

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sumber Asal Air Tanah

Air tanah merupakan sumber air baku yang dapat diperoleh melalui pengeboran atau penggalian, sehingga sistem disebut sumur bor (Deep well). Air tanah dijumpai pada lapisan aquifer, yaitu lapisan tanah yang bersifat porous sehingga air dapat masuk dan mengisi rongga-rongga antara butir-butir tanah. Jumlah air yang dapat dikandung lapisan aquifer tergantung dari tebal lapisan aquifer dan porositasnya. Ketersediaan air tanah tergantung dari kondisi hidroklimatologis, keadaan geologi, dan keadaan permukaan lahan.

Air tanah secara normal akan bebas dari kekeruhan dan organisme patogen. Apabila air berasal dari aquifer yang mengandung zat organik, kandungan oksigen akan terurai dan kandungan karbon dioksida akan menjadi tinggi, air akan menjadi korosif. Pada kandungan zat organik di dalam aquifer tinggi, kandungan oksigen akan habis terurai. Air yang tidak mengandung oksigen (anaerobik) akan melarutkan besi, mangan dan logam berat dari dalam tanah.

Air tanah terdiri dari :

1. Air tanah dangkal (sumur dangkal)
2. Air tanah dalam (sumur bor/deep well)

2.2. Syarat Fisik/ Kimia/ Biologi Air Minum

Dalam pengolahan air minum yang perlu diperhatikan adalah masalah penurunan parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis. Pengolahan air yang baik adalah unit pengolahan air yang dapat menurunkan parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis semaksimal mungkin dengan biaya seminimal mungkin. Untuk standar parameter fisik, kimia, dan biologi dapat dilihat pada lampiran.

1. Parameter (syarat) kimia air baku antara lain :

a. pH

pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam larutan melalui konsentrasi ion hidrogen H^+ . Ion hidrogen merupakan faktor utama dalam reaksi kimiawi, karena :

- H^+ selalu dalam kesetimbangan dinamis dengan air
- H^+ tidak hanya merupakan unsur molekul H_2O saja tapi merupakan penyusun unsur lain.

Dalam hal ini pH berperan penting pada kelarutan-kelarutan besi, pada pH rendah sekitar 3 dan 4 ion-ion Fe^{2+} , Fe^{3+} cukup terlarut dan sulit diendapkan, sedangkan pada pH tinggi yaitu diatas 7-8 ion-ion ferri Fe^{3+} berada pada hidroksidanya yang merupakan zat padat serta mudah diendapkan.

b. Alkalinity

Alkalinity adalah kemampuan air untuk menetralsir asam didalam air alam, alkalinity umumnya ditimbulkan oleh garam-garam yang berasal

dari asam lemah atau basa kuat. Alkalinity dalam air sebagian besar disebabkan oleh ion bikarbonat (HCO_3^-).

Didalam air alam (natural waters) sebagian terbesar alkalinity diakibatkan oleh tiga macam ion, yaitu :

- a. Hidroksida (OH^-)
- b. Karbonat (CO_3^{2+})
- c. Bikarbonat (HCO_3^-)

c. Besi

Unsur besi terdapat pada hampir semua air tanah. Air tanah umumnya mempunyai konsentrasi karbon dioksida yang tinggi hasil penguraian kembali zat-zat organik dalam tanah oleh aktivitas mikroorganisme, serta mempunyai konsentrasi oksigen terlarut yang relatif rendah, menyebabkan kondisi anaerobik. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi besi bentuk mineral endapan (Fe^{3+}) tereduksi menjadi besi yang larut dalam bentuk ion bervalensi dua (Fe^{2+}). Pada air permukaan konsentrasi Fe biasanya kurang dari 1 mg/l, kandungan besi pada air tanah bisa mencapai tingkat 10 mg/l dibawah kondisi alkalinitas rendah (kurang dari 50 mg/l) (*Kawamura, 1992*), ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain dan perkakas dapur. Keberadaan unsur besi dalam air dengan konsentrasi melebihi 1 mg/l akan menyebabkan air berwarna kemerahan. Air yang disebabkan oleh besi umumnya berwarna kemerahan, tetapi dapat juga berwarna agak gelap mendekati kehitaman (*Gordon M. Fair/ Jonh C. Geyer, 1981*). Pada umumnya besi yang ada dalam air dapat bersifat:

- Terlarut sebagai Fe^{2+} (ferro) dan mengendap sebagai Fe^{3+} (ferri)
- Tersuspensi sebagai butir koloidal atau lebih besar seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan sebagainya.
- Senyawa yang tergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (seperti tanah liat).

Banyak kegiatan yang memerlukan air akan dihadapkan dengan masalah korosi air. Ini dapat disebabkan oleh adanya kandungan unsur Fe dan CO agresif tinggi. Besi selalu dijumpai pada air alami dengan kadar oksigen yang rendah, seperti pada air tanah dan danau yang tanpa udara. Adanya Fe diperairan dapat ditimbulkan oleh adanya kegiatan pabrik tekstil kertas dan proses industri (sugiharto, 1985).

Air tanah yang mengandung besi pada umumnya tidak mengandung oksigen dan kadar CO_2 tinggi. Kadar CO_2 tinggi menunjukkan adanya peristiwa oksidasi biologis terhadap bahan organik, sedangkan tidak adanya oksigen menunjukkan bahwa kondisi anaerobik (*Robert B Williams Gordon, 1991*).

Meskipun besi pada umumnya terdapat dalam bentuk terlarut bersenyawa dengan bikarbonat dan sulfat, juga ditemukan unsur tersebut bersenyawa dengan hydrogen sulfide (H_2S), hydrogen sulfide akan muncul apabila air tersebut tercemar oleh limbah sebagai contoh tercemar dari tinja manusia .

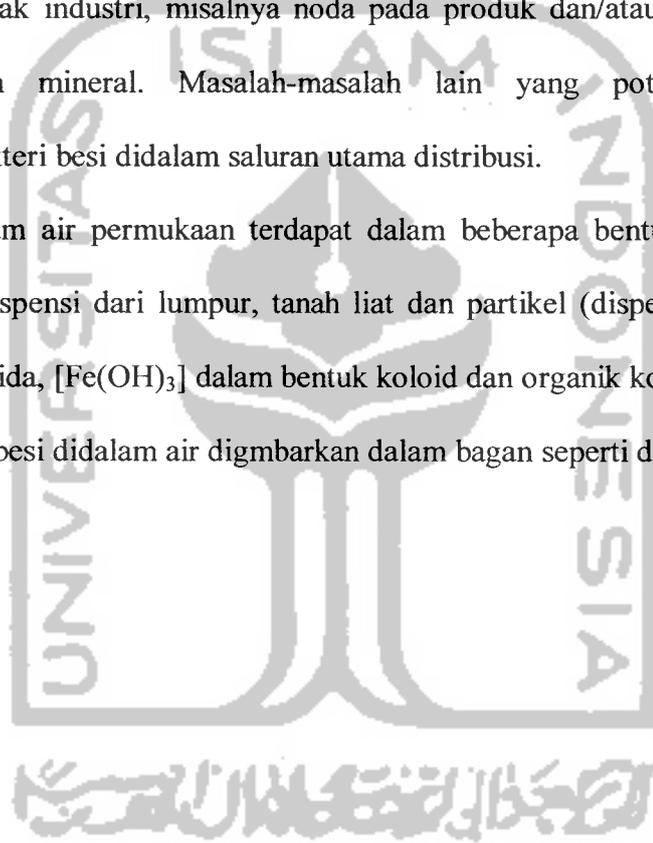
Selain itu besi ditemukan pula pada air tanah yang mengandung asam berasal dari humus yang mengalami penguraian dan dari tanaman atau tumbuhan yang bereaksi dengan unsur besi untuk membentuk ikatan kompleks organik. Konsentrasi besi pada air tanah bervariasi mulai dari 0.01 mg/L sampai dengan \pm

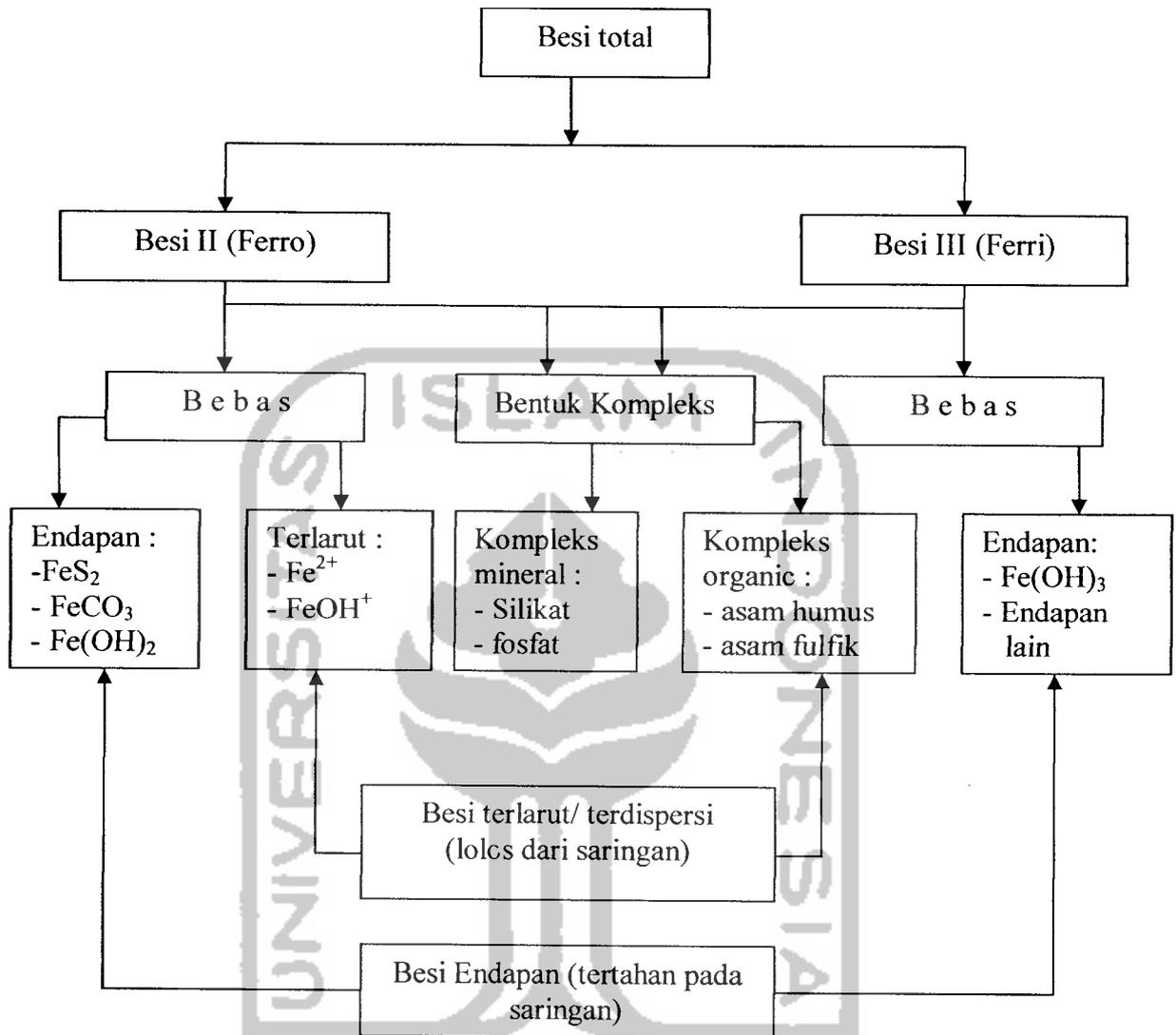
25 mg/L, sedangkan kadar besi (Fe total) yang diijinkan dalam air minum adalah 0.3 mg/L

Mineral-mineral ini terutama berhubungan dengan faktor-faktor estetika, seperti rasa dan bau yang tidak enak, dan masalah-masalah rumah tangga, seperti noda pada cucian dan alat-alat dapur, dan secara potensial bisa menjadi masalah serius bagi banyak industri, misalnya noda pada produk dan/atau pembentukan endapan-endapan mineral. Masalah-masalah lain yang potensial adalah pertumbuhan bakteri besi didalam saluran utama distribusi.

Besi dalam air permukaan terdapat dalam beberapa bentuk, antara lain dalam bentuk suspensi dari lumpur, tanah liat dan partikel (dispersi) halus dari besi (III) hidroksida, $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ dalam bentuk koloid dan organik kompleks.

Bentuk besi didalam air digambarkan dalam bagan seperti dibawah ini :





Gambar 2.1. Bagan Bentuk Besi di dalam air

Sumber : Degremond, 1979

2.3. Prinsip Penghilangan Besi

Besi adalah mineral yang umumnya ditemukan didalam tanah, dimana keduanya terdapat dalam bentuk oksidan yaitu oksidan besi (sangat tidak dapat larut). Namun demikian jika air berisikan karbon dioksida atau pada air berasam, maka besi diturunkan menjadi bentuk yang mengandung besi dibawah kondisi anaerobik (ion ini dapat larut dalam air).

Ada beberapa alternatif untuk menghilangkan besi dan mangan dalam air. Metode-metode dasarnya adalah oksidasi diikuti dengan penjernihan dan penyaringan, pertukaran ion, pelunakan kapur. Oksidasi dapat dilakukan dengan aerasi, klorinasi, dioksida klorine, permanganat potasium, atau ozonisasi, pertukaran ion (ion exchange), proses secara biologis, tetapi yang umum digunakan pada sistem penyediaan air adalah proses oksidasi secara kimiawi, yaitu menaikkan tingkat oksidasi oleh suatu oksidator dengan tujuan merubah bentuk besi terlarut bentuk besi tidak larut (endapan). Proses ini dilanjutkan dengan pemisahan endapan/ suspensi/ disperse yang terbentuk menggunakan proses sedimentasi dan atau filtrasi. Untuk meningkatkan efisiensi pemisahan endapan ini, bila perlu menggunakan proses koagulasi dan flokulasi dilanjutkan sedimentasi dan filtrasi.

2.3.1. Proses Oksidasi dan Adsorpsi

Besi dapat diendapkan sebagai senyawa dengan karbonat pada air yang mengandung karbonat (alkalinitas), dengan penambahan kapur atau soda. Pengendapan ini berlangsung pada kondisi anaerobik. Kelarutan Fe (II) dan Mn (II) ditentukan oleh konsentrasi total karbonik (C_T), dimana

$$C_T = H_2CO_3 + HCO_3^- + CO_3^{2-} = 10^{-3} M = 0.183 \text{ mg/L}$$

Pada kondisi tersebut, Fe (II) dan Mn(II) karbonat dapat diharapkan mengendap seluruhnya pada $pH > 8$ dan 8.5 . Pengendapan Fe(II) hidroksida dan Mn (II) hidroksida pada $pH \pm 11$. Campuran dua macam endapan tersebut, terbentuk dalam proses Kapur-soda.

Besi akan lebih baik bila diendapkan dengan jalan oksidasi oleh oksidator seperti O_2 ; O_3 ; Klor/ senyawa klor; $KMnO_4$, MgO kerana kelarutan dari bentuk Fe (III) trihidroksida adalah lebih rendah dibandingkan dengan senyawa Fe (II)

Kecepatan oksida Fe (II) oleh oksigen sangat rendah dalam kondisi nilai pH rendah. Dalam hal ini pH perlu dinaikkan dengan mengurangi konsentrasi CO_2 atau dengan penambahan alkali (kapur). Sebaliknya kecepatan oksidasi dapat ditingkatkan dengan menggunakan katalisator. Peranan akumulasi endapan besi, bakteria besi yang tumbuh pada media penyaring seperti arang, koral atau butiran pasir, pada unit "aerator kontak dan filter kontak" diduga berlaku sebagai katalis bagi reaksi oksidasi. Agak sulit dalam mengukur kecepatan oksidasi besi (II) menjadi bentuk yang dapat disaring, karena kehadiran zat pereduksi lainnya. Walaupun demikian kecepatan pengendapan dan aglomerasi Fe (II) yang terkandung di dalam air alam, lebih lambat dari perkiraan teoritis. Hal ini memberi gambaran bahwa ada rintangan seperti reduksi besi (III) oleh zat organik dan zat pereduksi lainnya. Rintangan ini tetap ada sampai seluruh zat organik teroksidasi dan endapan yang terbentuk akan stabil.

Keberadaan asam humus akan memperlambat oksidasi besi. Penyerapan atas Fe (II) dilaporkan memengang peranan dalam penghilangan besi dari air. Endapan Fe (III) hidroksida dan Mn (IV) dioksida, keduanya mempunyai kapasitas adsorpsi (penyerapan) yang tinggi. Proses adsorpsi terjadi pada filter kontak (filter kering), dimana pada filter ini media penyaring terlapisi oleh endapannya. Suatu periode waktu dibutuhkan filter bagi pematangan dan bagi berlangsungnya pengendapan tersebut.

Penambahan MgO pada air yang mempunyai pH rendah dapat menaikkan kecepatan oksidasi Fe (II) tanpa menaikkan pH yang berarti pada air yang dihasilkan (air hasil olahan).

Permanganat Potassium (KMnO_4) merupakan oksidan yang kuat. Penambahan KMnO_4 akan mempercepat waktu reaksi besi apabila kondisi pH tinggi. Waktu oksidasi besi akan bervariasi dari 5 menit sampai 10 menit tergantung nilai pH (> 7) (Kawamura, 1992).

2.3.2. Oksidator dan reaksi oksidasi Besi

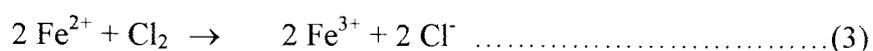
Oksidator dan reaksi yang digunakan dalam mengoksidasi besi (II) antara lain :

1. Oksigen



Pembentukan besi (III) dipengaruhi oleh pH, pada pH antara 6.9 – 7.2, reaksi pembentukan Fe (III) dapat terjadi dengan cepat, sedangkan reaksi pembentukan Mn (IV) akan lambat bila pH dibawah 9,5.

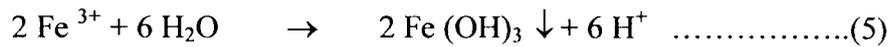
2. Klor dan senyawa klor



↓



Pada pH normal hidrolisa terjadi :



Pada umumnya reaksi tersebut terjadi pada saat yang sama. Pada dosis klor lebih besar.

Penggunaan klor sebagai oksidator biasanya untuk mengolah air dengan kandungan besi (II) kurang dari 2 mg/L. Pembentukan Fe (III) tergantung pada pH. Pada pH 7.5, klor berbentuk 50% asam hipoklorit (HOCl) dan 50% ion hipoklorit (OCl⁻).

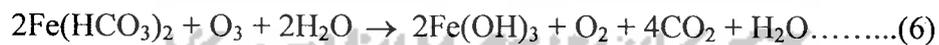
3. Kalium Permanganat (KMnO₄)

Reaksi yang terjadi :



Reaksi diatas menunjukkan bahwa 1 mg/L permanganat potasium mengoksidasi 1.06 mg/L besi dan 0.52 mg/L mangan.

4. Ozon (O₃)



Secara teoritis, 1 mg/L ozon akan mengoksidasi 2.3 mg/L besi dan 1.5 mg/L mangan. Ozon yang berlebihan akan membentuk permanganat dan akan menyebabkan warna merah muda dalam air (*Kawamura,1992*).

5. Dosis Pembubuhan Oksidator

Berdasarkan reaksi oksidasi di atas maka dapat dihitung secara stoikhiometri kebutuhan teoritis setiap 1 mg/L Fe/ Mn membutuhkan oksidator.

Dosis secara teoritis dikonversikan menjadi dosis (kebutuhan) secara teknis, yang dinyatakan dalam mg/L, seperti terlihat pada tabel (2.1).

Kebutuhan secara teknis ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti :

- pH
- Kandungan zat organik
- Waktu kontak

Tabel 2.1. Dosis pembubuhan oksidator

JENIS OKSIDATOR	DOSIS TEORITIS untuk		DOSIS TEKNIS *) untuk	
	Besi	Mangan	Besi	Mangan
Oksigen (O ₂)	0.14	-	-	-
Gas klor	0.63	1.29	-	-
Senyawa klor (**)	0.47	0.48 1) 0.95 2)	-	-
Klor dioksida (ClO ₂)	-	2.5	-	1.5-10x
KMnO ₄ (MnO ₄)	0.57	1.92	-	1-6x
Ozon (O ₃)	1.87	0.87	-	1-5x

*) → sebagai kelipatan dosis teoritis

***) → dihitung sebagai HOCl

1. = reaksi 1

2. = reaksi 2

2.4. PRINSIP AERASI

2.4.1. Mekanisme Aerasi

Perpindahan gas adalah fenomena fisik dimana molekul-molekul gas bertukar antara suatu zat cair dan gas pada bidang gas – zat cair. Pertukaran ini menghasilkan bertambahnya konsentrasi gas dalam fase cair selama fasa ini tidak

jenuh (saturasi) oleh gas, dibawah kondisi seperti tekanan, temperatur (yaitu adsorpsi gas) dan mengurangi konsentrasi bilamana fase cair melewati super saturasi, yaitu : desorpsi, presipitasi, atau gas stripping.

Aerasi adalah suatu proses kontak air dengan udara (O_2). Dengan kata lain merupakan proses pengolahan dimana air diberi kesempatan berhubungan seluas-luasnya dengan udara, dengan tujuan untuk mengubah senyawa besi valensi dua (Fe^{+2}) menjadi senyawa besi valensi tiga (Fe^{+3}) yang kemudian akan terbentuk dalam $Fe(OH)_3$. Menurut Scott Benefield (1982), aerasi adalah suatu proses dimana air dibawa pada kontak langsung dengan udara untuk mengubah konsentrasi substansi volatile yang terkandung dalam air.

Aerasi dapat digunakan untuk memenuhi dua tujuan yaitu memindahkan oksigen ke dalam air dan menghilangkan gas-gas yang menguap.



Secara teoritis 1 mg oksigen mengoksidasi 7 mg besi divalen dan 3,4 mg mangan divalen. Besi yang terikat secara organik tidak bisa dioksidasi melalui aerasi.

Gas-gas terlarut yang tidak diinginkan masuk ke dalam air baik dari udara di atasnya maupun dari produk samping reaksi kimia atau reaksi biologis di dalam air.

Proses “scrubbing” yang disebabkan aerasi turbulen, secara fisik menghilangkan gas-gas dari larutan dan membiarkannya lepas ke udara sekelilingnya. Proses penghilangan yang kedua adalah “oksidasi” dapat membantu mengilangkan mineral-mineral terlarut tertentu. Oksidasi adalah

bersenyawanya oksigen dari udara dengan logam tertentu yang tidak diinginkan berada dalam air, biasanya adalah besi dan mangan. Setelah dioksidasi, zat-zat tersebut keluar dari larutan dan dalam air menjadi zat padat terdispersi halus kemudian dihilangkan dengan pengendapan dan atau penyaringan. Teknik aerasi juga digunakan untuk melepaskan gas-gas dari air (CO_2 agresif), yang dapat merusak kualitas air yang berhubungan dengan masalah korosi pada fasilitas penampungan air, sistem distribusi dan masalah rasa dan bau. Perpindahan oksigen secara simultan menghasilkan operasi desorpsi, dalam hal ini merupakan hal yang tidak begitu penting, karena prinsip aerasi adalah untuk absorpsi (menyerap) bukan desorpsi (pelepasan).

Aerasi melibatkan pembawaan udara atau gas-gas lain yang bersentuhan dengan air untuk memindahkan materi-materi yang menguap dari bahan cair ke gas dan melarutkan gas-gas yang bermanfaat ke dalam air. Materi-materi yang menguap bisa dihilangkan termasuk gas-gas terlarut dan berbagai senyawa aromatik yang bertanggungjawab atas rasa dan bau. Gas-gas dapat dilarutkan dalam air termasuk oksigen dan karbon dioksida.

Dari keterangan diatas secara fisika dapat dipelajari masalah transfer oksigen pada fase gas terhadap air dan tekanan partial yang terjadi guna mengukur dan mengetahui seberapa jauh udara tercampur secara optimal didalam air. Transfer masa dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut :

$$dC/dt = K_{La} (C_s - C_o) \dots\dots\dots(7)$$

$$(C_s - C_t) = (C_s - C_o)e^{-K_{La}t} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

dC/dt = tingkat perubahan pada konsentrasi (mg/l-s)

K_{La} = keseluruhan koefisien pemindahan massa (l/s)

C_s = konsentrasi penjumlahan (mg/l)

C = konsentrasi setiap waktu t (mg/l)

C_0 = konsentrasi awal pada $t = 0$ (mg/l)

Koefisien pemindahan gas K_{La} adalah nilai variabel dan bergantung pada hubungan yang kompleks diantaranya termasuk temperatur, area gas dipancarkan, volume zat cair yang bersentuhan, dan koefisien pemencaran gas. Harga K_{La} akan meningkat jika suhu dinaikkan dan disertai mixing/ pengadukan. Harga K_{La} merupakan fungsi dari ratio luas terhadap volume gelembung udara.

$$K_{La} = k_d A/C \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

K_d : Koefisien transfer gas

A : Luas permukaan gelembung gas/ udara

C : Volume gelembung

Dari persamaan (2.1) dan (2.2), pertimbangan – pertimbangan penting untuk desain aerator berikut dikembangkan ;

1. Tingkat pemindahan gas secara langsung seimbang dengan daerah ekspos pervolume unit. Aerasi yang ideal akan memperbesar bidang ekspos.
2. Tingkat pemindahan gas juga secara langsung seimbang dengan waktu ekspos oleh karena itu alat aerasi seharusnya memperbesar bidang ekspos.

Misalnya kecepatan gelembung-gelembung udara pada sistem aerasi terpencair biasanya 20 % (seperlima) kecepatan yang ada pada aerator semprot. Jika semua faktor lain sama, maka tingkat pemindahan oksigen akan lima kali lebih besar untuk aerator yang terpencair dibanding dengan aerator semprot.

3. Tingkat pemindahan gas secara langsung seimbang dengan perbedaan antara nilai penenuhan dan konsentrasi awal ($C_s - C_o$). Nilai penenuhan bergantung pada tekanan parsial gas, temperatur air, dan konsentrasi bahan-bahan padat yang terlarut dalam air, sehingga perubahan pada setiap parameter ini akan mempengaruhi tingkat pemindahan gas. Misalnya, dengan meningkatkan persentase oksigen di dalam percampuran udara, tekanan parsial (sebagian) dinaikkan, sehingga menghasilkan nilai penenuhan lebih tinggi. Situasi ini dihadapi dengan sistem-sistem oksigen murni atau pemencar oksigen tinggi.

Jika C_o lebih besar dibanding C_s (masalah khusus dengan air tanah yang super jenuh dengan CO_2 atau H_2S), sisi kanan dari persamaan (8) akan menghasilkan nilai negatif. Ini menggambarkan desorpsi.

Prinsip dasar dari aerasi yaitu pertukaran tempat suatu substansi dari air ke udara atau sebaliknya terjadi pada permukaan atau pertemuan antara udara dan air.

Tujuan utama dari aerasi adalah ;

1. Menurunkan konsentrasi materi-materi penyebab bau dan rasa seperti sulfid hidrogen dan berbagai senyawa organik, dengan penguapan atau oksidasi.
2. Oksidasi kimia (oksigenasi) yang diikuti dengan removal dari besi valensi dua.
3. Melarutkan gas (oksigen) kedalam air untuk mengoksidasi besi terlarut.

Efisiensi Aerasi sangat tergantung pada berbagai macam faktor :

1. Lingkungan, diantaranya cuaca, seperti angin dan temperatur.
2. Desain aerator
3. Karakteristik air baku, seperti pH dan kandungan gas dalam air.

Sedimentasi atau proses pengendapan adalah proses pemisahan partikel tersuspensi di dalam air akibat beratnya sendiri atau oleh pengaruh gaya gravitasi. Pengendapan terjadi apabila air dalam keadaan diam atau mengalir perlahan dalam sebuah kolam pengendapan. Dalam keadaan tersebut tidak akan terjadi turbulensi sehingga partikel-partikel yang mempunyai berat spesifik lebih besar dari air akan mengendap didasar kolam dan membentuk semacam endapan lumpur, sedangkan air di atasnya menjadi bening.

Filtrasi adalah suatu proses dimana air dibersihkan dengan melewatkannya melalui medium tertentu berupa material berpori, misalnya melalui pasir dengan diameter efektif tertentu. Medium (filter) dapat disusun dari bahan tunggal (pasir) atau multiple layer (beberapa lapisan dengan jenis bahan berbeda, misalnya pasir

dengan zeolit). Filtrasi sangat penting dilakukan, baik melalui sedimentasi terlebih dahulu maupun tidak, karena dapat menyaring suspensi besi dengan baik.

2.4.2. Senyawa Yang Dipengaruhi Aerasi

Seperti yang diterangkan diatas, bahwa dengan melakukan aerasi terhadap air, untuk menghilangkan gas-gas penyebab masalah, mengoksidasi zat-zat yang tidak diinginkan (impurities) seperti besi, sehingga senyawa-senyawa tersebut dapat dihilangkan dalam proses pengolahan, menurunkan/ melenyapkan rasa dan bau tertentu dan memasukkan oksigen ke dalam air.

Konstituen-konstituen yang dipengaruhi oleh aerasi adalah :

- Karbon dioksida (CO₂)
- Hidrogen sulfide (H₂S)
- Metan (CH₄)
- Besi (Fe)
- Mangan (Mn)
- Oksigen terlarut (DO)

Keterangan :

a. Karbon dioksida

CO₂ sangat larut dalam air, terutama bila dibandingkan dengan oksigen. Sebagai contoh, CO₂ dapat larut dalam air sampai dengan 1700 mg/L pada 20° C, sedangkan oksigen hanya dapat larut sebanyak 9 mg/L pada temperatur yang sama.

Berbagai tipe aerator dapat menghilangkan CO₂ dengan aksi ‘scrubbing’ dan ‘sweeping’ secara fisik yang disebabkan turbulensi.

Untuk temperatur air yang normal dan pada komposisi atmosfer, aerasi dapat menghilangkan kandungan CO₂ dalam air sampai serendah 4.5 mg/L. Kesetimbangan antara CO₂ diudara dan air, menghalangi penghilangan selanjutnya.

Untuk air dengan kandungan CO₂ diatas 10 mg/L dengan alkalinitas kurang dari 100 mg/L, aerasi dapat digunakan untuk menghilangkan CO₂ yang cukup tinggi, sehingga dapat mengurangi kebutuhan kapur yang diperlukan untuk menghilangkan CO₂. Hal ini menghasilkan penghematan biaya didalam proses pengolahan dengan menggunakan kapur.

b. Hidrogen sulfide

H₂S adalah gas bersifat racun dan mandatkan masalah yang berbahaya dalam pengolahan air, keberadaan H₂S dalam air tanah karena adanya pencemaran air tanah oleh limbah manusia (tinja, air seni, dll). Penyebaran singkat H₂S kurang dari 30 menit dapat menyebabkan fatal, jika gas ini terhirup dengan konsentrasi sebesar 0.1% volume dalam udara. H₂S menghasilkan bau telur busuk sehingga keberadaannya di dalam air tidak diinginkan karena dapat merubah rasa kopi, teh, es balok atau minuman lainnya serta makanan.

Gasnya sendiri terlarut dalam air, bersifat korosif terhadap bahan / material dari tangki, pipa, dan lain-lain. Karena H₂S sangat tidak stabil dalam air, turbulensi yang disebabkan oleh aerasi dapat melepaskannya ke udara. Walaupun demikian harus ada penyesuaian gerakan udara disekitar aerator untuk membawa

keluar H_2S yang terlepas, atau sebaliknya dia mengumpul keatas air, menurunkan proses penghilangan dan menimbulkan korosifitas dan membahayakan lingkungan.

c. Metan

Metan disebut juga “swamp gas” atau gas alam. Metan adalah gas tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, mudah terbakar dan eksplosif. Bila bercampur dengan air, metan menyebabkan rasa air seperti rasa bawang putih. Gas metan sedikit larut dalam air dan mudah dihilangkan dengan aerasi.

d. Besi

Besi dalam bentuk Ferro atau Fe^{2+} dalam beberapa hal tidak disenangi. Ada beberapa cara untuk menghilangkan besi, aerasi disertai dengan pengendapan atau penyaringan adalah salah satu cara yang biasa dilakukan. Aerasi memberikan oksigen terlarut (DO) yang dibutuhkan untuk merubah besi bentuk terlarut (Fe^{2+}) menjadi bentuk presipitat (Fe^{3+}). Dibutuhkan O_2 sebesar 0.14 mg/ L untuk menghilangkan 1 mg/ l besi dan O_2 sebesar 0.27 mg/ L untuk menghilangkan 1 mg/L mangan.

e. Oksigen terlarut

Salah satu tujuan aerasi adalah memberikan oksigen kedalam air yang akan terlarut menjadi DO. DO dalam jumlah tertentu bermanfaat untuk meningkatkan rasa enak dari air dengan menghilangkan rasa hambar. Jika DO terlalu tinggi dapat menimbulkan masalah korosi. Sejumlah oksigen yang tetap larut dalam air tergantung kepada temperatur air, kekeruhan, tekanan parsial. Semakin rendah temperatur air, semakin tinggi konsentrasi DO. Oleh karena

ketergantungan kepada kandungan oksigen dan temperatur air yang akan diaerasi, oksigen mungkin akan terlarut atau akan terlepas dari air, seperti contoh ; air yang berada dibagian dalam dari danau atau reservoir air baku, biasanya mempunyai DO yang kecil. Mengaerasi air demikian akan menaikkan kandungan DO. Kadang-kadang air mengandung DO yang sangat tinggi, keadaan demikian disebut “supersaturasi”. Bila air dalam keadaan supersaturasi di aerasi, maka kadar DO akan benar-benar turun bila turbulensi menyebabkan terlepasnya kelebihan DO ke atmosfer. Kadar saturasi oksigen terlarut (DO) dalam berbagai temperatur dapat dilihat pada tabel 2.2 pada tekanan 760 mm Hg dan pada berbagai tekanan pada tabel 2.2.

Aerasi air yang mengandung oksigen terlarut rendah dan CO_2 tinggi akan menghasilkan penambahan oksigen terlarut untuk oksidasi dan menaikkan pH dengan menurunkan konsentrasi CO_2 . Kedua-duanya memberikan akibat menurunnya kelarutan Fe.

Proses oksidasi adalah fungsi pH air yaitu semakin tinggi pH semakin baik hasilnya. Agar proses oksidasi dapat berlangsung selama 15 menit (*Kawamura, 1992*), pH air sebaiknya lebih tinggi daripada 7,5 dan 8 lebih disukai. Mangan sangat lambat dan tidak efektif dioksidasi pada nilai-nilai pH dibawah 9,5. Dalam kenyataan untuk mengoksidasi mangan memerlukan waktu lebih dari 1 jam pada pH 9,5. Hal ini dapat disimpulkan bahwa untuk menghilangkan kandungan mangan yang ada dalam air tanah dengan menggunakan aerasi sangat tergantung pada pH dan waktu. Dari uraian diatas berarti pula bahwa aerasi akan berpengaruh pada pH air, yaitu dengan banyaknya mangan dan besi dioksidasi

oleh aerasi maka pH air yang keluar dari pengolahan (aerasi) akan semakin naik. Oleh karena itu dibutuhkan bak Flokulasi dan koagulasi untuk menetralkan pH yang keluar setelah aerasi.

Tabel 2.2. Kadar saturasi Oksigen dalam Berbagai Temperatur

Temperatur ° C	Konsentrasi saturasi mg/ L	Temperatur ° C	Konsentrasi saturasi mg/ L
0	14.60	26	8.09
1	14.19	27	7.95
2	13.81	28	7.81
3	13.44	29	7.67
4	13.09	30	7.54
5	12.75	31	7.41
6	12.43	32	7.28
7	12.12	33	7.16
8	11.83	34	7.05
9	11.55	35	6.93
10	11.27	36	6.82
11	11.01	37	6.71
12	10.76	38	6.61
13	10.52	39	6.51
14	10.29	40	6.41
15	10.07	41	6.31
16	9.85	42	6.22
17	9.65	43	6.13
18	9.45	44	6.04
19	9.36	45	5.95
20	9.07	46	5.87
21	8.90	47	5.78
22	8.72	48	5.70
23	8.56	49	5.62
24	8.40	50	5.54
25	8.24		

Sumber : *standard Methods for Examiniton of Water and Wastewater.APHA, AWWA, and WPCF. Washington D.C, (15th ed, 1981)*

2.5. Aerator

Macam –macam aerator antara lain :

a. Spay 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 kepermukaan air yang kontak langsung dengan udara semakin luas. Disamping itu juga membantu proses difusi gas ke dalam air.

b. Nozzled spray aerator

Aerator ini merupakan tipe spray aerator yang lain yaitu menggunakan pipa yang dilubangi secara teratur dengan semprotan ke atas. Untuk menghindari kemacetan lubang nozzle (pipa) sebaiknya berukuran lebih dari 5 mm.

c. Diffused aerator

Type ini terdiri dari sebuah basin dengan pipa-pipa perlokasi, tabung-tabung 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 diatas tekanan kedalaman air dimana diffusi itu ditetapkan. Diffuser ini biasanya ditempatkan didasar basin atau pada ketinggian tertentu dari dasar basin.

d. Cascade aerator

Merupakan suatu proses perputaran dimana selapis tipis aliran air kebawah yang diusahakan sedemikian sehingga saling bertemu. Sistem 'cascade' sendiri ada beberapa cara antar lain air diterjunkan lewat tiga atau empat tangga, atau air dapat juga dilewatkan melalui menara yang berisi batu sehingga terjadi pertukaran aliran udara. Metode ini dapat menurunkan CO_2 bebas sebesar 90%, sedangkan metode dengan terjunan anak tangga dapat menurunkan CO_2 bebas sebesar 20-45% (Holden, 1970)

Ada beberapa sistem aerasi yang dapat diterapkan pada sistem pengolahan diatas, sistem aerasi yang mudah diterapkan adalah multiple tray (aerasi tray berganda) dan sistem cascade.



Gambar 2.1. Salah Satu Bentuk Aerasi (Multipel Tray) Di PDAM bedog

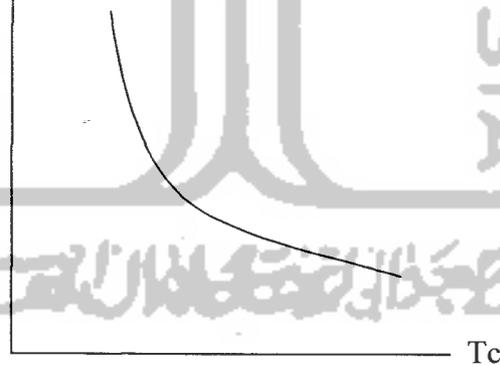
Jogjakarta

HIPOTESIS

Berdasar rumuran masalah dan tujuan penelitian serta tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut :

1. Pengolahan air tanah dengan sistem aerasi, dapat menurunkan parameter-parameter tertentu (Fe). Namun hal ini sangat ditentukan dengan instalasi pengolahan sendiri, apakah instalasi tersebut sudah sesuai kriteria desainnya sehingga dapat berfungsi secara optimal.
2. Dengan evaluasi yang dilakukan dapat diketahui Efisiensi dari tray aerator di PDAM Jogjakarta khususnya dan PDAM lain yang ada diseluruh Propinsi DIY.
3. Pcnurunan Fe^{2+} semakin baik jika waktu kontak air dengan udara semakin lama.

(Fe^{2+})



BAB III

GAMBARAN UMUM PENGOLAHAN AIR PDAM JOGJAAKARTA

3.1. KOTA JOGJAKARTA

3.1.1. Luas dan Batas Administrasi

a. Propinsi Daerah Istimewa Jogjakarta

Wilayah DIY ini berada di bagian tengah Pulau Jawa, termasuk zone tengah bagian selatan dari formasi geologi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Secara astronomi, daerah ini terletak di antara $7^{\circ} 33' \text{ LS}$ - $8^{\circ} 15' \text{ LS}$ dan $110^{\circ} 05' - 110^{\circ} 50'$ Bujur timur, yang mencakup wilayah bekas Swapraja Kasultanan Yogyakarta, wilayah bekas Swapraja Kadipaten Pakualaman dan tiga daerah yang semula termasuk wilayah Jawa Tengah, yakni bekas daerah *enclave* Kapanewon di Gunungkidul, daerah *enclave* Kawedanan Imogiri dan daerah *enclave* Kapanewon di Bantul.

Secara administratif, keseluruhan wilayah tersebut berbatasan dengan Kabupaten Magelang (di sebelah barat laut), Kabupaten Klaten (di sebelah timur), Kabupaten Wonogiri (di sebelah tenggara), Samodra Indonesia (di sebelah selatan), dan Kabupaten Purworejo (disebelahbarat). Luas keseluruhan wilayah DIY sekitar 3.185,80 km², yang terbagi dalam lima wilayah administratif daerah Tingkat II, yaitu:

- Kotamadia Yogyakarta dengan luas 32,5 km²
- Kabupaten Kulonprogo dengan luas 586,27 km²

- Kabupaten Gunungkidul dengan luas 1.485,36 km²
- Kabupaten Sleman dengan luas 574,82 km² a

Secara geografis, wilayah DIY tersusun atas empat satuan, yaitu Pegunungan Selatan, Gunung api Merapi, dataran rendah antara Pegunungan Selatan dan Pegunungan Kulonprogo, dan Pegunungan Kulonprogo dan dataran rendah selatan.



Gambar 3.1. Peta Daerah Istimewa Jogjakarta

b. Kota Madya Jogjakarta

Letak Geografis kota Jogjakarta berada pada 7° 49' 26" - 7° 15' 24" Lintang selatan dan 110° 24' 19" - 110° 28' 53" Bujur timur. Kota Jogjakarta yang terletak di daerah dataran lereng aliran Gunung Merapi, memiliki kemiringan lahan yang relatif datar dan berada pada ketinggian rata-rata 114 M dpa.

Kota Jogjakarta terletak ditengah-tengah Propinsi Daerah Istimewa Jogjakarta. Adapun batas-batas kota Jogjakarta adalah sebagai berikut:

- Sebelah utara berbatasan dengan kabupaten Sleman
- Sebelah selatan berbatasan dengan kabupaten Bantul
- Sebelah timur berbatasan dengan kabupaten Bantul dan Sleman
- Sebelah barat berbatasan dengan kabupaten Bantul dan Sleman

Terdapat 3 sungai yang mengalir dari arah utara ke selatan dan membelah kota Jogjakarta yaitu: sungai Gajahwong yang mengalir dibagian timur kota, sungai Code di bagian tengah dan sungai Winongo di bagian barat kota.

Secara administratif kota Jogjakarta terdiri dari 14 kecamatan dan 45 kelurahan dengan luas wilayah 32,5 Km² atau 1,02 % dari luas wilayah propinsi DIY.

Secara geologi daerah kota Jogjakarta dan sekitarnya ditutupi oleh endapan vulkanik merapi muda yang terdiri dari lapisan batuan dan pasir. Lapisan batuan tersebut bersifat lepas dan bercelah, sehingga batuan tersebut masih mampu menampung dan meluruskan air melalui ruang antar celahnya.

3.2. Perkembangan PDAM Tirtamarta Kota Madya Dati II Jogjakarta

PDAM Tirtamarta Kota Jogjakarta berdiri sejak tahun 1918 semasa penjajahan Belanda dibangun sumber air yang pertama, yaitu sumber Karanggayam dengan debit 20 L/dt. Kemudian mengalami perkembangan sampai sekarang ini. Setelah perkembangan tersebut sekarang PDAM telah mempunyai cakupan wilayah hampir seluruh kota Jogjakarta.

Belum lama ini PDAM Tirtamarta telah membangun unit pengolahan untuk menurunkan kadar Fe dan Mn di Bedog dengan anggaran yang berasal dari

dana Swadaya dari PDAM Tirtamarta sendiri. Unit pengolahan Fe dan Mn ini direncanakan mempunyai debit 200 L/dt.

3.3. Lokasi Dan Tata Letak

Kantor pusat Perusahaan Daerah Air Minum Tirtamarta Jogjakarta bertempat di Jl. Wolter Monginsidi Kota Madya Dati II Jogjakarta. PDAM Tirtamarta mempunyai produksi air minum tersebar di berbagai tempat sbb :

Tabel 3.1. Instalasi dan Lokasi PDAM Kota Jogjakarta

No	INSTALASI	LOKASI
1	Mata air Umbul Wadon	Kec. Kaliurang
2	IPAM Padasan	Kec. Pakem Binangun
3	Sumur Gravitasi Bedoyo	Kec. Pakem Binangun
4	Sumur Gravitasi Besi I dan II	Kec. Besi
5	Sumur Gravitasi Kentungan	Kentungan
6	Sumur Dangkal Jongkang	Jongkang
7	Sumur Dalam Kotagede	Kec. Kota Gede
8	Sumur Dalam Karanggayam	Karanggayam
9	Sumur Dangkal Candi	Candi
10	Sumur Dangkal Bulusan	Bulusan
11	Sumur Dalam Bedog	Bedog
12	Sumur Dalam Ngaglik	Ngaglik
13	Sumur Dangkal Gemawang	Gemawang

Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan lokasi instalasi adalah:

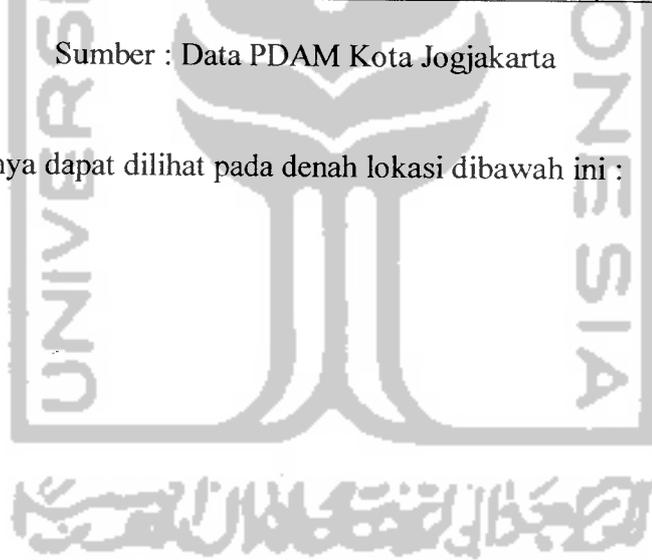
1. Sedemikian mungkin dekat dengan lokasi sumber air.
2. Sejauh mungkin dari air laut untuk menghindari intruksi air laut.

Tabel 3.2. Sumber air baku air bersih bagi Kota Jogjakarta

No	Jenis Sumber Air	Nama Sumber Air	Kapasitas Terpasang (L/s)
1	Air Permukaan	Padasan (1)	80 = 7%
2	Mata Air	Umbul Wadon (2) Karang Gayam (3)	90 = 8% 53 = 5%
3	Sumur Dangkal	Sumur Gemawang (4) Sumur Jongkang I&II (5) Sumur Karangwuni (6) Sumur Besi I&II (7) Sumur Kentungan (8)	10 = 1% 73 = 7% 15 = 1% 61 = 6% 12 = 1%
4	Sumur Dalam	Sumur Karang Gayam 1.3.4.5.6 (9) Sumur Bedog 1 s.d 9,11,13 (10) Sumur Ngaglik 3 s.d 10 (11) Sumur Kotagede (12)	130 = 12% 325 = 30% 200 = 18% 35 = 3%

Sumber : Data PDAM Kota Jogjakarta

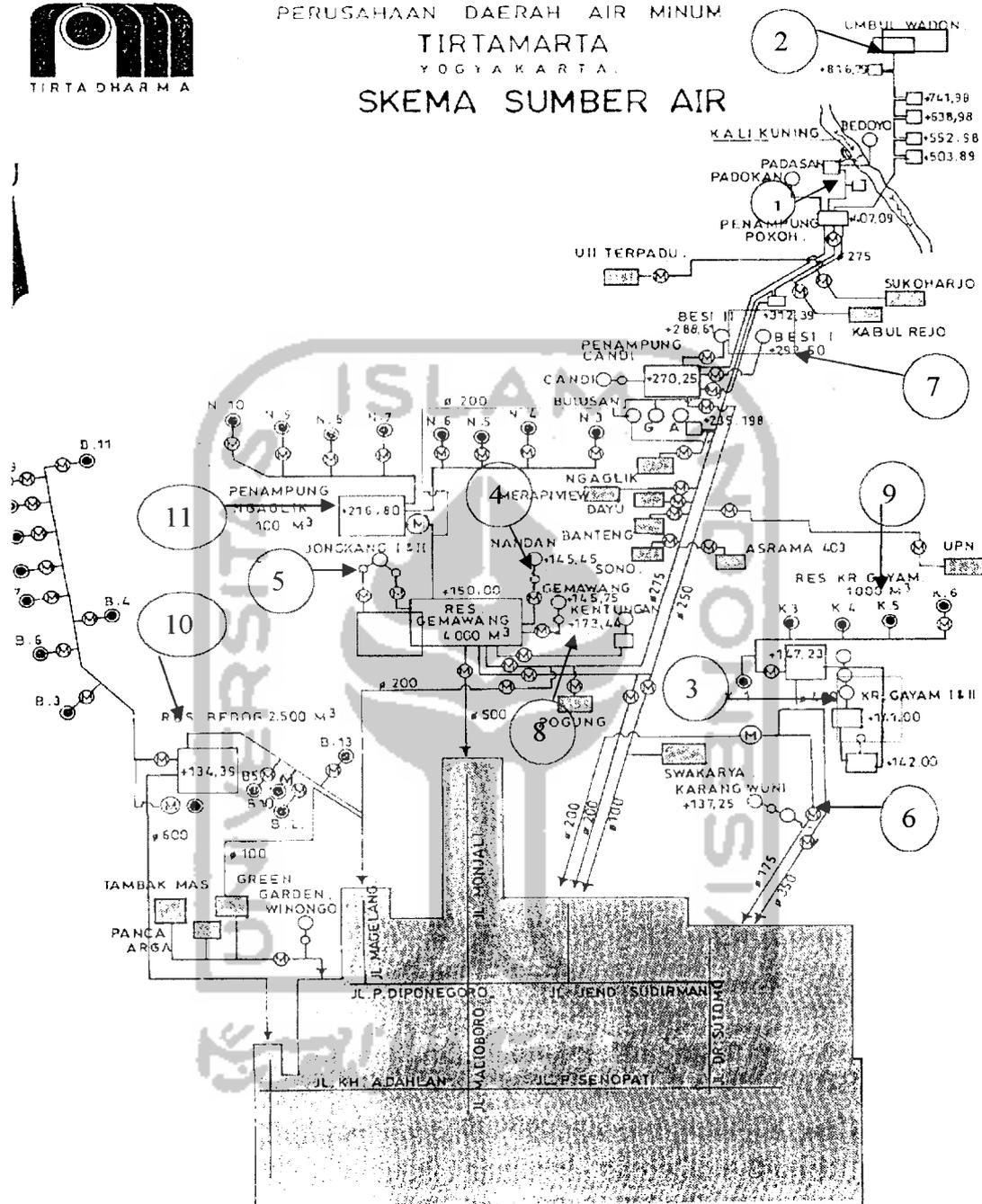
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada denah lokasi dibawah ini :





PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM
TIRTAMARTA
YOGYAKARTA.

SKEMA SUMBER AIR



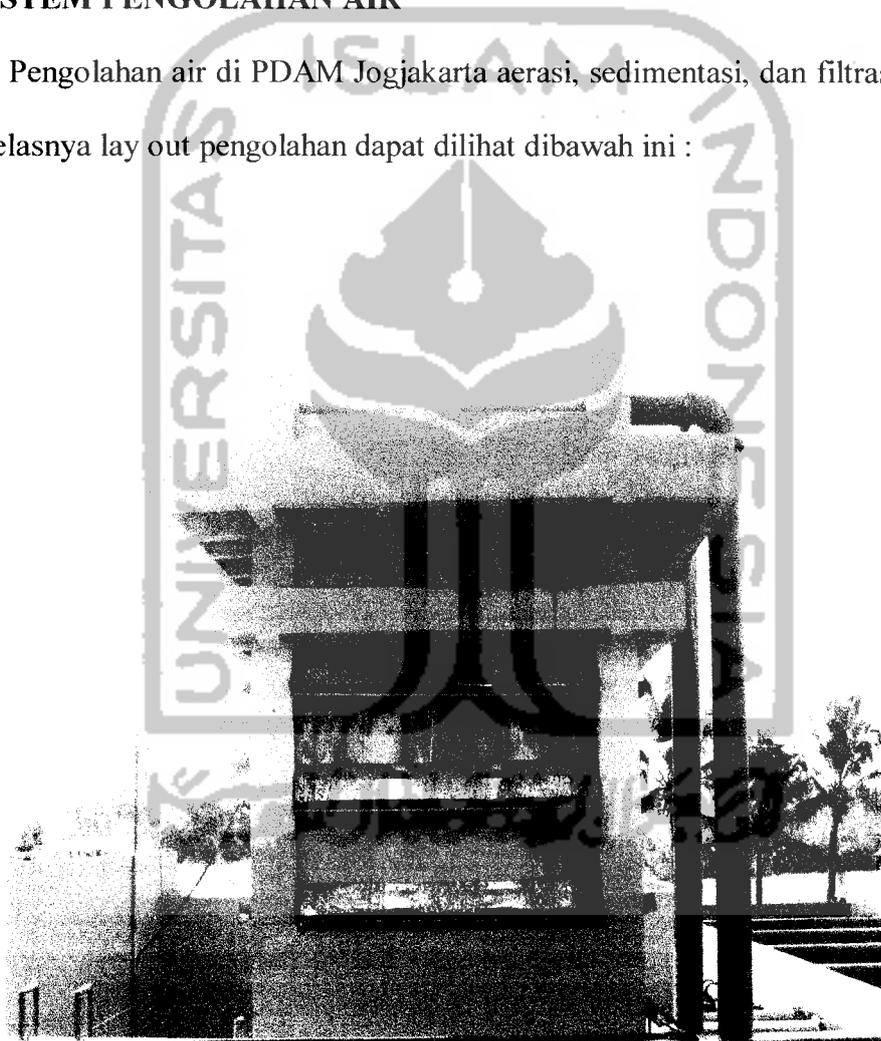
Gambar 3.2. Skema Sumber Air PDAM Jogjakarta

Dari angka tersebut tampak bahwa jenis sumber air yang paling banyak digunakan adalah sumur dalam. Penggunaan sumur dalam ini kiranya perlu mendapat perhatian mengingat bahwa sumur dalam di wilayah Jogjakarta

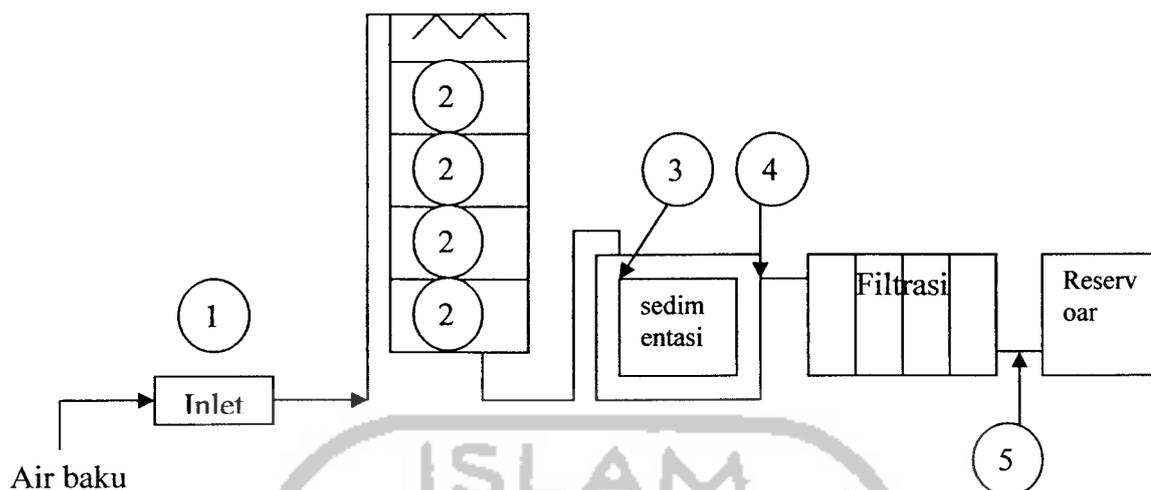
umumnya mempunyai permasalahan kualitas yaitu sering mengandung besi dalam jumlah melebihi standard air minum. Jaringan distribusi PDAM Tirtamarta yang sudah terpasang melayani daerah seluas 1085 Ha di dalam wilayah Kota Jogjakarta.

3.4. SISTEM PENGOLAHAN AIR

Pengolahan air di PDAM Jogjakarta aerasi, sedimentasi, dan filtrasi untuk lebih jelasnya lay out pengolahan dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 3.3. Lokasi Pengambilan Sampel Air Di Tray Aerator



Gambar 3.4. Bagan Lay Out Pengolahan Air Di PDAM Kota Jogjakarta

Keterangan : 1,2,3,4,5 = Titik pengambilan sampel