

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi gadung (*Dioscorea hispida* Dennst)

Umbi-umbian adalah bahan nabati yang diperoleh dari dalam tanah, misalnya ubi kayu, ubi jalar, kentang, garut, kunyit, gadung, bawang, jahe, kencur, talas, kimpul, gembili, ganyong, bengkoang dan sebagainya. Pada umumnya umbi-umbian tersebut merupakan sumber karbohidrat terutama pati atau merupakan sumber cita rasa dan aroma karena mengandung oleoresin.

Umbi-umbian dapat dibedakan berdasarkan asalnya yaitu umbi akar dan umbi batang. Umbi akar atau batang sebenarnya merupakan bagian akar atau batang yang digunakan sebagai tempat menyimpan makanan cadangan. Yang termasuk umbi akar misalnya ubi kayu dan bengkuang, sedangkan ubi jalar, kentang, dan gadung merupakan umbi batang.

Selain ubi kayu dan ubi jalar dikenal pula gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) yang berbentuk bulat panjang dengan sisi yang hampir sejajar atau melebar terhadap puncak, luasnya semakin menyempit disekeliling alas. Umbi yang sudah masak berwarna coklat atau kuning kecoklatan, berbulu halus panjang 5 - 6 cm. Berdasarkan warna daging umbinya gadung dapat dikelompokkan menjadi gadung putih dan gadung kuning. Contoh gadung putih adalah gadung betul, gadung kapur, gadung putih, gadung punel, dan gadung arintil. Contoh gadung kuning adalah gadung kunyit dan gadung padi. Gadung arintil merupakan jenis gadung yang memiliki jumlah umbi yang paling banyak pada tiap gerombolnya. Tebal satu gerombol umbi berkisar 7 - 15 cm dan diameter 15 – 25 cm, dengan serabut umbi yang sangat tajam. Gadung kuning umumnya lebih besar dan padat umbinya dibandingkan gadung putih. Warna kulit luarnya putih keabuan dengan daging umbi berwarna kuning. Gadung arintil kulit luarnya berwarna kecoklatan dan warna umbinya putih. (Teknologi Pengolahan umbi-umbian, Sutrisno Koswara, 2013)

Umbi gadung mengandung karbohidrat, lemak, serat kasar, dan abu lebih rendah dibandingkan dengan ketela pohon. Kandungan air dan protein umbi gadung lebih tinggi dibandingkan ketela pohon. Umbi gadung mengandung

phosphor (P_2O_5) sebanyak 0,09 %, kalsium (CaO) 0,07 % dan besi (Fe_2O_3) 0,003%. Ubi gadung mengandung alkaloid dioscorin yang bersifat racun dan dioscorin yang tidak beracun. Alkaloid juga dijumpai pada dioscorea lainnya.

Tabel 1. Kandungan Ubi Gadung.

Elemen	C	H	O	N	S	Ash	H ₂ O
Wt (%)	19,31	9,78	28,74	2,06	0,11	0,9	39,1

(Sumber : *Departemen Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak, Fakultas Peternakan, IPB.2002*)

Disamping itu, umbi gadung juga mengandung sejumlah saponin yang sebagian besar berupa dioscin yang bersifat racun. Ubi yang dibiarkan menjadi tua warnanya akan berubah menjadi hijau dan kadar racunnya akan bertambah. Efek keracunan gadung mula-mula terasa tidak enak ditenggorokan, pening kemudian muntah darah, terasa tercekik dan kepayahan.

Karena mengandung senyawa beracun seperti yang telah dijelaskan di atas, maka penghilangan racun mutlak diperlukan sebelum gandum diolah menjadi berbagai bahan pangan. Berikut ini diuraikan beberapa cara penghilangan racun gadung :

Gadung yang sudah tua dikupas kulitnya (kupas tebal), kemudian diiris kecil-kecil, tebalnya sekira 3 mm. Kemudian diberi abu gosok sampai semua gadung terbungkus abu gosok, remas-remas potongan gadung yang telah dilapisi abu gosok dan didiamkan selama 1 malam. Setelah itu, dijemur hingga kering (biasanya selama 2 hari). Kemudian direndam oleh air mengalir selama 2 – 3 hari atau dalam air tidak mengalir yang diganti tiap 6 jam dan dilakukan selama 3 hari. Cucu bersih, lalu jemur hingga kering lakukan penjemuran 1 hari sampai kering.

Umbi gadung dikupas dengan pisau yang tajam (jangan lupa pakai sarung tangan) setelah itu dipotong dan diiris kecil-kecil dengan panjang kira-kira 5 cm . Kemudian dimasukkan kedalam wadah dan dilmuri garam yang banyak misalnya. 1 ember gadung dilumuri garam 2 kg. Didiamkan selama semalam atau 12 jam. Setelah itu ditempatkan pada air yang mengalir dalam wadah yang berongga agar airnya bisa keluar.

2.2 ZnCl₂ (Zinc Chloride)

Aktivasi karbon aktif sebagai adsorben diartikan (secara sederhana) sebagai upaya untuk meningkatkan luas permukaan khususnya permukaan internal (porositas). Upaya ini dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika dilakukan dengan pencucian dan pemanasan sedangkan secara kimia dilakukan dengan penambahan bahan kimia tertentu untuk menghilangkan pengotor berupa unsur-unsur ataupun gugus yang terikat secara kimia dengan kerangka karbon.

Seringkali pula bahan kimia(aktivator) ini difungsikan sebagai templet yaitu semacam cetakan karena setelah melalui proses impregnasi , pemanasan dan pencucian dengan pelarut yang sesuai, maka akan meninggalkan jejak berupa pori dengan ukuran tertentu. Mengenai reaksi dan mekanisme kerja aktivator sangat bergantung pada bahan baku dan jenis aktivatornya. Kebanyakan bahan baku Karbon aktif berupa bahan organik sehingga pengotor berupa unsur-unsur selain karbon, didominasi oleh hidrogen dan oksigen yang terikat secara kimia dalam berbagai bentuk baik langsung dengan atom-atom (kerangka) karbon atau sebagai gugus fungsi. Disinilah ZnCl₂ berperan untuk membantu memutuskan ikatan pengotor dengan kerangka karbon disamping juga berperan sebagai templet untuk membentuk struktur mikropori (struktur mikropori) berkontribusi besar terhadap luas permukaan Karbon aktif.

Tabel 2. Sifat Fisika dan Kimia ZnCl₂.

Sifat Fisika		Sifat Kimia	
Bentuk	Padat, Serbuk	Berat Molekul	136,29
Warna	Tidak berwarna	Titik Didih	732 C
		Titik Leleh	283 C

(Sumber: *A Manual Of Dental Materia Medica And Therapeutics*", F.J. S. Gorgas.1989)

2.3 Chemical oxygen Demand (COD)

Chemical oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air atau banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik menjadi CO₂ dan H₂O. Pada reaksi ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dalam

suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air .

Menurut Metcalf and Eddy (1991), COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam.

Beberapa bahan organik tertentu yang terdapat pada air limbah, kebal terhadap degradasi biologis dan ada beberapa diantaranya yang beracun meskipun pada konsentrasi yang rendah. Bahan yang tidak dapat didegradasi secara biologis tersebut akan didegradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi tersebut dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand*. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat direduksi dengan metode pengolahan yang konvensional.

**Tabel 3. Perbandingan rata-rata antara BOD dan COD untuk
bermacam – macam jenis air.**

BOD ₅ /COD ≅ 0,4 sampai 0,6	air buangan penduduk,
0,6	air buangan penduduk setelah pengendapan primer,
0,2	air buangan penduduk sesudah diolah secara biologis,
0,1	air sungai yang tidak tercemar,
0,5 sampai 0,65	air beracun industri organik tanpa keracunan,
0,0 sampai 0,2	air buangan industri inorganik atau beracun.

(Sumber : *Metoda Penelitian Air*,1984 .Santika Simestri Sri dan Alaerts, G)

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Maka konsentrasi COD dalam air harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan agar tidak mencemari lingkungan.

Uji COD yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan-bahan organik yang terdapat didalam air. Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi karbondioksida dan air dengan bantuan oksidator kuat yaitu kalium dikromat/ $K_2Cr_2O_7$ dalam suasana asam. Dengan menggunakan dikromat sebagai oksidator, diperkirakan sekitar 95 % - 100 % bahan organik dapat dioksidasi.

Air yang telah tercemar limbah organik sebelum reaksi berwarna kuning dan setelah reaksi oksidasi berubah menjadi warna hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap limbah organik seimbang dengan jumlah kalium dikromat yang digunakan pada reaksi oksidasi.

Rumus yang digunakan untuk menghitung COD:

$$COD \left(\frac{mgO_2}{l} \right) = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{ml \text{ sampel}}$$

Pada analisa COD dari suatu air limbah menghasilkan nilai COD selalu lebih tinggi dari nilai BOD . Perbedaan antara kedua nilai disebabkan banyak faktor antara lain:

- a. Bahan kimia yang tahan terhadap oksidasi biokimia tetapi tidak tahan terhadap oksidasi kimia seperti lignin.
- b. Bahan kimia yang dapat dioksidasi secara kimia dan peka terhadap oksidasi biokimia tetapi tidak dalam uji BOD seperti selulosa, lemak berantai panjang atau sel- sel mikroba. Adanya bahan toksik dalam limbah yang akan mengganggu uji BOD tetapi tidak uji COD.
- c. Angka BOD adalah jumlah komponen organik *biodegradable* dalam air buangan, sedangkan tes COD menentukan total organik yang dapat

teroksidasi, tetapi tidak dapat membedakan komponen *biodegradable/nonbiodegradable*.

- d. Beberapa substansi anorganik seperti sulfat dan tiosulfat, nitrit dan besi yang tidak akan terukur dalam tes BOD akan teroksidasi oleh kalium dikromat, membuat nilai COD anorganik yang menyebabkan kesalahan dalam penetapan komposisi organik dalam laboratorium.
- e. Hasil COD tidak tergantung pada aklimasi bakteri sedangkan tes BOD sangat dipengaruhi aklimasi seeding bakteri. Aklimasi adalah perubahan adaptif yang terjadi pada bakteri dalam kondisi yang terkendali.

2.4 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) atau Kebutuhan Oksigen Biologis (KOB) adalah suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagai zat-zat organik yang tersuspensi dalam air.

Tabel 4. Derajat pengenceran P sesuai jenis air baku tes BOD

Jenis air baku	BOD ₅ perkiraan	(ml sampel yang harus diencer sampai menjadi 2 liter).	Derajat pengenceran P
Air leding, air sumur	0 -- 8	1000	0,5
Air sungai	15	500	0,25
Air sungai tercemar	30	250	0,125
	60	125	0,0625
Air drainase tercemar	125	60	0,03
Air buangan penduduk riolering	250	30	0,015
	500	15	0,0075
Air buangan industri (industri organis)	1000	8 → 1/2	0,004
	2000	4	0,002
	4000	2	0,001
	dst	dst	dst

(Sumber : *Metoda Penelitian Air*, 1984 .Santika Simestri Sri dan Alaerts, G)

Kandungan BOD dalam air ditentukan berdasarkan selisih oksigen terlarut sebelum dan sesudah pengerman selama 5 x 24 jam pada suhu 20°C.

BOD digunakan sebagai indikator terjadinya pencemaran dalam suatu perairan. Bila nilai BOD suatu perairan tinggi menunjukkan bahwa perairan tersebut sudah tercemar. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri, dan untuk mendisain sistem-sistem pengolahan biologis bagi air yang tercemar tersebut. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah; kalau sesuatu badan air dicemari oleh zat organik, bakteri dapat menghabiskan oksigen terlarut, dalam air selama proses oksidasi tersebut yang bisa mengakibatkan kematian ikan-ikan dalam air dan keadaan menjadi anaerobik dan dapat menimbulkan bau busuk pada air tersebut.

Menghitung BOD dengan rumus

$$BOD\left(\frac{mgO_2}{l}\right) = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P}$$

2.5 Besi (Fe)

2.5.1 Logam besi

Besi memiliki simbol (Fe) dan merupakan 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*).

2.5.2 Manfaat logam besi

Besi adalah logam yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia di bumi. Tidak dapat dibayangkan apabila manusia modern sekarang ini belum/tidak bisa memanfaatkannya, mungkin umat manusia masih berada di jaman batu.

Pemanfaatan logam besi sangatlah luas bila dibandingkan dengan pemanfaatan dari logam-logam yang lain. Kita dapat dengan mudah melihat disekeliling kita banyak perabotan, alat pertukangan, alat transportasi dan bahkan pada rumah / gedung pun menggunakan besi baja sebagai tiang penahannya.

Logam besi disamping karena kelimpahannya yang cukup banyak di alam, adalah merupakan salah satu logam yang paling reaktif dan paling vital bagi mahluk hidup. Dalam system peredaran darah, dengan kadar tertentu besi berada dalam sel darah merah (Erythrocyte) dan bertugas untuk mengikat Oksigen (O_2) yang sangat penting bagi proses pembakaran yang terjadi dalam sel tubuh.

- a. Fungsi zat besi: Mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh dan menghilangkan racun dari tubuh.
- b. Efek jika kekurangan: Bagian bawah kelopak mata berwarna pucat dan mudah lelah.
- c. Efek jika kelebihan: Dapat menyebabkan pembengkakan pada hati. Zat besi dapat mencegah penyerapan obat. Sebaiknya tidak dikonsumsi berlebihan jika sedang mengkonsumsi suatu obat agar khasiat obat tidak terbuang percuma. Zat besi yang berlebih dapat menyebabkan pembengkakan pada hati dan mengurangi kemampuan tubuh untuk menyerap zat tembaga.

2.5.3 Sifat-sifat logam besi

Logam murni besi sangat reaktif secara kimiawi dan mudah terkorosi, khususnya di udara yang lembab atau ketika terdapat peningkatan suhu. Memiliki 4 bentuk allotroik ferit, yakni alfa, beta, gamma dan omega dengan suhu transisi 700, 928, dan 1530°C. Bentuk alfa bersifat magnetik, tapi ketika berubah menjadi beta, sifat magnetnya menghilang meski pola geometris molekul tidak berubah. Hubungan antara bentuk-bentuk ini sangat aneh. Besi pig adalah alloy dengan 3% karbon dan sedikit tambahan sulfur, silikon, mangan dan fosfor.

Besi bersifat keras, rapuh, dan umumnya mudah dicampur, dan digunakan untuk menghasilkan alloy lainnya, termasuk baja. Besi tempa yang mengandung kurang dari 0.1% karbon, sangat kuat, dapat dibentuk, tidak mudah campur dan biasanya memiliki struktur berserat.

Baja karbon adalah alloy besi dengan sedikit Mn, S, P, dan Si. Alloy baja adalah baja karbon dengan tambahan seperti nikel, khrom, vanadium dan lain-lain. Besi relatif murah, mudah didapat, sangat berguna dan merupakan logam yang sangat penting.

2.5.4 Pengaruh besi terhadap kesehatan manusia

Senyawa besi dalam jumlah kecil di dalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah, dimana tubuh memerlukan 7-35 mg/hari yang sebagian diperoleh dari air. Tetapi zat Fe yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Hal ini dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mengsekresi Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapat tranfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe.

Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Selain itu dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kematian sering kali disebabkan oleh rusaknya dinding usus ini. Kadar Fe yang lebih dari 1 mg/l akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit. Apabila kelarutan besi dalam air melebihi 10 mg/l akan menyebabkan air berbau seperti telur busuk.

Gangguan fisik yang ditimbulkan oleh adanya besi terlarut dalam air adalah timbulnya warna, bau, rasa. Air akan terasa tidak enak bila konsentrasi besi terlarutnya $> 1,0$ mg/l.

Pada Hemokromatosis primer besi yang diserap dan disimpan dalam jumlah yang berlebihan di dalam tubuh. Feritin berada dalam keadaan jenuh akan besi sehingga kelebihan mineral ini akan disimpan dalam bentuk kompleks dengan mineral lain yaitu hemosiderin. Akibatnya terjadilah sirosis hati dan kerusakan pankreas sehingga menimbulkan diabetes. Hemokromatosis sekunder terjadi karena transfusi yang berulang-ulang. Dalam keadaan ini besi masuk ke dalam tubuh sebagai hemoglobin dari darah yang ditransfusikan dan kelebihan besi ini tidak disekresikan.

Hal-Hal yang Mempengaruhi Kelarutan Fe dalam Air :

a. Kedalaman

Air hujan yang turun jatuh ke tanah dan mengalami infiltrasi masuk ke dalam tanah yang mengandung FeO akan bereaksi dengan H₂O dan CO₂ dalam tanah dan membentuk Fe (HCO₃)₂ dimana semakin dalam air yang meresap ke dalam tanah semakin tinggi juga kelarutan besi karbonat dalam air tersebut.

b. pH

pH air akan terpengaruh terhadap kesadahan kadar besi dalam air, apabila pH air rendah akan berakibat terjadinya proses korosif sehingga menyebabkan larutnya besi dan logam lainnya dalam air, pH yang rendah kurang dari 7 dapat melarutkan logam. Dalam keadaan pH rendah, besi yang ada dalam air berbentuk ferro dan ferri, dimana bentuk ferri akan mengendap dan tidak larut dalam air serta tidak dapat dilihat dengan mata sehingga mengakibatkan air menjadi berwarna, berbau dan berasa.

c. Suhu

Suhu adalah temperatur udara. Temperatur yang tinggi menyebabkan menurunnya kadar O₂ dalam air, kenaikan temperatur air juga dapat mengguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kelarutan Fe pada air tinggi.

d. Bakteri besi

Bakteri besi (Crenothrix, Lepothrix, Galleanella, Sinderocapsa dan Sphoerothylus) adalah bakteri yang dapat mengambil unsur dari sekeliling lingkungan hidupnya sehingga mengakibatkan turunnya kandungan besi dalam air, dalam aktifitasnya bakteri besi memerlukan oksigen dan besi sehingga bahan makanan dari bakteri besi tersebut. Hasil aktifitas bakteri besi tersebut menghasilkan presipitat (oksida besi) yang akan menyebabkan warna pada pakaian dan bangunan. Bakteri besi merupakan bakteri yang hidup dalam keadaan anaerob dan banyak terdapat dalam air yang mengandung mineral. Pertumbuhan bakteri akan menjadi lebih sempurna apabila air banyak mengandung CO₂ dengan kadar yang cukup tinggi.

2.2.5 Pengaruh besi terhadap lingkungan

Air tanah dapat terkontaminasi dari beberapa sumber pencemar. Dua sumber utama kontaminasi air tanah ialah kebocoran bahan kimia organik dari penyimpanan bahan kimia dalam bunker yang disimpan dalam tanah, dan penampungan limbah industri yang ditampung dalam kolam besar diatas atau di dekat sumber air.

Persyaratan bagi masing-masing standar kualitas air masih perlu ditentukan oleh 4 (empat) aspek yaitu : persyaratan fisis, kimia, biologis, radiologis. Persyaratan fisis ditentukan oleh faktor-faktor kekeruhan, warna, bau maupun rasa. Persyaratan kimia ditentukan oleh konsentrasi bahan-bahan kimia seperti Arsen, Clhor, Tembaga, Cyanida, Besi dan sebagainya. Persyaratan biologis ditentukan baik oleh mikroorganisme yang pathogen, maupun yang non pathogen.

Air sumur bor merupakan salah satu jalan yang ditempuh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan air bersih, namun tingginya kadar ion Fe (Fe^{2+} , Fe^{3+}) yaitu 5 - 7 mg/l mengakibatkan harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dipergunakan, karena telah melebihi standar yang telah di tetapkan oleh Departemen kesehatan di dalam Permenkes No. 416 /Per/Menkes/IX/ 1990 tentang air bersih yaitu sebesar 1,0 mg/l. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan kadar besi (Fe^{2+} , Fe^{3+}) dalam air adalah dengan cara aerasi. Teknologi ini juga dapat dikombinasikan dengan sedimentasi dan filtrasi.

Besi adalah salah satu elemen yang dapat ditemui hampir pada setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya besi yang ada di dalam air dapat bersifat terlarut sebagai Fe^{2+} atau Fe^{3+} .

Kandungan ion Fe (Fe^{2+} , Fe^{3+}) pada air sumur bor berkisar antara 5 – 7 mg/L. Tingginya kandungan Fe (Fe^{2+} , Fe^{3+}) ini berhubungan dengan keadaan struktur tanah. Struktur tanah dibagian atas merupakan tanah gambut, selanjutnya berupa lempung gambut dan bagian dalam merupakan campuran lempung gambut dengan sedikit pasir.

Besi dalam air berbentuk ion bervalensi dua (Fe^{2+}) dan bervalensi tiga (Fe^{3+}). Dalam bentuk ikatan dapat berupa Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau FeSO_4 tergantung dari unsur lain yang mengikatnya. Dinyatakan pula bahwa besi dalam air adalah bersumber dari dalam tanah sendiri di samping dapat pula berasal dari sumber lain, diantaranya dari larutnya pipa besi, reservoir air dari besi atau endapan – endapan buangan industri.

Adapun besi terlarut yang berasal dari pipa atau tangki – tangki besi adalah akibat dari beberapa kondisi, di antaranya : 1) Akibat pengaruh pH yang rendah (bersifat asam), dapat melarutkan logam besi. 2) Pengaruh akibat adanya CO_2 agresif yang menyebabkan larutnya logam besi. 3) Pengaruh banyaknya O_2 yang terlarut dalam air yang dapat pula. 4) Pengaruh tingginya temperature air akan melarutkan besi-besi dalam air. 5) Kuatnya daya hantar listrik akan melarutkan besi. 6) Adanya bakteri besi dalam air akan memakan besi.

Besi terlarut dalam air dapat berbentuk kation ferro (Fe^{2+}) atau kation ferri (Fe^{3+}). Hal ini tergantung kondisi pH dan oksigen terlarut dalam air. Besi terlarut dapat berbentuk senyawa tersuspensi, sebagai butir koloidal seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeO , Fe_2O_3 dan lain-lain. Konsentrasi besi terlarut yang masih diperbolehkan dalam air bersih adalah sampai dengan 0,1 mg/l.

Apabila konsentrasi besi terlarut dalam air melebihi batas tersebut akan menyebabkan berbagai masalah, diantaranya :

a. Gangguan Teknis

Endapan $\text{Fe}(\text{OH})$ bersifat korosif terhadap pipa dan akan mengendap pada saluran pipa, sehingga mengakibatkan pembuntuan dan efek-efek yang dapat merugikan seperti Mengotori bak yang terbuat dari seng. Mengotori wastafel dan kloset.

b. Gangguan Fisik

Gangguan fisik yang ditimbulkan oleh adanya besi terlarut dalam air adalah timbulnya warna, bau, rasa. Air akan terasa tidak enak bila konsentrasi besi terlarutnya $> 1,0$ mg/l.

c. Gangguan Kesehatan

Senyawa besi dalam jumlah kecil di dalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah, dimana tubuh memerlukan 7-35 mg/hari yang sebagian diperoleh dari air. Tetapi zat Fe yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Hal ini dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mengsekresi Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapat transfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe. Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Selain itu dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kematian sering kali disebabkan oleh rusaknya dinding usus ini. Kadar Fe yang lebih dari 1 mg/l akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit. Apabila kelarutan besi dalam air melebihi 10 mg/l akan menyebabkan air berbau seperti telur busuk. Pada Hemokromatosis primer besi yang diserap dan disimpan dalam jumlah yang berlebihan di dalam tubuh. Feritin berada dalam keadaan jenuh akan besi sehingga kelebihan mineral ini akan disimpan dalam bentuk kompleks dengan mineral lain yaitu hemosiderin. Akibatnya terjadilah sirosis hati dan kerusakan pankreas sehingga menimbulkan diabetes. Hemokromatosis sekunder terjadi karena transfusi yang berulang-ulang. Dalam keadaan ini besi masuk ke dalam tubuh sebagai hemoglobin dari darah yang ditransfusikan dan kelebihan besi ini tidak disekresikan.

2.6 Timah hitam (Pb)

2.6.1 Pengertian Timah hitam (Pb)

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan nama timah hitam. Dalam bahasa ilmiahnya dinamakan Plumbum, dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik unsur kimia. Mempunyai unsur atom (NA)82 dengan bobot atau berat atom (BA)207,2.

2.6.2 Sumber Timah hitam (*Pb*)

Timbal merupakan bahan alami yang terdapat dalam kerak bumi. Timbal sering kali digunakan dalam industri kimia seperti pembuatan baterai, industri pembuatan kabel listrik dan industri pewarnaan pada cat.

2.6.3 Sifat Timah hitam (*Pb*)

- a. Merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau tangan dan dapat dibentuk dengan mudah.
- b. Tahan terhadap korosi atau karat, sehingga logam timbal sering digunakan sebagai coating
- c. Titik lebur rendah, hanya 327,5 derajat C.
- d. Merupakan penghantar listrik yang tidak baik.
- e. Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logamlogam biasa, kecuali emas dan merkuri.

2.6.4 Kegunaan Timah hitam (*Pb*)

- a. Digunakan dalam pembuatan kabel telepon
- b. Digunakan dalam baterai
- c. Sebagai pewarnaan cat
- d. Sebagai pengkilapan keramik dan bahan anti api
- e. Sebagai aditive untuk bahan bakar kendaraan

2.6.5 Dampak Timbal (*Pb*) Terhadap Kesehatan

Efek *Pb* terhadap kesehatan terutama terhadap sistem *haemotopoetic* (sistem pembentukan darah), adalah menghambat sintesis hemoglobin dan memperpendek umur sel darah merah sehingga akan menyebabkan anemia. *Pb* juga menyebabkan gangguan metabolisme Fe dan sintesis globin dalam sel darah merah dan menghambat aktivitas berbagai enzim yang diperlukan untuk sintesis heme .

Anak yang terpapar *Pb* akan mengalami degradasi kecerdasan alias idiot. Pada orang dewasa *Pb* mengurangi kesuburan, bahkan menyebabkan kemandulan atau keguguran pada wanita hamil, walaupun tidak keguguran, sel otak tidak bisa berkembang. Dampak *Pb* pada ibu hamil selain berpengaruh pada ibu juga pada

embrio/ janin yang dikandungnya. Selain penyakit yang diderita ibu sangat menentukan kualitas janin dan bayi yang akan dilahirkan juga bahan kimia atau obat-obatan, misalnya keracunan Pb organik dapat meningkatkan angka keguguran, kelahiran mati atau kelahiran prematur.

Efek-efek Pb terhadap kesehatan dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut :

a. Efek terhadap terjadinya Anemia oleh Pb Secara biokimiawi, keracunan timah hitam dapat menyebabkan :

1) Peningkatan produksi *ALA (Amino Levulinic Acid)*

Timah hitam akan menghambat enzim hemesintetase, yang mengakibatkan penurunan produksi heme. Penurunan produksi heme ini akan meningkatkan aktivitas *ALA sintetase*, dan akhirnya produksi *ALA* meningkat. Peningkatan produksi *ALA* ini dapat dilihat dari ekskresi *ALA* di urine.

2) Peningkatan *Protoporphirin*

Perubahan *protoporphirin IX* menjadi heme, akan terhambat dengan adanya timah hitam. Hal ini akan menyebabkan terjadinya akumulasi dari *protoporphirin IX* yang dapat diketahui pada plasma dan feces.

3) Peningkatan *koproporphirin*

Akumulasi dari *protoporphirin* akan meningkatkan akumulasi dari koproporphirin III. Hal ini diketahui dengan didapatkannya koproporphirin III pada urine dan feces.

b. Efek terhadap saraf (sistem saraf pusat)

Susunan saraf merupakan jaringan yang paling sensitif terhadap keracunan Pb. Setelah pajanan tinggi dengan kadar Pb darah di atas 80 µg/dl dapat terjadi ensefalopati. Terjadi kerusakan pada arteriol dan kapiler yang mengakibatkan oedema (adanya cairan) otak, meningkatnya tekanan cairan serebrospinal, degenerasi neuron dan perkembangbiakan sel glia. Secara klinis keadaan ini disertai dengan menurunnya fungsi memori dan konsentrasi, depresi, sakit kepala, *vertigo* (pusing berputar-putar), *tremor*

(gerakan abnormal dengan frekuensi cepat), *stupor* (penurunan kesadaran ringan), koma, dan kejang-kejang.

c. Ensefalopati

Ensefalopati merupakan bentuk keracunan Pb yang sangat buruk dengan sindrom gejala neurologis yang berat dan dapat berakhir dengan kerusakan otak atau kematian. Paling sering dijumpai pada anak kecil atau orang yang mengkonsumsi makanan/minuman tercemar Pb. Anak-anak mempunyai resiko lebih besar terhadap paparan Pb dari orang dewasa. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya perbedaan aktivitas metabolik interna. Ensefalopati akut pada manusia sangat dipengaruhi oleh : 1) jumlah partikel Pb yang terhisap, 2) lama pemaparan, dan faktor-faktor lain. Yang ditandai dengan : 1) perubahan perilaku mental, 2) Pelemahan pada daya ingat dan pada aktivitas untuk berkonsentrasi, 3) hyperirritabel (hal yang sangat mengganggu), 4) kegelisahan, 5) depresi, 6) sakit kepala, 7) vertigo dan tremor, ensefalopati akut berkembang hanya pada dosis yang besar dan jarang terjadi pada level Pb dalam darah dibawah 100 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, pernah dilaporkan terjadi pada tingkat 70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$.

d. Pendengaran

Kerusakan pada susunan saraf pusat dapat pula mengenai saraf kranial, kadar Pb dalam darah 15 $\mu\text{g}/\text{dl}$ dapat menyebabkan gangguan saraf pusat, pada kadar 1 – 18 $\mu\text{g}/\text{dl}$ menyebabkan gangguan pendengaran. Beberapa penelitian pada anak-anak dan dewasa memperlihatkan adanya hubungan paparan Pb dengan penurunan pendengaran tipe sensorineural. Pada individu yang sensitif kadang-kadang didapatkan adanya efek yang memburuk pada sistem tubuh, tetapi secara klinis efek tersebut tidak jelas sampai dicapai kadar Pb yang lebih tinggi lagi.

e. Efek terhadap ginjal

Keracunan berat Pb dalam waktu lama akan menyebabkan penyakit renal progresif dan tidak dapat disembuhkan. Ada beberapa laporan berisi interstisial nephritis kronis pada pekerja sering disertai dengan hasil yang fatal. Kebersihan suatu industri akan mengurangi jumlah dan besarnya

komplikasi renal pekerja yang keracunan akan tetapi anak-anak yang menghirup Pb pada cat yang mengelupas dan konsumen yang mengkonsumsi makanan yang tercemar Pb tetap mempunyai resiko. Nephropati yang ditandai oleh gangguan fungsi ginjal progresif sering disertai hipertensi. Kerusakan ginjal berupa *fibriosis interstitialis* kronis, degenerasi tubuler, dan perubahan vaskuler pada arteri kecil dan arteriol. Ditemukan gambaran khas, yaitu penuhnya badan inklusi intranuklear pada sel dinding tubulus. Badan inklusi merupakan kompleks protein Pb yang kemudian di ekskresi melalui urine. Degenerasi tubulus proksimal mengakibatkan menurunnya reabsorpsi asam amino, glukosa, fosfat dan asam sitrat. Pada kasus yang berat dapat terjadi sindrom *fanconi* yaitu *hiperamino uria* (air kencing mengandung asam amino berlebihan), glukosuria dan *hipofosfat uria* atau kadang-kadang *hiperfosfat uria*. Gangguan ginjal bersifat tidak menetap. *Saturnine gout* adalah sebuah konsekuensi pengurangan fungsi tubuler (ginjal *tubulus glomerulus*), Pb berpengaruh pada ekskresi urates. Maka meskipun angka formasi mereka normal, level asam uric disimpan dalam persendian, hampir menyerupai encok/ pegal.

f. Efek terhadap sistem cardiovasculer

Pada keracunan Pb akut beberapa pasien menderita *colic* yang disertai peningkatan tekanan darah. Kemungkinan timbulnya kerusakan miokard tidak dapat diabaikan. Perubahan elektro cardiografi dijumpai pada 70 % penderita dengan gejala umum berupa takikardia, disritmia atrium.

g. Efek terhadap sistem reproduksi

Telah diketahui bahwa Pb dapat menyebabkan gangguan reproduksi baik pada perempuan maupun pada laki-laki, Pb dapat menembus jaringan placenta sehingga menyebabkan kelainan pada janin. Peningkatan kasus infertil, abortus spontan, gangguan haid dan bayi lahir mati pada pekerja perempuan yang terpajan Pb telah dilaporkan sejak abad 19, walaupun demikian data mengenai dosis dan efek Pb terhadap fungsi reproduksi perempuan, sampai sekarang masih sedikit.

Hubungan antara kadar Pb dalam darah dan kelainan yang diakibatkan terhadap kelainan reproduksi perempuan adalah

- 1) Kadar Pb darah 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ dapat mengakibatkan gangguan pertumbuhan.
- 2) Kadar Pb darah 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ mengakibatkan kelainan prematur.
- 3) Kadar Pb darah 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ mengakibatkan komplikasi kehamilan.

Senyawa teratogen termasuk Pb dapat menembus janin dan dapat mengganggu pertumbuhan mulai dari usia kehamilan pada minggu ke tiga hingga minggu ke 38. mulai minggu ke tiga hingga pertengahan minggu keenam dapat mengganggu pertumbuhan susunan saraf pusat atau central nervous system (CNS), pada pertengahan minggu ke tiga sampai minggu ke enam dapat mengganggu pertumbuhan jantung, pada minggu ke empat hingga minggu ke delapan mengganggu pertumbuhan mata, lengan dan kaki, mulai pertengahan minggu ke enam sampai minggu ke delapan dapat mengganggu pertumbuhan gigi dan mulut, minggu ke sembilan mengganggu pertumbuhan tekak (langit-langit, mulai minggu ke tujuh sampai ke 12 mengganggu pertumbuhan alat kelamin bagian luar dan mulai minggu ke empat sampai minggu ke 12 mengganggu pertumbuhan pendengaran.

2.7 Karbon aktif (Arang aktif)

Karbon aktif sering digunakan untuk mengurangi kontaminan organik, partikel kimia organik sintetis (SOCs), tapi karbon aktif juga efektif untuk mengurangi kontaminan inorganik seperti radon-222, merkuri, dan logam beracun lainnya (Ronald L,1997).

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan hal yang penting dalam karbon aktif. Ukuran partikel karbon aktif mempengaruhi kecepatan adsorpsi, tetapi tidak mempengaruhi kapasitas adsorpsi yang berhubungan dengan luas permukaan karbon (Cheremisinoff, 1978). Luas permukaan total mempengaruhi kapasitas adsorpsi total sehingga meningkatkan efektifitas karbon aktif dalam penyisihan senyawa organik dalam air buangan.

Ukuran partikel tidak terlalu mempengaruhi luas permukaan total sebagian besar meliputi pori-pori partikel karbon. Struktur pori-pori karbon aktif mempengaruhi perbandingan antara luas permukaan dan ukuran partikel.

Struktur pori adalah faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan distribusi molekul yang masuk dalam partikel karbon untuk di adsorp. Molekul yang berukuran besar dapat menutup jalan masuk ke dalam *micropore* sehingga membuat area permukaan yang tersedia untuk mengadsorp menjadi sia-sia. Karena bentuk molekul yang tidak beraturan dan pergerakan molekul yang konstan, pada umumnya molekul yang lebih kecil dapat menembus kapiler yang ukurannya lebih kecil juga. Karena adsorpsi merupakan proses masuknya molekul ke dalam pori-pori, menyebabkan proses adsorpsi karbon bergantung pada karakteristik fisik karbon aktif dan ukuran molekul adsorbat (Cheremisinoff, 1978).

2.8 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses yang terjadi pada permukaan suatu zat padat yang berkontak dengan suatu larutan dimana terjadi akumulasi molekul-molekul larutan pada permukaan zat padat tersebut.

Makin rendah kelarutan suatu zat organik di dalam air, makin mudah diadsorpsi dari larutannya. Hal yang sama, makin kurang polar suatu senyawa organik makin baik teradsorpsi dari larutan yang bersifat polar ke permukaan yang non polar.

2.8.1 Mekanisme Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia-fisika antara substansi dengan penyerapnya. Proses perlekatan dapat saja terjadi antara cairan dan gas, padatan, atau cairan lain.

Adsorpsi fisik terjadi karena adanya ikatan *Van der waals*, dan bila ikatan tarik antar molekul zat terlarut dengan zat penyerapnya lebih besar dari ikatan antara molekul zat terlarut dengan pelarutnya maka zat terlarut akan dapat

diadsorpsi (Reynold, 1982). Sedangkan adsorpsi kimia merupakan hasil dari reaksi kimia antara molekul adsorbat dan adsorban dimana terjadi pertukaran elektron (Benefield, 1982).

Adsorpsi terhadap air buangan mempunyai tahapan proses seperti berikut (Benefield, 1982):

- a. Transfer molekul-molekul adsorbat menuju lapisan film yang mengelilingi adsorban.
- b. Difusi adsorbat melalui lapisan film (*film diffusion*).
- c. Difusi adsorbat melalui kapiler atau pori-pori dalam adsorban (*proses pore diffusion*)
- d. Adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorban.

2.8.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme adsorpsi adalah agitasi, karakteristik karbon aktif, ukuran molekul adsorbat, pH larutan, temperatur dan waktu kontak (Benefield, 1982).

a. Agitasi

Jika agitasi yang terjadi antara partikel karbon dengan cairan relatif kecil, permukaan film dari *liquid* sekitar partikel akan menjadi tebal dan difusi film akan terbatas.

b. Karakteristik karbon Aktif

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik terpenting dari karbon aktif sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi yang terjadi ; tingkat adsorpsi meningkat seiring mengecilnya ukuran partikel. Tingkat adsorpsi untuk karbon aktif *powder* lebih cepat dari pada granular. Total kapasitas adsorpsi tergantung pada total luas permukaan dimana ukuran partikel karbon tidak berpengaruh besar pada total luas permukaan karbon.

c. Ukuran molekul Adsorbat

Ukuran molekul merupakan bagian yang penting dalam adsorpsi karena molekul harus memasuki *micropore* dari partikel karbon untuk diadsorpsi.

Tingkat adsorpsi biasanya meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran molekul dari adsorbat.

d. pH

pH mempunyai pengaruh yang sangat besar pada proses adsorpsi, karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan. Asam organik dapat diadsorpsi dengan mudah pada pH rendah, sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi. Pada umumnya, adsorpsi bahan organik dari air limbah meningkat seiring dengan menurunnya pH (Culp, RL dan Culp, GL, 1986). Pada pH rendah, jumlah ion H^+ lebih besar; dimana ion H^+ tersebut akan menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif, sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada pH tinggi, jumlah ion OH^- berlimpah, sehingga menyebabkan proses difusi bahan-bahan organik menjadi terhalang (RaniSahu, www.GISdevelopment.net). pH optimum untuk proses adsorpsi harus didapat dari tes laboratorium.

e. Suhu

Tingkat adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan akan menurun dengan menurunnya suhu. Tapi jika reaksi-reaksi adsorpsi yang terjadi adalah eksoterm, maka dari itu tingkat adsorpsi umumnya meningkat sejalan dengan menurunnya suhu.

f. Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Gaya adsorpsi molekul dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontak dengan karbon aktif makin lama. Waktu kontak yang lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih baik.