (cair maupun gas) yang membawanya menggunakan suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid. Tujuannya guna mendapatkan air bersih dalam pengolahan air minum atau

dalam pengolahan air buangan. Pada pengolahan air minum, filtrasi digunakan untuk menyaring air hasil dari proses koagulasi-flokulasi-sedimentasi sehingga dihasilkan air minum dengan kualitas tinggi. Di samping mereduksi kandungan zat padat, filtrasi dapat pula mereduksi kandungan bakteri, menghilangkan warna, rasa, bau, besi dan mangan (Ali Masduqi, 2002).

Pada filtrasi dengan media berbutir, terdapat tiga fenomena proses, yaitu :

1. Transportasi : meliputi proses gerak brown, sedimentasi, dan gaya tarik antar partikel.
2. Kemampuan menempel : meliputi proses *mechanical straining*, adsorpsi (fisik - kimia), biologis.
3. Kemampuan menolak : meliputi tumbukan antar partikel dan gaya tolak menolak.

2.9.1. Tipe Filter

Berdasarkan pada kapasitas produksi air yang diolah, saringan pasir dapat dibedakan menjadi dua yaitu saringan pasir cepat dan saringan pasir lambat. Pada pengolahan air dari air baku yang perlu diolah, setelah air mengalami proses koagulasi, flokulasi dan klarifikasi, air kemudian disaring dengan saringan pasir cepat atau lambat. Apabila proses koagulasi tidak perlu dilakukan, maka air baku langsung dapat disaring dengan saringan jenis apa saja termasuk saringan pasir kasar

Saringan pasir kasar adalah saringan yang dipasang sebelum saringan pasir cepat atau lambat. Di dalam saringan ini, partikel halus mengendap dalam rongga-

rongga media saringan, melekat secara fisis, sifat operasinya adalah penetrasi partikel yang terbawa air ke bawah.

Pada saringan pasir lambat, yang tertangkap adalah bio-kimia. Karena saringan kasar mampu menahan material tersuspensi dengan penetrasi yang cukup dalam, maka saringan kasar mampu menyimpan lumpur dengan kapasitas tinggi. Pada saringan pasir kasar media saringan berdiameter lebih besar dibanding media saringan pasir cepat atau saringan pasir lambat.

Perbandingan ukuran diameternya sebagai berikut :

Saringa pasir lambat : 0.15 – 0.45 mm

Saringan pasir cepat : 0.40 – 0.70 mm

Saringan pasir kasar : > 2 mm

kriteria desain untuk filter pasir lambat dan filter pasir cepat dapat dilihat pada tabel 2.4 :

Tabel 2.4 Perbandingan konstruksi dan operasi antara filter pasir lambat dan filter pasir cepat.

Keterangan	Filter lambat	Filter cepat
Kecepatan filtrasi	0.1-0.2-0.24 m/jam	4-5-21 m/jam
Luas media filter	Luas : 2000 m ²	Sempit : 40-400 m ²
Kedalaman media	Kerikil : 30 cm Pasir : 90-110 cm Biasa berkurang 50-80 cm, karena pengerukan pasir aktif	Kerikil : 30-45 cm Pasir : 60-70 cm Tidak berkurang karena pengerukan pasir aktif
Ukuran pasir	0.25-0.3 mm	0.55 mm atau lebih
Distribusi butiran pasir dalam filter	Tidak berlapis	Berlapis antara butiran teringan diatas dan terberat di bawah
Sistem buangan	Melalui pipa berlubang, bercabang keluar melalui pipa utama	Melalui pipa berlubang keluar melalui pipa utama
Kehilangan head	6 cm awal – 120 cm	30 cm awal - 240 cm atau

	akhir	275 akhir
Kurun waktu	20-30-60 hari	12-24-72 hari
Penetrasi unsur tersuspensi	Sangat baik	Sangat baik
Metoda pencucian	Pengerukan lapisan kotor dan pencucian pasir	Pencucian balik dan menghilangkan solida tersuspensi
Jumlah air pencucian	0.2-0.6 % air yang disaring	1-4-6 % air yang disaring
Persiapan pengolahan	Tidak perlu jika NTU < 50	Koagulasi, flokulasi sedimentasi
Penambahan pengolahan klorinasi : <ul style="list-style-type: none"> • Biaya konstruksi • Biaya operasi • Depresiasi 	Relatif murah Relatif murah Relatif rendah	Relatif mahal Relatif mahal tinggi

Sumber : KRT *Tjokrokusumo* 1995

Saringan pasir cepat dapat dibedakan dalam beberapa kategori :

1. menurut jenis media yang dipakai.
2. menurut sistem kontrol kecepatan filtrasi.
3. menurut arah aliran.
4. menurut kaidah gravitasi/dengan tekanan.
5. menurut pretreatment yang diperlukan.

2.9.2. Jenis-jenis filter berdasarkan sistem operasi dan media

1. jenis media filter
 - a. Filter single media, filter cepat tradisional biasanya menggunakan pasir kuarsa. Pada sistem ini penyaringan SS terjadi pada lapisan paling atas sehingga dianggap kurang efektif karena sering dilakukan pencucian. Kerikil digunakan sebagai media penyangga.



- b. Filter dual media, sering digunakan filter dengan media pasir kuarsa di lapisan bawah dan antrasit pada lapisan atas.

Keuntungan dual media :

- Kecepatan filtrasi lebih tinggi (10-15 m/jam)
- Periode pencucian lebih lama
- Merupakan peningkatan filter single media

- c. Multi media filter, terdiri dari antrasit, pasir dan garnet atau dolomite, fungsi multi media adalah untuk mengfungsikan seluruh lapisan filter agar berperan sebagai penyaring.

2. Sistem kecepatan control

- a. *Constant rate* : debit hasil proses filtrasi konstan sampai pada level tertentu. Hal ini dilakukan dengan memberikan kebebasan kenaikan level muka air di atas media filter.
- b. *Declining rate* : debit hasil proses filtrasi menurun seiring dengan waktu filtrasi, atau level muka air di atas media filter dirancang pada nilai yang tetap.

3. Sistem aliran

- a. Aliran *down flow* (kebawah)
- b. Aliran *upflow* (keatas)
- c. Aliran horizontal

4. Kaidah pengaliran

- a. Aliran secara gravitasi
- b. Aliran dibawah tekanan (pressure filter)

5. Pretreatment

- a. Koagulasi – flokulasi – sedimentasi
- b. *Direct filtration*

Dalam pengolahan air minum proses filtrasi sering dikombinasikan dengan media lain, seperti arang aktif ataupun pasir zeolit. Untuk karakteristik media filter dengan kombinasi dengan arang aktif dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.5 Arang Aktif jenis granular.

Keterangan	arang (granular)	Pasir
Ukuran	0.86 – 0.21 mm	0.5 - 0.81 mm
Ukuran efektif	1.00 mm	0.5 mm
Koefisien uniformitas	1.3 – 1.5	1.3 – 1.5
Berat jenis	1.4	1.5

Sumber : Renade dan Gadhl (1981)

Tabel 2.6 Arang Aktif jenis serbuk/bubuk.

Keterangan	bubuk	Pasir
Ukuran	0.85 – 0.21 mm	0.5 - 0.81 mm
Ukuran efektif	0.6 mm	0.52 mm
Koefisien uniformitas	1.2	1.3
Berat jenis	1.4	2.65
kedalaman	37.5 cm	37.5 cm

Sumber : Naslikkar, Bhok dan Paranasivan (1976)

Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, antrasit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang akan digunakan, dilakukan dengan analisa ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan.