

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber kehidupan yang sangat penting sehingga tanpa air tidak akan dijumpai kehidupan. Pada dasarnya air adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui, namun ketersediannya tidak selalu sejalan dengan kebutuhannya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan air terus meningkat mengikuti jumlah penduduk serta taraf hidup sebagai hasil nyata pembangunan. Beberapa aktivitas manusia dalam pemanfaatan sumber daya air yang tanpa disertai pengelolaan air secara tepat akan menyebabkan penurunan kualitas air. Menurunnya kualitas air dapat disebabkan oleh kandungan sediment yang bersumber dari erosi atau kandungan bahan-bahan atau senyawa dari air limbah rumah tangga, limbah industri atau limbah pertanian. Peristiwa ini dikenal dengan polusi atau pencemaran. (Suripin,2002).

Pada saat ini ketersediaan air bersih sangat terbatas dan banyak orang terkadang memanfaatkan air apa adanya tanpa memperdulikan keadaanya yang kurang memenuhi persyaratan kesehatan. Peluang untuk menjernihkan air sungai yang tercemar masih terbuka untuk tingkat pencemaran yang rendah (*low level pollutant*) disamping karena sungai memiliki daya *self purification* (kemampuan secara alami memurnikan badan sungai dari pencemaran akibat polutan dalam skala kecil). Jika beban limbah terlalu besar dan aliran air sungai tidak mampu menampung tingkat pencemaran yang tinggi (*high level pollutant*) akan sulit untuk dijernihkan serta membutuhkan biaya operasional yang besar (Purwanti, 2005).

### 1.2 Identifikasi Masalah

Pencemaran air oleh limbah industri dapat terlihat secara visual dan juga dapat tercium baunya, seperti yang nampak pada sungai yang mengalir melalui kota-kota. Hal ini tentu akan sangat mengganggu aktifitas kehidupan kita sehari-hari. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, masalah pencemaran air limbah dapat kita atasi dengan jalan menggunakan sistem biologis memakai sarana tanaman air. Pada dasarnya usaha yang dapat kita lakukan untuk mengatasi masalah pencemaran limbah terdiri dari:

1. Mengurangi limbah yang kita hasilkan dengan menaikkan efisiensi penggunaan air.
2. Pengolahan limbah
3. Daur ulang limbah

Pengolahan air limbah dan daur ulang limbah dapat dilakukan dengan memanfaatkan air limbah. Tanaman air dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk pengolahan air limbah secara biologis. Tanaman air ini mempunyai kemampuan untuk menyerap polutan yang ada dalam air limbah tersebut. Didalam air limbah industri banyak terdapat bahan logam berat yang berasal dari sisa hasil olahan industri. Diantaranya yaitu kandungan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) Kandungan unsur-unsur tersebut yang telalu tinggi dalam air tidak menguntungkan. Kadar Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) yang tinggi apabila mencemari lingkungan dapat menjadi racun. Keracunan yang ditimbulkan oleh logam Pb, Zn, dan Fe dapat terjadi karena masuknya persenyawaan logam tersebut kedalam tubuh yang dapat melalui makanan, minuman, udara dan perembesan atau penetrasi pada selaput atau lapisan kulit. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan limbah yang mengandung logam Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) agar kadar kandungan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) yang semula masih sangat besar dapat diolah sehingga menghasilkan kadar Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) menjadi seminimal mungkin.

Salah satu cara pengolahan limbah tersebut dengan cara fitorimediiasi yaitu memanfaatkan tanaman air untuk mengurangi, menghilangkan kadar polutan yang ada. Diharapkan dengan sistem fitorimediiasi ini kadar polutan logam Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dalam air limbah dapat berkurang.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun pembahasan dalam kajian ini dibatasi pada beberapa masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Analisis berdasarkan data penelitian yang dihasilkan di Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3. Sampel yang diuji adalah air aquades yang dicampur dengan larutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dan air limbah keramik.
4. Tanaman yang dipakai dalam penelitian ini adalah tanaman air yang sudah tumbuh dengan umur kira-kira 3-4 bulan agar tidak memakan waktu yang lama dalam pelaksanaan penelitian.
5. Jenis tanaman air yang dipakai adalah Apu – Apu (*Pristia tratioides*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*).
6. Kadar polutan yang akan dikurangi adalah Timbal (Pb), seng (Zn), Besi (Fe).
7. Sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sinar matahari.
8. Tidak membahas analisis ekonomi.
9. Hanya melihat pengaruh efektifitas tanaman air terhadap pengurangan kadar polutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dalam air limbah

#### 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian diatas maka dalam studi ini permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kandungan polutan pada sample air limbah ?
2. Bagaimana pengaruh efektifitas tanaman air dalam mengurangi kadar polutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) pada sample air limbah yang diuji ?
3. Berapa jumlah tanaman yang dibutuhkan untuk penyerapan polutan dalam bak penampungan air limbah ?

#### 1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengkaji efektifitas tanaman apu-apu (*Pristia tratioides*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan intensitas cahaya dalam mengurangi kadar polutan pada air limbah.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah wawasan kita mengenai upaya mengurangi kadar polutan pada air limbah dengan sistem biologis menggunakan sarana tanaman air.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Sejalan dengan pertumbuhan dan perkembangan penduduk yang selalu meningkat tiap tahunnya menyebabkan pemanfaatan terhadap sumber daya air yang ada menjadi tidak terkendali. Kondisi seperti ini yang berlangsung terus-menerus mengakibatkan penurunan kualitas air. Penurunan kualitas air ini ditandai dengan timbulnya masalah pencemaran air limbah. Air limbah merupakan benda yang sudah tidak dipergunakan lagi. Akan tetapi apabila air limbah ini tidak dikelola secara baik akan dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan. Adapun gangguan tersebut antara lain :

1. Gangguan terhadap Kesehatan

Air limbah sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia mengingat bahwa banyak penyakit yang dapat ditularkan melalui air limbah. Air limbah ini ada yang hanya berfungsi sebagai media pembawa saja seperti penyakit kolera, radang usus, hepatitis infektiosa, serta skhistosomiasi.

2. Gangguan terhadap Kehidupan Biotik

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam air.

3. Gangguan terhadap Keindahan

Dengan semakin banyaknya zat organik yang dibuang oleh perusahaan dalam jumlah yang sangat besar menyebabkan air limbah mengalami proses pembusukan dari zat organik yang ada di dalamnya. Sebagai akibat selanjutnya adalah timbulnya bau dari zat organik yang sangat menusuk hidung. Di samping bau yang ditimbulkan, maka dengan menumpuknya zat organik akan memerlukan tempat dan mengganggu keindahan tempat sekitarnya.

4. Gangguan terhadap Kerusakan Benda

Apabila air limbah mengandung gas karbondioksida yang agresif, maka mau tidak mau akan mempercepat proses terjadinya karat pada benda yang terbuat dari besi serta bangunan air kotor lainnya, maka tidak kalah pentingnya apabila air limbah itu adalah

air limbah yang berkadar pH rendah atau bersifat asam maupun pH tinggi yang bersifat basa yang akan mengakibatkan timbulnya kerusakan pada benda-benda yang dilaluinya.

Salah satu langkah mudah yang dapat dilaksanakan adalah melalui sistem biologis dengan menebarkan tanaman air di perairan terbuka. Dengan sistem biologis ini diharapkan tanaman dapat menyerap zat-zat penyerap sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran air limbah.

## **2.2. Sumber-sumber Asal Air Limbah**

Sumber asal air limbah adalah berupa kotoran yang ada di lingkungan masyarakat sebagai dampak dari aktifitas manusia sehari-hari. Sumber air limbah dapat berasal dari limbah industri, limbah rumah tangga, limbah air tanah.

### **2.2.1. Air Limbah Rumah Tangga**

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah daerah perkantoran atau lembaga serta daerah fasilitas rekreasi.

### **2.2.2. Air Limbah Industri**

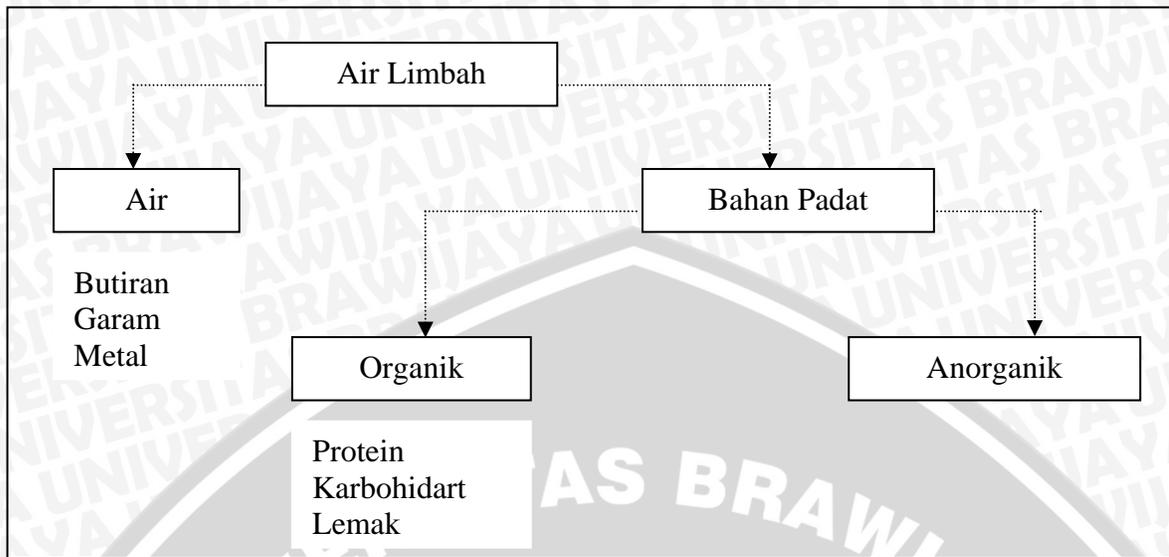
Jumlah air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, derajat pengolahan air limbah yang ada.

### **2.2.3. Air Limbah Rembesan dan Tumbuhan**

Apabila turun hujan di suatu daerah, maka air yang turun secara cepat akan mengalir masuk ke dalam saluran air hujan. Apabila saluran ini tidak mampu menampungnya, maka limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah, dengan demikian akan merupakan tambahan yang sangat besar. Oleh karena itu, perlu diketahui curah hujan yang ada sehingga banyaknya air yang akan ditampung melalui saluran air hujan dan saluran air limbah yang dapat diperhitungkan.

## **2.3. Komposisi Air Limbah**

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Namun secara umum zat-zat yang terdapat di dalam air limbah dapat dikelompokkan seperti pada skema berikut ini.



**Gambar 2.1** Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air limbah

Sumber: Soegiharto, 1987

## 2.4 Analisis Sifat-Sifat Air Limbah

Untuk mengetahui lebih luas tentang air limbah, maka perlu kiranya diketahui juga secara detail mengenai kandungan yang ada di dalam air limbah juga sifat-sifatnya. Setelah diadakan analisis ternyata bahwa air limbah mempunyai sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian besar diantaranya :

- a. Sifat fisik
- b. Sifat kimiawi
- c. Sifat biologisnya

Adapun cara pengukuran yang dilakukan pada setiap. Jenis sifat tersebut dilaksanakan secara berbeda-beda sesuai dengan keadaanya.

### 2.4.1. Sifat Fisik Air Limbah

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Adapun sifat fisik yang penting adalah kandungan zat padat sebagai efek estetika, kejernihan, bau dan warna serta temperatur.

Jumlah endapan pada contoh air merupakan sisa penguapan dari contoh air limbah pada suhu 103 – 105 oC. Beberapa komposisi air limbah akan hilang apabila dilakukan pemanasan secara lambat. Jumlah total endapan terdiri dari benda-benda yang mengendap, terlarut dan tercampur. Untuk melakukan pemeriksaan ini dapat dilakukan dengan mengadakan pemisahan air limbah dengan memperhatikan besar-kecilnya partikel yang

terkandung di dalamnya. Dengan mengetahui besar-kecilnya partikel yang terkandung di dalam air akan memudahkan kita dalam memilih teknik pengendapan yang akan diterapkan sesuai dengan partikel yang ada didalamnya. Air limbah yang mengandung partikel dengan ukuran besar memudahkan proses pengendapan yang berlangsung, sedangkan apabila air limbah tersebut berisikan partikel yang sangat kecil ukurannya akan menyulitkan dalam proses pengendapan, sehingga untuk mengendapkan benda ini haruslah dipilih cara pengendapan yang lebih baik dengan teknologi yang canggih. Jumlah total endapan terdiri atas tiga golongan, yaitu:

1. Golongan zat yang mengendap.
2. Golongan zat yang tercampur.
3. Golongan zat padat yang terlarut.

Zat-zat padat yang bisa mengendap adalah zat padat yang akan mengendap pada kondisi tanpa bergerak atau diam kurang lebih selama 1 jam sebagai akibat gaya beratnya sendiri (Sugiharto, 1987). Besarnya endapan diukur dengan alat pengukur yang dinyatakan dalam satuan milligram setiap liter air limbah. Hal ini sangat penting untuk mengetahui derajat pengendapan dan jumlah endapan yang ada di dalam suatu badan air. Jumlah total endapan dapat dideteksi dengan penyaringan terhadap air kotor melalui kertas fiber atau saringan 0,45 mikron dan mengukur berat kering dari material yang terkumpul dalam satuan mg/l. Apabila contoh yang diambil berasal dari reaktor aktif air limbah, maka endapan tersebut dikenal sebagai MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*). Hasil endapan ini bila dipanaskan pada suhu 600 °C, maka sebagian bahan akan menguap dan sebagian lagi akan berupa bahan sisa yang sangat kering. Beberapa bahan organik akan dibusukkan di dalam air, ammonia, CO<sub>2</sub>, karbonat dan bahan lainnya adalah komponen dari bahan yang kering tersebut. Adapun bahan yang teruapkan dikenal sebagai *volatile*, sedangkan benda yang tersisa akibat penguapan disebut *fixed*.

**Tabel 2.1 Sifat Fisik dari Air Limbah**

Sifat - sifat	Penyebab	Pengaruh
Suhu	Kondisi udara sekitarnya, air panas yang dibuang ke saluran dari rumah maupun dari industri	Mempengaruhi kehidupan biologis kelarutan oksigen/gas lain. Juga kerapatan air, daya viskositas dan tekanan permukaan.
Kekeruhan	Benda-benda tercampur seperti limbah padat, garam tanah liat, bahan organik yang halus dari buah-buahan asli, algae, organisme kecil.	Memantulkan sinar, jadi mengurangi produksi oksigen yang dihasilkan tanaman. Mengotori pemandangan dan mengganggu kehidupan.
Warna	Benda terlarut seperti sisa bahan organik dari daun dan tanaman (kulit, gula, besi), buangan industri.	Umumnya tidak berbahaya dan berpengaruh terhadap kualitas keindahan air.
Bau	Bahan volatil, gas terlarut, selalu hasil pembusukan bahan organik, minyak utama dari mikroorganisme.	Petunjuk adanya pembusukan air limbah, untuk itu perlu adanya pengolahan, merusak keindahan.
Rasa	Bahan penghasil bau, benda terlarut dan beberapa ion	Mempengaruhi kualitas keindahan air.
Benda padat	Benda organik dan anorganik yang terlarut ataupun tercampur	Mempengaruhi jumlah organik padat, garam, juga merupakan petunjuk pencemaran atau kepekatan limbah meningkat.

Sumber : Soegiharto,1987

#### 2.4.2. Sifat kimia Air Limbah

Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam air limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada penyediaan air bersih. Selain itu, akan lebih berbahaya apabila bahan tersebut merupakan bahan yang beracun. Adapun bahan kimia yang penting yang di dalam air limbah pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

##### 1. Bahan Organik

Air limbah dengan pengotoran yang sedang, maka sekitar 75 % dari benda-benda tercampur dan 40 % dapat disaring adalah berupa bahan organik alami. Zat padat tersebut adalah bagian dari kelompok binatang dan tumbuh-tumbuhan serta hasil kegiatan manusia yang berhubungan dengan komponen bahan organik tiruan. Pada umumnya zat organik berisikan kombinasi dari karbon, hidrogen, dan oksigen bersama-sama dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting yaitu belerang, fosfor, dan besi bisa juga dijumpai. Pada umumnya kandungan bahan organik yang dijumpai dalam air limbah berisikan 40-60 % adalah protein, 25 – 50 % berupa karbohidrat serta 10 % lainnya berupa lemak atau minyak.

Semakin lama jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengelolaan air limbah sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Agar bisa mengolah zat tersebut perlu adanya tambahan biaya untuk membubuhkan bahan kimia seperti penyerap karbon untuk mengolah air limbah secara lengkap.

##### 2. Protein

Protein adalah kandungan utama dari makhluk hidup, termasuk juga di dalamnya tanaman dan binatang bersel satu. Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau karena adanya proses pembusukan dan penguraiannya. Bakteri akan menggunakan oksigen untuk pembusukannya. Untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan benda organik di dalam air limbah digunakan satuan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Semakin besar angka BOD ini menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah adalah semakin besar.

### 3. Lemak, Minyak dan Gemuk

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak didapatkan di dalam air limbah. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah diuraikan.

### 4. Deterjen

Deterjen adalah golongan dari molekul organik yang merupakan penyebab masalah busa karena tahan terhadap penguraian proses biologis. Penghasil utama dari bahan ini adalah air limbah yang berasal dari rumah tangga dan pemukiman.

### 5. Fenol

Fenol merupakan penyebab timbulnya rasa yang ada di dalam air minum terutama apabila air tersebut dilakukan klorinasi.

### 6. Bahan Anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami adalah sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air minum.

### 7. pH

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air sari air alami maupun air limbah. Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses biologis, sehingga mengganggu proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah adalah netral ( 7 ). Semakin kecil nilai pH-nya maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam.

### 8. Sulfur

Sulfur alami terjadi secara alami pada banyak penyediaan air dan juga pada air limbah. Belerang diperlukan pada pembentukan protein tiruan dan akan dibebaskan pada pemecahannya. Sulfat dapat diubah menjadi sulfid dan hidrogen sulfid ( $H_2S$ ) oleh bakteri pada situasi tanpa udara (*anaerob*)

### 9. Zat Beracun

Oleh karena derajat keracunannya inilah, maka zat ini penting pada pengolahan dan pembuangan air limbah. Tembaga, timbal, perak, dan krom serta arsen dan boron adalah zat yang sangat beracun terhadap mikroorganisme. Oleh karena itu, benda ini perlu diperhitungkan pada bangunan pengolahan secara biologis. Beberapa zat dan ion

yang beracun seperti sianida (CN) dan kromat (Cr) juga terdapat dalam air limbah. Zat-zat ini biasanya terdapat pada industri pelapisan logam dan akan bisa dihilangkan melalui pengolahan pendahuluan sebelum dibuang ke saluran air limbah.

#### 10. Logam Berat

Menentukan jumlah dari beberapa logam berat seperti nikel (Ni), Magnesium (Mg), Timbal (Pb), Kromium (Cr), Kadmium (Cd), Zeng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan air raksa (Hg) adalah kandungan yang juga penting. Beberapa jenis logam biasanya digunakan untuk pertumbuhan kehidupan biologis, misalnya pada pertumbuhan algae apabila tidak ada logam pertumbuhannya akan terhambat. Akan tetapi, apabila jumlahnya berlebihan akan mempengaruhi kegunaannya karena timbulnya daya racun yang dimiliki. Oleh karena itu, keberadaan zat ini perlu diawasi jumlahnya di dalam air.

#### 11. Metan

Prinsip terjadinya gas metan adalah akibat penguraian zat organik yang dalam kondisi tanpa udara (anaerob) pada limbah tersebut. Adapun sifat penting dari gas ini adalah tidak berbau, tidak berwarna, dan sangat mudah terbakar. Pada umumnya, dalam jumlah yang banyak tidak akan ditemukan di dalam pembuangan air limbah, karena zat ini dalam jumlah yang sangat kecil sudah sangat beracun. Gas ini dihasilkan oleh lumpur yang membusuk pada dasar bak, sehingga kondisi tanpa udara dapat terjadi. Karena sifat gas metan yang sangat beracun dan mudah terbakar ini, maka gas ini sangat berbahaya bagi manusia yang akan melakukan pemeriksaan terhadap air limbah di dalam saluran melalui lubang pemeriksaan (*manhole*). Oleh karena itu, perlu dibuatkan lubang ventilasi bagi setiap lubang pemeriksaan tersebut untuk mengeluarkan gas ini dari dalam saluran. Dengan demikian tidak akan membahayakan bagi petugas apabila mereka akan melakukan perbaikan, pemeriksaan atau penggantian.

#### 12. Nitrogen

Secara bersama-sama antara nitrogen dan fosfor memberikan kenaikan yang perlu diperhatikan sebab bahan ini meningkatkan pertumbuhan algae dan tumbuhan air.

#### 13. Fosfor

Fosfor ada di dalam air limbah melalui hasil buangan manusia, air seni, dan melalui komponen fosfat dapat digunakan untuk membuat sabun sebagai pembentuk buih.

#### 14. Gas

Banyak gas-gas terdapat di dalam air, oksigen ( $O_2$ ) adalah gas yang penting. Oksigen terlarut selalu diperlukan untuk pernafasan mikroorganisme aerob dan kehidupan lainnya.

#### 2.4.3. Sifat Biologis Air Limbah

Pemeriksaan biologis di dalam air dan air limbah untuk memisahkan apakah ada bakteri-bakteri patogen berada di dalam air limbah. Keterangan biologis ini diperlukan untuk mengukur kualitas air terutama bagi air yang digunakan sebagai air minum.

Selain itu untuk menaksir tingkat kekotoran air limbah sebelum di buang ke badan air.

#### 2.5. Proses-proses Pencemaran di dalam Air

Di dalam air terdapat kehidupan, sehingga air berisi banyak bahan organik yang berasal dari penghuninya, tetapi juga dapat berasal dari tempat-tempat lain karena terbawa oleh air selokan. Air selokan yang datang dari kota dan desa pada umumnya kaya akan bahan organik yang mengandung karbohidrat, protein, lemak, dan senyawa lain-lain, yang merupakan nutrisi atau bahan makanan bagi banyak organisme air. Adanya bahan-bahan tersebut pada satu sisi menguntungkan pertumbuhan suatu organisme, tetapi karena dalam pemanfaatan bahan tersebut terjadi proses-proses kimia tertentu yang menghabiskan salah satu bahan esensial, atau menghilangkan senyawa baru yang mengganggu, maka nutrisi dalam air tersebut pada sisi lain menyebabkan pencemaran lingkungan air. Di dalam air berlangsung proses – proses reaksi penting

- a) Proses fotosintesis yang berlangsung di dalam air membawa perbaikan lingkungan, karena dalam sintesa tersebut timbul gas oksigen sehingga dapat memperkaya kandungan oksigen dalam air tersebut.
- b) Aerobiosa (*aerobiosis*) ialah proses dekomposisi bahan oleh bakteri dalam keadaan ada udara (oksigen). Dalam proses ini terdapat urutan reaksi yang tidak sederhana seperti pada pembakaran biasa. Kalau hanya dilihat proses globalnya, karbohidrat atau gula yang terdapat di dalam air mengalami aerobiosa dengan persenyawaan sebagai berikut :



d) Proses eutrofikasi (*eutrophication*) terjadi pada danau atau perairan lainnya yang menjadi mati atau tidak berfungsi lagi bagi kehidupan di dalam air, sebagai akibat terlalu banyak makanan yang masuk ke dalam perairan. Apabila perairan cukup nutrisi, maka tumbuhan air mudah berkembang biak, misalnya enceng gondok atau ganggang. Kadang-kadang sebuah danau tertutup sama sekali dengan tumbuhan, seolah-olah bukan perairan lagi, atau nampak berselimut hijau oleh ganggang.

Makin banyak nutrisi di dalam air makin banyak tumbuhan terbentuk dan tumbuhan yang mati akan menjadi konsumsi bagi bakteri. Karena dekomposisi oleh bakteri terambil oksigen dari dalam air, maka air danau kekurangan oksigen sehingga tidak dapat dihuni lagi oleh sebangsa ikan dan hewan-hewan lainnya. Tindakan manusia sering mempercepat proses eutrofikasi, yang secara alam proses tersebut berlangsung ratusan atau ribuan tahun. Pada waktu ini banyak dilakukan pemupukan, dan sebgai pupuk masuk kedalam air selokan atau irigasi yang kemudian masuk ke danau memperkaya nutrisi air danau. Dan ini merangsang berkembangnya tumbuhan air, mempercepat habisnya oksigen di dalam air oleh proses aerobiosa.

Juga penggunaan detergen modern mempercepat proses eutrofikasi. Detergen (*detergent*) yang lama disebut sabun, dibuat dari lemak dan soda ( $Na_2CO_3$  atau  $K_2CO_3$ ) sebagai bahan baku. Kotoran yang melekat pada tubuh atau pakaian yang mengandung minyak atau lemak tidak akan mudah hilang dengan air, karena minyak tidak larut dalam air. Sabun terdiri dari suatu persenyawaan yang molekulnya mempunyai sifat dapat menarik molekul air dan molekul minyak, sehingga dapat larut dalam air dan dalam minyak, sehingga dapat pula melarutkan dan melepaskan kotoran-kotoran. Proses ini disebut detergensi. Tetapi sabun tidak berfungsi baik didalam air sadah, sehingga orang membuat detergen modern, yang biasa disebut detergen, yang juga berfungsi baik di dalam air cuci sadah. Sabun biasa tidak menyebabkan eutrofikasi karena sabun tidak merupakan nutrisi bagi tumbuhan. Sabun memang nutrisi untuk bakteri dan sudah habis dimakan bakteri di selokan, sehingga tidak sampai ke danau. Sebaiknya detergen merupakan nutrisi tumbuhan, karena mengandung fosfor sehingga mempercepat eutrofikasi di perairan.

## 2.6. Bahan-bahan Pencemar dari Kota

Kota merupakan tempat pemukiman manusia yang padat dan pusat aktifitas kehidupan. Makin banyak kegiatan kota, makin banyak bahan bangunan yang harus disingkirkan, dan makin sulit mendapatkan lokasi penempatannya. Pada umumnya bahan tersebut sampai di perairan, selokan, ataupun sungai, karena secara tradisional perairan selalu merupakan tempat pembuangan sampah, disamping sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air. Karena makin banyaknya bahan buangan yang masuk ke perairan, akhirnya air tidak lagi dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga, karena sudah tercemar. Sesungguhnya bahan buangan tersebut dapat dimusnahkan dengan dibakar, tetapi untuk itu diperlukan juga biaya dan juga menimbulkan pencemaran lain, pencemaran udara, karena barang-barang yang dibakar mengandung aneka ragam zat yang dapat menimbulkan peracunan udara disamping asapnya yang sangat mengganggu pemandangan dan penciuman. Bahan buangan terdiri dari dua macam, yaitu :

- a) Sampah yang dapat dihancurkan organisme pada umumnya terdiri dari bahan organik atau sisa-sisa pengolahan bahan organik, misalnya kotoran manusia dan hewan, daun dan kayu, buah-buahan, bangkai, kertas, buangan dari kertas, dari pabrik bahan makanan, dan sebagainya. Senyawa organik akan dihancurkan bakteri meskipun prosesnya lambat, dan sering dibarengi dengan keluarnya bau yang tidak menyenangkan, dan rasa air tidak menarik. Untuk menjaga supaya buangan tidak menjadi sarang penyakit, sering di beri klor sebagai desinfektan air yang akan dipakai, tetapi akibatnya klor bereaksi dengan senyawa-senyawa organik dari buangan tersebut yang membentuk senyawa organik berklor dengan bau dan rasa lebih buruk dari bahan buangan semula. Di sisi lain buangan organik merupakan nutrien bagi tumbuhan air yang mengakibatkan cepatnya eutrofikasi perairan. Jadi meskipun bahan buangan itu akhirnya lenyap dengan sendirinya, dalam proses penghancurannya menimbulkan gangguan-gangguan pula kepada lingkungan.
- b) Sampah yang terdiri dari senyawa-senyawa sintetik, misalnya bahan-bahan plastik, serat-serat sintetik, pestisida hidrokarbon berklor seperti DDT dan sebangsanya, minyak bumi, senyawa-senyawa logam dan senyawa-senyawa lainnya yang dihasilkan industri modern yang setiap saat bertambah banyak macamnya. Senyawa-senyawa tersebut akhirnya juga dihancurkan oleh alam, tetapi memerlukan waktu yang sangat lama

sehingga sangat mempengaruhi pemanfaatan dari efektifitas air dan lingkungan. Apalagi apabila bersifat racun atau merusak. Karena senyawa-senyawa tersebut tidak lekas hancur, maka mudah menumpuk dalam tubuh organisme, sehingga kadar dalam tubuh makin bertambah besar dan akhirnya bersifat racun yang mematikan. Dan karena tertinggal didalam tubuh organisme, dapat meracuni seluruh rantai makanan di dalam ekosistem dengan cara beranting dari organisme satu ke organisme lainnya yang memangsanya, yang akhirnya sampai ke manusia juga.

## **2.7. Pengaruh Tanaman Air dalam Mengurangi Kandungan Zat Pencemar dalam Air Limbah**

Pencemaran di perairan terbuka oleh limbah industri dan rumah tangga merupakan masalah yang serius. Berbagai bentuk zat pencemar, baik yang bersifat fisik (Lumpur), bahan organik maupun berupa senyawa kimia termasuk yang beracun, seperti logam berat perlu segera dibatasi sebelum terjadi akumulasi yang membahayakan pada perairan di negara kita.

Salah satu langkah konkret dan mudah dilaksanakan untuk menangani pencemaran perairan adalah melalui sistem biologis dengan jalan menggunakan tanaman air. Dimana diharapkan tanaman tersebut dapat menyerap zat-zat pencemar terutama dari limbah industri dan limbah rumah tangga, sehingga dapat menjernihkan air limbah.

Seperti halnya pada pencemaran udara orang dapat melakukan tindakan preventif dengan mengusahakan supaya bahan buangan kota jangan sampai mencemari air, caranya ialah dengan pengelolaan bahan buangan sehingga sesedikit mungkin menghasilkan zat-zat yang menyebabkan pencemaran lingkungan.

Cara yang paling mudah untuk menghilangkan bahan buangan rumah tangga ialah membuang begitu saja ke perairan-perairan yang terdekat seperti sekarang banyak dilakukan di negara kita, tanpa mengingat bahwa tindakan tersebut akan mencemari lingkungan. Cara yang lebih baik dengan membuang bahan buangan ke tempat-tempat khusus, tempat pembuangan sampah, atau ditanam dalam-dalam di bawah tanah, supaya secara semi-natural lambat laun akan dihancurkan oleh organisme dan alam. Akan tetapi cara ini dapat pula menyebabkan pencemaran air tanah. Dan juga dengan makin banyaknya sampah buangan, sulit sekali mendapatkan lokasi yang tepat dan cukup luas di dalam atau

di dekat kota tanpa menimbulkan gangguan lingkungan hidup dari pencemaran udara dan air.

Oleh karena itu tindakan ini belum mencukupi persyaratan untuk mencegah pencemaran, dan harus dilakukan tindakan lain yang dapat menghilangkan bahan buangan dengan mengubahnya menjadi bahan-bahan lain yang bermanfaat atau paling tidak yang tidak mengakibatkan pencemaran.

Di negara-negara yang lebih memperhatikan akan pencemaran lingkungan, karena mereka sudah mengalami akibat-akibat buruknya, air buangan rumah tangga yang mengandung berbagai bahan pencemar. Air yang tercemar ini dapat dibersihkan secara biologi dengan memberi tanaman air, sehingga senyawa-senyawa yang berbahaya terambil dari air. Untuk menguji kebersihan air dari zat-zat berbahaya, maka dapat ditaburi berbagai jenis ikan yang dapat dijadikan sebagai indikator kebersihan air.

Tanaman air mampu menyerap polutan (penyebab pencemaran) yang terlarut dalam media tumbuh, sehingga kandungannya menurun, kadar polutan dalam tubuh tumbuhan meningkat, sebaliknya dalam media cair menurun, sehingga ion bebas dalam air tersebut akan mampu mengikat oksigen, yang mengakibatkan oksigen terlarut (DO) dalam media cair itu meningkat sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran dalam media cair tersebut. Tanaman air yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

#### 1. Apu – Apu (*Pristia striatiotes*)

Apu-apu adalah tanaman air yang sepiantas sosoknya mirip kol yang mengapung di permukaan air. Nama populernya *water lettuce* atau *shell flower*. Tanaman yang banyak tumbuh di Sungai Nill ini berbunga kuning kecil, tetapi sering tidak terlihat karena terselip diantara daunnya yang lebar dan berjejil. Susunan daunnya membentuk roset atau bertumpuk-tumpuk. Warnanya hijau cerah dengan tekstur tebal berdaging serta berambut halus menyerupai beludru. Setiap roset daun tersebut dihubungkan oleh batang kecil menjalar atau stolon yang mudah dipotong. Ukuran rosetnya tidak terlalu besar, sekitar 10-15 cm sehingga sangat pas jika dipajang ditengah kolam sebagai *cover ground*.

Akarnya yang menyerupai rambut tumbuh menggantung tepat dibawah roset daunnya. Cara perbanyakkan 'kol air' ini sangat gampang, tinggal memotong batang kecilnya yang menjalar (stolon) yang sangat mudah ditumbuhi roset baru. Apungkan potongan tersebut di air, tanaman baru pun akan tumbuh dengan sendirinya. Tanaman apu-apu ini sangat mudah

ditemui, oleh sebab itu tanaman apu-apu ini dipakai dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini sumber cahaya yang dipakai adalah sinar matahari langsung.

## 2. Enceng gondok (*Eichornia Crassipes*)

Enceng gondok adalah tanaman air dengan massa jenis yang ringan karena mempunyai rongga udara pada bagian akar, tangkai dan helai daun. Enceng gondok mempunyai sistem perakaran yang menggantung dan melayang-layang di dalam air, dengan lapisan-lapisan menyerupai labirin merupakan wujud saringan dengan penampang luas. Saringan oleh akar ini bukan hanya menyaring unsur telarut, tetapi juga substrat berupa lumpur dan tanah yang tidak terlarut dengan menyerap dan menahan partikel-partikel yang melayang. Tanaman enceng gondok memiliki keunggulan dalam partikel-partikel yang melayang. Tanaman enceng gondok memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari. Bagian dinding permukaan akar, batang dan daunnya memiliki lapisan yang sangat peka sehingga mampu menyerap sinar matahari serta zat-zat yang terlarut dibawah permukaan air. Walaupun demikian akumulasi zat pencemar di dalam tumbuhan tidak bersifat permanen. Tumbuhan hanya berperan menangkap dan mengakumulasi unsur, baik terlarut maupun tidak pada bagian tumbuhan selama tumbuhan itu masih hidup. Namun setelah tumbuhan itu mati, unsur tersebut dapat terurai dan kembali bebas kealam. Oleh karena itu perlu adanya pemgantian tumbuhan tersebut secara periodik tidak saja untuk mencegah pengendapan pada dasar perairan, tetapi yang lebih penting adalah menyingkirkan polutan-polutan tersebut.

Pada dasarnya terdapat empat tipe tanaman air yang membutuhkan tempat tumbuh yang berbeda sesuai dengan habitat aslinya (Lukito,2002) yaitu :

### 1. Tanaman air oksigen (*Oksigenerator*)

Dalam sebuah akuarium, selain ikan-ikan hias terdapat juga tumbuh-tumbuhan hijau. Bentuk fisik dari kelompok tanaman air ini amat beragam, ada yang seperti pipa berjurai, ada yang mirip daun talas, ada pula yang menyerupai bulu-bulu halus. Adapun tanaman yang air tergolong dalam kelompok ini antara lain *Wallisnerie Spiralis* dan ganggang air. Tanaman air ini dapat berfungsi sebagai tempat berlindung dan penyimpanan telur-telur ikan serta untuk menyerap kandungan garam yang berlebihan sekaligus untuk membersihkan udara yang masuk ke dalam air.

2. Tanaman air mengapung (*Floating Plant*)

Ragam tanaman air ini memang tidak terlalu banyak, yang banyak dikenal masyarakat adalah enceng gondok dan apu-apu. Akar kedua tanaman ini tidak tertanam dalam lumpur di dasar kolam melainkan menggantung ke bawah air.

3. Tanaman Lumpur (*Bog Plant*)

Berbeda dengan tanaman air mengapung, akar tanaman ini malah mengapung di permukaan air. Jadi, untuk menanamnya tidak dibutuhkan media lumpur, cukup letakkan begitu saja di permukaan air. Tanaman tipe inilah yang banyak ditawarkan di pasar bunga. Dalam kelompok tanamn ini jenis tanaman yang berbunga pontederia, sagitaria, **water poppy** dan melati air. Untuk tanaman yang berdaun misalnya giant arum, papitus dan ilalang air. Semua tanaman air ini tumbuh dari media lumpur yang berada di bawah air dan umumnya tumbuh merumpun serta cenderung meninggi

4. Tanaman pinggir (*Marginal Plant*)

Berbeda dengan tanaman lumpur, tipe tanaman ini justru tumbuh di genangan air atau ditempat yang tanahnya selalu basah. Di habitat aslinya, tanaman ini muncul di pinggir-pinggir sungai kecil atau rawa. Termasuk tipe ini adalah bunga iris yang berwarna kuning pucat, ungu muda dan putih.

### 2.7.1. Zat Pencemar dalam Air Limbah

#### 2.7.1.1 Timbal (Pb)

Timbal adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan, dengan rapatan yang tinggi ( $11.48 \text{ g ml}^{-1}$  pada suhu kamar). Timbal mudah melarut dalam asam nitrat yang sedang pekatnya(8M)dan terbentuk juga nitrogen oksida.



Gas Nitrogen (II) oksida yang tak berwarna itu, bila tercampur dengan udara, akan teroksidasi menjadi nitrogen dioksida yang merah:



Dengan asam nitrat yang pekat, terbentuk lapisan pelindung yang berupa timbal nitrat pada permukaan logam, yang mencegah pelarutan lebih lanjut. Asam klorida encer atau asam sulfat encer mempunyai pengaruh yang hanya sedikit, karena terbentuknya timbal klorida atau timbal sulfat yang tak larut pada permukaan timbal itu.

### 2.7.1.1.1. Reaksi-reaksi pada ion Timbal (II)

Larutan timbal nitrat (0.25 M) atau timbal asetat (0.25 M) dapat dipakai untuk mempelajari reaksi-reaksi ini

1. Asam klorida encer (atau klorida yang larut) : endapan putih dalam larutan yang dingin dan tidak terlalu encer.



Endapan larut dalam air panas (33.4 g l<sup>-1</sup> pada 100°C, sedang hanya 9.9 g l<sup>-1</sup> pada 20°C), tetapi memisah lagi sebagai kristal-kristal yang panjang seperti jarum setengah dingin.

Ia juga larut dalam asam klorida pekat atau kalium klorida pekat, pada mana terbentuk ion tetrakloroplumbat(II):



Jika endapan dicuci dengan cara dekantasi, dan amonia encer ditambahkan, tak terjadi perubahan yang nampak (perbedaan dari ion merkuri(I) atau ion perak), meskipun da terjadi reaksi pertukaran-endapan, dan terbentuk timbel hidroksida:



2. Hidrogen sulfida dalam suasana netral atau asam encer: endapan hitam asam sulfida:



Pengendapan tidak sempurna, jika ada asam mineral kuat dengan konsentrasi lebih dari 2M. Karena terbentuk ion hidrogen dalam reaksi di atas, campuran sebaiknya dibufferkan dengan natrium asetat.

Dengan mengalirkan gas hidrogen sulfida ke dalam campuran yang mengandung endapan timbal klorida putih, yang terakhir ini akan diubah menjadi timbel sulfida (hitam) dengan reaksi pertukaran endapan:



Jika uji ini dilakukan dengan adanya klorida [kalium klorida(jenuh)] dalam jumlah yang banyak, mula-mula terbentuk endapan merah timbel sulfoklorida, bila gas hidrogen sulfida dialirkan kedalam larutan:

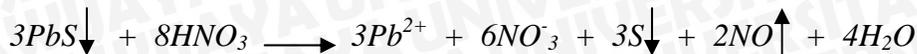


Tetapi ini terurai setelah diencerkan (a), atau setelah ditambahkan *hydrogen sulfide* lebih lanjut (b), dan terbentuk endapan timbal sulfida hitam:





Endapan timbel sulfide terurai bila ditambahkan asam nitrat pekat, dan unsur belerang yang berbutir halus dan berwarna putih akan mengendap:



Jika campuran dididihkan, belerang dioksidasikan oleh asam nitrat menjadi sulfat (a), yang berlangsung membentuk endapan timbal sulfat putih (b) dengan ion timbel yang ada di dalam larutan:



Dengan mendidihkan timbel sulfide dengan hidrogen peroksida (3%), endapan hitam ini berubah menjadi putih karena terbentuk timbel sulfida.

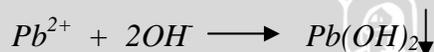


Kelarutan yang sangat kecil dari timbal sulfide dalam air ( $4.9 \times 10^{-11} \text{ g l}^{-1}$ ) menjelaskan mengapa hidrogen sulfida merupakan reagensia yang begitu peka untuk mendeteksi timbal, dan mengapa timbal dapat dideteksi dalam filtrate yang berasal dari pemisahan timbal klorida yang hanya sedikit sekali larut dalam asam klorida encer itu.

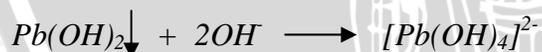
3. *Larutan ammonia*: endapan putih timbal hidroksida



4. *Natrium hidroksida* : endapan putih timbal hidroksida:



Endapan larut dalam reagensia berlebihan, pada mana terbentuk ion tetrahidroksoplumbat(II):

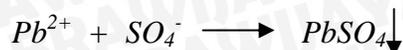


Jadi, timbel hidroksida mempunyai sifat amfoter.

Hidrogen peroksida (a) atau amonium peroksidasulfat (b), bila ditambahkan pada larutan tetrahidroksoplumbat(II), membentuk endapan hitam timbal dioksida dengan mengoksidasikan timbel bivalen menjadi bervalensi empat:



5. *Asam sulfat encer (sulfat-sulfat yang larut)* : endapan putih, timbal sulfat:



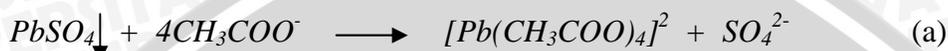
Endapan ini tak larut dalam reagensia yang berlebihan. Asam sulfat yang panas, pekat, melarutkan endapan karena terbentuk timbel hidrogen sulfat:



Kelarutan menjadi jauh lebih rendah dengan adanya etanol.

Endapan timbel sulfat larut dalam larutan amonium asetat yang agak pekat (10M)

(a) atau ammonium tartrat yang agak pekat (6M) (b) dengan adanya amonia, pada mana akan terbentuk ion-ion tetraasetatoplumbat(II) dan ditartratoplumbat(II):



Kestabilan kompleks-kompleks ini tak terlalu besar; ion kromat, misalnya; dapat mengendapkan timbal kromat dari larutan kompleks-kompleks tersebut.

Bila dididihkan dengan natrium karbonat, timbal sulfat diubah menjadi timbal karbonat dalam suatu reaksi pertukaran endapan:



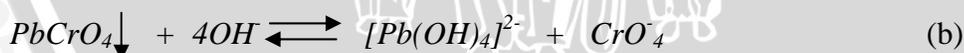
Dengan mencuci endapan secara dekantasi dengan air panas, ion-ion sulfat dapat dihilangkan, dan endapan akan larut dalam asam nitrat encer.



6. Kalium kromat dalam larutan netral, asam asetat atau amonia: endapan kuning, timbal kromat



Asam nitrat (a) atau natrium hidroksida (b) melarutkan endapan:



Kedua reaksi reversibel; dengan membufferkan larutan, masing-masing dengan amonia dan asam asetat, timbal kromat mengendap lagi.

7. Kalium Sianida (*Racun*): endapan putih timbal sianida



yang tak larut dalam reagensia berlebihan. Reaksi ini dapat dipakai untuk membedakan ion timbel (II) dari merkuri (I) dan perak (I), yang bereaksi secara berlainan.

### 2.7.1.1.2. Kegunaan Timbal (Pb)

- 1) Sebagai baterai, aditif bensin, lapisan kabel, amunisi, pipa, tangki, campuran pateri dan leburan.
- 2) Sebagai penguapan vibrasi dalam konstruksi berat, foil, babbitt.

### 2.7.1.1.3. Kerugian Timbal (Pb) bagi kesehatan

- 1) Logam Timbal bisa bersifat toksik karena menghirup debu dan uap.
- 2) Menyebabkan kerusakan otak dan ginjal dalam jangka panjang.
- 3) Menyebabkan cacat bawaan.

### 2.7.1.2. Seng (Zn)

Seng adalah logam yang putih-kebiruan; logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada suhu 110-150<sup>0</sup>C. Seng melebur pada 410<sup>0</sup>C dan mendidih pada 906<sup>0</sup>C.

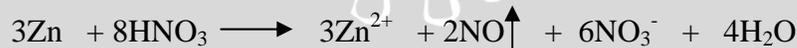
Logamnya yang murni, melarut lambat sekali dalam asam dan dalam alkali; adanya zat-zat pencemar atau kontak dengan platinum atau tembaga, yang dihasilkan oleh penambahan beberapa tetes larutan garam dari logam-logam ini, mempercepat reaksi. Ini menjelaskan larutnya seng-seng komersial. Yang terakhir ini dengan mudah larut dalam asam klorida encer dan asam sulfat encer dengan mengeluarkan hidrogen:



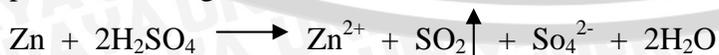
Pelarutan akan terjadi dalam asam nitrat yang encer sekali, pada mana tak ada gas yang dilepaskan:



Dengan bertambah pekatnya konsentrasi asam nitrat, akan terbentuk dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), nitrogen oksida (NO):



Asam nitrat pekat mempunyai pengaruh yang kecil terhadap seng, karena rendahnya kelarutan zink nitrat dalam suasana demikian. Dengan asam sulfat pekat, panas, dilepaskan belerang oksida:



Seng juga larut dalam hidroksida alkali, pada mana terbentuk tetrahidrok-sozinkat (II):



Seng membentuk hanya satu seri garam; garam-garam ini mengandung kation seng(II), yang diturunkan dari seng oksida, ZnO.

### 2.7.1.2.1. Reaksi-reaksi dari ion Seng

Larutan seng sulfat,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.25M bisa dipakai untuk mempelajari reaksi-reaksi ini.

1. *Larutan natrium hidroksida*; endapan seperti gelatin yang putih, yaitu seng hidroksida



Endapan larut dalam asam:



Dan juga dalam reagensia yang berlebihan:



Jadi, seng hidroksida adalah senyawa yang bersifat amfoter.

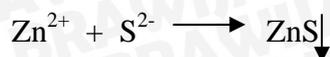
2. *Larutan amonia*

Endapan putih seng hidroksida, yang mudah larut dalam reagensia berlebihan dan dalam larutan garam amonium, karena menghasilkan tetraaminazinkat (II). Tidak diendapkannya seng hidroksida oleh larutan amonia jika ada amonium klorida, disebabkan oleh menurunnya konsentrasi ion-hidroksil sampai nilai sedemikian sehingga hasil kali kelutran  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  tak tercapai.



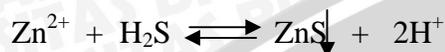
3. *Larutan amonia sulfida*

Endapan seng putih sulfida,  $\text{ZnS}$ , dari larutan netral dan basa: endapan tak larut dalam reagensia berlebihan, dalam asam asetat dan dalam larutan basa alkali, tetapi larut dalam asam-asam mineral encer. Endapan yang diperoleh dengan cara ini bersifat koloid sebagian: endapan ini sukar dicuci dan cenderung untuk mengalir menembus kertas saring, terutama sewaktu dicuci. Untuk mendapatkan seng sulfida dalam bentuk yang bisa disaring dengan mudah, pengendapan sebaiknya dilangsungkan dalam larutan mendidih dengan diberi aminium klorida berlebihan, lalu endapan dicuci dengan larutan amonium klorida encer yang mengandung sedikit amonium sulfida.

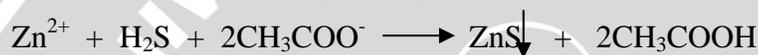


#### 4. *Hodrogen sulfida:*

Pengendapan persial seng sulfida dalam larutan netral; bila konsentrasi asam yang dihasilkan adalah kira-kira 0.3M (pH kira-kira 0.6), maka konsentrasi ion-sulfida yang berasal dari hidrogen sulfida diturunkan begitu banyak oleh konsentrasi ion-hidogen dari asam, sehingga menjadi terlalu rendah untuk melampaui hasil kali kelarutan ZnS. Akibatnya, pengendapan berhenti.



Dengan menambahkan asetat alkali kepada larutan, konsentrasi ion-hidrogen akan berkurang, karena terbentuknya asam asetat yang berdisosiasi lemah. Berkurangnya konsentrasi ion hidrogen mengakibatkan konsentrasi ion sulfida bertambah sehingga pengendapan menjadi hampir sempurna.



Zink sulfida juga diendapkan dari larutan-larutan tetrahidroksozinkat yang basa:



##### 2.7.1.2.2. Kegunaan ion Seng (Zn)

1. Sebagai lapisan atap rumah(seng)
2. Sebagai lapisan campuran bahan tahan panas.

##### 2.7.1.2.3. Kerugian ion Seng (Zn) bagi kesehatan

1. Bisa sangat beracun lewat serapan kulit dan menghirup asap atau uapnya.
2. Dalam jangka panjang bisa sebagai racun untuk sistem syaraf sentral.
3. Bisa menyebabkan cacat bawaan.

##### 2.7.1.3. Besi (Fe)

Besi yang murni adalah logam berwarna putih perak, yang kukuh dan liat. Ia melebur pada 1535<sup>0</sup>C. Jarang terdapat besi komersil yang murni, biasanya besi mengandung sejumlah kecil karbida, silisida, fosfida, dan sulfida dari besi, serta sedikit grafit. Zat-zat pencemar ini memainkan peranan penting dalam kekuatan struktur besi. Besi dapat dimagnetkan. Asam klorida encer atau pekat dan asam sulfat encer melarutkan besi, pada mana dihasilkan garam-garam besi (II) dan gas hidrogen.



Asam sulfat pekat yang panas, menghasilkan ion-ion besi (III) dan belerang dioksida:



Dengan asam nitrat encer dingin, terbentuk ion besi (II) dan amonia;



Asam nitrat pekat, dingin, membuat besi menjadi pasif, dalam keadaan ini, ia tak bereaksi dengan asam nitrat encer dan tak pula mendesak tembaga dari larutan air suatu garam tembaga. Asam nitrat 1 + 1 atau asam nitrat pekat yang panas melarutkan besi dengan membentuk gas nitrogen oksida dan dari ion besi (III):



Besi membentuk dua deret garam yang penting.

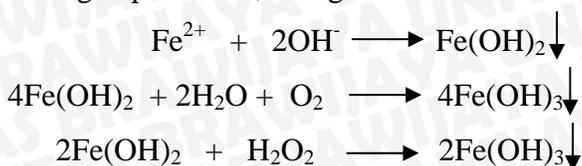
Garam-garam besi (II) (atau fero) diturunkan dari besi(II) oksida, FeO. Dalam larutan, garam-garam ini mengandung kation  $\text{Fe}^{2+}$  dan berwarna sedikit hijau. Ion-ion gabungan dan kompleks-kompleks seperti yang berwarna tua adalah juga umum. Ion besi (II). Maka larutan besi (II) harus sedikit asam bila ingin disimpan untuk waktu yang agak lama.

Garam-garam besi (III) (atau ferit) diturunkan dari oksida besi (III),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Mereka lebih stabil daripada garam besi(II). Dalam larutannya, terdapat kation-kation  $\text{Fe}^{3+}$  yang berwarna kuning muda; jika larutan mengandung klorida, warna menjadi semakin kuat. Zat-zat pereduksi mengubah ion besi(III) menjadi besi(II).

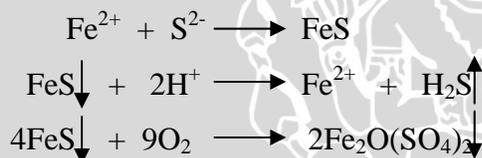
#### 2.7.1.3.1. Reaksi-reaksi ion besi (Fe).

Pakailah larutan 0.5M besi(II) sulfat,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  atau besi(II) amonium sulfat (garam Mohr:  $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), yang baru saja dibuat yang diasamkan dengan 50 ml  $\text{MH}_2\text{SO}_4$  per liter, untuk mempelajari reaksi-reaksi ini.

1. *Larutan natrium hidroksida*: endapan putih besi(II) hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , bila tak terdapat udara sama sekali. Endapan ini tak larut dalam reagensia berlebihan, tetapi larut dalam asam. Bila terkena udara, besi(II) hidroksida dengan cepat dioksidasi, yang pada akhirnya menghasilkan besi(III) hidroksida yang coklat-kemerahan. Pada kondisi biasa,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  nampak sebagai endapan hijau kotor; dengan penambahan hidrogen peroksida, ia segera dioksidasi menjadi besi(III) hidroksida:



2. *Larutan amonia*; terjadi pengendapan besi(II) hidroksida. Tetapi, jika ada ion amonium dalam jumlah yang lebih banyak, disosiasi amonium hidroksida tertekan dan konsentrasi ion hidroksil menjadi semakin rendah, sampai sedemikian, sehingga hasil kali kelarutan besi(II) hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  tak tercapai, dan pengendapan tak terjadi. Keterangan-keterangan yang serupa juga berlaku untuk unsur-unsur divalen lainnya dari golongan III, nikel, kobalt, zink dan mangan dan juga magnesium.
3. *Hidrogen sulfida*; tak terjadi pengendapan dalam larutan asam, karena konsentrasi ion sulfida,  $[\text{S}^{2-}]$ , tak cukup untuk melampaui hasil kali kelarutan besi(II) sulfida. Jika konsentrasi ion hidrogen jadi berkurang dan konsentrasi ion sulfida bertambah dengan sesuai dengan penambahan larutan natrium asetat, maka terjadi pengendapan sebagian besi(II) sulfida,  $\text{FeS}$ , yang hitam.
4. *Larutan amonium sulfida*: endapan hitam besi(II) sulfida,  $\text{FeS}$ , yang larut dengan mudah dalam asam, dengan melepaskan hidrogen sulfida. Endapan yang basah, akan menjadi coklat setelah terkena udara, karena dioksidasikan menjadi besi(III) sulfat basa,  $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2$



5. Larutan *kalium sianida* (racun): endapan coklat kekuningan, besi(II) sianida, yang larut dalam reagensia berlebihan. Pada mana kita memperoleh larutan kuning muda dari ion heksasianoferat(II) (ferosianida)  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$



Karena ion heksasianoferat(II) adalah ion kompleks, tidak memberi reaksi-reaksi besi yang khas. Besi yang ada dalam larutan demikian, bisa dideteksi dengan menguraikan ion kompleks itu mendidihkan larutan dengan asam sulfat pekat dalam kamar asam yang mempunyai ventilasi yang baik, pada mana terbentuk gas karbon monoksida (bersama-sama dengan hidrogen sianida, jika kalium sianida terdapat berlebihan):



Cuplikan kering yang mengandung alkali heksasianoferat(II), terurai sewaktu dipijarkan menjadi besi karbida, alkali sianida, dan nitrogen. Dengan melarutkan residu dalam asam,

besi dapat dideteksi dalam larutan ini (semua pengerjaan-pengerjaan ini harus dilakukan dalam kamar asam).

#### **2.7.1.3.2. Kegunaan ion Besi (Fe)**

1. Sebagai bahan pembuatan alat-alat berat.
2. Sebagai lapisan pelindung untuk asesoris mobil dan perlengkapan.
3. Sebagai bahan pembuat tiang listrik, pagar besi, dll

#### **2.7.1.3.3. Kerugian ion Besi (Fe) bagi kesehatan**

1. Dapat mengakibatkan penyakit minamata (merusak jaringan syaraf).
2. Dalam jangka panjang bisa menyebabkan kerusakan kulit dan kerusakan ginjal.

#### **2.7.2. Kontaminan logam dan kation**

Perubahan kondisi lingkungan akibat pembuangan suatu kontaminan, atau perubahan fisik tanah seperti pada pertambangan akan menyebabkan perubahan potensi redoks tanah dan air tanah. Perubahan potensial redoks dengan sendirinya akan memicu perubahan pada kelarutan suatu spesies. Sebagai contoh adalah oksidasi sulfida menjadi sulfat akan menyebabkan sebagian besar logam dalam bentuk sulfat menjadi larut dalam air tanah. Hal yang sama dapat terjadi pada lokasi *landfill*, dimana proses biologis terjadi. Selain adanya perubahan potensial redoks akibat reduksi yang terjadi, terbentuknya asam-asam organik dapat melarutkan logam.

Tabel 2.2. Kontaminan Logam dan Kation

Jenis Kontaminan	Contoh penggunaannya
Alumunium	Campuran logam ( <i>alloy</i> ), industri listrik, bahan bangunan, cat, dan perlengkapan mesin
Antimon	Campuran logam, <i>solder</i> , mesin-mesin untuk temperatur tinggi.
Arsen	Campuran logam, zat warna, insektisida, herbisida, dan racun tikus.
Barium	Campuran logam, pelumas.
Beryllium	Campuran logam untuk teknologi ruang angkasa, reaktor nuklir, bahan aditif untuk bahan bakar nuklir.
Kadmium (Cadmium)	Campuran logam, pelapis ( <i>coating</i> ), bahan untuk baterai, perlengkapan elektrik, cat, fotografi dan fungisida.
Kapur (Calcium)	Campuran logam, pupuk, bahan pereduksi.
Khrom (Chromium)	Campuran logam, lapisan pelindung, cat, penelitian bidang nuklir dan temperatur tinggi.
Kobalt (Cobalt)	Campuran logam, keramik, minumam, cat, gelas/kaca, percetakan, dan <i>elektroplating</i> .
Tembaga (Copper)	Campuran logam, cat, kabel listrik, mesin-mesin, elektroplating, jaringan pipa, dan insektisida.
Besi	Campuran logam, mesin dan bahan konstruksi.
Timbal(Lead,Plumbum)	Campuran logam, baterai, aditif pada bensin, cat, pelindung radiasi.
Lithium	Campuran logam, industri farmasi, baterai, <i>solder</i> , dan propelant.
Magnesium	Campuran logam, baterai, pyroteknik, alat-alat presisi, dan cermin optik.
Mangan	Campuran logam, katalis.
Air Raksa (Mercury)	Campuran logam, industri tambang emas rakyat, perlengkapan elektrik, industri farmasi.
Molydernium	Campuran logam, pigemn, dan pelumas.
Nikel	Campuran logam, <i>elektroplating</i> , keramik, baterai, dan katalis.
Palladinium	Katalis, campuran logam, lapisan pelindung, industri perhiasan ( <i>jewelry</i> ), dan perlengkapan listrik.
Kalium (Potassium)	Campuran logam, katalis, pupuk.
Selenium	Campuran logam, katalis, keramik dan elektronik.
Perak (Silver)	Campuran logam, fotografi, industri kimia, perhiasan, katalis.
Natrium (Sodium)	Industri kimia, katalis, pendingin dan reagen dalam laboratorium kimia.
Titanium	Campuran logam, material, lapisan pelindung.
Seng (Zinc)	Campuran logam, <i>elektroplating</i> , elektronik, otomatis, fungisida, atap.

## 2.8. Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari kata *Phytoremediation* yang berasal dari kata *Phyto*:: tumbuhan dan *Remidiation*: menyembuhkan, sehingga *phytoremediation* adalah menghilangkan, memperbaharui kesalahan atau kekurangan (*Anonimous, 1999*). Dengan kata lain fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar.

Teknologi mengolah limbah dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan pencemar limbah padat atau cair yang akan diolah dan ditanami dengan tanaman tertentu yang terdapat didalam limbah tersebut.

Banyak istilah yang diberikan pada sistem ini sesuai dengan mekanisme yang terjadi pada prosesnya, misalnya:

1. *Fitostabilization* : Polutan distabilkan di dalam oleh pengaruh tanaman.
2. *Fitostimulation* : Akar tanaman menstimulasi penghancuran polutan dengan bantuan bakteri rhizopere.
3. *Fitodegradation* : Tanaman mendegradasi polutan dengan atau tanpa menyimpannya didalam daun, batang, atau akarnya untuk sementara waktu.
4. *Fitovolatilization* : Polutan oleh tanaman diubah menjadi senyawa yang mudah menguap sehingga dapat dilepaskan ke udara.

*Rhizofiltration* : polutan diambil dari air oleh akar tanaman pada sistem hidroponik.

Proses remediasi polutan dari dalam tanah atau air karena jenis tanaman tertentu dapat melepaskan zat *carriers*, yang biasanya berupa senyawa kelat, protein, glukosa, yang berfungsi mengikat zat polutan tertentu kemudian dikumpulkan jaringan tanaman, misalnya pada daun atau akar.

➤ Keunggulan sistem fitoremediasi adalah:

1. Biayanya operasi pemeliharaan murah/rendah.
2. Lapisan tanah bagian atas dapat digunakan kembali.
3. Logam-logam yang diserap oleh tanaman dapat didaur ulang dengan aman.

➤ Kekurangan sistem fitoremediasi adalah:

1. Perlu waktu yang lama dan diperlukan pupuk untuk menjaga kesuburan tanaman.

2. Akar tanaman biasanya pendek sehingga tidak bisa menjangkau bagian tanah yang dalam.

### 2.9. Mutu dan Jumlah Cahaya

Cahaya yang dengan panjang gelombang yang berbeda dapat kita lihat dengan berbagai warna dimana dapat memberikan kebutuhan energi yang berbeda pula pada tanaman. Kuantitas cahaya atau intensitas cahaya ditunjukkan oleh konsentrasi gelombang cahaya. Dapat dinyatakan dengan energi listrik (watt) tiap satuan luas atau dengan footcandle. *Footcandle* adalah intensitas penyinaran berdasarkan kepekaan mata manusia. Intensitas berbagai keadaan cahaya dinyatakan dengan footcandle dapat dilihat pada Tabel 2.2. Reaksi cahaya yang berbeda dari tiap tanaman bervariasi pada kebutuhannya dengan memandang baik intensitas yang diperlukan untuk memulai reaksi maupun efek intensitas cahaya tersebut pada laju reaksi.

**Tabel 2.3**  
**Nilai Intensitas Cahaya untuk Berbagai**  
**Keadaan Cahaya dan Reaksi Cahaya dari Tanaman**

Keadaan cahaya atau reaksi cahaya	Footcandle
Cahaya bintang	0,0001
Cahaya bulan	0,02
Induksi fotoperiodik	0,3
Dalam rumah dekat jendela	100,0
Cuaca berawan	1.000,0
Fotosintesis maksimum (daun satuan)	1.200,0
Cahaya matahari langsung	10.000,0

*Sumber: Buku biologi pertanian*

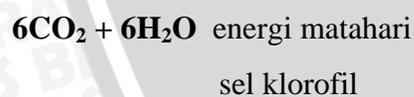
Laju fotosintesis berhubungan dengan ketersediaan bahan mentah, yaitu air dan karbondioksida, dan energi yang tersedia dalam bentuk panas dan cahaya. Syarat-syarat sederhana ini sangat banyak didapat di daerah tropik dan sedang, baik di laut maupun di darat. Laju fotosintesis berbanding lurus dengan intensitas cahaya sampai kira-kira 1.200 footcandle (Hariadi, 1979). Klorofil hanya dapat menggunakan sebagian saja dari energi

cahaya pada hari-hari yang cerah, yang dapat mencapai lebih dari 10.000 *footcandle*. Karena efek naungan, diperlukan jumlah maksimum dari intensitas cahaya untuk memberikan jumlah energi optimum pada semua daun di dalam satu tanaman. Laju fotosintesis sangat berkurang selama cahaya suram, pada waktu langit mendung. Akan tetapi, tidak semua tanaman mempunyai respon terhadap intensitas cahaya yang tinggi. Beberapa memerlukan hanya sepersepuluh dari cahaya matahari penuh. Perbedaan dalam kebutuhan cahaya inilah yang mengakibatkan adanya klarifikasi ke dalam tanaman cahaya terbuka dan tanaman naungan (tanaman lindung). Dalam kebutuhan mutu cahaya reaksi fotosintesis bersifat spesifik. Klorofil menyerap bagian biru dan merah dari spektrum cahaya, membiarkan cahaya hijau lewat. Karenanyalah, klorofil berwarna hijau. Mutu absorpsi dari tanaman tingkat tinggi menunjukkan absorpsi cahaya merah lebih banyak daripada yang biru (*Harjadi, 1979*).

## 2.10. Fotosintesis

Fotosintesis sering didefinisikan sebagai suatu proses dimana terjadi sintesa karbohidrat tertentu dari karbondioksida dan air yang dilakukan oleh sel-sel yang berklorofil dengan adanya cahaya matahari dan dibebaskan gas oksigen. Kehidupan didalam air ditopang oleh proses fotosintesis. Proses fotosintesis ini kadang-kadang dikenal dengan istilah : asimilasi karbon.

Sebagai persamaan total dari proses fotosintesis biasanya ditulis sebagai berikut :



Reaksi ini adalah merupakan reaksi endometris artinya untuk berlangsungnya perlu adanya energi dari luar. Energi ini diperoleh dari cahaya matahari.

Dalam tahun 1905 *Blacman* mempelajari pengaruh dari intensitas cahaya dan temperature terhadap kecepatan fotosintesis akan sesuai dengan intensitas cahaya. Dengan menaikkan intensitas cahaya maka kecepatan fotosintesis akan naik. *Blacman* membagi dua reaksi kimia dalam proses fotosintesis, yaitu :

1. Reaksi fotokimia (reaksi cahaya)
2. Reaksi gelap (reaksi *Blacman*)

Reaksi fotokimia mempunyai sifat-sifat :

- Untuk berlangsungnya reaksi ini perlu adanya energi cahaya matahari.
- Tidak peka terhadap suhu.
- Kecepatan reaksi fotokimia relative lebih besar dari reaksi gelap.

Reaksi gelap mempunyai sifat-sifat :

- Untuk berlangsungnya reaksi ini tidak perlu ada cahaya.
- Peka terhadap suhu.
- Kecepatan reaksinya relative lebih lambat daripada reaksi fotokimia.
- Adalah merupakan reaksi enzimatik.

### **2.10.1. Faktor-faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Fotosintesis**

Proses fotosintesis dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain :

#### **1. Cahaya**

Seperti diketahui cahaya matahari adalah merupakan sumber energi bagi fotosintesis.

Karena itu cahaya matahari mempunyai pengaruh yang besar terhadap fotosintesis ini meliputi 3 hal, yaitu :

##### **a. Intensitas cahaya**

Yang dimaksud dengan intensitas cahaya ialah banyaknya energi cahaya yang diterima per satuan waktu. Intensitas cahaya ini biasanya dinyatakan dengan satuan ergs/cm/detik. Umumnya makin tinggi intensitas cahaya akan makin bertambah besar kecepatan fotosintesisnya sampai suatu faktor (dalam hal ini kadar CO<sub>2</sub>) menjadi faktor pembatas.

##### **b. Lamanya penyinaran**

Pengaruh cahaya terhadap fotosintesis juga dipengaruhi oleh lamanya penyinaran. Semakin tinggi intensitas cahaya maka pengaruh dari lamanya waktu penyinaran juga akan makin besar.

##### **c. Kualitas cahaya**

Pengaruh panjang gelombang pada macam-macam tumbuhan adalah berbeda-beda. Pada tumbuh-tumbuhan tinggi, pada umumnya kecepatan fotosintesis yang maksimum terdapat pada daerah sinar biru dan daerah sinar merah, sedang pada kebanyakan algae kecepatan fotosintesis yang maksimum terdapat pada daerah sinar hijau.

## 2. Pengaruh Temperatur

Temperatur mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis. Sampai pada suatu titik tertentu kecepatan fotosintesis akan meningkat dengan makin meningkatnya suhu. Akan tetapi dengan menaikkan suhu ini, kenaikan kecepatan fotosintesis hanya dapat terlihat pada pengukuran dalam waktu semakin pendek.

## 3. Pengaruh kadar CO<sub>2</sub>

Bagi tumbuh-tumbuhan yang hidup di darat, maka atmosfer adalah satu-satunya sumber CO<sub>2</sub>. Banyak penelitian dilakukan untuk mempelajari pengaruh kadar CO<sub>2</sub> terhadap kecepatan fotosintesis. Dari penelitian-penelitian itu umumnya didapatkan bahwa pada syarat-syarat dalam laboratorium, dimana tidak ada faktor lain yang menjadi faktor pembatas, maka kecepatan fotosintesis akan naik dengan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> dalam udara sampai 0,3 % bahkan sampai 1 %.

## 4. Kadar air

Meskipun air merupakan salah satu bahan baku dalam proses fotosintesis, namun pengaruh dari pengurangan air dalam daun terhadap kecepatan fotosintesis pada umumnya adalah secara tidak langsung. Pengaruh kadar air dalam tanah akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan fotosintesis. Pengurangan dalam kecepatan fotosintesis telah tampak jelas sebelum terjadi kelayuan pada daun-daun. Penggenangan air pada kebanyakan tanaman juga akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan fotosintesis dimana pengurangan kecepatan fotosintesis akan nampak kira-kira 2 sampai 7 hari kemudian setelah penggenangan (Suwasono, 1987). Pengaruh dari pengurangan kadar air dalam daun terhadap kecepatan fotosintesis dapat disebabkan karena hal-hal sebagai berikut :

- a. Berkurangnya kapasitas difusi dari stomata karena stomata menutup. Pengurangan dalam hidrasi dari kloroplas dan bagian-bagian lain dari protoplasma sehingga akan mengurangi efektifitas mekanisme fotosintesis.
- b. Terjadi akumulasi gula sehingga menghambat proses fotosintesis lebih lanjut.

## 5. Pengaruh senyawa-senyawa kimia tertentu

Banyak senyawa-senyawa kimia yang dimana diserap oleh sel-sel tumbuh-tumbuhan akan mempunyai pengaruh mengurangi kecepatan fotosintesis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Biasanya senyawa-senyawa kimia tersebut pengaruhnya menghambat terhadap kecepatan fotosintesis ini antara lain adalah :

- *Hydrocyanin acid*
- *Hydroxylamine*
- *Hydrogen sulfa*
- Senyawa-senyawa tertentu yang mengandung *iodoacetyl* radikal.

Sebagai contoh misalnya *Hydrocyanic acid* akan menghambat fotosintesis *Dargagsan Chlorella* hanya pada kadar  $4 \times 10^{-5}$  M. Senyawa-senyawa tersebut diatas pada umumnya adalah merupakan zat penghambat enzim-enzim fotosintesis. Masing-masing dari enzim tersebut merupakan zat penghambat bagi enzim tertentu. Kecuali zat-zat penghambat seperti tersebut diatas, juga beberapa unsur hara mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis, seperti misalnya unsur-unsur hara N, P, dan K. Hal ini karena unsur-unsur tersebut mempunyai pengaruh terhadap kadar klorofil dalam tumbuh-tumbuhan.

#### 6. Pengaruh kadar oksigen

Kecuali oleh faktor-faktor tersebut di atas, kecepatan fotosintesis juga dipengaruhi oleh kadar oksigen dalam atmosfer. Dalam hal ini pada umumnya makin tinggi kadar oksigen dalam atmosfer. Dalam hal ini pada umumnya makin tinggi kadar oksigen dalam udara akan semakin berkurang kecepatan fotosintesisnya. Pengaruh kadar oksigen ini akan semakin nampak jelas dengan makin tingginya intensitas cahaya. Mengenai bagaimana pengaruh kadar oksigen yang tinggi ini dapat mengurangi kecepatan fotosintesis, hal ini belum diketahui dengan pasti.

### 2.10.2. Faktor-faktor dalam Tumbuhan yang Berpengaruh dalam Fotosintesis

Faktor-faktor dalam umbu-tumbuhan yang mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis antara lain adalah :

#### 1. Kadar klorofil

Menurut Millistatter & Stoll pengaruh dari kadar klorofil terhadap kecepatan fotosintesis ini ditentukan oleh suatu indeks yang disebut : *Photosynthetic number*.

Yang dimaksud *photosynthetic number* adalah banyaknya CO<sub>2</sub> dalam gram yang diserap setiap jamnya oleh tiap klorofil.

## 2. Hidrasi dari protoplasma

Hidrasi dari bagian-bagian protoplasma akan menaikkan efisiensi dari mekanisme fotosintesis.

## 3. Anatomi dari daun

Susunan daun yang mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis ini antara lain adalah :

- Ukuran dan distribusi dari ruang-ruang interseuler dalam daun.
- Perbandingan dan distribusi dari jaringan tiang dan jaringan bunga karang.
- Ukuran, kedudukan serta susunan dari stomata.
- Tebalnya lapisan epidermis dan lapisan kutikula.
- Ukuran, distribusi serta efisiensi dari berkas-berkas pengangkutan dalam daun.

Mengenai pengaruh susunan anatomi daun terhadap kecepatan fotosintesis ini terutama karena pengaruhnya terhadap :

- Kecepatan masuknya  $\text{CO}_2$
- Penetrasi dari intensitas cahaya ke dalam sel-sel daun.
- Pemeliharaan turgor dari sel-sel daun.
- Kecepatan transport karbohidrat yang dapat larut keluar dari sel-sel yang melakukan fotosintesis.

## 4. Faktor dalam protoplasma

Kecuali klorofil dan hidrasi, banyak faktor-faktor dalam protoplasma mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis. Di antara faktor-faktor itu yang paling penting adalah enzim. Jumlah enzim dalam macam-macam fotosintetik sel berbeda-beda, bahkan fotosintetik sel yang sama jumlah enzimnya bias berbeda pada kondisi yang berbeda-beda.

## 5. Akumulasi hasil akhir fotosintesis

Selama proses fotosintesis terjadi akumulasi dari karbohidat di dalam sel fotosintetik. Akumulasi ini berlangsung lebih cepat daripada bagian karbohidrat yang diangkut ke jaringan-jaringan yang lain. Di bawah keadaan-keadaan tertentu akumulasi karbohidrat dapat begitu besar, sehingga dapat mengambat kecepatan fotosintesis lebih lanjut.

## 2.11. Kebutuhan Unsur Hara Tanaman

Tanaman akan mengabsorpsi unsur hara dalam bentuk ion yang terdapat disekitar daerah perakaran. Unsur-unsur ini harus berada dalam bentuk tersedia dan dalam konsentrasi yang optimum, serta unsur-unsur tersebut harus berada dalam suatu kesetimbangan (Hakim, 1986). Unsur-unsur hara tersebut terbagi dalam dua kelompok besar, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Kedua unsur hara dapat dapat diabsorpsi tanaman dalam berbagai bentuk sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.3 berikut:

**Tabel 2.4. Unsur hara yang dibutuhkan tanaman**

Jenis Unsur Hara	Bentuk yang diserap oleh Tanaman	Keterangan
Makro :		
Carbon (C)	CO <sub>2</sub> (melalui daun)	Diserap dari udara dan air
Hidrogen (H)	H <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O (H dari daun)	
Oksigen (O)	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> (melalui daun)	
Nitrogen (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Diserap dari tanah
Phospor (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Kalium (K)	K <sup>+</sup>	
Kalsium (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	
Magnesium (Mg)	Mg <sup>2+</sup>	
Sulfur (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Mikro :		
Mangan (Mn)	Mn <sup>2+</sup>	
Boron (B)	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	
Molibdenum (Mo)	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Molibdat)	
Tembaga (Cu)	Cu <sup>2+</sup> atau Cu <sup>3+</sup>	
Seng (Zn)	Zn <sup>2+</sup>	
Besi (Fe)	Fe <sup>2+</sup> atau Fe <sup>3+</sup>	
Chlor	Cl <sup>-</sup>	

Sumber : Hardjowigeno (1987)

### 2.11.1. Sumber-sumber unsur hara tanaman

Menurut Hakim (1986) unsur hara yang diserap oleh tanaman dapat berasal dari tiga sumber, yaitu :

1. Bahan organik, dimana bahan ini harus mengalami dekomposisi (pelapukan) terlebih dahulu sebelum tersedia bagi tanaman.
2. Mineral alami, dimana bahan ini akan menjadi unsur hara yang tersedia bagi tanaman setelah mengalami penghancuran oleh cuaca.
3. Unsur hara yang terjerat atau terikat. unsur hara ini terikat di permukaan atau di antara lapisan koloid tanah sebagai sumber utama dari unsur hara yang diatur oleh manusia.

### 2.11.2. Proses Absorpsi Unsur Hara

Unsur hara dapat diserap tanaman jika berada dalam bentuk larutan dan kontak langsung dengan permukaan akar. Menurut Hardjowigeno (1987) pergerakan unsur hara ke permukaan akar terjadi melalui tiga cara, yaitu :

1. Aliran Massa (*Mass flow*)

Aliran massa adalah pergerakan unsur hara didalam tanah menuju permukaan akar tanaman bersama-sama gerakan massa air. Aliran massa terjadi karena pengaruh transpirasi (timbul dari perbedaan tekanan air) tumbuhan tersebut. Pada saat bersamaan ikut terangkut bersama-sama ion terlarut dari daerah yang jatuh ke daerah yang terjangkau oleh akar.

2. Diffusi

Air dan unsur yang terlarut di dalamnya disebut larutan tanah (*soil solution*). Pada waktu akar tanaman menyerap unsur dari larutan tanah, unsur hara lain yang terlarut dalam air bergerak menuju akar tanaman tanpa aliran air tetapi bergerak sebagai akibat hukum *diffusi*, yaitu hukum yang menyatakan Bergeraknya suatu zat (unsur hara) dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah.

3. Intersepsi (penyergapan) akar.

Intersepsi merupakan pertukaran langsung antara unsur hara dengan akar. Akar-akar tanaman yang terus tumbuh akan memanjang menuju tempat lebih jauh di dalam tanah sehingga menemukan unsur-unsur hara dalam larutan tanah ditempat tersebut. Memanjangnya akar-akar tanaman berarti memperpendek jarak yang harus ditempuh unsur-unsur hara untuk mendekati akar tanaman melalui aliran massa ataupun difusi.

Sebagaimana diketahui tanaman hanya menyerap unsur yang diperlukan saja. Oleh karenanya sel-sel yang menyusun akar tanaman dibagian luar terdiri dinding sel tidak aktif yang bersinggungan langsung dengan tanah, sedang bagian dalam terdiri dari protoplasma

aktif yang dikelilingi oleh suatu membran. Seleksi terhadap unsur-unsur yang diserap tanaman dilakukan oleh membran ini. Proses ini berlangsung melalui suatu *carrier* (pembawa) yang bersenyawa dengan ion (unsur) terpilih kemudian masuk kedalam protoplasma dengan menembus membran sel. Bila akar tanaman menyerap unsur hara dalam bentuk kation, maka dari akar akan dikeluarkan kation  $H^+$  dalam jumlah yang setara. Bila yang diserap akar adalah anion, maka akar akan mengeluarkan anion  $HCO_3^-$  dengan jumlah yang setara pula.

### 2.12. Mekanisme Penyerapan Logam dalam Tumbuhan

Pada dasarnya tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap. kemampuan untuk menyerap ini memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, mulai dari unsur yang berlimpah sampai unsur yang sangat kecil dibutuhkan oleh tanaman. Pb tidak termasuk dalam unsur hara, sehingga untuk menyerap logam-logam tersebut, tanaman membuat suatu zat untuk mengikat logam-logam tersebut dengan merubah pH, untuk diangkut dan dicerna didalam jaringan tubuh dari tumbuhan tersebut. Karena logam Pb bersifat racun pada tanaman, maka untuk mencegah keracunan, tanaman menimbun logam Pb didalam akar (Collins, 1999)

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber kehidupan yang sangat penting sehingga tanpa air tidak akan dijumpai kehidupan. Pada dasarnya air adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui, namun ketersediannya tidak selalu sejalan dengan kebutuhannya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan air terus meningkat mengikuti jumlah penduduk serta taraf hidup sebagai hasil nyata pembangunan. Beberapa aktivitas manusia dalam pemanfaatan sumber daya air yang tanpa disertai pengelolaan air secara tepat akan menyebabkan penurunan kualitas air. Menurunnya kualitas air dapat disebabkan oleh kandungan sediment yang bersumber dari erosi atau kandungan bahan-bahan atau senyawa dari air limbah rumah tangga, limbah industri atau limbah pertanian. Peristiwa ini dikenal dengan polusi atau pencemaran. (Suripin,2002).

Pada saat ini ketersediaan air bersih sangat terbatas dan banyak orang terkadang memanfaatkan air apa adanya tanpa memperdulikan keadaanya yang kurang memenuhi persyaratan kesehatan. Peluang untuk menjernihkan air sungai yang tercemar masih terbuka untuk tingkat pencemaran yang rendah (*low level pollutant*) disamping karena sungai memiliki daya *self purification* (kemampuan secara alami memurnikan badan sungai dari pencemaran akibat polutan dalam skala kecil). Jika beban limbah terlalu besar dan aliran air sungai tidak mampu menampung tingkat pencemaran yang tinggi (*high level pollutant*) akan sulit untuk dijernihkan serta membutuhkan biaya operasional yang besar (Purwanti, 2005).

### 1.2 Identifikasi Masalah

Pencemaran air oleh limbah industri dapat terlihat secara visual dan juga dapat tercium baunya, seperti yang nampak pada sungai yang mengalir melalui kota-kota. Hal ini tentu akan sangat mengganggu aktifitas kehidupan kita sehari-hari. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, masalah pencemaran air limbah dapat kita atasi dengan jalan menggunakan sistem biologis memakai sarana tanaman air. Pada dasarnya usaha yang dapat kita lakukan untuk mengatasi masalah pencemaran limbah terdiri dari:

1. Mengurangi limbah yang kita hasilkan dengan menaikkan efisiensi penggunaan air.
2. Pengolahan limbah
3. Daur ulang limbah

Pengolahan air limbah dan daur ulang limbah dapat dilakukan dengan memanfaatkan air limbah. Tanaman air dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk pengolahan air limbah secara biologis. Tanaman air ini mempunyai kemampuan untuk menyerap polutan yang ada dalam air limbah tersebut. Didalam air limbah industri banyak terdapat bahan logam berat yang berasal dari sisa hasil olahan industri. Diantaranya yaitu kandungan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) Kandungan unsur-unsur tersebut yang telalu tinggi dalam air tidak menguntungkan. Kadar Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) yang tinggi apabila mencemari lingkungan dapat menjadi racun. Keracunan yang ditimbulkan oleh logam Pb, Zn, dan Fe dapat terjadi karena masuknya persenyawaan logam tersebut kedalam tubuh yang dapat melalui makanan, minuman, udara dan perembesan atau penetrasi pada selaput atau lapisan kulit. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan limbah yang mengandung logam Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) agar kadar kandungan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) yang semula masih sangat besar dapat diolah sehingga menghasilkan kadar Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) menjadi seminimal mungkin.

Salah satu cara pengolahan limbah tersebut dengan cara fitorimediasi yaitu memanfaatkan tanaman air untuk mengurangi, menghilangkan kadar polutan yang ada. Diharapkan dengan sistem fitorimediasi ini kadar polutan logam Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dalam air limbah dapat berkurang.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun pembahasan dalam kajian ini dibatasi pada beberapa masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Analisis berdasarkan data penelitian yang dihasilkan di Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3. Sampel yang diuji adalah air aquades yang dicampur dengan larutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dan air limbah keramik.
4. Tanaman yang dipakai dalam penelitian ini adalah tanaman air yang sudah tumbuh dengan umur kira-kira 3-4 bulan agar tidak memakan waktu yang lama dalam pelaksanaan penelitian.
5. Jenis tanaman air yang dipakai adalah Apu – Apu (*Pristia tratioides*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*).
6. Kadar polutan yang akan dikurangi adalah Timbal (Pb), seng (Zn), Besi (Fe).
7. Sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sinar matahari.
8. Tidak membahas analisis ekonomi.
9. Hanya melihat pengaruh efektifitas tanaman air terhadap pengurangan kadar polutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dalam air limbah

#### 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian diatas maka dalam studi ini permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kandungan polutan pada sample air limbah ?
2. Bagaimana pengaruh efektifitas tanaman air dalam mengurangi kadar polutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) pada sample air limbah yang diuji ?
3. Berapa jumlah tanaman yang dibutuhkan untuk penyerapan polutan dalam bak penampungan air limbah ?

#### 1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengkaji efektifitas tanaman apu-apu (*Pristia tratioides*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan intensitas cahaya dalam mengurangi kadar polutan pada air limbah.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah wawasan kita mengenai upaya mengurangi kadar polutan pada air limbah dengan sistem biologis menggunakan sarana tanaman air.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Sejalan dengan pertumbuhan dan perkembangan penduduk yang selalu meningkat tiap tahunnya menyebabkan pemanfaatan terhadap sumber daya air yang ada menjadi tidak terkendali. Kondisi seperti ini yang berlangsung terus-menerus mengakibatkan penurunan kualitas air. Penurunan kualitas air ini ditandai dengan timbulnya masalah pencemaran air limbah. Air limbah merupakan benda yang sudah tidak dipergunakan lagi. Akan tetapi apabila air limbah ini tidak dikelola secara baik akan dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan. Adapun gangguan tersebut antara lain :

1. Gangguan terhadap Kesehatan

Air limbah sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia mengingat bahwa banyak penyakit yang dapat ditularkan melalui air limbah. Air limbah ini ada yang hanya berfungsi sebagai media pembawa saja seperti penyakit kolera, radang usus, hepatitis infektiosa, serta skhistosomiasi.

2. Gangguan terhadap Kehidupan Biotik

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam air.

3. Gangguan terhadap Keindahan

Dengan semakin banyaknya zat organik yang dibuang oleh perusahaan dalam jumlah yang sangat besar menyebabkan air limbah mengalami proses pembusukan dari zat organik yang ada di dalamnya. Sebagai akibat selanjutnya adalah timbulnya bau dari zat organik yang sangat menusuk hidung. Di samping bau yang ditimbulkan, maka dengan menumpuknya zat organik akan memerlukan tempat dan mengganggu keindahan tempat sekitarnya.

4. Gangguan terhadap Kerusakan Benda

Apabila air limbah mengandung gas karbondioksida yang agresif, maka mau tidak mau akan mempercepat proses terjadinya karat pada benda yang terbuat dari besi serta bangunan air kotor lainnya, maka tidak kalah pentingnya apabila air limbah itu adalah

air limbah yang berkadar pH rendah atau bersifat asam maupun pH tinggi yang bersifat basa yang akan mengakibatkan timbulnya kerusakan pada benda-benda yang dilaluinya.

Salah satu langkah mudah yang dapat dilaksanakan adalah melalui sistem biologis dengan menebarkan tanaman air di perairan terbuka. Dengan sistem biologis ini diharapkan tanaman dapat menyerap zat-zat penyerap sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran air limbah.

## **2.2. Sumber-sumber Asal Air Limbah**

Sumber asal air limbah adalah berupa kotoran yang ada di lingkungan masyarakat sebagai dampak dari aktifitas manusia sehari-hari. Sumber air limbah dapat berasal dari limbah industri, limbah rumah tangga, limbah air tanah.

### **2.2.1. Air Limbah Rumah Tangga**

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah daerah perkantoran atau lembaga serta daerah fasilitas rekreasi.

### **2.2.2. Air Limbah Industri**

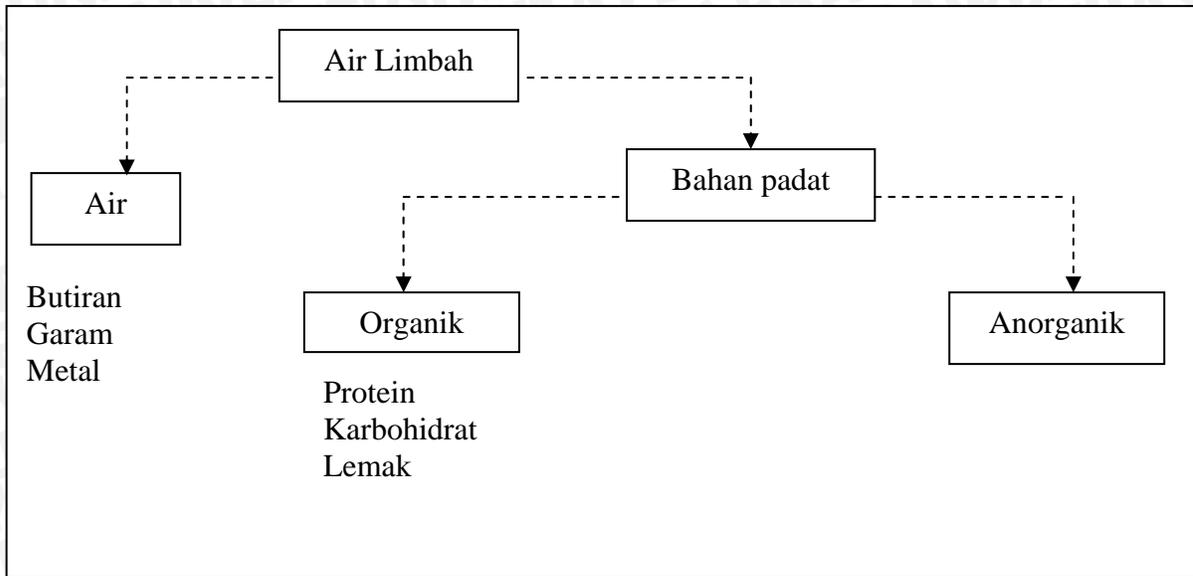
Jumlah air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, derajat pengolahan air limbah yang ada.

### **2.2.3. Air Limbah Rembesan dan Tumbuhan**

Apabila turun hujan di suatu daerah, maka air yang turun secara cepat akan mengalir masuk ke dalam saluran air hujan. Apabila saluran ini tidak mampu menampungnya, maka limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah, dengan demikian akan merupakan tambahan yang sangat besar. Oleh karena itu, perlu diketahui curah hujan yang ada sehingga banyaknya air yang akan ditampung melalui saluran air hujan dan saluran air limbah yang dapat diperhitungkan.

## **2.3. Komposisi Air Limbah**

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Namun secara umum zat-zat yang terdapat di dalam air limbah dapat dikelompokkan seperti pada skema berikut ini.



**Gambar 2.1** Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air limbah

Sumber: Soegiharto, 1987

## 2.4 Analisis Sifat-Sifat Air Limbah

Untuk mengetahui lebih luas tentang air limbah, maka perlu kiranya diketahui juga secara detail mengenai kandungan yang ada di dalam air limbah juga sifat-sifatnya. Setelah diadakan analisis ternyata bahwa air limbah mempunyai sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian besar diantaranya :

- Sifat fisik
- Sifat kimiawi
- Sifat biologisnya

Adapun cara pengukuran yang dilakukan pada setiap. Jenis sifat tersebut dilaksanakan secara berbeda-beda sesuai dengan keadaanya.

### 2.4.1. Sifat Fisik Air Limbah

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Adapun sifat fisik yang penting adalah kandungan zat padat sebagai efek estetika, kejernihan, bau dan warna serta temperatur.

Jumlah endapan pada contoh air merupakan sisa penguapan dari contoh air limbah pada suhu 103 – 105 oC. Beberapa komposisi air limbah akan hilang apabila dilakukan pemanasan secara lambat. Jumlah total endapan terdiri dari benda-benda yang mengendap, terlarut dan tercampur. Untuk melakukan pemeriksaan ini dapat dilakukan dengan mengadakan pemisahan air limbah dengan memperhatikan besar-kecilnya partikel yang

terkandung di dalamnya. Dengan mengetahui besar-kecilnya partikel yang terkandung di dalam air akan memudahkan kita dalam memilih teknik pengendapan yang akan diterapkan sesuai dengan partikel yang ada didalamnya. Air limbah yang mengandung partikel dengan ukuran besar memudahkan proses pengendapan yang berlangsung, sedangkan apabila air limbah tersebut berisikan partikel yang sangat kecil ukurannya akan menyulitkan dalam proses pengendapan, sehingga untuk mengendapkan benda ini haruslah dipilih cara pengendapan yang lebih baik dengan teknologi yang canggih. Jumlah total endapan terdiri atas tiga golongan, yaitu:

1. Golongan zat yang mengendap.
2. Golongan zat yang tercampur.
3. Golongan zat padat yang terlarut.

Zat-zat padat yang bisa mengendap adalah zat padat yang akan mengendap pada kondisi tanpa bergerak atau diam kurang lebih selama 1 jam sebagai akibat gaya beratnya sendiri (Sugiharto, 1987). Besarnya endapan diukur dengan alat pengukur yang dinyatakan dalam satuan milligram setiap liter air limbah. Hal ini sangat penting untuk mengetahui derajat pengendapan dan jumlah endapan yang ada di dalam suatu badan air. Jumlah total endapan dapat dideteksi dengan penyaringan terhadap air kotor melalui kertas fiber atau saringan 0,45 mikron dan mengukur berat kering dari material yang terkumpul dalam satuan mg/l. Apabila contoh yang diambil berasal dari reaktor aktif air limbah, maka endapan tersebut dikenal sebagai MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*). Hasil endapan ini bila dipanaskan pada suhu 600 °C, maka sebagian bahan akan menguap dan sebagian lagi akan berupa bahan sisa yang sangat kering. Beberapa bahan organik akan dibusukkan di dalam air, ammonia, CO<sub>2</sub>, karbonat dan bahan lainnya adalah komponen dari bahan yang kering tersebut. Adapun bahan yang teruapkan dikenal sebagai *volatile*, sedangkan benda yang tersisa akibat penguapan disebut *fixed*.

**Tabel 2.1 Sifat Fisik dari Air Limbah**

Sifat - sifat	Penyebab	Pengaruh
Suhu	Kondisi udara sekitarnya, air panas yang dibuang ke saluran dari rumah maupun dari industri	Mempengaruhi kehidupan biologis kelarutan oksigen/gas lain. Juga kerapatan air, daya viskositas dan tekanan permukaan.
Kekeruhan	Benda-benda tercampur seperti limbah padat, garam tanah liat, bahan organik yang halus dari buah-buahan asli, algae, organisme kecil.	Memantulkan sinar, jadi mengurangi produksi oksigen yang dihasilkan tanaman. Mengotori pemandangan dan mengganggu kehidupan.
Warna	Benda terlarut seperti sisa bahan organik dari daun dan tanaman (kulit, gula, besi), buangan industri.	Umumnya tidak berbahaya dan berpengaruh terhadap kualitas keindahan air.
Bau	Bahan volatil, gas terlarut, selalu hasil pembusukan bahan organik, minyak utama dari mikroorganisme.	Petunjuk adanya pembusukan air limbah, untuk itu perlu adanya pengolahan, merusak keindahan.
Rasa	Bahan penghasil bau, benda terlarut dan beberapa ion	Mempengaruhi kualitas keindahan air.
Benda padat	Benda organik dan anorganik yang terlarut ataupun tercampur	Mempengaruhi jumlah organik padat, garam, juga merupakan petunjuk pencemaran atau kepekatan limbah meningkat.

Sumber : Soegiharto,1987

#### 2.4.2. Sifat kimia Air Limbah

Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam air limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada penyediaan air bersih. Selain itu, akan lebih berbahaya apabila bahan tersebut merupakan bahan yang beracun. Adapun bahan kimia yang penting yang di dalam air limbah pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

##### 1. Bahan Organik

Air limbah dengan pengotoran yang sedang, maka sekitar 75 % dari benda-benda tercampur dan 40 % dapat disaring adalah berupa bahan organik alami. Zat padat tersebut adalah bagian dari kelompok binatang dan tumbuh-tumbuhan serta hasil kegiatan manusia yang berhubungan dengan komponen bahan organik tiruan. Pada umumnya zat organik berisikan kombinasi dari karbon, hidrogen, dan oksigen bersama-sama dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting yaitu belerang, fosfor, dan besi bisa juga dijumpai. Pada umumnya kandungan bahan organik yang dijumpai dalam air limbah berisikan 40-60 % adalah protein, 25 – 50 % berupa karbohidrat serta 10 % lainnya berupa lemak atau minyak.

Semakin lama jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengelolaan air limbah sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Agar bisa mengolah zat tersebut perlu adanya tambahan biaya untuk membubuhkan bahan kimia seperti penyerap karbon untuk mengolah air limbah secara lengkap.

##### 2. Protein

Protein adalah kandungan utama dari makhluk hidup, termasuk juga di dalamnya tanaman dan binatang bersel satu. Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau karena adanya proses pembusukan dan penguraiannya. Bakteri akan menggunakan oksigen untuk pembusukannya. Untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan benda organik di dalam air limbah digunakan satuan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Semakin besar angka BOD ini menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah adalah semakin besar.

### 3. Lemak, Minyak dan Gemuk

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak didapatkan di dalam air limbah. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah diuraikan.

### 4. Deterjen

Deterjen adalah golongan dari molekul organik yang merupakan penyebab masalah busa karena tahan terhadap penguraian proses biologis. Penghasil utama dari bahan ini adalah air limbah yang berasal dari rumah tangga dan pemukiman.

### 5. Fenol

Fenol merupakan penyebab timbulnya rasa yang ada di dalam air minum terutama apabila air tersebut dilakukan klorinasi.

### 6. Bahan Anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami adalah sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air minum.

### 7. pH

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air sari air alami maupun air limbah. Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses biologis, sehingga mengganggu proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah adalah netral ( 7 ). Semakin kecil nilai pH-nya maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam.

### 8. Sulfur

Sulfur alami terjadi secara alami pada banyak penyediaan air dan juga pada air limbah. Belerang diperlukan pada pembentukan protein tiruan dan akan dibebaskan pada pemecahannya. Sulfat dapat diubah menjadi sulfid dan hidrogen sulfid ( $H_2S$ ) oleh bakteri pada situasi tanpa udara (*anaerob*)

### 9. Zat Beracun

Oleh karena derajat keracunannya inilah, maka zat ini penting pada pengolahan dan pembuangan air limbah. Tembaga, timbal, perak, dan krom serta arsen dan boron adalah zat yang sangat beracun terhadap mikroorganisme. Oleh karena itu, benda ini perlu diperhitungkan pada bangunan pengolahan secara biologis. Beberapa zat dan ion

yang beracun seperti sianida (CN) dan kromat (Cr) juga terdapat dalam air limbah. Zat-zat ini biasanya terdapat pada industri pelapisan logam dan akan bisa dihilangkan melalui pengolahan pendahuluan sebelum dibuang ke saluran air limbah.

#### 10. Logam Berat

Menentukan jumlah dari beberapa logam berat seperti nikel (Ni), Magnesium (Mg), Timbal (Pb), Kromium (Cr), Kadmium (Cd), Zeng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan air raksa (Hg) adalah kandungan yang juga penting. Beberapa jenis logam biasanya digunakan untuk pertumbuhan kehidupan biologis, misalnya pada pertumbuhan algae apabila tidak ada logam pertumbuhannya akan terhambat. Akan tetapi, apabila jumlahnya berlebihan akan mempengaruhi kegunaannya karena timbulnya daya racun yang dimiliki. Oleh karena itu, keberadaan zat ini perlu diawasi jumlahnya di dalam air.

#### 11. Metan

Prinsip terjadinya gas metan adalah akibat penguraian zat organik yang dalam kondisi tanpa udara (anaerob) pada limbah tersebut. Adapun sifat penting dari gas ini adalah tidak berbau, tidak berwarna, dan sangat mudah terbakar. Pada umumnya, dalam jumlah yang banyak tidak akan ditemukan di dalam pembuangan air limbah, karena zat ini dalam jumlah yang sangat kecil sudah sangat beracun. Gas ini dihasilkan oleh lumpur yang membusuk pada dasar bak, sehingga kondisi tanpa udara dapat terjadi. Karena sifat gas metan yang sangat beracun dan mudah terbakar ini, maka gas ini sangat berbahaya bagi manusia yang akan melakukan pemeriksaan terhadap air limbah di dalam saluran melalui lubang pemeriksaan (*manhole*). Oleh karena itu, perlu dibuatkan lubang ventilasi bagi setiap lubang pemeriksaan tersebut untuk mengeluarkan gas ini dari dalam saluran. Dengan demikian tidak akan membahayakan bagi petugas apabila mereka akan melakukan perbaikan, pemeriksaan atau penggantian.

#### 12. Nitrogen

Secara bersama-sama antara nitrogen dan fosfor memberikan kenaikan yang perlu diperhatikan sebab bahan ini meningkatkan pertumbuhan algae dan tumbuhan air.

#### 13. Fosfor

Fosfor ada di dalam air limbah melalui hasil buangan manusia, air seni, dan melalui komponen fosfat dapat digunakan untuk membuat sabun sebagai pembentuk buih.

#### 14. Gas

Banyak gas-gas terdapat di dalam air, oksigen ( $O_2$ ) adalah gas yang penting. Oksigen terlarut selalu diperlukan untuk pernafasan mikroorganisme aerob dan kehidupan lainnya.

#### 2.4.3. Sifat Biologis Air Limbah

Pemeriksaan biologis di dalam air dan air limbah untuk memisahkan apakah ada bakteri-bakteri patogen berada di dalam air limbah. Keterangan biologis ini diperlukan untuk mengukur kualitas air terutama bagi air yang digunakan sebagai air minum.

Selain itu untuk menaksir tingkat kekotoran air limbah sebelum di buang ke badan air.

#### 2.5. Proses-proses Pencemaran di dalam Air

Di dalam air terdapat kehidupan, sehingga air berisi banyak bahan organik yang berasal dari penghuninya, tetapi juga dapat berasal dari tempat-tempat lain karena terbawa oleh air selokan. Air selokan yang datang dari kota dan desa pada umumnya kaya akan bahan organik yang mengandung karbohidrat, protein, lemak, dan senyawa lain-lain, yang merupakan nutrisi atau bahan makanan bagi banyak organisme air. Adanya bahan-bahan tersebut pada satu sisi menguntungkan pertumbuhan suatu organisme, tetapi karena dalam pemanfaatan bahan tersebut terjadi proses-proses kimia tertentu yang menghabiskan salah satu bahan esensial, atau menghilangkan senyawa baru yang mengganggu, maka nutrisi dalam air tersebut pada sisi lain menyebabkan pencemaran lingkungan air. Di dalam air berlangsung proses – proses reaksi penting

- a) Proses fotosintesis yang berlangsung di dalam air membawa perbaikan lingkungan, karena dalam sintesa tersebut timbul gas oksigen sehingga dapat memperkaya kandungan oksigen dalam air tersebut.
- b) Aerobiosa (*aerobiosis*) ialah proses dekomposisi bahan oleh bakteri dalam keadaan ada udara (oksigen). Dalam proses ini terdapat urutan reaksi yang tidak sederhana seperti pada pembakaran biasa. Kalau hanya dilihat proses globalnya, karbohidrat atau gula yang terdapat di dalam air mengalami aerobiosa dengan persenyawaan sebagai berikut :



d) Proses eutrofikasi (*eutrophication*) terjadi pada danau atau perairan lainnya yang menjadi mati atau tidak berfungsi lagi bagi kehidupan di dalam air, sebagai akibat terlalu banyak makanan yang masuk ke dalam perairan. Apabila perairan cukup nutrisi, maka tumbuhan air mudah berkembang biak, misalnya enceng gondok atau ganggang. Kadang-kadang sebuah danau tertutup sama sekali dengan tumbuhan, seolah-olah bukan perairan lagi, atau nampak berselimut hijau oleh ganggang.

Makin banyak nutrisi di dalam air makin banyak tumbuhan terbentuk dan tumbuhan yang mati akan menjadi konsumsi bagi bakteri. Karena dekomposisi oleh bakteri terambil oksigen dari dalam air, maka air danau kekurangan oksigen sehingga tidak dapat dihuni lagi oleh sebangsa ikan dan hewan-hewan lainnya. Tindakan manusia sering mempercepat proses eutrofikasi, yang secara alam proses tersebut berlangsung ratusan atau ribuan tahun. Pada waktu ini banyak dilakukan pemupukan, dan sebgai pupuk masuk kedalam air selokan atau irigasi yang kemudian masuk ke danau memperkaya nutrisi air danau. Dan ini merangsang berkembangnya tumbuhan air, mempercepat habisnya oksigen di dalam air oleh proses aerobiosa.

Juga penggunaan detergen modern mempercepat proses eutrofikasi. Detergen (*detergent*) yang lama disebut sabun, dibuat dari lemak dan soda ( $Na_2CO_3$  atau  $K_2CO_3$ ) sebagai bahan baku. Kotoran yang melekat pada tubuh atau pakaian yang mengandung minyak atau lemak tidak akan mudah hilang dengan air, karena minyak tidak larut dalam air. Sabun terdiri dari suatu persenyawaan yang molekulnya mempunyai sifat dapat menarik molekul air dan molekul minyak, sehingga dapat larut dalam air dan dalam minyak, sehingga dapat pula melarutkan dan melepaskan kotoran-kotoran. Proses ini disebut detergensi. Tetapi sabun tidak berfungsi baik didalam air sadah, sehingga orang membuat detergen modern, yang biasa disebut detergen, yang juga berfungsi baik di dalam air cuci sadah. Sabun biasa tidak menyebabkan eutrofikasi karena sabun tidak merupakan nutrisi bagi tumbuhan. Sabun memang nutrisi untuk bakteri dan sudah habis dimakan bakteri di selokan, sehingga tidak sampai ke danau. Sebaiknya detergen merupakan nutrisi tumbuhan, karena mengandung fosfor sehingga mempercepat eutrofikasi di perairan.

## 2.6. Bahan-bahan Pencemar dari Kota

Kota merupakan tempat pemukiman manusia yang padat dan pusat aktifitas kehidupan. Makin banyak kegiatan kota, makin banyak bahan bangunan yang harus disingkirkan, dan makin sulit mendapatkan lokasi penempatannya. Pada umumnya bahan tersebut sampai di perairan, selokan, ataupun sungai, karena secara tradisional perairan selalu merupakan tempat pembuangan sampah, disamping sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air. Karena makin banyaknya bahan buangan yang masuk ke perairan, akhirnya air tidak lagi dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga, karena sudah tercemar. Sesungguhnya bahan buangan tersebut dapat dimusnahkan dengan dibakar, tetapi untuk itu diperlukan juga biaya dan juga menimbulkan pencemaran lain, pencemaran udara, karena barang-barang yang dibakar mengandung aneka ragam zat yang dapat menimbulkan peracunan udara disamping asapnya yang sangat mengganggu pemandangan dan penciuman. Bahan buangan terdiri dari dua macam, yaitu :

- a) Sampah yang dapat dihancurkan organisme pada umumnya terdiri dari bahan organik atau sisa-sisa pengolahan bahan organik, misalnya kotoran manusia dan hewan, daun dan kayu, buah-buahan, bangkai, kertas, buangan dari kertas, dari pabrik bahan makanan, dan sebagainya. Senyawa organik akan dihancurkan bakteri meskipun prosesnya lambat, dan sering dibarengi dengan keluarnya bau yang tidak menyenangkan, dan rasa air tidak menarik. Untuk menjaga supaya buangan tidak menjadi sarang penyakit, sering di beri klor sebagai desinfektan air yang akan dipakai, tetapi akibatnya klor bereaksi dengan senyawa-senyawa organik dari buangan tersebut yang membentuk senyawa organik berklor dengan bau dan rasa lebih buruk dari bahan buangan semula. Di sisi lain buangan organik merupakan nutrien bagi tumbuhan air yang mengakibatkan cepatnya eutrofikasi perairan. Jadi meskipun bahan buangan itu akhirnya lenyap dengan sendirinya, dalam proses penghancurannya menimbulkan gangguan-gangguan pula kepada lingkungan.
- b) Sampah yang terdiri dari senyawa-senyawa sintetik, misalnya bahan-bahan plastik, serat-serat sintetik, pestisida hidrokarbon berklor seperti DDT dan sebangsanya, minyak bumi, senyawa-senyawa logam dan senyawa-senyawa lainnya yang dihasilkan industri modern yang setiap saat bertambah banyak macamnya. Senyawa-senyawa tersebut akhirnya juga dihancurkan oleh alam, tetapi memerlukan waktu yang sangat lama

sehingga sangat mempengaruhi pemanfaatan dari efektifitas air dan lingkungan. Apalagi apabila bersifat racun atau merusak. Karena senyawa-senyawa tersebut tidak lekas hancur, maka mudah menumpuk dalam tubuh organisme, sehingga kadar dalam tubuh makin bertambah besar dan akhirnya bersifat racun yang mematikan. Dan karena tertinggal didalam tubuh organisme, dapat meracuni seluruh rantai makanan di dalam ekosistem dengan cara beranting dari organisme satu ke organisme lainnya yang memangsanya, yang akhirnya sampai ke manusia juga.

## **2.7. Pengaruh Tanaman Air dalam Mengurangi Kandungan Zat Pencemar dalam Air Limbah**

Pencemaran di perairan terbuka oleh limbah industri dan rumah tangga merupakan masalah yang serius. Berbagai bentuk zat pencemar, baik yang bersifat fisik (Lumpur), bahan organik maupun berupa senyawa kimia termasuk yang beracun, seperti logam berat perlu segera dibatasi sebelum terjadi akumulasi yang membahayakan pada perairan di negara kita.

Salah satu langkah konkret dan mudah dilaksanakan untuk menangani pencemaran perairan adalah melalui sistem biologis dengan jalan menggunakan tanaman air. Dimana diharapkan tanaman tersebut dapat menyerap zat-zat pencemar terutama dari limbah industri dan limbah rumah tangga, sehingga dapat menjernihkan air limbah.

Seperti halnya pada pencemaran udara orang dapat melakukan tindakan preventif dengan mengusahakan supaya bahan buangan kota jangan sampai mencemari air, caranya ialah dengan pengelolaan bahan buangan sehingga sesedikit mungkin menghasilkan zat-zat yang menyebabkan pencemaran lingkungan.

Cara yang paling mudah untuk menghilangkan bahan buangan rumah tangga ialah membuang begitu saja ke perairan-perairan yang terdekat seperti sekarang banyak dilakukan di negara kita, tanpa mengingat bahwa tindakan tersebut akan mencemari lingkungan. Cara yang lebih baik dengan membuang bahan buangan ke tempat-tempat khusus, tempat pembuangan sampah, atau ditanam dalam-dalam di bawah tanah, supaya secara semi-natural lambat laun akan dihancurkan oleh organisme dan alam. Akan tetapi cara ini dapat pula menyebabkan pencemaran air tanah. Dan juga dengan makin banyaknya sampah buangan, sulit sekali mendapatkan lokasi yang tepat dan cukup luas di dalam atau

di dekat kota tanpa menimbulkan gangguan lingkungan hidup dari pencemaran udara dan air.

Oleh karena itu tindakan ini belum mencukupi persyaratan untuk mencegah pencemaran, dan harus dilakukan tindakan lain yang dapat menghilangkan bahan buangan dengan mengubahnya menjadi bahan-bahan lain yang bermanfaat atau paling tidak yang tidak mengakibatkan pencemaran.

Di negara-negara yang lebih memperhatikan akan pencemaran lingkungan, karena mereka sudah mengalami akibat-akibat buruknya, air buangan rumah tangga yang mengandung berbagai bahan pencemar. Air yang tercemar ini dapat dibersihkan secara biologi dengan memberi tanaman air, sehingga senyawa-senyawa yang berbahaya terambil dari air. Untuk menguji kebersihan air dari zat-zat berbahaya, maka dapat ditaburi berbagai jenis ikan yang dapat dijadikan sebagai indikator kebersihan air.

Tanaman air mampu menyerap polutan (penyebab pencemaran) yang terlarut dalam media tumbuh, sehingga kandungannya menurun, kadar polutan dalam tubuh tumbuhan meningkat, sebaliknya dalam media cair menurun, sehingga ion bebas dalam air tersebut akan mampu mengikat oksigen, yang mengakibatkan oksigen terlarut (DO) dalam media cair itu meningkat sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran dalam media cair tersebut. Tanaman air yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

#### 1. Apu – Apu (*Pristia stratiotes*)

Apu-apu adalah tanaman air yang sepiantas sosoknya mirip kol yang mengapung di permukaan air. Nama populernya *water lettuce* atau *shell flower*. Tanaman yang banyak tumbuh di Sungai Nill ini berbunga kuning kecil, tetapi sering tidak terlihat karena terselip diantara daunnya yang lebar dan berjejal. Susunan daunnya membentuk roset atau bertumpuk-tumpuk. Warnanya hijau cerah dengan tekstur tebal berdaging serta berambut halus menyerupai beludru. Setiap roset daun tersebut dihubungkan oleh batang kecil menjalar atau stolon yang mudah dipotong. Ukuran rosetnya tidak terlalu besar, sekitar 10-15 cm sehingga sangat pas jika dipajang ditengah kolam sebagai *cover ground*.

Akarnya yang menyerupai rambut tumbuh menggantung tepat dibawah roset daunnya. Cara perbanyakkan 'kol air' ini sangat gampang, tinggal memotong batang kecilnya yang menjalar (stolon) yang sangat mudah ditumbuhi roset baru. Apungkan potongan tersebut di air, tanaman baru pun akan tumbuh dengan sendirinya. Tanaman apu-apu ini sangat mudah

ditemui, oleh sebab itu tanaman apu-apu ini dipakai dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini sumber cahaya yang dipakai adalah sinar matahari langsung.

## 2. Enceng gondok (*Eichornia Crassipes*)

Enceng gondok adalah tanaman air dengan massa jenis yang ringan karena mempunyai rongga udara pada bagian akar, tangkai dan helai daun. Enceng gondok mempunyai sistem perakaran yang menggantung dan melayang-layang di dalam air, dengan lapisan-lapisan menyerupai labirin merupakan wujud saringan dengan penampangan luas. Saringan oleh akar ini bukan hanya menyaring unsur telarut, tetapi juga substrat berupa lumpur dan tanah yang tidak terlarut dengan menyerap dan menahan partikel-partikel yang melayang. Tanaman enceng gondok memiliki keunggulan dalam partikel-partikel yang melayang. Tanaman enceng gondok memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari. Bagian dinding permukaan akar, batang dan daunnya memiliki lapisan yang sangat peka sehingga mampu menyerap sinar matahari serta zat-zat yang terlarut dibawah permukaan air. Walaupun demikian akumulasi zat pencemar di dalam tumbuhan tidak bersifat permanen. Tumbuhan hanya berperan menangkap dan mengakumulasi unsur, baik terlarut maupun tidak pada bagian tumbuhan selama tumbuhan itu masih hidup. Namun setelah tumbuhan itu mati, unsur tersebut dapat terurai dan kembali bebas kealam. Oleh karena itu perlu adanya pemgantian tumbuhan tersebut secara periodik tidak saja untuk mencegah pengendapan pada dasar perairan, tetapi yang lebih penting adalah menyingkirkan polutan-polutan tersebut.

Pada dasarnya terdapat empat tipe tanaman air yang membutuhkan tempat tumbuh yang berbeda sesuai dengan habitat aslinya (Lukito,2002) yaitu :

### 1. Tanaman air oksigen (*Oksigenerator*)

Dalam sebuah akuarium, selain ikan-ikan hias terdapat juga tumbuh-tumbuhan hijau. Bentuk fisik dari kelompok tanaman air ini amat beragam, ada yang seperti pipa berjurai, ada yang mirip daun talas, ada pula yang menyerupai bulu-bulu halus. Adapun tanaman yang air tergolong dalam kelompok ini antara lain *Wallisnerie Spiralis* dan ganggang air. Tanaman air ini dapat berfungsi sebagai tempat berlindung dan penyimpanan telur-telur ikan serta untuk menyerap kandungan garam yang berlebihan sekaligus untuk membersihkan udara yang masuk ke dalam air.

2. Tanaman air mengapung (*Floating Plant*)

Ragam tanaman air ini memang tidak terlalu banyak, yang banyak dikenal masyarakat adalah enceng gondok dan apu-apu. Akar kedua tanaman ini tidak tertanam dalam lumpur di dasar kolam melainkan menggantung ke bawah air.

3. Tanaman Lumpur (*Bog Plant*)

Berbeda dengan tanaman air mengapung, akar tanaman ini malah mengapung di permukaan air. Jadi, untuk menanamnya tidak dibutuhkan media lumpur, cukup letakkan begitu saja di permukaan air. Tanaman tipe inilah yang banyak ditawarkan di pasar bunga. Dalam kelompok tanamn ini jenis tanaman yang berbunga pontederia, sagitaria, **water poppy** dan melati air. Untuk tanaman yang berdaun misalnya giant arum, papitus dan ilalang air. Semua tanaman air ini tumbuh dari media lumpur yang berada di bawah air dan umumnya tumbuh merumpun serta cenderung meninggi

4. Tanaman pinggir (*Marginal Plant*)

Berbeda dengan tanaman lumpur, tipe tanaman ini justru tumbuh di genangan air atau ditempat yang tanahnya selalu basah. Di habitat aslinya, tanaman ini muncul di pinggir-pinggir sungai kecil atau rawa. Termasuk tipe ini adalah bunga iris yang berwarna kuning pucat, ungu muda dan putih.

### 2.7.1. Zat Pencemar dalam Air Limbah

#### 2.7.1.1 Timbal (Pb)

Timbal adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan, dengan rapatan yang tinggi ( $11.48 \text{ g ml}^{-1}$  pada suhu kamar). Timbal mudah melarut dalam asam nitrat yang sedang pekatnya(8M)dan terbentuk juga nitrogen oksida.



Gas Nitrogen (II) oksida yang tak berwarna itu, bila tercampur dengan udara, akan teroksidasi menjadi nitrogen dioksida yang merah:



Dengan asam nitrat yang pekat, terbentuk lapisan pelindung yang berupa timbal nitrat pada permukaan logam, yang mencegah pelarutan lebih lanjut. Asam klorida encer atau asam sulfat encer mempunyai pengaruh yang hanya sedikit, karena terbentuknya timbal klorida atau timbal sulfat yang tak larut pada permukaan timbal itu.

### 2.7.1.1.1. Reaksi-reaksi pada ion Timbal (II)

Larutan timbal nitrat (0.25 M) atau timbal asetat (0.25 M) dapat dipakai untuk mempelajari reaksi-reaksi ini

1. Asam klorida encer (atau klorida yang larut) : endapan putih dalam larutan yang dingin dan tidak terlalu encer.



Endapan larut dalam air panas (33.4 g l<sup>-1</sup> pada 100°C, sedang hanya 9.9 g l<sup>-1</sup> pada 20°C), tetapi memisah lagi sebagai kristal-kristal yang panjang seperti jarum setengah dingin.

Ia juga larut dalam asam klorida pekat atau kalium klorida pekat, pada mana terbentuk ion tetrakloroplumbat(II):



Jika endapan dicuci dengan cara dekantasi, dan amonia encer ditambahkan, tak terjadi perubahan yang nampak (perbedaan dari ion merkuri(I) atau ion perak), meskipun da terjadi reaksi pertukaran-endapan, dan terbentuk timbel hidroksida:



2. Hidrogen sulfida dalam suasana netral atau asam encer: endapan hitam asam sulfida:



Pengendapan tidak sempurna, jika ada asam mineral kuat dengan konsentrasi lebih dari 2M. Karena terbentuk ion hidrogen dalam reaksi di atas, campuran sebaiknya dibufferkan dengan natrium asetat.

Dengan mengalirkan gas hidrogen sulfida ke dalam campuran yang mengandung endapan timbal klorida putih, yang terakhir ini akan diubah menjadi timbel sulfida (hitam) dengan reaksi pertukaran endapan:



Jika uji ini dilakukan dengan adanya klorida [kalium klorida(jenuh)] dalam jumlah yang banyak, mula-mula terbentuk endapan merah timbel sulfoklorida, bila gas hidrogen sulfida dialirkan kedalam larutan:

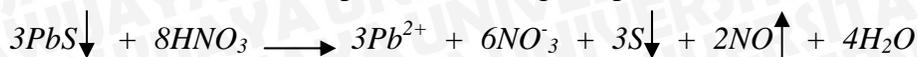


Tetapi ini terurai setelah diencerkan (a), atau setelah ditambahkan *hydrogen sulfide* lebih lanjut (b), dan terbentuk endapan timbal sulfida hitam:





Endapan timbel sulfide terurai bila ditambahkan asam nitrat pekat, dan unsur belerang yang berbutir halus dan berwarna putih akan mengendap:



Jika campuran dididihkan, belerang dioksidasikan oleh asam nitrat menjadi sulfat (a), yang berlangsung membentuk endapan timbal sulfat putih (b) dengan ion timbel yang ada di dalam larutan:



Dengan mendidihkan timbel sulfide dengan hidrogen peroksida (3%), endapan hitam ini berubah menjadi putih karena terbentuk timbel sulfida.

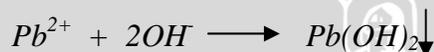


Kelarutan yang sangat kecil dari timbal sulfide dalam air ( $4.9 \times 10^{-11} \text{ g l}^{-1}$ ) menjelaskan mengapa hidrogen sulfida merupakan reagensia yang begitu peka untuk mendeteksi timbal, dan mengapa timbal dapat dideteksi dalam filtrate yang berasal dari pemisahan timbal klorida yang hanya sedikit sekali larut dalam asam klorida encer itu.

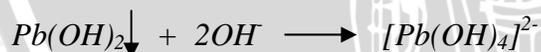
3. *Larutan ammonia*: endapan putih timbal hidroksida



4. *Natrium hidroksida* : endapan putih timbal hidroksida:



Endapan larut dalam reagensia berlebihan, pada mana terbentuk ion tetrahidroksoplumbat(II):



Jadi, timbel hidroksida mempunyai sifat amfoter.

Hidrogen peroksida (a) atau amonium peroksidasulfat (b), bila ditambahkan pada larutan tetrahidroksoplumbat(II), membentuk endapan hitam timbal dioksida dengan mengoksidasikan timbel bivalen menjadi bervalensi empat:



5. *Asam sulfat encer (sulfat-sulfat yang larut)* : endapan putih, timbal sulfat:



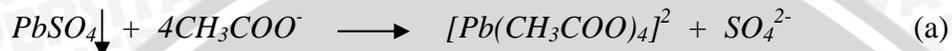
Endapan ini tak larut dalam reagensia yang berlebihan. Asam sulfat yang panas, pekat, melarutkan endapan karena terbentuk timbel hidrogen sulfat:



Kelarutan menjadi jauh lebih rendah dengan adanya etanol.

Endapan timbel sulfat larut dalam larutan amonium asetat yang agak pekat (10M)

(a) atau ammonium tartrat yang agak pekat (6M) (b) dengan adanya amonia, pada mana akan terbentuk ion-ion tetraasetatoplumbat(II) dan ditartratoplumbat(II):



Kestabilan kompleks-kompleks ini tak terlalu besar; ion kromat, misalnya; dapat mengendapkan timbal kromat dari larutan kompleks-kompleks tersebut.

Bila dididihkan dengan natrium karbonat, timbal sulfat diubah menjadi timbal karbonat dalam suatu reaksi pertukaran endapan:



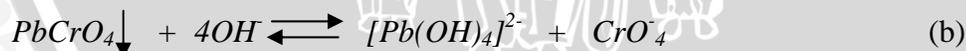
Dengan mencuci endapan secara dekantasi dengan air panas, ion-ion sulfat dapat dihilangkan, dan endapan akan larut dalam asam nitrat encer.



6. Kalium kromat dalam larutan netral, asam asetat atau amonia: endapan kuning, timbal kromat



Asam nitrat (a) atau natrium hidroksida (b) melarutkan endapan:



Kedua reaksi reversibel; dengan membufferkan larutan, masing-masing dengan amonia dan asam asetat, timbal kromat mengendap lagi.

7. Kalium Sianida (*Racun*): endapan putih timbal sianida



yang tak larut dalam reagensia berlebihan. Reaksi ini dapat dipakai untuk membedakan ion timbel (II) dari merkuri (I) dan perak (I), yang bereaksi secara berlainan.

### 2.7.1.1.2. Kegunaan Timbal (Pb)

- 1) Sebagai baterai, aditif bensin, lapisan kabel, amunisi, pipa, tangki, campuran pateri dan leburan.
- 2) Sebagai penguapan vibrasi dalam konstruksi berat, foil, babbitt.

### 2.7.1.1.3. Kerugian Timbal (Pb) bagi kesehatan

- 1) Logam Timbal bisa bersifat toksik karena menghirup debu dan uap.
- 2) Menyebabkan kerusakan otak dan ginjal dalam jangka panjang.
- 3) Menyebabkan cacat bawaan.

### 2.7.1.2. Seng (Zn)

Seng adalah logam yang putih-kebiruan; logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada suhu 110-150<sup>0</sup>C. Seng melebur pada 410<sup>0</sup>C dan mendidih pada 906<sup>0</sup>C.

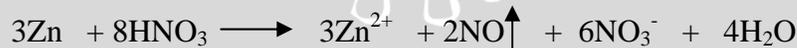
Logamnya yang murni, melarut lambat sekali dalam asam dan dalam alkali; adanya zat-zat pencemar atau kontak dengan platinum atau tembaga, yang dihasilkan oleh penambahan beberapa tetes larutan garam dari logam-logam ini, mempercepat reaksi. Ini menjelaskan larutnya seng-seng komersial. Yang terakhir ini dengan mudah larut dalam asam klorida encer dan asam sulfat encer dengan mengeluarkan hidrogen:



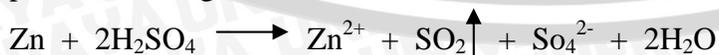
Pelarutan akan terjadi dalam asam nitrat yang encer sekali, pada mana tak ada gas yang dilepaskan:



Dengan bertambah pekatnya konsentrasi asam nitrat, akan terbentuk dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), nitrogen oksida (NO):



Asam nitrat pekat mempunyai pengaruh yang kecil terhadap seng, karena rendahnya kelarutan zink nitrat dalam suasana demikian. Dengan asam sulfat pekat, panas, dilepaskan belerang oksida:



Seng juga larut dalam hidroksida alkali, pada mana terbentuk tetrahidrok-sozinkat (II):



Seng membentuk hanya satu seri garam; garam-garam ini mengandung kation seng(II), yang diturunkan dari seng oksida, ZnO.

### 2.7.1.2.1. Reaksi-reaksi dari ion Seng

Larutan seng sulfat,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.25M bisa dipakai untuk mempelajari reaksi-reaksi ini.

1. *Larutan natrium hidroksida*; endapan seperti gelatin yang putih, yaitu seng hidroksida



Endapan larut dalam asam:



Dan juga dalam reagensia yang berlebihan:



Jadi, seng hidroksida adalah senyawa yang bersifat amfoter.

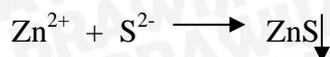
2. *Larutan amonia*

Endapan putih seng hidroksida, yang mudah larut dalam reagensia berlebihan dan dalam larutan garam amonium, karena menghasilkan tetraaminazinkat (II). Tidak diendapkannya seng hidroksida oleh larutan amonia jika ada amonium klorida, disebabkan oleh menurunnya konsentrasi ion-hidroksil sampai nilai sedemikian sehingga hasil kali keluturan  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  tak tercapai.



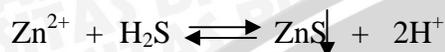
3. *Larutan amonia sulfida*

Endapan seng putih sulfida,  $\text{ZnS}$ , dari larutan netral dan basa: endapan tak larut dalam reagensia berlebihan, dalam asam asetat dan dalam larutan basa alkali, tetapi larut dalam asam-asam mineral encer. Endapan yang diperoleh dengan cara ini bersifat koloid sebagian: endapan ini sukar dicuci dan cenderung untuk mengalir menembus kertas saring, terutama sewaktu dicuci. Untuk mendapatkan seng sulfida dalam bentuk yang bisa disaring dengan mudah, pengendapan sebaiknya dilangsungkan dalam larutan mendidih dengan diberi aminium klorida berlebihan, lalu endapan dicuci dengan larutan amonium klorida encer yang mengandung sedikit amonium sulfida.

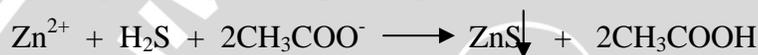


#### 4. *Hodrogen sulfida:*

Pengendapan persial seng sulfida dalam larutan netral; bila konsentrasi asam yang dihasilkan adalah kira-kira 0.3M (pH kira-kira 0.6), maka konsentrasi ion-sulfida yang berasal dari hidrogen sulfida diturunkan begitu banyak oleh konsentrasi ion-hidrogen dari asam, sehingga menjadi terlalu rendah untuk melampaui hasil kali kelarutan ZnS. Akibatnya, pengendapan berhenti.



Dengan menambahkan asetat alkali kepada larutan, konsentrasi ion-hidrogen akan berkurang, karena terbentuknya asam asetat yang berdisosiasi lemah. Berkurangnya konsentrasi ion hidrogen mengakibatkan konsentrasi ion sulfida bertambah sehingga pengendapan menjadi hampir sempurna.



Zink sulfida juga diendapkan dari larutan-larutan tetrahidroksozinkat yang basa:



#### 2.7.1.2.2. Kegunaan ion Seng (Zn)

1. Sebagai lapisan atap rumah(seng)
2. Sebagai lapisan campuran bahan tahan panas.

#### 2.7.1.2.3. Kerugian ion Seng (Zn) bagi kesehatan

1. Bisa sangat beracun lewat serapan kulit dan menghirup asap atau uapnya.
2. Dalam jangka panjang bisa sebagai racun untuk sistem syaraf sentral.
3. Bisa menyebabkan cacat bawaan.

#### 2.7.1.3. Besi (Fe)

Besi yang murni adalah logam berwarna putih perak, yang kukuh dan liat. Ia melebur pada 1535<sup>0</sup>C. Jarang terdapat besi komersil yang murni, biasanya besi mengandung sejumlah kecil karbida, silisida, fosfida, dan sulfida dari besi, serta sedikit grafit. Zat-zat pencemar ini memainkan peranan penting dalam kekuatan struktur besi. Besi dapat dimagnetkan. Asam klorida encer atau pekat dan asam sulfat encer melarutkan besi, pada mana dihasilkan garam-garam besi (II) dan gas hidrogen.



Asam sulfat pekat yang panas, menghasilkan ion-ion besi (III) dan belerang dioksida:



Dengan asam nitrat encer dingin, terbentuk ion besi (II) dan amonia;



Asam nitrat pekat, dingin, membuat besi menjadi pasif, dalam keadaan ini, ia tak bereaksi dengan asam nitrat encer dan tak pula mendesak tembaga dari larutan air suatu garam tembaga. Asam nitrat 1 + 1 atau asam nitrat pekat yang panas melarutkan besi dengan membentuk gas nitrogen oksida dan dari ion besi (III):



Besi membentuk dua deret garam yang penting.

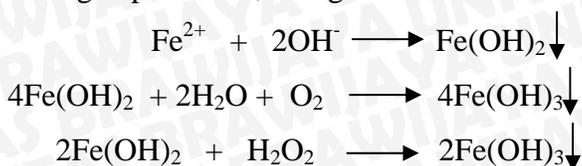
Garam-garam besi (II) (atau fero) diturunkan dari besi(II) oksida, FeO. Dalam larutan, garam-garam ini mengandung kation  $\text{Fe}^{2+}$  dan berwarna sedikit hijau. Ion-ion gabungan dan kompleks-kompleks seperti yang berwarna tua adalah juga umum. Ion besi (II). Maka larutan besi (II) harus sedikit asam bila ingin disimpan untuk waktu yang agak lama.

Garam-garam besi (III) (atau ferit) diturunkan dari oksida besi (III),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Mereka lebih stabil daripada garam besi(II). Dalam larutannya, terdapat kation-kation  $\text{Fe}^{3+}$  yang berwarna kuning muda; jika larutan mengandung klorida, warna menjadi semakin kuat. Zat-zat pereduksi mengubah ion besi(III) menjadi besi(II).

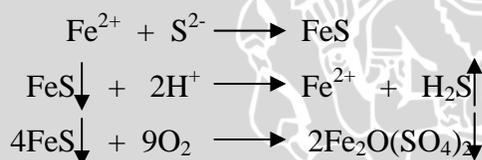
#### 2.7.1.3.1. Reaksi-reaksi ion besi (Fe).

Pakailah larutan 0.5M besi(II) sulfat,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  atau besi(II) amonium sulfat (garam Mohr:  $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), yang baru saja dibuat yang diasamkan dengan 50 ml  $\text{MH}_2\text{SO}_4$  per liter, untuk mempelajari reaksi-reaksi ini.

1. *Larutan natrium hidroksida*: endapan putih besi(II) hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , bila tak terdapat udara sama sekali. Endapan ini tak larut dalam reagensia berlebihan, tetapi larut dalam asam. Bila terkena udara, besi(II) hidroksida dengan cepat dioksidasi, yang pada akhirnya menghasilkan besi(III) hidroksida yang coklat-kemerahan. Pada kondisi biasa,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  nampak sebagai endapan hijau kotor; dengan penambahan hidrogen peroksida, ia segera dioksidasi menjadi besi(III) hidroksida:



2. *Larutan amonia*; terjadi pengendapan besi(II) hidroksida. Tetapi, jika ada ion amonium dalam jumlah yang lebih banyak, disosiasi amonium hidroksida tertekan dan konsentrasi ion hidroksil menjadi semakin rendah, sampai sedemikian, sehingga hasil kali kelarutan besi(II) hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  tak tercapai, dan pengendapan tak terjadi. Keterangan-keterangan yang serupa juga berlaku untuk unsur-unsur divalen lainnya dari golongan III, nikel, kobalt, zink dan mangan dan juga magnesium.
3. *Hidrogen sulfida*; tak terjadi pengendapan dalam larutan asam, karena konsentrasi ion sulfida,  $[\text{S}^{2-}]$ , tak cukup untuk melampaui hasil kali kelarutan besi(II) sulfida. Jika konsentrasi ion hidrogen jadi berkurang dan konsentrasi ion sulfida bertambah dengan sesuai dengan penambahan larutan natrium asetat, maka terjadi pengendapan sebagian besi(II) sulfida,  $\text{FeS}$ , yang hitam.
4. *Larutan amonium sulfida*: endapan hitam besi(II) sulfida,  $\text{FeS}$ , yang larut dengan mudah dalam asam, dengan melepaskan hidrogen sulfida. Endapan yang basah, akan menjadi coklat setelah terkena udara, karena dioksidasikan menjadi besi(III) sulfat basa,  $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2$



5. Larutan *kalium sianida* (racun): endapan coklat kekuningan, besi(II) sianida, yang larut dalam reagensia berlebihan. Pada mana kita memperoleh larutan kuning muda dari ion heksasianoferat(II) (ferosianida)  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$



Karena ion heksasianoferat(II) adalah ion kompleks, tidak memberi reaksi-reaksi besi yang khas. Besi yang ada dalam larutan demikian, bisa dideteksi dengan menguraikan ion kompleks itu mendidihkan larutan dengan asam sulfat pekat dalam kamar asam yang mempunyai ventilasi yang baik, pada mana terbentuk gas karbon monoksida (bersama-sama dengan hidrogen sianida, jika kalium sianida terdapat berlebihan):



Cuplikan kering yang mengandung alkali heksasianoferat(II), terurai sewaktu dipijarkan menjadi besi karbida, alkali sianida, dan nitrogen. Dengan melarutkan residu dalam asam,

besi dapat dideteksi dalam larutan ini (semua pengerjaan-pengerjaan ini harus dilakukan dalam kamar asam).

#### **2.7.1.3.2. Kegunaan ion Besi (Fe)**

1. Sebagai bahan pembuatan alat-alat berat.
2. Sebagai lapisan pelindung untuk asesoris mobil dan perlengkapan.
3. Sebagai bahan pembuat tiang listrik, pagar besi, dll

#### **2.7.1.3.3. Kerugian ion Besi (Fe) bagi kesehatan**

1. Dapat mengakibatkan penyakit minamata (merusak jaringan syaraf).
2. Dalam jangka panjang bisa menyebabkan kerusakan kulit dan kerusakan ginjal.

#### **2.7.2. Kontaminan logam dan kation**

Perubahan kondisi lingkungan akibat pembuangan suatu kontaminan, atau perubahan fisik tanah seperti pada pertambangan akan menyebabkan perubahan potensi redoks tanah dan air tanah. Perubahan potensial redoks dengan sendirinya akan memicu perubahan pada kelarutan suatu spesies. Sebagai contoh adalah oksidasi sulfida menjadi sulfat akan menyebabkan sebagian besar logam dalam bentuk sulfat menjadi larut dalam air tanah. Hal yang sama dapat terjadi pada lokasi *landfill*, dimana proses biologis terjadi. Selain adanya perubahan potensial redoks akibat reduksi yang terjadi, terbentuknya asam-asam organik dapat melarutkan logam.

Tabel 2.2. Kontaminan Logam dan Kation

Jenis Kontaminan	Contoh penggunaannya
Alumunium	Campuran logam ( <i>alloy</i> ), industri listrik, bahan bangunan, cat, dan perlengkapan mesin
Antimon	Campuran logam, <i>solder</i> , mesin-mesin untuk temperatur tinggi.
Arsen	Campuran logam, zat warna, insektisida, herbisida, dan racun tikus.
Barium	Campuran logam, pelumas.
Beryllium	Campuran logam untuk teknologi ruang angkasa, reaktor nuklir, bahan aditif untuk bahan bakar nuklir.
Kadmium (Cadmium)	Campuran logam, pelapis ( <i>coating</i> ), bahan untuk baterai, perlengkapan elektrik, cat, fotografi dan fungisida.
Kapur (Calcium)	Campuran logam, pupuk, bahan pereduksi.
Khrom (Chromium)	Campuran logam, lapisan pelindung, cat, penelitian bidang nuklir dan temperatur tinggi.
Kobalt (Cobalt)	Campuran logam, keramik, minuman, cat, gelas/kaca, percetakan, dan <i>elektroplating</i> .
Tembaga (Copper)	Campuran logam, cat, kabel listrik, mesin-mesin, elektroplating, jaringan pipa, dan insektisida.
Besi	Campuran logam, mesin dan bahan konstruksi.
Timbal (Lead, Plumbum)	Campuran logam, baterai, aditif pada bensin, cat, pelindung radiasi.
Lithium	Campuran logam, industri farmasi, baterai, <i>solder</i> , dan propellant.
Magnesium	Campuran logam, baterai, pyroteknik, alat-alat presisi, dan cermin optik.
Mangan	Campuran logam, katalis.
Air Raksa (Mercury)	Campuran logam, industri tambang emas rakyat, perlengkapan elektrik, industri farmasi.
Molybdenium	Campuran logam, pigmen, dan pelumas.
Nikel	Campuran logam, <i>elektroplating</i> , keramik, baterai, dan katalis.
Palladium	Katalis, campuran logam, lapisan pelindung, industri perhiasan ( <i>jewelry</i> ), dan perlengkapan listrik.
Kalium (Potassium)	Campuran logam, katalis, pupuk.
Selenium	Campuran logam, katalis, keramik dan elektronik.
Perak (Silver)	Campuran logam, fotografi, industri kimia, perhiasan, katalis.
Natrium (Sodium)	Industri kimia, katalis, pendingin dan reagen dalam laboratorium kimia.
Titanium	Campuran logam, material, lapisan pelindung.
Seng (Zinc)	Campuran logam, <i>elektroplating</i> , elektronik, otomatis, fungisida, atap.

## 2.8. Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari kata *Phytoremediation* yang berasal dari kata *Phyto*:: tumbuhan dan *Remidiation*: menyembuhkan, sehingga *phytoremediation* adalah menghilangkan, memperbaharui kesalahan atau kekurangan (*Anonimous, 1999*). Dengan kata lain fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar.

Teknologi mengolah limbah dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan pencemar limbah padat atau cair yang akan diolah dan ditanami dengan tanaman tertentu yang terdapat didalam limbah tersebut.

Banyak istilah yang diberikan pada sistem ini sesuai dengan mekanisme yang terjadi pada prosesnya, misalnya:

1. *Fitostabilization* : Polutan distabilkan di dalam oleh pengaruh tanaman.
2. *Fitostimulation* : Akar tanaman menstimulasi penghancuran polutan dengan bantuan bakteri rhizopere.
3. *Fitodegradation* : Tanaman mendegradasi polutan dengan atau tanpa menyimpannya didalam daun, batang, atau akarnya untuk sementara waktu.
4. *Fitovolatilization* : Polutan oleh tanaman diubah menjadi senyawa yang mudah menguap sehingga dapat dilepaskan ke udara.

*Rhizofiltration* : polutan diambil dari air oleh akar tanaman pada sistem hidroponik.

Proses remediasi polutan dari dalam tanah atau air karena jenis tanaman tertentu dapat melepaskan zat *carriers*, yang biasanya berupa senyawa kelat, protein, glukosa, yang berfungsi mengikat zat polutan tertentu kemudian dikumpulkan di jaringan tanaman, misalnya pada daun atau akar.

➤ Keunggulan sistem fitoremediasi adalah:

1. Biayanya operasi pemeliharaan murah/rendah.
2. Lapisan tanah bagian atas dapat digunakan kembali.
3. Logam-logam yang diserap oleh tanaman dapat didaur ulang dengan aman.

➤ Kekurangan sistem fitoremediasi adalah:

1. Perlu waktu yang lama dan diperlukan pupuk untuk menjaga kesuburan tanaman.

2. Akar tanaman biasanya pendek sehingga tidak bisa menjangkau bagian tanah yang dalam.

### 2.9. Mutu dan Jumlah Cahaya

Cahaya yang dengan panjang gelombang yang berbeda dapat kita lihat dengan berbagai warna dimana dapat memberikan kebutuhan energi yang berbeda pula pada tanaman. Kuantitas cahaya atau intensitas cahaya ditunjukkan oleh konsentrasi gelombang cahaya. Dapat dinyatakan dengan energi listrik (watt) tiap satuan luas atau dengan footcandle. *Footcandle* adalah intensitas penyinaran berdasarkan kepekaan mata manusia. Intensitas berbagai keadaan cahaya dinyatakan dengan footcandle dapat dilihat pada Tabel 2.2. Reaksi cahaya yang berbeda dari tiap tanaman bervariasi pada kebutuhannya dengan memandang baik intensitas yang diperlukan untuk memulai reaksi maupun efek intensitas cahaya tersebut pada laju reaksi.

**Tabel 2.3**  
**Nilai Intensitas Cahaya untuk Berbagai**  
**Keadaan Cahaya dan Reaksi Cahaya dari Tanaman**

Keadaan cahaya atau reaksi cahaya	Footcandle
Cahaya bintang	0,0001
Cahaya bulan	0,02
Induksi fotoperiodik	0,3
Dalam rumah dekat jendela	100,0
Cuaca berawan	1.000,0
Fotosintesis maksimum (daun satuan)	1.200,0
Cahaya matahari langsung	10.000,0

*Sumber: Buku biologi pertanian*

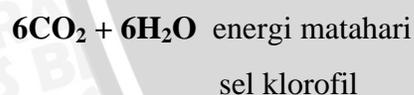
Laju fotosintesis berhubungan dengan ketersediaan bahan mentah, yaitu air dan karbondioksida, dan energi yang tersedia dalam bentuk panas dan cahaya. Syarat-syarat sederhana ini sangat banyak didapat di daerah tropik dan sedang, baik di laut maupun di darat. Laju fotosintesis berbanding lurus dengan intensitas cahaya sampai kira-kira 1.200 footcandle (Hariadi, 1979). Klorofil hanya dapat menggunakan sebagian saja dari energi

cahaya pada hari-hari yang cerah, yang dapat mencapai lebih dari 10.000 *footcandle*. Karena efek naungan, diperlukan jumlah maksimum dari intensitas cahaya untuk memberikan jumlah energi optimum pada semua daun di dalam satu tanaman. Laju fotosintesis sangat berkurang selama cahaya suram, pada waktu langit mendung. Akan tetapi, tidak semua tanaman mempunyai respon terhadap intensitas cahaya yang tinggi. Beberapa memerlukan hanya sepersepuluh dari cahaya matahari penuh. Perbedaan dalam kebutuhan cahaya inilah yang mengakibatkan adanya klarifikasi ke dalam tanaman cahaya terbuka dan tanaman naungan (tanaman lindung). Dalam kebutuhan mutu cahaya reaksi fotosintesis bersifat spesifik. Korofil menyerap bagian biru dan merah dari spektrum cahaya, membiarkan cahaya hijau lewat. Karenanyalah, klorofil berwarna hijau. Mutu absorpsi dari tanaman tingkat tinggi menunjukkan absorpsi cahaya merah lebih banyak daripada yang biru (*Harjadi, 1979*).

## 2.10. Fotosintesis

Fotosintesis sering didefinisikan sebagai suatu proses dimana terjadi sintesa karbohidrat tertentu dari karbondioksida dan air yang dilakukan oleh sel-sel yang berklorofil dengan adanya cahaya matahari dan dibebaskan gas oksigen. Kehidupan didalam air ditopang oleh proses fotosintesis. Proses fotosintesis ini kadang-kadang dikenal dengan istilah : asimilasi karbon.

Sebagai persamaan total dari proses fotosintesis biasanya ditulis sebagai berikut :



Reaksi ini adalah merupakan reaksi endometris artinya untuk berlangsungnya perlu adanya energi dari luar. Energi ini diperoleh dari cahaya matahari.

Dalam tahun 1905 *Blacman* mempelajari pengaruh dari intensitas cahaya dan temperature terhadap kecepatan fotosintesis akan sesuai dengan intensitas cahaya. Dengan menaikkan intensitas cahaya maka kecepatan fotosintesis akan naik. *Blacman* membagi dua reaksi kimia dalam proses fotosintesis, yaitu :

1. Reaksi fotokimia (reaksi cahaya)
2. Reaksi gelap (reaksi *Blacman*)

Reaksi fotokimia mempunyai sifat-sifat :

- Untuk berlangsungnya reaksi ini perlu adanya energi cahaya matahari.
- Tidak peka terhadap suhu.
- Kecepatan reaksi fotokimia relative lebih besar dari reaksi gelap.

Reaksi gelap mempunyai sifat-sifat :

- Untuk berlangsungnya reaksi ini tidak perlu ada cahaya.
- Peka terhadap suhu.
- Kecepatan reaksinya relative lebih lambat daripada reaksi fotokimia.
- Adalah merupakan reaksi enzimatik.

### **2.10.1. Faktor-faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Fotosintesis**

Proses fotosintesis dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain :

#### **1. Cahaya**

Seperti diketahui cahaya matahari adalah merupakan sumber energi bagi fotosintesis.

Karena itu cahaya matahari mempunyai pengaruh yang besar terhadap fotosintesis ini meliputi 3 hal, yaitu :

##### **a. Intensitas cahaya**

Yang dimaksud dengan intensitas cahaya ialah banyaknya energi cahaya yang diterima per satuan waktu. Intensitas cahaya ini biasanya dinyatakan dengan satuan ergs/cm/detik. Umumnya makin tinggi intensitas cahaya akan makin bertambah besar kecepatan fotosintesisnya sampai suatu faktor (dalam hal ini kadar CO<sub>2</sub>) menjadi faktor pembatas.

##### **b. Lamanya penyinaran**

Pengaruh cahaya terhadap fotosintesis juga dipengaruhi oleh lamanya penyinaran. Semakin tinggi intensitas cahaya maka pengaruh dari lamanya waktu penyinaran juga akan makin besar.

##### **c. Kualitas cahaya**

Pengaruh panjang gelombang pada macam-macam tumbuhan adalah berbeda-beda. Pada tumbuh-tumbuhan tinggi, pada umumnya kecepatan fotosintesis yang maksimum terdapat pada daerah sinar biru dan daerah sinar merah, sedang pada kebanyakan algae kecepatan fotosintesis yang maksimum terdapat pada daerah sinar hijau.

## 2. Pengaruh Temperatur

Temperatur mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis. Sampai pada suatu titik tertentu kecepatan fotosintesis akan meningkat dengan makin meningkatnya suhu. Akan tetapi dengan menaikkan suhu ini, kenaikan kecepatan fotosintesis hanya dapat terlihat pada pengukuran dalam waktu semakin pendek.

## 3. Pengaruh kadar CO<sub>2</sub>

Bagi tumbuh-tumbuhan yang hidup di darat, maka atmosfer adalah satu-satunya sumber CO<sub>2</sub>. Banyak penelitian dilakukan untuk mempelajari pengaruh kadar CO<sub>2</sub> terhadap kecepatan fotosintesis. Dari penelitian-penelitian itu umumnya didapatkan bahwa pada syarat-syarat dalam laboratorium, dimana tidak ada faktor lain yang menjadi faktor pembatas, maka kecepatan fotosintesis akan naik dengan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> dalam udara sampai 0,3 % bahkan sampai 1 %.

## 4. Kadar air

Meskipun air merupakan salah satu bahan baku dalam proses fotosintesis, namun pengaruh dari pengurangan air dalam daun terhadap kecepatan fotosintesis pada umumnya adalah secara tidak langsung. Pengaruh kadar air dalam tanah akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan fotosintesis. Pengurangan dalam kecepatan fotosintesis telah tampak jelas sebelum terjadi kelayuan pada daun-daun. Penggenangan air pada kebanyakan tanaman juga akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan fotosintesis dimana pengurangan kecepatan fotosintesis akan nampak kira-kira 2 sampai 7 hari kemudian setelah penggenangan (Suwasono, 1987). Pengaruh dari pengurangan kadar air dalam daun terhadap kecepatan fotosintesis dapat disebabkan karena hal-hal sebagai berikut :

- a. Berkurangnya kapasitas difusi dari stomata karena stomata menutup. Pengurangan dalam hidrasi dari kloroplas dan bagian-bagian lain dari protoplasma sehingga akan mengurangi efektifitas mekanisme fotosintesis.
- b. Terjadi akumulasi gula sehingga menghambat proses fotosintesis lebih lanjut.

## 5. Pengaruh senyawa-senyawa kimia tertentu

Banyak senyawa-senyawa kimia yang dimana diserap oleh sel-sel tumbuh-tumbuhan akan mempunyai pengaruh mengurangi kecepatan fotosintesis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Biasanya senyawa-senyawa kimia tersebut pengaruhnya menghambat terhadap kecepatan fotosintesis ini antara lain adalah :

- *Hydrocyanin acid*
- *Hydroxylamine*
- *Hydrogen sulfa*
- Senyawa-senyawa tertentu yang mengandung *iodoacetyl* radikal.

Sebagai contoh misalnya *Hydrocyanic acid* akan menghambat fotosintesis *Dargagsan Chlorella* hanya pada kadar  $4 \times 10^{-5}$  M. Senyawa-senyawa tersebut diatas pada umumnya adalah merupakan zat penghambat enzim-enzim fotosintesis. Masing-masing dari enzim tersebut merupakan zat penghambat bagi enzim tertentu. Kecuali zat-zat penghambat seperti tersebut diatas, juga beberapa unsur hara mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis, seperti misalnya unsur-unsur hara N, P, dan K. Hal ini karena unsur-unsur tersebut mempunyai pengaruh terhadap kadar klorofil dalam tumbuh-tumbuhan.

#### 6. Pengaruh kadar oksigen

Kecuali oleh faktor-faktor tersebut di atas, kecepatan fotosintesis juga dipengaruhi oleh kadar oksigen dalam atmosfer. Dalam hal ini pada umumnya makin tinggi kadar oksigen dalam atmosfer. Dalam hal ini pada umumnya makin tinggi kadar oksigen dalam udara akan semakin berkurang kecepatan fotosintesisnya. Pengaruh kadar oksigen ini akan semakin nampak jelas dengan makin tingginya intensitas cahaya. Mengenai bagaimana pengaruh kadar oksigen yang tinggi ini dapat mengurangi kecepatan fotosintesis, hal ini belum diketahui dengan pasti.

### 2.10.2. Faktor-faktor dalam Tumbuhan yang Berpengaruh dalam Fotosintesis

Faktor-faktor dalam umbu-tumbuhan yang mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis antara lain adalah :

#### 1. Kadar klorofil

Menurut Millistatter & Stoll pengaruh dari kadar klorofil terhadap kecepatan fotosintesis ini ditentukan oleh suatu indeks yang disebut : *Photosynthetic number*.

Yang dimaksud *photosynthetic number* adalah banyaknya CO<sub>2</sub> dalam gram yang diserap setiap jamnya oleh tiap klorofil.

## 2. Hidrasi dari protoplasma

Hidrasi dari bagian-bagian protoplasma akan menaikkan efisiensi dari mekanisme fotosintesis.

## 3. Anatomi dari daun

Susunan daun yang mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis ini antara lain adalah :

- Ukuran dan distribusi dari ruang-ruang interseleuler dalam daun.
- Perbandingan dan distribusi dari jaringan tiang dan jaringan bunga karang.
- Ukuran, kedudukan serta susunan dari stomata.
- Tebalnya lapisan epidermis dan lapisan kutikula.
- Ukuran, distribusi serta efisiensi dari berkas-berkas pengangkutan dalam daun.

Mengenai pengaruh susunan anatomi daun terhadap kecepatan fotosintesis ini terutama karena pengaruhnya terhadap :

- Kecepatan masuknya  $\text{CO}_2$
- Penetrasi dari intensitas cahaya ke dalam sel-sel daun.
- Pemeliharaan turgor dari sel-sel daun.
- Kecepatan transport karbohidrat yang dapat larut keluar dari sel-sel yang melakukan fotosintesis.

## 4. Faktor dalam protoplasma

Kecuali klorofil dan hidrasi, banyak faktor-faktor dalam protoplasma mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis. Di antara faktor-faktor itu yang paling penting adalah enzim. Jumlah enzim dalam macam-macam fotosintetik sel berbeda-beda, bahkan fotosintetik sel yang sama jumlah enzimnya bias berbeda pada kondisi yang berbeda-beda.

## 5. Akumulasi hasil akhir fotosintesis

Selama proses fotosintesis terjadi akumulasi dari karbohidrat di dalam sel fotosintetik. Akumulasi ini berlangsung lebih cepat daripada bagian karbohidrat yang diangkut ke jaringan-jaringan yang lain. Di bawah keadaan-keadaan tertentu akumulasi karbohidrat dapat begitu besar, sehingga dapat mengambat kecepatan fotosintesis lebih lanjut.

## 2.11. Kebutuhan Unsur Hara Tanaman

Tanaman akan mengabsorpsi unsur hara dalam bentuk ion yang terdapat disekitar daerah perakaran. Unsur-unsur ini harus berada dalam bentuk tersedia dan dalam konsentrasi yang optimum, serta unsur-unsur tersebut harus berada dalam suatu kesetimbangan (Hakim, 1986). Unsur-unsur hara tersebut terbagi dalam dua kelompok besar, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Kedua unsur hara dapat dapat diabsorpsi tanaman dalam berbagai bentuk sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.3 berikut:

**Tabel 2.4. Unsur hara yang dibutuhkan tanaman**

Jenis Unsur Hara	Bentuk yang diserap oleh Tanaman	Keterangan
Makro :		
Carbon (C)	CO <sub>2</sub> (melalui daun)	Diserap dari udara dan air
Hidrogen (H)	H <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O (H dari daun)	
Oksigen (O)	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> (melalui daun)	
Nitrogen (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Diserap dari tanah
Phospor (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Kalium (K)	K <sup>+</sup>	
Kalsium (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	
Magnesium (Mg)	Mg <sup>2+</sup>	
Sulfur (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Mikro :		
Mangan (Mn)	Mn <sup>2+</sup>	
Boron (B)	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	
Molibdenum (Mo)	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Molibdat)	
Tembaga (Cu)	Cu <sup>2+</sup> atau Cu <sup>3+</sup>	
Seng (Zn)	Zn <sup>2+</sup>	
Besi (Fe)	Fe <sup>2+</sup> atau Fe <sup>3+</sup>	
Chlor	Cl <sup>-</sup>	

Sumber : Hardjowigeno (1987)

### 2.11.1. Sumber-sumber unsur hara tanaman

Menurut Hakim (1986) unsur hara yang diserap oleh tanaman dapat berasal dari tiga sumber, yaitu :

1. Bahan organik, dimana bahan ini harus mengalami dekomposisi (pelapukan) terlebih dahulu sebelum tersedia bagi tanaman.
2. Mineral alami, dimana bahan ini akan menjadi unsur hara yang tersedia bagi tanaman setelah mengalami penghancuran oleh cuaca.
3. Unsur hara yang terjerat atau terikat. unsur hara ini terikat di permukaan atau di antara lapisan koloid tanah sebagai sumber utama dari unsur hara yang diatur oleh manusia.

### 2.11.2. Proses Absorpsi Unsur Hara

Unsur hara dapat diserap tanaman jika berada dalam bentuk larutan dan kontak langsung dengan permukaan akar. Menurut Hardjowigeno (1987) pergerakan unsur hara ke permukaan akar terjadi melalui tiga cara, yaitu :

#### 1. Aliran Massa (*Mass flow*)

Aliran massa adalah pergerakan unsur hara didalam tanah menuju permukaan akar tanaman bersama-sama gerakan massa air. Aliran massa terjadi karena pengaruh transpirasi (timbul dari perbedaan tekanan air) tumbuhan tersebut. Pada saat bersamaan ikut terangkut bersama-sama ion terlarut dari daerah yang jatuh ke daerah yang terjangkau oleh akar.

#### 2. Diffusi

Air dan unsur yang terlarut di dalamnya disebut larutan tanah (*soil solution*). Pada waktu akar tanaman menyerap unsur dari larutan tanah, unsur hara lain yang terlarut dalam air bergerak menuju akar tanaman tanpa aliran air tetapi bergerak sebagai akibat hukum *diffusi*, yaitu hukum yang menyatakan Bergeraknya suatu zat (unsur hara) dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah.

#### 3. Intersepsi (penyergapan) akar.

Intersepsi merupakan pertukaran langsung antara unsur hara dengan akar. Akar-akar tanaman yang terus tumbuh akan memanjang menuju tempat lebih jauh di dalam tanah sehingga menemukan unsur-unsur hara dalam larutan tanah ditempat tersebut. Memanjangnya akar-akar tanaman berarti memperpendek jarak yang harus ditempuh unsur-unsur hara untuk mendekati akar tanaman melalui aliran massa ataupun difusi.

Sebagaimana diketahui tanaman hanya menyerap unsur yang diperlukan saja. Oleh karenanya sel-sel yang menyusun akar tanaman dibagian luar terdiri dinding sel tidak aktif yang bersinggungan langsung dengan tanah, sedang bagian dalam terdiri dari protoplasma

aktif yang dikelilingi oleh suatu membran. Seleksi terhadap unsur-unsur yang diserap tanaman dilakukan oleh membran ini. Proses ini berlangsung melalui suatu *carrier* (pembawa) yang bersenyawa dengan ion (unsur) terpilih kemudian masuk kedalam protoplasma dengan menembus membran sel. Bila akar tanaman menyerap unsur hara dalam bentuk kation, maka dari akar akan dikeluarkan kation  $H^+$  dalam jumlah yang setara. Bila yang diserap akar adalah anion, maka akar akan mengeluarkan anion  $HCO_3^-$  dengan jumlah yang setara pula.

### 2.12. Mekanisme Penyerapan Logam dalam Tumbuhan

Pada dasarnya tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap. kemampuan untuk menyerap ini memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, mulai dari unsur yang berlimpah sampai unsur yang sangat kecil dibutuhkan oleh tanaman. Pb tidak termasuk dalam unsur hara, sehingga untuk menyerap logam-logam tersebut, tanaman membuat suatu zat untuk mengikat logam-logam tersebut dengan merubah pH, untuk diangkut dan dicerna didalam jaringan tubuh dari tumbuhan tersebut. Karena logam Pb bersifat racun pada tanaman, maka untuk mencegah keracunan, tanaman menimbun logam Pb didalam akar (Collins, 1999)

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber kehidupan yang sangat penting sehingga tanpa air tidak akan dijumpai kehidupan. Pada dasarnya air adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui, namun ketersediannya tidak selalu sejalan dengan kebutuhannya. Hal ini disebabkan karena kebutuhan air terus meningkat mengikuti jumlah penduduk serta taraf hidup sebagai hasil nyata pembangunan. Beberapa aktivitas manusia dalam pemanfaatan sumber daya air yang tanpa disertai pengelolaan air secara tepat akan menyebabkan penurunan kualitas air. Menurunnya kualitas air dapat disebabkan oleh kandungan sediment yang bersumber dari erosi atau kandungan bahan-bahan atau senyawa dari air limbah rumah tangga, limbah industri atau limbah pertanian. Peristiwa ini dikenal dengan polusi atau pencemaran. (Suripin,2002).

Pada saat ini ketersediaan air bersih sangat terbatas dan banyak orang terkadang memanfaatkan air apa adanya tanpa memperdulikan keadaanya yang kurang memenuhi persyaratan kesehatan. Peluang untuk menjernihkan air sungai yang tercemar masih terbuka untuk tingkat pencemaran yang rendah (*low level pollutant*) disamping karena sungai memiliki daya *self purification* (kemampuan secara alami memurnikan badan sungai dari pencemaran akibat polutan dalam skala kecil). Jika beban limbah terlalu besar dan aliran air sungai tidak mampu menampung tingkat pencemaran yang tinggi (*high level pollutant*) akan sulit untuk dijernihkan serta membutuhkan biaya operasional yang besar (Purwanti, 2005).

### 1.2 Identifikasi Masalah

Pencemaran air oleh limbah industri dapat terlihat secara visual dan juga dapat tercium baunya, seperti yang nampak pada sungai yang mengalir melalui kota-kota. Hal ini tentu akan sangat mengganggu aktifitas kehidupan kita sehari-hari. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, masalah pencemaran air limbah dapat kita atasi dengan jalan menggunakan sistem biologis memakai sarana tanaman air. Pada dasarnya usaha yang dapat kita lakukan untuk mengatasi masalah pencemaran limbah terdiri dari:

1. Mengurangi limbah yang kita hasilkan dengan menaikkan efisiensi penggunaan air.
2. Pengolahan limbah
3. Daur ulang limbah

Pengolahan air limbah dan daur ulang limbah dapat dilakukan dengan memanfaatkan air limbah. Tanaman air dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk pengolahan air limbah secara biologis. Tanaman air ini mempunyai kemampuan untuk menyerap polutan yang ada dalam air limbah tersebut. Didalam air limbah industri banyak terdapat bahan logam berat yang berasal dari sisa hasil olahan industri. Diantaranya yaitu kandungan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) Kandungan unsur-unsur tersebut yang telalu tinggi dalam air tidak menguntungkan. Kadar Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) yang tinggi apabila mencemari lingkungan dapat menjadi racun. Keracunan yang ditimbulkan oleh logam Pb, Zn, dan Fe dapat terjadi karena masuknya persenyawaan logam tersebut kedalam tubuh yang dapat melalui makanan, minuman, udara dan perembesan atau penetrasi pada selaput atau lapisan kulit. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan limbah yang mengandung logam Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) agar kadar kandungan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) yang semula masih sangat besar dapat diolah sehingga menghasilkan kadar Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) menjadi seminimal mungkin.

Salah satu cara pengolahan limbah tersebut dengan cara fitorimediiasi yaitu memanfaatkan tanaman air untuk mengurangi, menghilangkan kadar polutan yang ada. Diharapkan dengan sistem fitorimediiasi ini kadar polutan logam Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dalam air limbah dapat berkurang.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun pembahasan dalam kajian ini dibatasi pada beberapa masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Analisis berdasarkan data penelitian yang dihasilkan di Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3. Sampel yang diuji adalah air aquades yang dicampur dengan larutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dan air limbah keramik.
4. Tanaman yang dipakai dalam penelitian ini adalah tanaman air yang sudah tumbuh dengan umur kira-kira 3-4 bulan agar tidak memakan waktu yang lama dalam pelaksanaan penelitian.
5. Jenis tanaman air yang dipakai adalah Apu – Apu (*Pristia tratioides*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*).
6. Kadar polutan yang akan dikurangi adalah Timbal (Pb), seng (Zn), Besi (Fe).
7. Sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sinar matahari.
8. Tidak membahas analisis ekonomi.
9. Hanya melihat pengaruh efektifitas tanaman air terhadap pengurangan kadar polutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) dalam air limbah

#### 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian diatas maka dalam studi ini permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kandungan polutan pada sample air limbah ?
2. Bagaimana pengaruh efektifitas tanaman air dalam mengurangi kadar polutan Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe) pada sample air limbah yang diuji ?
3. Berapa jumlah tanaman yang dibutuhkan untuk penyerapan polutan dalam bak penampungan air limbah ?

#### 1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengkaji efektifitas tanaman apu-apu (*Pristia tratioides*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan intensitas cahaya dalam mengurangi kadar polutan pada air limbah.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah wawasan kita mengenai upaya mengurangi kadar polutan pada air limbah dengan sistem biologis menggunakan sarana tanaman air.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Sejalan dengan pertumbuhan dan perkembangan penduduk yang selalu meningkat tiap tahunnya menyebabkan pemanfaatan terhadap sumber daya air yang ada menjadi tidak terkendali. Kondisi seperti ini yang berlangsung terus-menerus mengakibatkan penurunan kualitas air. Penurunan kualitas air ini ditandai dengan timbulnya masalah pencemaran air limbah. Air limbah merupakan benda yang sudah tidak dipergunakan lagi. Akan tetapi apabila air limbah ini tidak dikelola secara baik akan dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan. Adapun gangguan tersebut antara lain :

1. Gangguan terhadap Kesehatan

Air limbah sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia mengingat bahwa banyak penyakit yang dapat ditularkan melalui air limbah. Air limbah ini ada yang hanya berfungsi sebagai media pembawa saja seperti penyakit kolera, radang usus, hepatitis infektiosa, serta skhistosomiasi.

2. Gangguan terhadap Kehidupan Biotik

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam air.

3. Gangguan terhadap Keindahan

Dengan semakin banyaknya zat organik yang dibuang oleh perusahaan dalam jumlah yang sangat besar menyebabkan air limbah mengalami proses pembusukan dari zat organik yang ada di dalamnya. Sebagai akibat selanjutnya adalah timbulnya bau dari zat organik yang sangat menusuk hidung. Di samping bau yang ditimbulkan, maka dengan menumpuknya zat organik akan memerlukan tempat dan mengganggu keindahan tempat sekitarnya.

4. Gangguan terhadap Kerusakan Benda

Apabila air limbah mengandung gas karbondioksida yang agresif, maka mau tidak mau akan mempercepat proses terjadinya karat pada benda yang terbuat dari besi serta bangunan air kotor lainnya, maka tidak kalah pentingnya apabila air limbah itu adalah

air limbah yang berkadar pH rendah atau bersifat asam maupun pH tinggi yang bersifat basa yang akan mengakibatkan timbulnya kerusakan pada benda-benda yang dilaluinya.

Salah satu langkah mudah yang dapat dilaksanakan adalah melalui sistem biologis dengan menebarkan tanaman air di perairan terbuka. Dengan sistem biologis ini diharapkan tanaman dapat menyerap zat-zat penyerap sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran air limbah.

## **2.2. Sumber-sumber Asal Air Limbah**

Sumber asal air limbah adalah berupa kotoran yang ada di lingkungan masyarakat sebagai dampak dari aktifitas manusia sehari-hari. Sumber air limbah dapat berasal dari limbah industri, limbah rumah tangga, limbah air tanah.

### **2.2.1. Air Limbah Rumah Tangga**

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah daerah perkantoran atau lembaga serta daerah fasilitas rekreasi.

### **2.2.2. Air Limbah Industri**

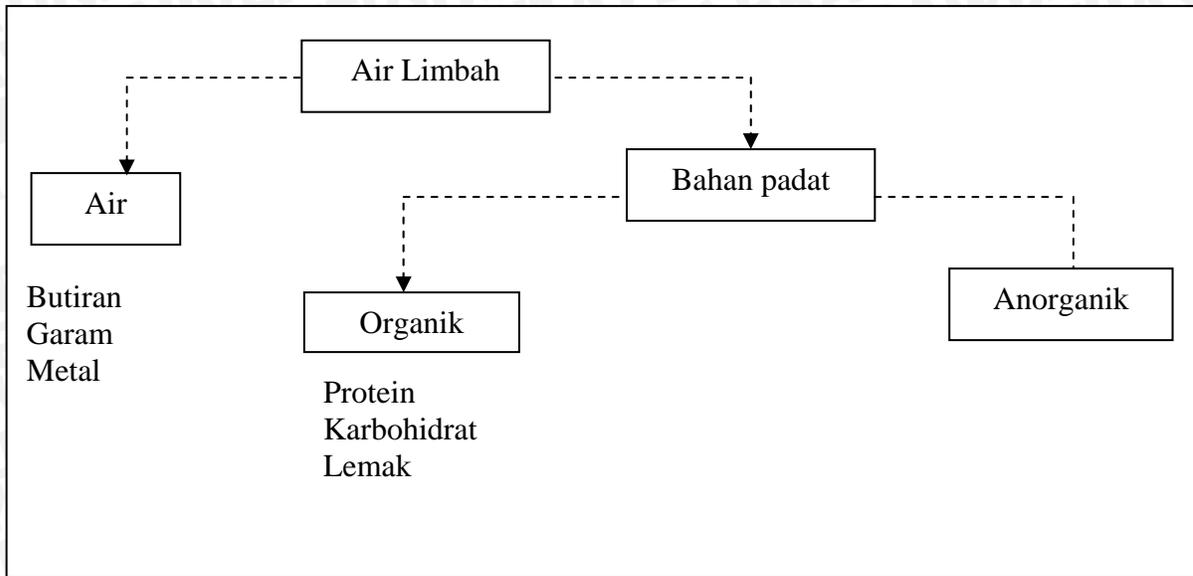
Jumlah air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, derajat pengolahan air limbah yang ada.

### **2.2.3. Air Limbah Rembesan dan Tumbuhan**

Apabila turun hujan di suatu daerah, maka air yang turun secara cepat akan mengalir masuk ke dalam saluran air hujan. Apabila saluran ini tidak mampu menampungnya, maka limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah, dengan demikian akan merupakan tambahan yang sangat besar. Oleh karena itu, perlu diketahui curah hujan yang ada sehingga banyaknya air yang akan ditampung melalui saluran air hujan dan saluran air limbah yang dapat diperhitungkan.

## **2.3. Komposisi Air Limbah**

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Namun secara umum zat-zat yang terdapat di dalam air limbah dapat dikelompokkan seperti pada skema berikut ini.



**Gambar 2.1** Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air limbah

Sumber: Soegiharto, 1987

## 2.4 Analisis Sifat-Sifat Air Limbah

Untuk mengetahui lebih luas tentang air limbah, maka perlu kiranya diketahui juga secara detail mengenai kandungan yang ada di dalam air limbah juga sifat-sifatnya. Setelah diadakan analisis ternyata bahwa air limbah mempunyai sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian besar diantaranya :

- Sifat fisik
- Sifat kimiawi
- Sifat biologisnya

Adapun cara pengukuran yang dilakukan pada setiap. Jenis sifat tersebut dilaksanakan secara berbeda-beda sesuai dengan keadaanya.

### 2.4.1. Sifat Fisik Air Limbah

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Adapun sifat fisik yang penting adalah kandungan zat padat sebagai efek estetika, kejernihan, bau dan warna serta temperatur.

Jumlah endapan pada contoh air merupakan sisa penguapan dari contoh air limbah pada suhu 103 – 105 oC. Beberapa komposisi air limbah akan hilang apabila dilakukan pemanasan secara lambat. Jumlah total endapan terdiri dari benda-benda yang mengendap, terlarut dan tercampur. Untuk melakukan pemeriksaan ini dapat dilakukan dengan mengadakan pemisahan air limbah dengan memperhatikan besar-kecilnya partikel yang

terkandung di dalamnya. Dengan mengetahui besar-kecilnya partikel yang terkandung di dalam air akan memudahkan kita dalam memilih teknik pengendapan yang akan diterapkan sesuai dengan partikel yang ada didalamnya. Air limbah yang mengandung partikel dengan ukuran besar memudahkan proses pengendapan yang berlangsung, sedangkan apabila air limbah tersebut berisikan partikel yang sangat kecil ukurannya akan menyulitkan dalam proses pengendapan, sehingga untuk mengendapkan benda ini haruslah dipilih cara pengendapan yang lebih baik dengan teknologi yang canggih. Jumlah total endapan terdiri atas tiga golongan, yaitu:

1. Golongan zat yang mengendap.
2. Golongan zat yang tercampur.
3. Golongan zat padat yang terlarut.

Zat-zat padat yang bisa mengendap adalah zat padat yang akan mengendap pada kondisi tanpa bergerak atau diam kurang lebih selama 1 jam sebagai akibat gaya beratnya sendiri (Sugiharto, 1987). Besarnya endapan diukur dengan alat pengukur yang dinyatakan dalam satuan milligram setiap liter air limbah. Hal ini sangat penting untuk mengetahui derajat pengendapan dan jumlah endapan yang ada di dalam suatu badan air. Jumlah total endapan dapat dideteksi dengan penyaringan terhadap air kotor melalui kertas fiber atau saringan 0,45 mikron dan mengukur berat kering dari material yang terkumpul dalam satuan mg/l. Apabila contoh yang diambil berasal dari reaktor aktif air limbah, maka endapan tersebut dikenal sebagai MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*). Hasil endapan ini bila dipanaskan pada suhu 600 °C, maka sebagian bahan akan menguap dan sebagian lagi akan berupa bahan sisa yang sangat kering. Beberapa bahan organik akan dibusukkan di dalam air, ammonia, CO<sub>2</sub>, karbonat dan bahan lainnya adalah komponen dari bahan yang kering tersebut. Adapun bahan yang teruapkan dikenal sebagai *volatile*, sedangkan benda yang tersisa akibat penguapan disebut *fixed*.

**Tabel 2.1 Sifat Fisik dari Air Limbah**

Sifat - sifat	Penyebab	Pengaruh
Suhu	Kondisi udara sekitarnya, air panas yang dibuang ke saluran dari rumah maupun dari industri	Mempengaruhi kehidupan biologis kelarutan oksigen/gas lain. Juga kerapatan air, daya viskositas dan tekanan permukaan.
Kekeruhan	Benda-benda tercampur seperti limbah padat, garam tanah liat, bahan organik yang halus dari buah-buahan asli, algae, organisme kecil.	Memantulkan sinar, jadi mengurangi produksi oksigen yang dihasilkan tanaman. Mengotori pemandangan dan mengganggu kehidupan.
Warna	Benda terlarut seperti sisa bahan organik dari daun dan tanaman (kulit, gula, besi), buangan industri.	Umumnya tidak berbahaya dan berpengaruh terhadap kualitas keindahan air.
Bau	Bahan volatil, gas terlarut, selalu hasil pembusukan bahan organik, minyak utama dari mikroorganisme.	Petunjuk adanya pembusukan air limbah, untuk itu perlu adanya pengolahan, merusak keindahan.
Rasa	Bahan penghasil bau, benda terlarut dan beberapa ion	Mempengaruhi kualitas keindahan air.
Benda padat	Benda organik dan anorganik yang terlarut ataupun tercampur	Mempengaruhi jumlah organik padat, garam, juga merupakan petunjuk pencemaran atau kepekatan limbah meningkat.

Sumber : Soegiharto,1987

#### 2.4.2. Sifat kimia Air Limbah

Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam air limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada penyediaan air bersih. Selain itu, akan lebih berbahaya apabila bahan tersebut merupakan bahan yang beracun. Adapun bahan kimia yang penting yang di dalam air limbah pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

##### 1. Bahan Organik

Air limbah dengan pengotoran yang sedang, maka sekitar 75 % dari benda-benda tercampur dan 40 % dapat disaring adalah berupa bahan organik alami. Zat padat tersebut adalah bagian dari kelompok binatang dan tumbuh-tumbuhan serta hasil kegiatan manusia yang berhubungan dengan komponen bahan organik tiruan. Pada umumnya zat organik berisikan kombinasi dari karbon, hidrogen, dan oksigen bersama-sama dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting yaitu belerang, fosfor, dan besi bisa juga dijumpai. Pada umumnya kandungan bahan organik yang dijumpai dalam air limbah berisikan 40-60 % adalah protein, 25 – 50 % berupa karbohidrat serta 10 % lainnya berupa lemak atau minyak.

Semakin lama jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengelolaan air limbah sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Agar bisa mengolah zat tersebut perlu adanya tambahan biaya untuk membubuhkan bahan kimia seperti penyerap karbon untuk mengolah air limbah secara lengkap.

##### 2. Protein

Protein adalah kandungan utama dari makhluk hidup, termasuk juga di dalamnya tanaman dan binatang bersel satu. Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau karena adanya proses pembusukan dan penguraiannya. Bakteri akan menggunakan oksigen untuk pembusukannya. Untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan benda organik di dalam air limbah digunakan satuan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Semakin besar angka BOD ini menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah adalah semakin besar.

### 3. Lemak, Minyak dan Gemuk

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak didapatkan di dalam air limbah. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah diuraikan.

### 4. Deterjen

Deterjen adalah golongan dari molekul organik yang merupakan penyebab masalah busa karena tahan terhadap penguraian proses biologis. Penghasil utama dari bahan ini adalah air limbah yang berasal dari rumah tangga dan pemukiman.

### 5. Fenol

Fenol merupakan penyebab timbulnya rasa yang ada di dalam air minum terutama apabila air tersebut dilakukan klorinasi.

### 6. Bahan Anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami adalah sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air minum.

### 7. pH

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air sari air alami maupun air limbah. Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses biologis, sehingga mengganggu proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah adalah netral ( 7 ). Semakin kecil nilai pH-nya maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam.

### 8. Sulfur

Sulfur alami terjadi secara alami pada banyak penyediaan air dan juga pada air limbah. Belerang diperlukan pada pembentukan protein tiruan dan akan dibebaskan pada pemecahannya. Sulfat dapat diubah menjadi sulfit dan hidrogen sulfit ( $H_2S$ ) oleh bakteri pada situasi tanpa udara (*anaerob*)

### 9. Zat Beracun

Oleh karena derajat keracunannya inilah, maka zat ini penting pada pengolahan dan pembuangan air limbah. Tembaga, timbal, perak, dan krom serta arsen dan boron adalah zat yang sangat beracun terhadap mikroorganisme. Oleh karena itu, benda ini perlu diperhitungkan pada bangunan pengolahan secara biologis. Beberapa zat dan ion

yang beracun seperti sianida (CN) dan kromat (Cr) juga terdapat dalam air limbah. Zat-zat ini biasanya terdapat pada industri pelapisan logam dan akan bisa dihilangkan melalui pengolahan pendahuluan sebelum dibuang ke saluran air limbah.

#### 10. Logam Berat

Menentukan jumlah dari beberapa logam berat seperti nikel (Ni), Magnesium (Mg), Timbal (Pb), Kromium (Cr), Kadmium (Cd), Zeng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan air raksa (Hg) adalah kandungan yang juga penting. Beberapa jenis logam biasanya digunakan untuk pertumbuhan kehidupan biologis, misalnya pada pertumbuhan algae apabila tidak ada logam pertumbuhannya akan terhambat. Akan tetapi, apabila jumlahnya berlebihan akan mempengaruhi kegunaannya karena timbulnya daya racun yang dimiliki. Oleh karena itu, keberadaan zat ini perlu diawasi jumlahnya di dalam air.

#### 11. Metan

Prinsip terjadinya gas metan adalah akibat penguraian zat organik yang dalam kondisi tanpa udara (anaerob) pada limbah tersebut. Adapun sifat penting dari gas ini adalah tidak berbau, tidak berwarna, dan sangat mudah terbakar. Pada umumnya, dalam jumlah yang banyak tidak akan ditemukan di dalam pembuangan air limbah, karena zat ini dalam jumlah yang sangat kecil sudah sangat beracun. Gas ini dihasilkan oleh lumpur yang membusuk pada dasar bak, sehingga kondisi tanpa udara dapat terjadi. Karena sifat gas metan yang sangat beracun dan mudah terbakar ini, maka gas ini sangat berbahaya bagi manusia yang akan melakukan pemeriksaan terhadap air limbah di dalam saluran melalui lubang pemeriksaan (*manhole*). Oleh karena itu, perlu dibuatkan lubang ventilasi bagi setiap lubang pemeriksaan tersebut untuk mengeluarkan gas ini dari dalam saluran. Dengan demikian tidak akan membahayakan bagi petugas apabila mereka akan melakukan perbaikan, pemeriksaan atau penggantian.

#### 12. Nitrogen

Secara bersama-sama antara nitrogen dan fosfor memberikan kenaikan yang perlu diperhatikan sebab bahan ini meningkatkan pertumbuhan algae dan tumbuhan air.

#### 13. Fosfor

Fosfor ada di dalam air limbah melalui hasil buangan manusia, air seni, dan melalui komponen fosfat dapat digunakan untuk membuat sabun sebagai pembentuk buih.

#### 14. Gas

Banyak gas-gas terdapat di dalam air, oksigen ( $O_2$ ) adalah gas yang penting. Oksigen terlarut selalu diperlukan untuk pernafasan mikroorganisme aerob dan kehidupan lainnya.

#### 2.4.3. Sifat Biologis Air Limbah

Pemeriksaan biologis di dalam air dan air limbah untuk memisahkan apakah ada bakteri-bakteri patogen berada di dalam air limbah. Keterangan biologis ini diperlukan untuk mengukur kualitas air terutama bagi air yang digunakan sebagai air minum.

Selain itu untuk menaksir tingkat kekotoran air limbah sebelum di buang ke badan air.

#### 2.5. Proses-proses Pencemaran di dalam Air

Di dalam air terdapat kehidupan, sehingga air berisi banyak bahan organik yang berasal dari penghuninya, tetapi juga dapat berasal dari tempat-tempat lain karena terbawa oleh air selokan. Air selokan yang datang dari kota dan desa pada umumnya kaya akan bahan organik yang mengandung karbohidrat, protein, lemak, dan senyawa lain-lain, yang merupakan nutrisi atau bahan makanan bagi banyak organisme air. Adanya bahan-bahan tersebut pada satu sisi menguntungkan pertumbuhan suatu organisme, tetapi karena dalam pemanfaatan bahan tersebut terjadi proses-proses kimia tertentu yang menghabiskan salah satu bahan esensial, atau menghilangkan senyawa baru yang mengganggu, maka nutrisi dalam air tersebut pada sisi lain menyebabkan pencemaran lingkungan air. Di dalam air berlangsung proses – proses reaksi penting

- a) Proses fotosintesis yang berlangsung di dalam air membawa perbaikan lingkungan, karena dalam sintesa tersebut timbul gas oksigen sehingga dapat memperkaya kandungan oksigen dalam air tersebut.
- b) Aerobiosa (*aerobiosis*) ialah proses dekomposisi bahan oleh bakteri dalam keadaan ada udara (oksigen). Dalam proses ini terdapat urutan reaksi yang tidak sederhana seperti pada pembakaran biasa. Kalau hanya dilihat proses globalnya, karbohidrat atau gula yang terdapat di dalam air mengalami aerobiosa dengan persenyawaan sebagai berikut :



d) Proses eutrofikasi (*eutrophication*) terjadi pada danau atau perairan lainnya yang menjadi mati atau tidak berfungsi lagi bagi kehidupan di dalam air, sebagai akibat terlalu banyak makanan yang masuk ke dalam perairan. Apabila perairan cukup nutrisi, maka tumbuhan air mudah berkembang biak, misalnya enceng gondok atau ganggang. Kadang-kadang sebuah danau tertutup sama sekali dengan tumbuhan, seolah-olah bukan perairan lagi, atau nampak berselimut hijau oleh ganggang.

Makin banyak nutrisi di dalam air makin banyak tumbuhan terbentuk dan tumbuhan yang mati akan menjadi konsumsi bagi bakteri. Karena dekomposisi oleh bakteri terambil oksigen dari dalam air, maka air danau kekurangan oksigen sehingga tidak dapat dihuni lagi oleh sebangsa ikan dan hewan-hewan lainnya. Tindakan manusia sering mempercepat proses eutrofikasi, yang secara alam proses tersebut berlangsung ratusan atau ribuan tahun. Pada waktu ini banyak dilakukan pemupukan, dan sebgai pupuk masuk kedalam air selokan atau irigasi yang kemudian masuk ke danau memperkaya nutrisi air danau. Dan ini merangsang berkembangnya tumbuhan air, mempercepat habisnya oksigen di dalam air oleh proses aerobiosa.

Juga penggunaan detergen modern mempercepat proses eutrofikasi. Detergen (*detergent*) yang lama disebut sabun, dibuat dari lemak dan soda ( $Na_2CO_3$  atau  $K_2CO_3$ ) sebagai bahan baku. Kotoran yang melekat pada tubuh atau pakaian yang mengandung minyak atau lemak tidak akan mudah hilang dengan air, karena minyak tidak larut dalam air. Sabun terdiri dari suatu persenyawaan yang molekulnya mempunyai sifat dapat menarik molekul air dan molekul minyak, sehingga dapat larut dalam air dan dalam minyak, sehingga dapat pula melarutkan dan melepaskan kotoran-kotoran. Proses ini disebut detergensi. Tetapi sabun tidak berfungsi baik didalam air sadah, sehingga orang membuat detergen modern, yang biasa disebut detergen, yang juga berfungsi baik di dalam air cuci sadah. Sabun biasa tidak menyebabkan eutrofikasi karena sabun tidak merupakan nutrisi bagi tumbuhan. Sabun memang nutrisi untuk bakteri dan sudah habis dimakan bakteri di selokan, sehingga tidak sampai ke danau. Sebaiknya detergen merupakan nutrisi tumbuhan, karena mengandung fosfor sehingga mempercepat eutrofikasi di perairan.

## 2.6. Bahan-bahan Pencemar dari Kota

Kota merupakan tempat pemukiman manusia yang padat dan pusat aktifitas kehidupan. Makin banyak kegiatan kota, makin banyak bahan bangunan yang harus disingkirkan, dan makin sulit mendapatkan lokasi penempatannya. Pada umumnya bahan tersebut sampai di perairan, selokan, ataupun sungai, karena secara tradisional perairan selalu merupakan tempat pembuangan sampah, disamping sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air. Karena makin banyaknya bahan buangan yang masuk ke perairan, akhirnya air tidak lagi dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga, karena sudah tercemar. Sesungguhnya bahan buangan tersebut dapat dimusnahkan dengan dibakar, tetapi untuk itu diperlukan juga biaya dan juga menimbulkan pencemaran lain, pencemaran udara, karena barang-barang yang dibakar mengandung aneka ragam zat yang dapat menimbulkan peracunan udara disamping asapnya yang sangat mengganggu pemandangan dan penciuman. Bahan buangan terdiri dari dua macam, yaitu :

- a) Sampah yang dapat dihancurkan organisme pada umumnya terdiri dari bahan organik atau sisa-sisa pengolahan bahan organik, misalnya kotoran manusia dan hewan, daun dan kayu, buah-buahan, bangkai, kertas, buangan dari kertas, dari pabrik bahan makanan, dan sebagainya. Senyawa organik akan dihancurkan bakteri meskipun prosesnya lambat, dan sering dibarengi dengan keluarnya bau yang tidak menyenangkan, dan rasa air tidak menarik. Untuk menjaga supaya buangan tidak menjadi sarang penyakit, sering di beri klor sebagai desinfektan air yang akan dipakai, tetapi akibatnya klor bereaksi dengan senyawa-senyawa organik dari buangan tersebut yang membentuk senyawa organik berklor dengan bau dan rasa lebih buruk dari bahan buangan semula. Di sisi lain buangan organik merupakan nutrien bagi tumbuhan air yang mengakibatkan cepatnya eutrofikasi perairan. Jadi meskipun bahan buangan itu akhirnya lenyap dengan sendirinya, dalam proses penghancurannya menimbulkan gangguan-gangguan pula kepada lingkungan.
- b) Sampah yang terdiri dari senyawa-senyawa sintetik, misalnya bahan-bahan plastik, serat-serat sintetik, pestisida hidrokarbon berklor seperti DDT dan sebangsanya, minyak bumi, senyawa-senyawa logam dan senyawa-senyawa lainnya yang dihasilkan industri modern yang setiap saat bertambah banyak macamnya. Senyawa-senyawa tersebut akhirnya juga dihancurkan oleh alam, tetapi memerlukan waktu yang sangat lama

sehingga sangat mempengaruhi pemanfaatan dari efektifitas air dan lingkungan. Apalagi apabila bersifat racun atau merusak. Karena senyawa-senyawa tersebut tidak lekas hancur, maka mudah menumpuk dalam tubuh organisme, sehingga kadar dalam tubuh makin bertambah besar dan akhirnya bersifat racun yang mematikan. Dan karena tertinggal didalam tubuh organisme, dapat meracuni seluruh rantai makanan di dalam ekosistem dengan cara beranting dari organisme satu ke organisme lainnya yang memangsanya, yang akhirnya sampai ke manusia juga.

## **2.7. Pengaruh Tanaman Air dalam Mengurangi Kandungan Zat Pencemar dalam Air Limbah**

Pencemaran di perairan terbuka oleh limbah industri dan rumah tangga merupakan masalah yang serius. Berbagai bentuk zat pencemar, baik yang bersifat fisik (Lumpur), bahan organik maupun berupa senyawa kimia termasuk yang beracun, seperti logam berat perlu segera dibatasi sebelum terjadi akumulasi yang membahayakan pada perairan di negara kita.

Salah satu langkah konkret dan mudah dilaksanakan untuk menangani pencemaran perairan adalah melalui sistem biologis dengan jalan menggunakan tanaman air. Dimana diharapkan tanaman tersebut dapat menyerap zat-zat pencemar terutama dari limbah industri dan limbah rumah tangga, sehingga dapat menjernihkan air limbah.

Seperti halnya pada pencemaran udara orang dapat melakukan tindakan preventif dengan mengusahakan supaya bahan buangan kota jangan sampai mencemari air, caranya ialah dengan pengelolaan bahan buangan sehingga sesedikit mungkin menghasilkan zat-zat yang menyebabkan pencemaran lingkungan.

Cara yang paling mudah untuk menghilangkan bahan buangan rumah tangga ialah membuang begitu saja ke perairan-perairan yang terdekat seperti sekarang banyak dilakukan di negara kita, tanpa mengingat bahwa tindakan tersebut akan mencemari lingkungan. Cara yang lebih baik dengan membuang bahan buangan ke tempat-tempat khusus, tempat pembuangan sampah, atau ditanam dalam-dalam di bawah tanah, supaya secara semi-natural lambat laun akan dihancurkan oleh organisme dan alam. Akan tetapi cara ini dapat pula menyebabkan pencemaran air tanah. Dan juga dengan makin banyaknya sampah buangan, sulit sekali mendapatkan lokasi yang tepat dan cukup luas di dalam atau

di dekat kota tanpa menimbulkan gangguan lingkungan hidup dari pencemaran udara dan air.

Oleh karena itu tindakan ini belum mencukupi persyaratan untuk mencegah pencemaran, dan harus dilakukan tindakan lain yang dapat menghilangkan bahan buangan dengan mengubahnya menjadi bahan-bahan lain yang bermanfaat atau paling tidak yang tidak mengakibatkan pencemaran.

Di negara-negara yang lebih memperhatikan akan pencemaran lingkungan, karena mereka sudah mengalami akibat-akibat buruknya, air buangan rumah tangga yang mengandung berbagai bahan pencemar. Air yang tercemar ini dapat dibersihkan secara biologi dengan memberi tanaman air, sehingga senyawa-senyawa yang berbahaya terambil dari air. Untuk menguji kebersihan air dari zat-zat berbahaya, maka dapat ditaburi berbagai jenis ikan yang dapat dijadikan sebagai indikator kebersihan air.

Tanaman air mampu menyerap polutan (penyebab pencemaran) yang terlarut dalam media tumbuh, sehingga kandungannya menurun, kadar polutan dalam tubuh tumbuhan meningkat, sebaliknya dalam media cair menurun, sehingga ion bebas dalam air tersebut akan mampu mengikat oksigen, yang mengakibatkan oksigen terlarut (DO) dalam media cair itu meningkat sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran dalam media cair tersebut. Tanaman air yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

#### 1. Apu – Apu (*Pristia striatiotes*)

Apu-apu adalah tanaman air yang sepiantas sosoknya mirip kol yang mengapung di permukaan air. Nama populernya *water lettuce* atau *shell flower*. Tanaman yang banyak tumbuh di Sungai Nill ini berbunga kuning kecil, tetapi sering tidak terlihat karena terselip diantara daunnya yang lebar dan berjejal. Susunan daunnya membentuk roset atau bertumpuk-tumpuk. Warnanya hijau cerah dengan tekstur tebal berdaging serta berambut halus menyerupai beludru. Setiap roset daun tersebut dihubungkan oleh batang kecil menjalar atau stolon yang mudah dipotong. Ukuran rosetnya tidak terlalu besar, sekitar 10-15 cm sehingga sangat pas jika dipajang ditengah kolam sebagai *cover ground*.

Akarnya yang menyerupai rambut tumbuh menggantung tepat dibawah roset daunnya. Cara perbanyakkan 'kol air' ini sangat gampang, tinggal memotong batang kecilnya yang menjalar (stolon) yang sangat mudah ditumbuhi roset baru. Apungkan potongan tersebut di air, tanaman baru pun akan tumbuh dengan sendirinya. Tanaman apu-apu ini sangat mudah

ditemui, oleh sebab itu tanaman apu-apu ini dipakai dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini sumber cahaya yang dipakai adalah sinar matahari langsung.

## 2. Enceng gondok (*Eichornia Crassipes*)

Enceng gondok adalah tanaman air dengan massa jenis yang ringan karena mempunyai rongga udara pada bagian akar, tangkai dan helai daun. Enceng gondok mempunyai sistem perakaran yang menggantung dan melayang-layang di dalam air, dengan lapisan-lapisan menyerupai labirin merupakan wujud saringan dengan penampang luas. Saringan oleh akar ini bukan hanya menyaring unsur telarut, tetapi juga substrat berupa lumpur dan tanah yang tidak terlarut dengan menyerap dan menahan partikel-partikel yang melayang. Tanaman enceng gondok memiliki keunggulan dalam partikel-partikel yang melayang. Tanaman enceng gondok memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari. Bagian dinding permukaan akar, batang dan daunnya memiliki lapisan yang sangat peka sehingga mampu menyerap sinar matahari serta zat-zat yang terlarut dibawah permukaan air. Walaupun demikian akumulasi zat pencemar di dalam tumbuhan tidak bersifat permanen. Tumbuhan hanya berperan menangkap dan mengakumulasi unsur, baik terlarut maupun tidak pada bagian tumbuhan selama tumbuhan itu masih hidup. Namun setelah tumbuhan itu mati, unsur tersebut dapat terurai dan kembali bebas kealam. Oleh karena itu perlu adanya pemgantian tumbuhan tersebut secara periodik tidak saja untuk mencegah pengendapan pada dasar perairan, tetapi yang lebih penting adalah menyingkirkan polutan-polutan tersebut.

Pada dasarnya terdapat empat tipe tanaman air yang membutuhkan tempat tumbuh yang berbeda sesuai dengan habitat aslinya (Lukito,2002) yaitu :

### 1. Tanaman air oksigen (*Oksigenerator*)

Dalam sebuah akuarium, selain ikan-ikan hias terdapat juga tumbuh-tumbuhan hijau. Bentuk fisik dari kelompok tanaman air ini amat beragam, ada yang seperti pipa berjurai, ada yang mirip daun talas, ada pula yang menyerupai bulu-bulu halus. Adapun tanaman yang air tergolong dalam kelompok ini antara lain *Wallisnerie Spiralis* dan ganggang air. Tanaman air ini dapat berfungsi sebagai tempat berlindung dan penyimpanan telur-telur ikan serta untuk menyerap kandungan garam yang berlebihan sekaligus untuk membersihkan udara yang masuk ke dalam air.

2. Tanaman air mengapung (*Floating Plant*)

Ragam tanaman air ini memang tidak terlalu banyak, yang banyak dikenal masyarakat adalah enceng gondok dan apu-apu. Akar kedua tanaman ini tidak tertanam dalam lumpur di dasar kolam melainkan menggantung ke bawah air.

3. Tanaman Lumpur (*Bog Plant*)

Berbeda dengan tanaman air mengapung, akar tanaman ini malah mengapung di permukaan air. Jadi, untuk menanamnya tidak dibutuhkan media lumpur, cukup letakkan begitu saja di permukaan air. Tanaman tipe inilah yang banyak ditawarkan di pasar bunga. Dalam kelompok tanamn ini jenis tanaman yang berbunga pontederia, sagitaria, **water poppy** dan melati air. Untuk tanaman yang berdaun misalnya giant arum, papitus dan ilalang air. Semua tanaman air ini tumbuh dari media lumpur yang berada di bawah air dan umumnya tumbuh merumpun serta cenderung meninggi

4. Tanaman pinggir (*Marginal Plant*)

Berbeda dengan tanaman lumpur, tipe tanaman ini justru tumbuh di genangan air atau ditempat yang tanahnya selalu basah. Di habitat aslinya, tanaman ini muncul di pinggir-pinggir sungai kecil atau rawa. Termasuk tipe ini adalah bunga iris yang berwarna kuning pucat, ungu muda dan putih.

### 2.7.1. Zat Pencemar dalam Air Limbah

#### 2.7.1.1 Timbal (Pb)

Timbal adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan, dengan rapatan yang tinggi ( $11.48 \text{ g ml}^{-1}$  pada suhu kamar). Timbal mudah melarut dalam asam nitrat yang sedang pekatnya(8M)dan terbentuk juga nitrogen oksida.



Gas Nitrogen (II) oksida yang tak berwarna itu, bila tercampur dengan udara, akan teroksidasi menjadi nitrogen dioksida yang merah:



Dengan asam nitrat yang pekat, terbentuk lapisan pelindung yang berupa timbal nitrat pada permukaan logam, yang mencegah pelarutan lebih lanjut. Asam klorida encer atau asam sulfat encer mempunyai pengaruh yang hanya sedikit, karena terbentuknya timbal klorida atau timbal sulfat yang tak larut pada permukaan timbal itu.

### 2.7.1.1.1. Reaksi-reaksi pada ion Timbal (II)

Larutan timbal nitrat (0.25 M) atau timbal asetat (0.25 M) dapat dipakai untuk mempelajari reaksi-reaksi ini

1. Asam klorida encer (atau klorida yang larut) : endapan putih dalam larutan yang dingin dan tidak terlalu encer.



Endapan larut dalam air panas (33.4 g l<sup>-1</sup> pada 100°C, sedang hanya 9.9 g l<sup>-1</sup> pada 20°C), tetapi memisah lagi sebagai kristal-kristal yang panjang seperti jarum setengah dingin.

Ia juga larut dalam asam klorida pekat atau kalium klorida pekat, pada mana terbentuk ion tetrakloroplumbat(II):



Jika endapan dicuci dengan cara dekantasi, dan amonia encer ditambahkan, tak terjadi perubahan yang nampak (perbedaan dari ion merkuri(I) atau ion perak), meskipun da terjadi reaksi pertukaran-endapan, dan terbentuk timbel hidroksida:



2. Hidrogen sulfida dalam suasana netral atau asam encer: endapan hitam asam sulfida:



Pengendapan tidak sempurna, jika ada asam mineral kuat dengan konsentrasi lebih dari 2M. Karena terbentuk ion hidrogen dalam reaksi di atas, campuran sebaiknya dibufferkan dengan natrium asetat.

Dengan mengalirkan gas hidrogen sulfida ke dalam campuran yang mengandung endapan timbal klorida putih, yang terakhir ini akan diubah menjadi timbel sulfida (hitam) dengan reaksi pertukaran endapan:



Jika uji ini dilakukan dengan adanya klorida [kalium klorida(jenuh)] dalam jumlah yang banyak, mula-mula terbentuk endapan merah timbel sulfoklorida, bila gas hidrogen sulfida dialirkan kedalam larutan:

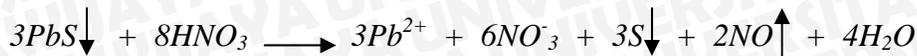


Tetapi ini terurai setelah diencerkan (a), atau setelah ditambahkan *hydrogen sulfide* lebih lanjut (b), dan terbentuk endapan timbal sulfida hitam:





Endapan timbel sulfide terurai bila ditambahkan asam nitrat pekat, dan unsur belerang yang berbutir halus dan berwarna putih akan mengendap:



Jika campuran dididihkan, belerang dioksidasikan oleh asam nitrat menjadi sulfat (a), yang berlangsung membentuk endapan timbal sulfat putih (b) dengan ion timbel yang ada di dalam larutan:



Dengan mendidihkan timbel sulfide dengan hidrogen peroksida (3%), endapan hitam ini berubah menjadi putih karena terbentuk timbel sulfida.

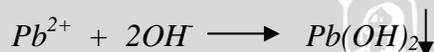


Kelarutan yang sangat kecil dari timbal sulfide dalam air ( $4.9 \times 10^{-11} \text{ g l}^{-1}$ ) menjelaskan mengapa hidrogen sulfida merupakan reagensia yang begitu peka untuk mendeteksi timbal, dan mengapa timbal dapat dideteksi dalam filtrate yang berasal dari pemisahan timbal klorida yang hanya sedikit sekali larut dalam asam klorida encer itu.

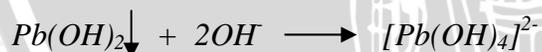
3. *Larutan ammonia*: endapan putih timbal hidroksida



4. *Natrium hidroksida* : endapan putih timbal hidroksida:



Endapan larut dalam reagensia berlebihan, pada mana terbentuk ion tetrahidroksoplumbat(II):



Jadi, timbel hidroksida mempunyai sifat amfoter.

Hidrogen peroksida (a) atau amonium peroksidasulfat (b), bila ditambahkan pada larutan tetrahidroksoplumbat(II), membentuk endapan hitam timbal dioksida dengan mengoksidasikan timbel bivalen menjadi bervalensi empat:



5. *Asam sulfat encer (sulfat-sulfat yang larut)* : endapan putih, timbal sulfat:



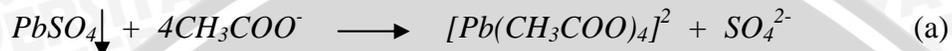
Endapan ini tak larut dalam reagensia yang berlebihan. Asam sulfat yang panas, pekat, melarutkan endapan karena terbentuk timbel hidrogen sulfat:



Kelarutan menjadi jauh lebih rendah dengan adanya etanol.

Endapan timbel sulfat larut dalam larutan amonium asetat yang agak pekat (10M)

(a) atau ammonium tartrat yang agak pekat (6M) (b) dengan adanya amonia, pada mana akan terbentuk ion-ion tetraasetatoplumbat(II) dan ditartratoplumbat(II):



Kestabilan kompleks-kompleks ini tak terlalu besar; ion kromat, misalnya; dapat mengendapkan timbal kromat dari larutan kompleks-kompleks tersebut.

Bila dididihkan dengan natrium karbonat, timbal sulfat diubah menjadi timbal karbonat dalam suatu reaksi pertukaran endapan:



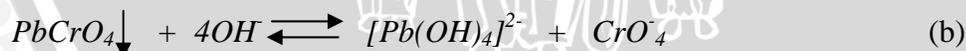
Dengan mencuci endapan secara dekantasi dengan air panas, ion-ion sulfat dapat dihilangkan, dan endapan akan larut dalam asam nitrat encer.



6. Kalium kromat dalam larutan netral, asam asetat atau amonia: endapan kuning, timbal kromat



Asam nitrat (a) atau natrium hidroksida (b) melarutkan endapan:



Kedua reaksi reversibel; dengan membufferkan larutan, masing-masing dengan amonia dan asam asetat, timbal kromat mengendap lagi.

7. Kalium Sianida (*Racun*): endapan putih timbal sianida



yang tak larut dalam reagensia berlebihan. Reaksi ini dapat dipakai untuk membedakan ion timbel (II) dari merkuri (I) dan perak (I), yang bereaksi secara berlainan.

### 2.7.1.1.2. Kegunaan Timbal (Pb)

- 1) Sebagai baterai, aditif bensin, lapisan kabel, amunisi, pipa, tangki, campuran pateri dan leburan.
- 2) Sebagai penguapan vibrasi dalam konstruksi berat, foil, babbitt.

### 2.7.1.1.3. Kerugian Timbal (Pb) bagi kesehatan

- 1) Logam Timbal bisa bersifat toksik karena menghirup debu dan uap.
- 2) Menyebabkan kerusakan otak dan ginjal dalam jangka panjang.
- 3) Menyebabkan cacat bawaan.

### 2.7.1.2. Seng (Zn)

Seng adalah logam yang putih-kebiruan; logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada suhu 110-150°C. Seng melebur pada 410°C dan mendidih pada 906°C.

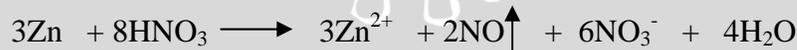
Logamnya yang murni, melarut lambat sekali dalam asam dan dalam alkali; adanya zat-zat pencemar atau kontak dengan platinum atau tembaga, yang dihasilkan oleh penambahan beberapa tetes larutan garam dari logam-logam ini, mempercepat reaksi. Ini menjelaskan larutnya seng-seng komersial. Yang terakhir ini dengan mudah larut dalam asam klorida encer dan asam sulfat encer dengan mengeluarkan hidrogen:



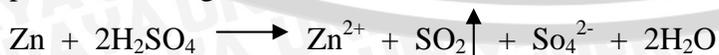
Pelarutan akan terjadi dalam asam nitrat yang encer sekali, pada mana tak ada gas yang dilepaskan:



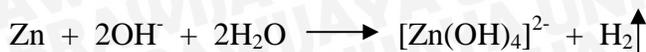
Dengan bertambah pekatnya konsentrasi asam nitrat, akan terbentuk dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), nitrogen oksida (NO):



Asam nitrat pekat mempunyai pengaruh yang kecil terhadap seng, karena rendahnya kelarutan zink nitrat dalam suasana demikian. Dengan asam sulfat pekat, panas, dilepaskan belerang oksida:



Seng juga larut dalam hidroksida alkali, pada mana terbentuk tetrahidrok-sozinkat (II):



Seng membentuk hanya satu seri garam; garam-garam ini mengandung kation seng(II), yang diturunkan dari seng oksida, ZnO.

### 2.7.1.2.1. Reaksi-reaksi dari ion Seng

Larutan seng sulfat,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.25M bisa dipakai untuk mempelajari reaksi-reaksi ini.

1. *Larutan natrium hidroksida*; endapan seperti gelatin yang putih, yaitu seng hidroksida



Endapan larut dalam asam:



Dan juga dalam reagensia yang berlebihan:



Jadi, seng hidroksida adalah senyawa yang bersifat amfoter.

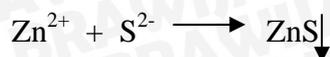
2. *Larutan amonia*

Endapan putih seng hidroksida, yang mudah larut dalam reagensia berlebihan dan dalam larutan garam amonium, karena menghasilkan tetraaminazinkat (II). Tidak diendapkannya seng hidroksida oleh larutan amonia jika ada amonium klorida, disebabkan oleh menurunnya konsentrasi ion-hidroksil sampai nilai sedemikian sehingga hasil kali kelutran  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  tak tercapai.



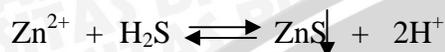
3. *Larutan amonia sulfida*

Endapan seng putih sulfida,  $\text{ZnS}$ , dari larutan netral dan basa: endapan tak larut dalam reagensia berlebihan, dalam asam asetat dan dalam larutan basa alkali, tetapi larut dalam asam-asam mineral encer. Endapan yang diperoleh dengan cara ini bersifat koloid sebagian: endapan ini sukar dicuci dan cenderung untuk mengalir menembus kertas saring, terutama sewaktu dicuci. Untuk mendapatkan seng sulfida dalam bentuk yang bisa disaring dengan mudah, pengendapan sebaiknya dilangsungkan dalam larutan mendidih dengan diberi aminium klorida berlebihan, lalu endapan dicuci dengan larutan amonium klorida encer yang mengandung sedikit amonium sulfida.

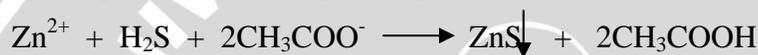


#### 4. *Hodrogen sulfida:*

Pengendapan persial seng sulfida dalam larutan netral; bila konsentrasi asam yang dihasilkan adalah kira-kira 0.3M (pH kira-kira 0.6), maka konsentrasi ion-sulfida yang berasal dari hidrogen sulfida diturunkan begitu banyak oleh konsentrasi ion-hidrogen dari asam, sehingga menjadi terlalu rendah untuk melampaui hasil kali kelarutan ZnS. Akibatnya, pengendapan berhenti.



Dengan menambahkan asetat alkali kepada larutan, konsentrasi ion-hidrogen akan berkurang, karena terbentuknya asam asetat yang berdisosiasi lemah. Berkurangnya konsentrasi ion hidrogen mengakibatkan konsentrasi ion sulfida bertambah sehingga pengendapan menjadi hampir sempurna.



Zink sulfida juga diendapkan dari larutan-larutan tetrahidroksozinkat yang basa:



#### 2.7.1.2.2. Kegunaan ion Seng (Zn)

1. Sebagai lapisan atap rumah(seng)
2. Sebagai lapisan campuran bahan tahan panas.

#### 2.7.1.2.3. Kerugian ion Seng (Zn) bagi kesehatan

1. Bisa sangat beracun lewat serapan kulit dan menghirup asap atau uapnya.
2. Dalam jangka panjang bisa sebagai racun untuk sistem syaraf sentral.
3. Bisa menyebabkan cacat bawaan.

#### 2.7.1.3. Besi (Fe)

Besi yang murni adalah logam berwarna putih perak, yang kukuh dan liat. Ia melebur pada 1535<sup>0</sup>C. Jarang terdapat besi komersil yang murni, biasanya besi mengandung sejumlah kecil karbida, silisida, fosfida, dan sulfida dari besi, serta sedikit grafit. Zat-zat pencemar ini memainkan peranan penting dalam kekuatan struktur besi. Besi dapat dimagnetkan. Asam klorida encer atau pekat dan asam sulfat encer melarutkan besi, pada mana dihasilkan garam-garam besi (II) dan gas hidrogen.



Asam sulfat pekat yang panas, menghasilkan ion-ion besi (III) dan belerang dioksida:



Dengan asam nitrat encer dingin, terbentuk ion besi (II) dan amonia;



Asam nitrat pekat, dingin, membuat besi menjadi pasif, dalam keadaan ini, ia tak bereaksi dengan asam nitrat encer dan tak pula mendesak tembaga dari larutan air suatu garam tembaga. Asam nitrat 1 + 1 atau asam nitrat pekat yang panas melarutkan besi dengan membentuk gas nitrogen oksida dan dari ion besi (III):



Besi membentuk dua deret garam yang penting.

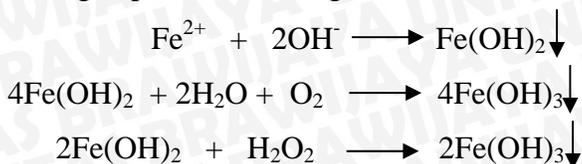
Garam-garam besi (II) (atau fero) diturunkan dari besi(II) oksida, FeO. Dalam larutan, garam-garam ini mengandung kation  $\text{Fe}^{2+}$  dan berwarna sedikit hijau. Ion-ion gabungan dan kompleks-kompleks seperti yang berwarna tua adalah juga umum. Ion besi (II). Maka larutan besi (II) harus sedikit asam bila ingin disimpan untuk waktu yang agak lama.

Garam-garam besi (III) (atau ferit) diturunkan dari oksida besi (III),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Mereka lebih stabil daripada garam besi(II). Dalam larutannya, terdapat kation-kation  $\text{Fe}^{3+}$  yang berwarna kuning muda; jika larutan mengandung klorida, warna menjadi semakin kuat. Zat-zat pereduksi mengubah ion besi(III) menjadi besi(II).

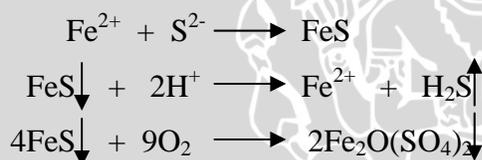
#### 2.7.1.3.1. Reaksi-reaksi ion besi (Fe).

Pakailah larutan 0.5M besi(II) sulfat,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  atau besi(II) amonium sulfat (garam Mohr:  $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), yang baru saja dibuat yang diasamkan dengan 50 ml  $\text{MH}_2\text{SO}_4$  per liter, untuk mempelajari reaksi-reaksi ini.

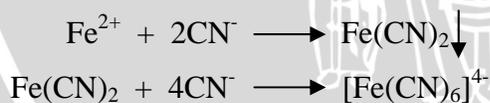
1. *Larutan natrium hidroksida*: endapan putih besi(II) hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , bila tak terdapat udara sama sekali. Endapan ini tak larut dalam reagensia berlebihan, tetapi larut dalam asam. Bila terkena udara, besi(II) hidroksida dengan cepat dioksidasi, yang pada akhirnya menghasilkan besi(III) hidroksida yang coklat-kemerahan. Pada kondisi biasa,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  nampak sebagai endapan hijau kotor; dengan penambahan hidrogen peroksida, ia segera dioksidasi menjadi besi(III) hidroksida:



2. *Larutan amonia*; terjadi pengendapan besi(II) hidroksida. Tetapi, jika ada ion amonium dalam jumlah yang lebih banyak, disosiasi amonium hidroksida tertekan dan konsentrasi ion hidroksil menjadi semakin rendah, sampai sedemikian, sehingga hasil kali kelarutan besi(II) hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  tak tercapai, dan pengendapan tak terjadi. Keterangan-keterangan yang serupa juga berlaku untuk unsur-unsur divalen lainnya dari golongan III, nikel, kobalt, zink dan mangan dan juga magnesium.
3. *Hidrogen sulfida*; tak terjadi pengendapan dalam larutan asam, karena konsentrasi ion sulfida,  $[\text{S}^{2-}]$ , tak cukup untuk melampaui hasil kali kelarutan besi(II) sulfida. Jika konsentrasi ion hidrogen jadi berkurang dan konsentrasi ion sulfida bertambah dengan sesuai dengan penambahan larutan natrium asetat, maka terjadi pengendapan sebagian besi(II) sulfida,  $\text{FeS}$ , yang hitam.
4. *Larutan amonium sulfida*: endapan hitam besi(II) sulfida,  $\text{FeS}$ , yang larut dengan mudah dalam asam, dengan melepaskan hidrogen sulfida. Endapan yang basah, akan menjadi coklat setelah terkena udara, karena dioksidasikan menjadi besi(III) sulfat basa,  $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2$



5. Larutan *kalium sianida* (racun): endapan coklat kekuningan, besi(II) sianida, yang larut dalam reagensia berlebihan. Pada mana kita memperoleh larutan kuning muda dari ion heksasianoferat(II) (ferosianida)  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$



Karena ion heksasianoferat(II) adalah ion kompleks, tidak memberi reaksi-reaksi besi yang khas. Besi yang ada dalam larutan demikian, bisa dideteksi dengan menguraikan ion kompleks itu mendidihkan larutan dengan asam sulfat pekat dalam kamar asam yang mempunyai ventilasi yang baik, pada mana terbentuk gas karbon monoksida (bersama-sama dengan hidrogen sianida, jika kalium sianida terdapat berlebihan):



Cuplikan kering yang mengandung alkali heksasianoferat(II), terurai sewaktu dipijarkan menjadi besi karbida, alkali sianida, dan nitrogen. Dengan melarutkan residu dalam asam,

besi dapat dideteksi dalam larutan ini (semua pengerjaan-pengerjaan ini harus dilakukan dalam kamar asam).

#### **2.7.1.3.2. Kegunaan ion Besi (Fe)**

1. Sebagai bahan pembuatan alat-alat berat.
2. Sebagai lapisan pelindung untuk asesoris mobil dan perlengkapan.
3. Sebagai bahan pembuat tiang listrik, pagar besi, dll

#### **2.7.1.3.3. Kerugian ion Besi (Fe) bagi kesehatan**

1. Dapat mengakibatkan penyakit minamata (merusak jaringan syaraf).
2. Dalam jangka panjang bisa menyebabkan kerusakan kulit dan kerusakan ginjal.

#### **2.7.2. Kontaminan logam dan kation**

Perubahan kondisi lingkungan akibat pembuangan suatu kontaminan, atau perubahan fisik tanah seperti pada pertambangan akan menyebabkan perubahan potensi redoks tanah dan air tanah. Perubahan potensial redoks dengan sendirinya akan memicu perubahan pada kelarutan suatu spesies. Sebagai contoh adalah oksidasi sulfida menjadi sulfat akan menyebabkan sebagian besar logam dalam bentuk sulfat menjadi larut dalam air tanah. Hal yang sama dapat terjadi pada lokasi *landfill*, dimana proses biologis terjadi. Selain adanya perubahan potensial redoks akibat reduksi yang terjadi, terbentuknya asam-asam organik dapat melarutkan logam.

Tabel 2.2. Kontaminan Logam dan Kation

Jenis Kontaminan	Contoh penggunaannya
Alumunium	Campuran logam ( <i>alloy</i> ), industri listrik, bahan bangunan, cat, dan perlengkapan mesin
Antimon	Campuran logam, <i>solder</i> , mesin-mesin untuk temperatur tinggi.
Arsen	Campuran logam, zat warna, insektisida, herbisida, dan racun tikus.
Barium	Campuran logam, pelumas.
Beryllium	Campuran logam untuk teknologi ruang angkasa, reaktor nuklir, bahan aditif untuk bahan bakar nuklir.
Kadmium (Cadmium)	Campuran logam, pelapis ( <i>coating</i> ), bahan untuk baterai, perlengkapan elektrik, cat, fotografi dan fungisida.
Kapur (Calcium)	Campuran logam, pupuk, bahan pereduksi.
Khrom (Chromium)	Campuran logam, lapisan pelindung, cat, penelitian bidang nuklir dan temperatur tinggi.
Kobalt (Cobalt)	Campuran logam, keramik, minumam, cat, gelas/kaca, percetakan, dan <i>elektroplating</i> .
Tembaga (Copper)	Campuran logam, cat, kabel listrik, mesin-mesin, elektroplating, jaringan pipa, dan insektisida.
Besi	Campuran logam, mesin dan bahan konstruksi.
Timbal(Lead,Plumbum)	Campuran logam, baterai, aditif pada bensin, cat, pelindung radiasi.
Lithium	Campuran logam, industri farmasi, baterai, <i>solder</i> , dan propelant.
Magnesium	Campuran logam, baterai, pyroteknik, alat-alat presisi, dan cermin optik.
Mangan	Campuran logam, katalis.
Air Raksa (Mercury)	Campuran logam, industri tambang emas rakyat, perlengkapan elektrik, industri farmasi.
Molydernium	Campuran logam, pigemn, dan pelumas.
Nikel	Campuran logam, <i>elektroplating</i> , keramik, baterai, dan katalis.
Palladinium	Katalis, campuran logam, lapisan pelindung, industri perhiasan ( <i>jewelry</i> ), dan perlengkapan listrik.
Kalium (Potassium)	Campuran logam, katalis, pupuk.
Selenium	Campuran logam, katalis, keramik dan elektronik.
Perak (Silver)	Campuran logam, fotografi, industri kimia, perhiasan, katalis.
Natrium (Sodium)	Industri kimia, katalis, pendingin dan reagen dalam laboratorium kimia.
Titanium	Campuran logam, material, lapisan pelindung.
Seng (Zinc)	Campuran logam, <i>elektroplating</i> , elektronik, otomatis, fungisida, atap.

## 2.8. Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari kata *Phytoremediation* yang berasal dari kata *Phyto*:: tumbuhan dan *Remediation*: menyembuhkan, sehingga *phytoremediation* adalah menghilangkan, memperbaharui kesalahan atau kekurangan (*Anonimous, 1999*). Dengan kata lain fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar.

Teknologi mengolah limbah dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan pencemar limbah padat atau cair yang akan diolah dan ditanami dengan tanaman tertentu yang terdapat didalam limbah tersebut.

Banyak istilah yang diberikan pada sistem ini sesuai dengan mekanisme yang terjadi pada prosesnya, misalnya:

1. *Fitostabilization* : Polutan distabilkan di dalam oleh pengaruh tanaman.
2. *Fitostimulation* : Akar tanaman menstimulasi penghancuran polutan dengan bantuan bakteri rhizopere.
3. *Fitodegradation* : Tanaman mendegradasi polutan dengan atau tanpa menyimpannya didalam daun, batang, atau akarnya untuk sementara waktu.
4. *Fitovolatilization* : Polutan oleh tanaman diubah menjadi senyawa yang mudah menguap sehingga dapat dilepaskan ke udara.

*Rhizofiltration* : polutan diambil dari air oleh akar tanaman pada sistem hidroponik.

Proses remediasi polutan dari dalam tanah atau air karena jenis tanaman tertentu dapat melepaskan zat *carriers*, yang biasanya berupa senyawa kelat, protein, glukosa, yang berfungsi mengikat zat polutan tertentu kemudian dikumpulkan di jaringan tanaman, misalnya pada daun atau akar.

➤ Keunggulan sistem fitoremediasi adalah:

1. Biayanya operasi pemeliharaan murah/rendah.
2. Lapisan tanah bagian atas dapat digunakan kembali.
3. Logam-logam yang diserap oleh tanaman dapat didaur ulang dengan aman.

➤ Kekurangan sistem fitoremediasi adalah:

1. Perlu waktu yang lama dan diperlukan pupuk untuk menjaga kesuburan tanaman.

2. Akar tanaman biasanya pendek sehingga tidak bisa menjangkau bagian tanah yang dalam.

### 2.9. Mutu dan Jumlah Cahaya

Cahaya yang dengan panjang gelombang yang berbeda dapat kita lihat dengan berbagai warna dimana dapat memberikan kebutuhan energi yang berbeda pula pada tanaman. Kuantitas cahaya atau intensitas cahaya ditunjukkan oleh konsentrasi gelombang cahaya. Dapat dinyatakan dengan energi listrik (watt) tiap satuan luas atau dengan footcandle. *Footcandle* adalah intensitas penyinaran berdasarkan kepekaan mata manusia. Intensitas berbagai keadaan cahaya dinyatakan dengan footcandle dapat dilihat pada Tabel 2.2. Reaksi cahaya yang berbeda dari tiap tanaman bervariasi pada kebutuhannya dengan memandang baik intensitas yang diperlukan untuk memulai reaksi maupun efek intensitas cahaya tersebut pada laju reaksi.

**Tabel 2.3**  
**Nilai Intensitas Cahaya untuk Berbagai**  
**Keadaan Cahaya dan Reaksi Cahaya dari Tanaman**

Keadaan cahaya atau reaksi cahaya	Footcandle
Cahaya bintang	0,0001
Cahaya bulan	0,02
Induksi fotoperiodik	0,3
Dalam rumah dekat jendela	100,0
Cuaca berawan	1.000,0
Fotosintesis maksimum (daun satuan)	1.200,0
Cahaya matahari langsung	10.000,0

*Sumber: Buku biologi pertanian*

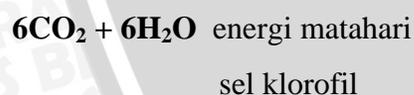
Laju fotosintesis berhubungan dengan ketersediaan bahan mentah, yaitu air dan karbondioksida, dan energi yang tersedia dalam bentuk panas dan cahaya. Syarat-syarat sederhana ini sangat banyak didapat di daerah tropik dan sedang, baik di laut maupun di darat. Laju fotosintesis berbanding lurus dengan intensitas cahaya sampai kira-kira 1.200 footcandle (Hariadi, 1979). Klorofil hanya dapat menggunakan sebagian saja dari energi

cahaya pada hari-hari yang cerah, yang dapat mencapai lebih dari 10.000 *footcandle*. Karena efek naungan, diperlukan jumlah maksimum dari intensitas cahaya untuk memberikan jumlah energi optimum pada semua daun di dalam satu tanaman. Laju fotosintesis sangat berkurang selama cahaya suram, pada waktu langit mendung. Akan tetapi, tidak semua tanaman mempunyai respon terhadap intensitas cahaya yang tinggi. Beberapa memerlukan hanya sepersepuluh dari cahaya matahari penuh. Perbedaan dalam kebutuhan cahaya inilah yang mengakibatkan adanya klarifikasi ke dalam tanaman cahaya terbuka dan tanaman naungan (tanaman lindung). Dalam kebutuhan mutu cahaya reaksi fotosintesis bersifat spesifik. Korofil menyerap bagian biru dan merah dari spektrum cahaya, membiarkan cahaya hijau lewat. Karenanyalah, klorofil berwarna hijau. Mutu absorpsi dari tanaman tingkat tinggi menunjukkan absorpsi cahaya merah lebih banyak daripada yang biru (*Harjadi, 1979*).

## 2.10. Fotosintesis

Fotosintesis sering didefinisikan sebagai suatu proses dimana terjadi sintesa karbohidrat tertentu dari karbondioksida dan air yang dilakukan oleh sel-sel yang berklorofil dengan adanya cahaya matahari dan dibebaskan gas oksigen. Kehidupan didalam air ditopang oleh proses fotosintesis. Proses fotosintesis ini kadang-kadang dikenal dengan istilah : asimilasi karbon.

Sebagai persamaan total dari proses fotosintesis biasanya ditulis sebagai berikut :



Reaksi ini adalah merupakan reaksi endometris artinya untuk berlangsungnya perlu adanya energi dari luar. Energi ini diperoleh dari cahaya matahari.

Dalam tahun 1905 *Blacman* mempelajari pengaruh dari intensitas cahaya dan temperature terhadap kecepatan fotosintesis akan sesuai dengan intensitas cahaya. Dengan menaikkan intensitas cahaya maka kecepatan fotosintesis akan naik. *Blacman* membagi dua reaksi kimia dalam proses fotosintesis, yaitu :

1. Reaksi fotokimia (reaksi cahaya)
2. Reaksi gelap (reaksi *Blacman*)

Reaksi fotokimia mempunyai sifat-sifat :

- Untuk berlangsungnya reaksi ini perlu adanya energi cahaya matahari.
- Tidak peka terhadap suhu.
- Kecepatan reaksi fotokimia relative lebih besar dari reaksi gelap.

Reaksi gelap mempunyai sifat-sifat :

- Untuk berlangsungnya reaksi ini tidak perlu ada cahaya.
- Peka terhadap suhu.
- Kecepatan reaksinya relative lebih lambat daripada reaksi fotokimia.
- Adalah merupakan reaksi enzimatik.

### **2.10.1. Faktor-faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Fotosintesis**

Proses fotosintesis dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain :

#### **1. Cahaya**

Seperti diketahui cahaya matahari adalah merupakan sumber energi bagi fotosintesis.

Karena itu cahaya matahari mempunyai pengaruh yang besar terhadap fotosintesis ini meliputi 3 hal, yaitu :

##### **a. Intensitas cahaya**

Yang dimaksud dengan intensitas cahaya ialah banyaknya energi cahaya yang diterima per satuan waktu. Intensitas cahaya ini biasanya dinyatakan dengan satuan ergs/cm/detik. Umumnya makin tinggi intensitas cahaya akan makin bertambah besar kecepatan fotosintesisnya sampai suatu faktor (dalam hal ini kadar CO<sub>2</sub>) menjadi faktor pembatas.

##### **b. Lamanya penyinaran**

Pengaruh cahaya terhadap fotosintesis juga dipengaruhi oleh lamanya penyinaran. Semakin tinggi intensitas cahaya maka pengaruh dari lamanya waktu penyinaran juga akan makin besar.

##### **c. Kualitas cahaya**

Pengaruh panjang gelombang pada macam-macam tumbuhan adalah berbeda-beda. Pada tumbuh-tumbuhan tinggi, pada umumnya kecepatan fotosintesis yang maksimum terdapat pada daerah sinar biru dan daerah sinar merah, sedang pada kebanyakan algae kecepatan fotosintesis yang maksimum terdapat pada daerah sinar hijau.

## 2. Pengaruh Temperatur

Temperatur mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis. Sampai pada suatu titik tertentu kecepatan fotosintesis akan meningkat dengan makin meningkatnya suhu. Akan tetapi dengan menaikkan suhu ini, kenaikan kecepatan fotosintesis hanya dapat terlihat pada pengukuran dalam waktu semakin pendek.

## 3. Pengaruh kadar CO<sub>2</sub>

Bagi tumbuh-tumbuhan yang hidup di darat, maka atmosfer adalah satu-satunya sumber CO<sub>2</sub>. Banyak penelitian dilakukan untuk mempelajari pengaruh kadar CO<sub>2</sub> terhadap kecepatan fotosintesis. Dari penelitian-penelitian itu umumnya didapatkan bahwa pada syarat-syarat dalam laboratorium, dimana tidak ada faktor lain yang menjadi faktor pembatas, maka kecepatan fotosintesis akan naik dengan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> dalam udara sampai 0,3 % bahkan sampai 1 %.

## 4. Kadar air

Meskipun air merupakan salah satu bahan baku dalam proses fotosintesis, namun pengaruh dari pengurangan air dalam daun terhadap kecepatan fotosintesis pada umumnya adalah secara tidak langsung. Pengaruh kadar air dalam tanah akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan fotosintesis. Pengurangan dalam kecepatan fotosintesis telah tampak jelas sebelum terjadi kelayuan pada daun-daun. Penggenangan air pada kebanyakan tanaman juga akan menyebabkan pengurangan dalam kecepatan fotosintesis dimana pengurangan kecepatan fotosintesis akan nampak kira-kira 2 sampai 7 hari kemudian setelah penggenangan (Suwasono, 1987). Pengaruh dari pengurangan kadar air dalam daun terhadap kecepatan fotosintesis dapat disebabkan karena hal-hal sebagai berikut :

- a. Berkurangnya kapasitas difusi dari stomata karena stomata menutup. Pengurangan dalam hidrasi dari kloroplas dan bagian-bagian lain dari protoplasma sehingga akan mengurangi efektifitas mekanisme fotosintesis.
- b. Terjadi akumulasi gula sehingga menghambat proses fotosintesis lebih lanjut.

## 5. Pengaruh senyawa-senyawa kimia tertentu

Banyak senyawa-senyawa kimia yang dimana diserap oleh sel-sel tumbuh-tumbuhan akan mempunyai pengaruh mengurangi kecepatan fotosintesis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Biasanya senyawa-senyawa kimia tersebut pengaruhnya menghambat terhadap kecepatan fotosintesis ini antara lain adalah :

- *Hydrocyanin acid*
- *Hydroxylamine*
- *Hydrogen sulfa*
- Senyawa-senyawa tertentu yang mengandung *iodoacetyl* radikal.

Sebagai contoh misalnya *Hydrocyanic acid* akan menghambat fotosintesis *Dargagsan Chlorella* hanya pada kadar  $4 \times 10^{-5}$  M. Senyawa-senyawa tersebut diatas pada umumnya adalah merupakan zat penghambat enzim-enzim fotosintesis. Masing-masing dari enzim tersebut merupakan zat penghambat bagi enzim tertentu. Kecuali zat-zat penghambat seperti tersebut diatas, juga beberapa unsur hara mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis, seperti misalnya unsur-unsur hara N, P, dan K. Hal ini karena unsur-unsur tersebut mempunyai pengaruh terhadap kadar klorofil dalam tumbuh-tumbuhan.

#### 6. Pengaruh kadar oksigen

Kecuali oleh faktor-faktor tersebut di atas, kecepatan fotosintesis juga dipengaruhi oleh kadar oksigen dalam atmosfer. Dalam hal ini pada umumnya makin tinggi kadar oksigen dalam atmosfer. Dalam hal ini pada umumnya makin tinggi kadar oksigen dalam udara akan semakin berkurang kecepatan fotosintesisnya. Pengaruh kadar oksigen ini akan semakin nampak jelas dengan makin tingginya intensitas cahaya. Mengenai bagaimana pengaruh kadar oksigen yang tinggi ini dapat mengurangi kecepatan fotosintesis, hal ini belum diketahui dengan pasti.

### 2.10.2. Faktor-faktor dalam Tumbuhan yang Berpengaruh dalam Fotosintesis

Faktor-faktor dalam umbu-tumbuhan yang mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis antara lain adalah :

#### 1. Kadar klorofil

Menurut Millistatter & Stoll pengaruh dari kadar klorofil terhadap kecepatan fotosintesis ini ditentukan oleh suatu indeks yang disebut : *Photosynthetic number*.

Yang dimaksud *photosynthetic number* adalah banyaknya CO<sub>2</sub> dalam gram yang diserap setiap jamnya oleh tiap klorofil.

## 2. Hidrasi dari protoplasma

Hidrasi dari bagian-bagian protoplasma akan menaikkan efisiensi dari mekanisme fotosintesis.

## 3. Anatomi dari daun

Susunan daun yang mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis ini antara lain adalah :

- Ukuran dan distribusi dari ruang-ruang interseleuler dalam daun.
- Perbandingan dan distribusi dari jaringan tiang dan jaringan bunga karang.
- Ukuran, kedudukan serta susunan dari stomata.
- Tebalnya lapisan epidermis dan lapisan kutikula.
- Ukuran, distribusi serta efisiensi dari berkas-berkas pengangkutan dalam daun.

Mengenai pengaruh susunan anatomi daun terhadap kecepatan fotosintesis ini terutama karena pengaruhnya terhadap :

- Kecepatan masuknya  $\text{CO}_2$
- Penetrasi dari intensitas cahaya ke dalam sel-sel daun.
- Pemeliharaan turgor dari sel-sel daun.
- Kecepatan transport karbohidrat yang dapat larut keluar dari sel-sel yang melakukan fotosintesis.

## 4. Faktor dalam protoplasma

Kecuali klorofil dan hidrasi, banyak faktor-faktor dalam protoplasma mempunyai pengaruh terhadap kecepatan fotosintesis. Di antara faktor-faktor itu yang paling penting adalah enzim. Jumlah enzim dalam macam-macam fotosintetik sel berbeda-beda, bahkan fotosintetik sel yang sama jumlah enzimnya bias berbeda pada kondisi yang berbeda-beda.

## 5. Akumulasi hasil akhir fotosintesis

Selama proses fotosintesis terjadi akumulasi dari karbohidrat di dalam sel fotosintetik. Akumulasi ini berlangsung lebih cepat daripada bagian karbohidrat yang diangkut ke jaringan-jaringan yang lain. Di bawah keadaan-keadaan tertentu akumulasi karbohidrat dapat begitu besar, sehingga dapat mengambat kecepatan fotosintesis lebih lanjut.

## 2.11. Kebutuhan Unsur Hara Tanaman

Tanaman akan mengabsorpsi unsur hara dalam bentuk ion yang terdapat disekitar daerah perakaran. Unsur-unsur ini harus berada dalam bentuk tersedia dan dalam konsentrasi yang optimum, serta unsur-unsur tersebut harus berada dalam suatu kesetimbangan (Hakim, 1986). Unsur-unsur hara tersebut terbagi dalam dua kelompok besar, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Kedua unsur hara dapat dapat diabsorpsi tanaman dalam berbagai bentuk sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.3 berikut:

**Tabel 2.4. Unsur hara yang dibutuhkan tanaman**

Jenis Unsur Hara	Bentuk yang diserap oleh Tanaman	Keterangan
Makro :		
Carbon (C)	CO <sub>2</sub> (melalui daun)	Diserap dari udara dan air
Hidrogen (H)	H <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O (H dari daun)	
Oksigen (O)	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> (melalui daun)	
Nitrogen (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Diserap dari tanah
Phospor (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Kalium (K)	K <sup>+</sup>	
Kalsium (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	
Magnesium (Mg)	Mg <sup>2+</sup>	
Sulfur (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Mikro :		
Mangan (Mn)	Mn <sup>2+</sup>	
Boron (B)	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	
Molibdenum (Mo)	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Molibdat)	
Tembaga (Cu)	Cu <sup>2+</sup> atau Cu <sup>3+</sup>	
Seng (Zn)	Zn <sup>2+</sup>	
Besi (Fe)	Fe <sup>2+</sup> atau Fe <sup>3+</sup>	
Chlor	Cl <sup>-</sup>	

Sumber : Hardjowigeno (1987)

### 2.11.1. Sumber-sumber unsur hara tanaman

Menurut Hakim (1986) unsur hara yang diserap oleh tanaman dapat berasal dari tiga sumber, yaitu :

1. Bahan organik, dimana bahan ini harus mengalami dekomposisi (pelapukan) terlebih dahulu sebelum tersedia bagi tanaman.
2. Mineral alami, dimana bahan ini akan menjadi unsur hara yang tersedia bagi tanaman setelah mengalami penghancuran oleh cuaca.
3. Unsur hara yang terjerat atau terikat. unsur hara ini terikat di permukaan atau di antara lapisan koloid tanah sebagai sumber utama dari unsur hara yang diatur oleh manusia.

### 2.11.2. Proses Absorpsi Unsur Hara

Unsur hara dapat diserap tanaman jika berada dalam bentuk larutan dan kontak langsung dengan permukaan akar. Menurut Hardjowigeno (1987) pergerakan unsur hara ke permukaan akar terjadi melalui tiga cara, yaitu :

1. Aliran Massa (*Mass flow*)

Aliran massa adalah pergerakan unsur hara didalam tanah menuju permukaan akar tanaman bersama-sama gerakan massa air. Aliran massa terjadi karena pengaruh transpirasi (timbul dari perbedaan tekanan air) tumbuhan tersebut. Pada saat bersamaan ikut terangkut bersama-sama ion terlarut dari daerah yang jatuh ke daerah yang terjangkau oleh akar.

2. Diffusi

Air dan unsur yang terlarut di dalamnya disebut larutan tanah (*soil solution*). Pada waktu akar tanaman menyerap unsur dari larutan tanah, unsur hara lain yang terlarut dalam air bergerak menuju akar tanaman tanpa aliran air tetapi bergerak sebagai akibat hukum *diffusi*, yaitu hukum yang menyatakan bergeraknya suatu zat (unsur hara) dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah.

3. Intersepsi (penyergapan) akar.

Intersepsi merupakan pertukaran langsung antara unsur hara dengan akar. Akar-akar tanaman yang terus tumbuh akan memanjang menuju tempat lebih jauh di dalam tanah sehingga menemukan unsur-unsur hara dalam larutan tanah ditempat tersebut. Memanjangnya akar-akar tanaman berarti memperpendek jarak yang harus ditempuh unsur-unsur hara untuk mendekati akar tanaman melalui aliran massa ataupun difusi.

Sebagaimana diketahui tanaman hanya menyerap unsur yang diperlukan saja. Oleh karenanya sel-sel yang menyusun akar tanaman dibagian luar terdiri dinding sel tidak aktif yang bersinggungan langsung dengan tanah, sedang bagian dalam terdiri dari protoplasma

aktif yang dikelilingi oleh suatu membran. Seleksi terhadap unsur-unsur yang diserap tanaman dilakukan oleh membran ini. Proses ini berlangsung melalui suatu *carrier* (pembawa) yang bersenyawa dengan ion (unsur) terpilih kemudian masuk kedalam protoplasma dengan menembus membran sel. Bila akar tanaman menyerap unsur hara dalam bentuk kation, maka dari akar akan dikeluarkan kation  $H^+$  dalam jumlah yang setara. Bila yang diserap akar adalah anion, maka akar akan mengeluarkan anion  $HCO_3^-$  dengan jumlah yang setara pula.

### 2.12. Mekanisme Penyerapan Logam dalam Tumbuhan

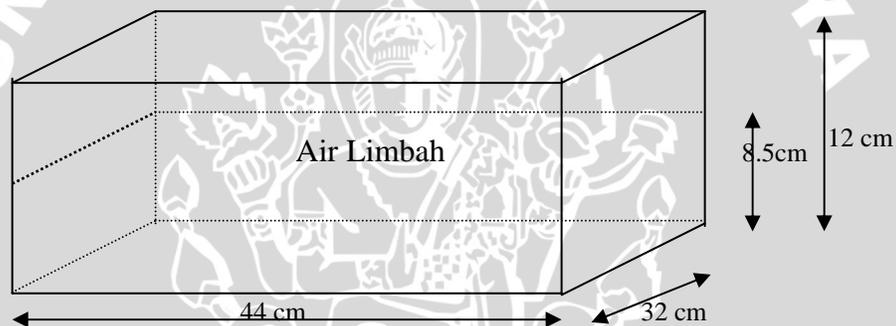
Pada dasarnya tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap. kemampuan untuk menyerap ini memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, mulai dari unsur yang berlimpah sampai unsur yang sangat kecil dibutuhkan oleh tanaman. Pb tidak termasuk dalam unsur hara, sehingga untuk menyerap logam-logam tersebut, tanaman membuat suatu zat untuk mengikat logam-logam tersebut dengan merubah pH, untuk diangkut dan dicerna didalam jaringan tubuh dari tumbuhan tersebut. Karena logam Pb bersifat racun pada tanaman, maka untuk mencegah keracunan, tanaman menimbun logam Pb didalam akar (Collins, 1999)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

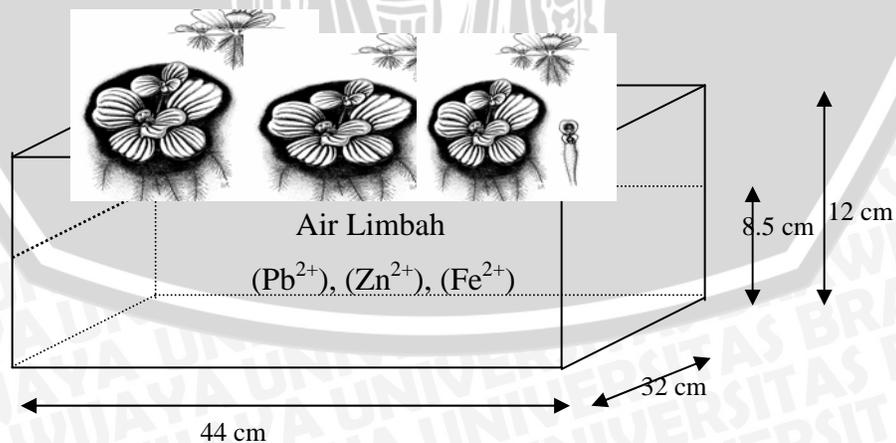
### 3.1. Perencanaan Model dan Peralatan Penelitian

#### 3.1.1. Perencanaan Model Filtrasi

Penelitian ini menggunakan alat yang dirancang sendiri dengan beberapa variasi perlakuan yang diadakan untuk mencapai hasil maksimum dari penelitian fitoremediasi ini. Sarana yang digunakan dalam penelitian sistem fitoremediasi ini yaitu : Bak yang terbuat dari bak plastik dengan ukuran : panjang 44 cm, lebar 32 cm, dan tinggi 12 cm, volume sample 9 lt. Adapun media penyaring yang digunakan dalam bak ini yaitu tanaman apu-apu dan tanaman enceng gondok. Dimana tanaman yang digunakan adalah tanaman yang sudah tumbuh agar tidak memakan waktu yang lama dalam penelitian.



**Gambar 3.1. Rancangan Perencanaan Fitoremediasi Kondisi limbah Murni Tanpa Perlakuan**



**Gambar 3.2. Rancangan Perencanaan Fitoremediasi Kondisi limbah dengan Tanaman Air**

Sedangkan untuk mengetahui hasil yang dicapai dari proses fitorimediasi ini maka akan dilakukan uji kualitas air output yang dilakukan di Laboratorium, dengan jalan memeriksa kadar polutan setelah tanaman diberi cahaya langsung dari sinar matahari.

### 3.1.2. Peralatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Air dan Tanah Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan alat dirancang sendiri dan media yang digunakan adalah air dan tanaman air. Adapun alat-alat pendukung penelitian ini telah tersedia di Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Secara rinci alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Bak Filtrasi dengan panjang 44 cm, lebar 32 cm, dan tinggi 12 cm.
2. Kantong plastik sebagai tempat sample air yang diteliti.
3. Penyinaran langsung menggunakan sinar matahari.
4. Bahan-bahan penyaring dalam air limbah digunakan tanaman air dalam penelitian ini kita pakai dua jenis tanaman yaitu tanaman apu-apu (*Pistia tratioides*) dan enceng gondok (*Eichornia crassipes*).

### 3.2. Variabel yang diteliti

Variabel yang diteliti pada penelitian ini adalah seperti terlihat pada tabel 3.1 berikut :

**Tabel 3.1 Variabel Penelitian**

No	Variabel	Satuan	Atribut
1	Jenis tanaman	-	Komposisi bahan penyaring (memakai dua jenis tanaman yaitu apu-apu dan enceng gondok)
2	Kandungan limbah :		
	a. Pb	mg/l	Logam timbale
	b. Fe	mg/l	Logam besi
	c. Zn	mg/l	Logam seng
	d. pH	-	Derajat keasaman

Variabel yang diteliti hanya pH dan logam Fe,Zn,Pb, karena pH dan logam mempunyai keterkaitan adanya reaksi kimia dalam air limbah tersebut. Dengan metode yang digunakan bertujuan memilih atau mengurangi kadar polutan yang terdapat didalam air limbah tersebut.

### 3.3. Prosedur Pengujian parameter Kualitas Air Yang Diuji

Dalam penelitian ini parameter yang diuji antara lain adalah :

#### 3.3.1. Analisa Pengukuran pH

Aktifitas ion hidrogen dalam air atau nilai pH diukur dengan alat pH meter CG 842 dengan elektroda gelas. Elektroda ini akan menghasilkan perubahan tegangan yang disebabkan oleh aktifitas ion hidrogen.

Langkah kerja pengukurannya adalah :

- a. Lakukan dulu kalibrasi alat, dengan cara :
  - ◆ Tekan tombol CAL pada alat sampai muncul tulisan Ct 1 pada layer LCD alat.
  - ◆ Masukkan elektroda pada Buffer 7 kemudian tekan enter
  - ◆ Tunggu sampai muncul tanda AR di layer LCD-nya stabil dan muncul di layer Ct 2
  - ◆ Masukkan elektroda pada Buffer 4 kemudian tekan enter
  - ◆ Tunggu sampai muncul tanda AR di layer LCD-nya stabil dan keluar *display stop*
- b. Pengukuran sampel air dengan cara :
  - ◆ Tekan tombol on pada alat
  - ◆ Bilas elektroda dengan air aquades sebanyak tiga kali dan dikeringkan dengan kertas tissue sampai kering.
  - ◆ Kemudian masukkan elektroda dalam sample selama  $\pm 1$  menit sampai pH yang muncul di layer stabil.
  - ◆ Apabila sudah stabil nilainya catat hasilnya.

#### 3.3.2. Determinasi Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe)

##### 3.3.2.1. Perangkat

Spektrofotometer absorpsi atomik dan peralatan terkait.

Gunakan *head burner* seperti yang disarankan oleh *manufacturer*.

### 3.3.2.2. Reagent

- a) Udara, yang dibersihkan dan dikeringkan lewat filter yang sesuai untuk menghilangkan minyak, air, dan substansi asing lainnya. Sumbernya bisa sebuah kompresor atau gas botol komersial.
- b) *Acetylene*, grade komersial standar. *Acetone*, yang selalu ada dalam silinder *acetylene*, perlu dicegah supaya tidak masuk dan merusak *head burner* yaitu dengan mengganti silindernya ketika tekanan menurun sampai 689 kPa *acetylene*.
- c) Air bebas-logam: Gunakan air bebas-logam untuk membuat semua reagent dan standar kalibrasi dan sebagai air pengencer/dilusi. Buat air-bebas logam dengan menggunakan salah satu proses berikut, yang didasarkan pada konsentrasi logam dalam sample: distilasi tunggal, *redistillasi*, atau *sub-boiling*. Selalu perikasa air deionisasi atau penyulingan untuk menentukan apakah element yang dimaksud muncul dalam jumlah tertentu. (PERHATIAN: Jika sumber air mengandung Hg atau logam Volatil lain, air deionisasi dan air distilasi tunggal atau redistilasi bisa jadi tidak sesuai untuk analisis trace karena logam akan disuling dengan air distilasi. Dalam kondisi tersebut, gunakan *sub-boiling* untuk menghasilkan air bebas logam)
- d) Larutan logam standar: Buat serangkaian larutan logam standar dalam tingkat konsentrasi optimum dengan pengenceran yang tepat terhadap larutan logam stok berikut dengan air yang mengandung 1,5 mL konsentrasi HNO<sub>3</sub>/L. Keringkan *reagent* sebelum digunakan. Secara umum, gunakan *reagent* dengan puritas yang paling tinggi. Untuk *hydrate*, gunakan *reagent* yang segar
  - 1) Timbal (Pb)

Larutkan 1,598 g timbale nitrat (timah hitam nitrat), Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, dalam sekitar 200 mL air, tambahkan 1,5 mL konsentrasi HNO<sub>3</sub> dan encerkan sampai 1000 mL dengan air; 1,00 mL = 1,00 mg Pb.
  - 2) Seng (Zn)

Larutkan 1000 g logam seng dalam 20 mL 1+1 HCl dan encerkan sampai 1000 mL dengan air; 1,00 mL = 1,00 mg Zn.
  - 3) Besi (Fe)

Larutkan 1,000 g kawat besi dalam 50 mL 1+1 HNO<sub>3</sub> dan encerkan sampai 1000 mL dengan air; 1,00 mL = 1,00 mg Fe.

### 3.3.2.3. Prosedur

#### 3.3.2.3.1. Operasi instrumen

Karena perbedaan antara buatan dan model spektrofotometer absorpsi atomik, maka tidak memungkinkan untuk merumuskan instruksi yang digunakan pada setiap instrumen. Secara umum lakukan seperti cara berikut: Pasang lampu katoda *hallow* untuk logam terkait dalam instrumen dan tentukan dial *wavelength* berdasarkan saran *manufacturer* untuk elemen yang diukur. Nyalakan instrumen, gunakan lampu katoda *hallow* dalam cara yang disarankan *manufacturer*, dan biarkan instrumen menghangat sampai sumber energi menjadi stabil, umumnya sekitar 10 sampai 20 menit. Atur kembali arus jika perlu setelah pemanasan. Optimalkan *wavelength* dengan menyesuaikan dial *wavelength* ampai didapatkan energi optimum. Sesuaikan lampu menurut instruksi *manufacturer*.

Pasang *head burner* dan atur posisi *head burner*. Nyalakan *acetylene*, sesuaikan tingkat aliran pada nilai yang ditetapkan, dan dinyalakan perapian. Lakukan aspirasi pada larutan standar dan sesuaikan tingkat aspirasi dari *nebulize* untuk memperoleh sensitivitas maksimum. Lakukan atomisasi pada sebuah standar (biasanya satu di dekat bagian tengah area kerja linier). Atur burner keatas dan ke bawah dan ke samping untuk menghasilkan respon maksimum. Catat *absorbance* dari standar ketika dibuat dari bahan segar dan ketika menggunakan lampu katode *hallow* baru. Sesuaikan data tersebut dengan determinasi selanjutnya dari setup instrumen dan lama penggunaan lampu katoda *hallow* dan standar.

Dari situ instrumen siap digunakan. Katika analisa selesai, padamkan perapian dengan mematikan *acetylene* dan kemudian matikan aliran udaranya.

#### 3.3.2.3.2. Standardisasi

Pilih setidaknya tiga konsentrasi dari setiap larutan logam standar untuk mengambil konsentrasi logam yang diinginkan dari sebuah sampel. Lakukan aspirasi pada masing-masing sampel ke dalam perapian dan catat absorbance-nya. Untuk kalibrasi calcium dan magnesium, campurkan 100 mL standar dengan 10 mL larutan lanthanum sebelum aspirasi. Untuk kalibrasi chromium, campurkan 1 mL 30%  $H_2O_2$  dengan setiap 100 mL larutan timbal sebelum aspirasi. Untuk kalibrasi besi dan seng, campurkan 100 mL standar dengan 25 mL larutan calcium sebelum aspirasi.

Buat sebuah kurva kalibrasi dengan membuat plot pada kertas graphic linear, yaitu tentang absorbance dari standar versus konsentrasinya. Untuk instrumen yang dilengkapi

dengan readout konsentrasi langsung, maka cara tersebut menjadi tidak lagi diperlukan. Dengan beberapa instrumen, maka perlu merubah absorpsi persen menjadi absorbance dengan menggunakan sebuah tabel yang umumnya disediakan oleh manufacturer. Buat plot kurva kalibrasi untuk besi dan seng yang didasarkan pada konsentrasi orisinil standar sebelum pengenceran dengan larutan calcium. Buat plot kurva kalibrasi untuk chromium yang didasarkan konsentrasi orisinil dario standar sebelum penambahan  $H_2O_2$ .

Periksa standar secara periodik selama proses. Lakukan pemeriksaan pada kurva kalibrasi dengan memberikan aspirasi Setidaknya satu standar setelah menyelesaikan analisis pada sekelompok sampel. Untuk instrumen dengan built-in memory, masukkan satu sampai tiga standar untuk meregistrasi kurva kalibrasi untuk digunakan dalam analisis sampel berikutnya.

#### **3.3.2.3.3. Analisis sampel**

Siramkan nebulizer dengan memberikan aspirasi air yang mengandung 1,5 mL konsentrasi  $HNO_3/L$ . Lakukan atomisasi pada instrumen blank dan instrumen nol. Lakukan atomisasi pada sampel dan tentukan absorbance-nya.

Lakukan analisa pada standar pada awal dan akhir proses dan pada interval selama proses yang panjang. Lakukan proses blank atau berikan pelarut antar setiap sampel atau standar untuk menunjukkan stabilitas baseline. Tentukan konsentrasi logam dari kurva kalibrasi.

### **3.4. Pembuatan Larutan Limbah yang Mengandung Logam-logam $Pb^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $Fe^{2+}$**

#### **3.4.1. Bahan**

- 1) Larutan  $Pb(NO_3)_2$
- 2) Larutan  $Zn(NO_3)_2$
- 3) Larutan  $Fe(NO_3)_3$
- 4) Aquades 9 lt

#### **3.4.2. Alat**

- 1) Labu ukur 250 ml
- 2) Pipet volume
- 3) Timbangan digital
- 4) Beaker glass

5) Spatula (sendok kimia)

### 3.4.3. Cara pembuatan larutan limbah

1. Menimbang garam-garam yang mengandung sumber limbah  $Pb(NO_3)_2$ ,  $Zn(NO_3)_2$ ,  $Fe(NO_3)_2$ .

a) Menghitung  $Pb(NO_3)_2$

$$Mr Pb(NO_3)_2 = Ar Pb : 207 \text{ gr/mol}$$

$$Ar N_2 : 14 \times 2 = 28 \text{ gr/mol}$$

$$Ar O_6 : 16 \times 6 = 96 \text{ gr/mol}$$

$$Mr Pb(NO_3)_2 = 331 \text{ gr/mol}$$

$$grPb(NO_3)_2 = [stokPb]x \frac{MrPb(NO_3)_2}{ArPb} x Vstokx10^{-3} \quad (3-1)$$

$$= 100mg / lx \frac{331gr / mol}{207gr / mol} x \frac{250ml}{1000}$$

$$= 39,975mgx10^{-3}$$

$$= 0,04gr$$

b) Menghitung  $Zn(NO_3)_2$

$$Mr Zn(NO_3)_2 = Ar Zn : 65,38 \text{ gr/mol}$$

$$Ar N_2 : 14 \times 2 = 28 \text{ gr/mol}$$

$$Ar O_6 : 16 \times 6 = 96 \text{ gr/mol}$$

$$Mr Zn(NO_3)_2 = 189,38 \text{ gr/mol}$$

$$grZn(NO_3)_2 = [stokZn]x \frac{MrZn(NO_3)_2}{ArZn} x Vstokx10^{-3} \quad (3-2)$$

$$= 100mg / lx \frac{189,38gr / mol}{65,38gr / mol} x \frac{250ml}{1000}$$

$$= 72,415mgx10^{-3}$$

$$= 0,07gr$$

c) Menghitung  $Fe(NO_3)_3$

$$Mr Fe(NO_3)_3 = Ar Fe : 56 \text{ gr/mol}$$

$$Ar N_3 : 14 \times 3 = 42 \text{ gr/mol}$$

$$Ar O_9 : 16 \times 9 = 144 \text{ gr/mol}$$

$$Mr Fe(NO_3)_3 = 242 \text{ gr/mol}$$

$$\begin{aligned}
 grFe(NO_3)_3 &= [stokFe]x \frac{MrFe(NO_3)_3}{ArFe} x Vstokx10^{-3} & (3-3) \\
 &= 100mg / lx \frac{242gr / mol}{56gr / mol} x \frac{250ml}{1000} \\
 &= 108,03mgx10^{-3} \\
 &= 0,1gr
 \end{aligned}$$

**2** Membuat larutan stok (larutan induk) sumber limbah  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  sebesar 100 ppm

Cara :Larutan stok  $Pb(NO_3)_2$ ,  $Zn(NO_3)_2$ ,  $Fe(NO_3)_3$  ditambahkan aquades 250 ml (masih berupa serbuk) sehingga hasil berupa sumber limbah [ $Pb^{2+}$ ], [ $Zn^{2+}$ ], [ $Fe^{2+}$ ] sebesar 100 ppm.

**3** Membuat larutan sampel limbah dengan kadar 2 ppm dengan air sebesar 9lt.

Cara : Hasil sumber limbah ditambahkan larutan sebesar 180 ml ditambah 9 lt aquades dalam wadah (kotak uji) hasil [ $Pb^{2+}$ ], [ $Zn^{2+}$ ], [ $Fe^{2+}$ ] adalah 2 ppm (berdasar PP No. 82 Th 2001, Gol IV).

Hitungan larutan:

$$\begin{aligned}
 m_1xV_1 &= m_2xV_2 \\
 100ppmxV_1 &= 2ppmx9lt \\
 &= 1,8lt \\
 &= 180ml
 \end{aligned}$$

### 3.5. Langkah Penelitian dan Rancangan Perlakuan

#### 3.5.1. Langkah Penelitian

Pada proses ini kita memakai kondisi air tergenang baik untuk sampel limbah yang diberi tanaman enceng gondok ataupun apu-apu. Dalam penelitian ini diharapkan tanaman tersebut mampu menyerap polutan dalam sampel limbah sehingga kadarnya berkurang. Setiap 1 minggu sekali kita periksa kadar polutan dalam sampel limbah tadi untuk mengetahui berapa penurunan kadar polutan tersebut. Untuk memperoleh hasil yang maksimal, maka rancangan percobaan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan penelitian yaitu sampel air. Air limbah tersebut adalah air limbah buatan yang terdiri dari air sumur yang dicampur dengan larutan timbale ( $P_bNO_3$ ), larutan kawat besi, larutan logam seng.
2. Persiapan tanaman air sebagai media penyerap polutan dalam penelitian tersebut adalah enceng gondok dan apu-apu.
3. Melakukan pembuatan larutan sampel uji.
4. Setelah mengetahui besarnya kadar sampel uji, kemudian dirancang suatu proses pengolahan sistem fitoremediasi sederhana yang dapat menurunkan kadar polutan semaksimal mungkin.
5. Uji pendahuluan yaitu mengukur polutan yang mampu dihasilkan dengan pengolahan sistem fitoremediasi tersebut.
6. Melakukan pengambilan sample setiap 1 minggu sekali.
7. Dari masing-masing perlakuan diambil sampel airnya untuk diuji di laboratorium dan diketahui berapa penurunan kadar polutan yang terjadi. Dari data pengujian tersebut dianalisa untuk memperoleh hasil yang maksimal.
8. Melakukan perbandingan efektifitas dari masing-masing perlakuan pada percobaan tersebut untuk kemudian dipilih perlakuan yang dapat memberikan hasil maksimal.

### **3.5.2. Rancangan Perlakuan**

Pada percobaan ini diadakan perlakuan dengan menempatkan bak-bak yang berisi tanaman air yang berbeda jenis yaitu enceng gondok dan apu-apu serta bak yang tidak diberi tanaman, yang berisi masing-masing air limbah simulasi tunggal (berisi larutan Fe,Zn,Pb tanpa dicampur), air limbah simulasi campuran (campuran larutan Fe,Zn,Pb), dan air limbah keramik pada alam terbuka. Kemudian dari masing-masing perlakuan diambil sampel airnya untuk diuji kualitas air outputnya di Laboratorium Air dan Tanah Fakultas Teknik Jurusan Pengairan. Dari perlakuan dengan penempatan pada alam terbuka tersebut dipilih perlakuan yang memberikan hasil maksimal.

**Tabel 3.2**  
**Tabel Rancangan Perlakuan Penelitian**

Waktu Pengambilan Sampel	Jenis Limbah	Perlakuan Penelitian	Jumlah Tanaman	Logam	Standar PP No.82 Th 2001
Hari ke-7	1. Limbah Simulasi 2. Limbah Keramik	Eceng Gondok	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Apu-apu	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Tanpa Tanaman	-	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
Hari ke-14	1. Limbah Simulasi 2. Limbah Keramik	Eceng Gondok	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Apu-apu	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Tanpa Tanaman	-	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
Hari ke-21	1. Limbah Simulasi 2. Limbah Keramik	Eceng Gondok	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Apu-apu	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Tanpa Tanaman	-	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
Hari ke-28	1. Limbah Simulasi 2. Limbah Keramik	Eceng Gondok	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Apu-apu	5 rumpun	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05
		Tanpa Tanaman	-	Fe	0,3
				Zn	0,05
				Pb	0,05



## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Kondisi Awal Sampel Air Limbah

Masalah pencemaran air dapat diidentifikasi melalui beberapa cara, antara lain dengan pengamatan tidak langsung dan langsung. Adapun yang dimaksud dengan pengamatan tidak langsung melalui keluhan penduduk. Sedangkan pengamatan langsung melalui indera dengan mengidentifikasi bau busuk, rasa tidak enak, kekeruhan dan kematian ikan. Selain itu identifikasi masalah diperoleh dengan mempelajari laporan hasil penelitian dan monitoring yang dilakukan oleh satu instansi pemerintah atau swasta. Dari berbagai cara itu dapat diidentifikasi masalah secara kasar yang menjadi titik tolak dilakukannya penelitian.

Pengurangan kadar polutan dengan metode fitoremediasi menggunakan sarana tanaman air dapat dijadikan upaya alternatif untuk mengurangi pencemaran air limbah rumah tangga dan limbah industri. Sampel air limbah yang diuji adalah air simulasi (air limbah buatan campuran aquades dan larutan Fe,Zn,Pb) dan air limbah keramik. Pengujian terhadap sampel air limbah tersebut dilakukan di laboratorium Air dan Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

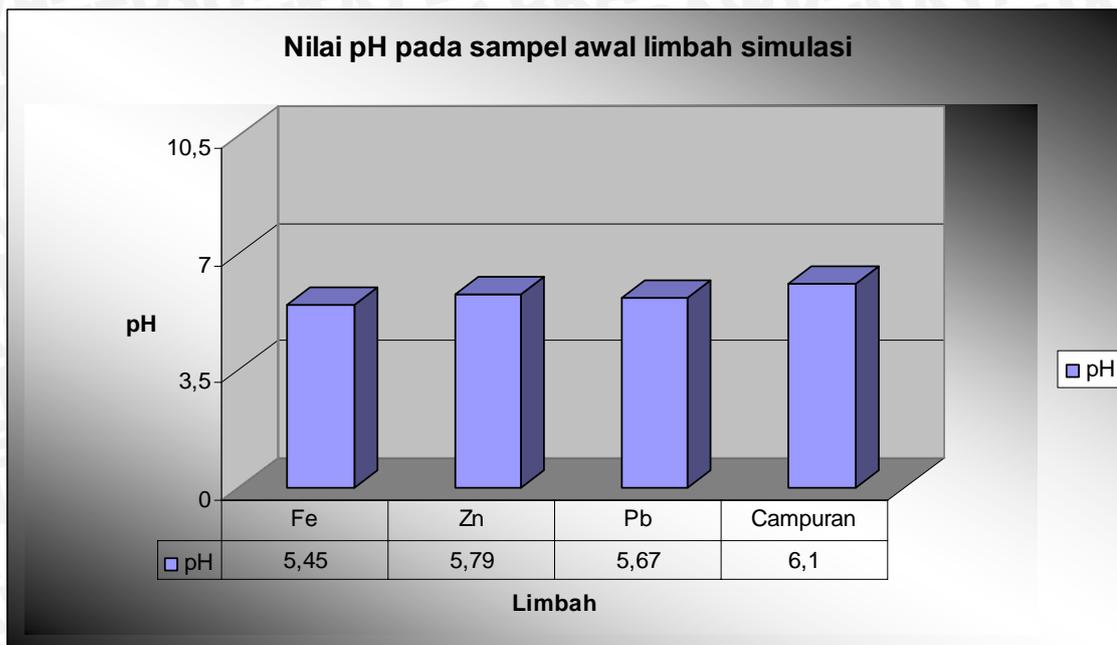
##### 4.1.1 Kondisi Awal Sampel Air Limbah Simulasi

Untuk kondisi sampel air limbah ini, setiap parameter Fe,Zn,Pb ditempatkan pada bak-bak tersendiri. Didalam kondisi awal sampel air limbah ini terdapat tiga model perlakuan yaitu setiap bak yang sudah diberi parameter Fe,Zn,Pb ditanami eceng gondok, apu-apu, dan perlakuan tanpa diberi tanaman apapun (tanpa tanaman). Pada awal kondisi air limbah setiap parameter memakai maksimum konsentrasi sebesar 2 ppm. Pada awal penanaman,tanaman eceng gondok dan apu-apu setelah diletakkan dibawah sinar matahari agak layu, tetapi kondisi ini hanya berlangsung selama 1 hari,dan hari-hari berikutnya sudah mulai segar kembali dan berkembang biak. Kondisi tanaman eceng gondok dan apu-apu yang layu karena tanaman beradaptasi dengan lingkungan yang baru.

**Tabel 4.1a. Nilai pH dan Suhu Pada Awal Sampel Air Limbah Simulasi**

Hari/tanggal	Parameter	Limbah			
		L Fe	L Zn	L Pb	L Campuran
Kamis 18-Jan-07	pH	5,45	5,79	5,67	6,1
	Suhu	30,8	29,9	30,3	28,2

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.1a. Nilai Awal Pengukuran pH terhadap Parameter Fe,Zn,Pb**

Tabel dan grafik diatas merupakan hasil pengukuran pH awal penelitian sebelum diadakan perlakuan, dengan memakai standar pH Kelas III PP No.82 Th 2001, tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Apabila secara alamiah diluar rentang kelas III (6-9), maka diterima berdasarkan kondisi alamiah.

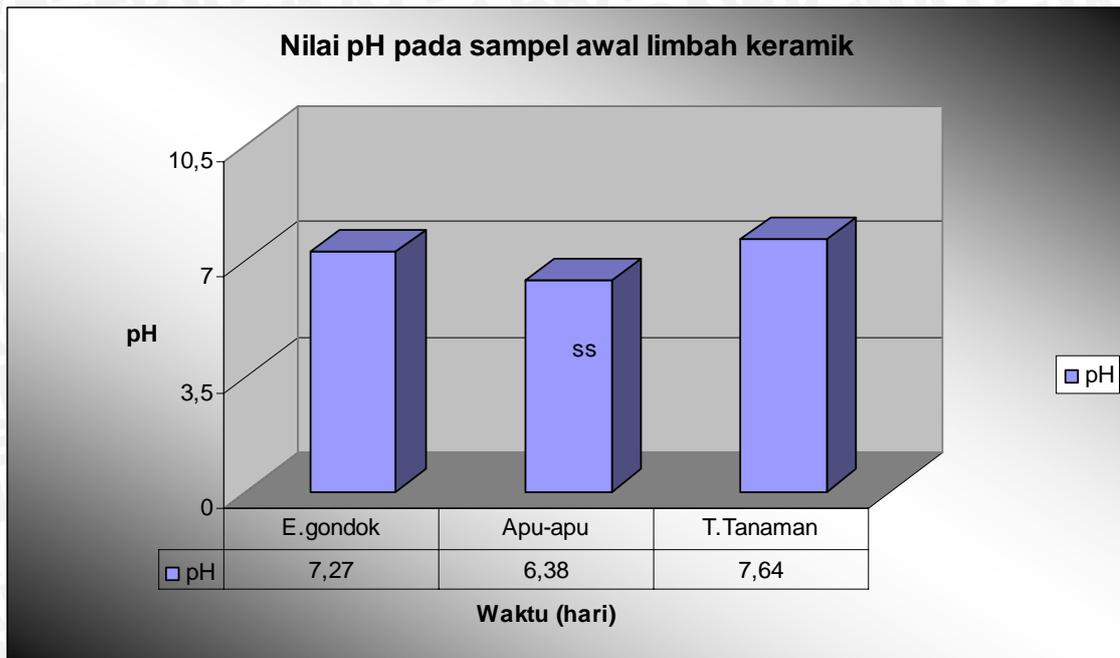
#### 4.1.2 Kondisi Awal Sampel Air Limbah Keramik

Kondisi awal dari penelitian menggunakan limbah keramik ini, perlakuannya sama dengan kondisi awal dari limbah simulasi, yaitu limbah ditempatkan pada tiga bak yang diiberi perlakuan menggunakan tanaman eceng gondok, tanaman apu-apu, dan perlakuan tanpa tanaman. Untuk kondisi awal dari limbah keramik nilai parameter Fe adalah 0,52 mg/lit dan Zn adalah 0,80 mg/lit, sedangkan untuk parameter Pb tidak terdeteksi dalam limbah keramik. Hal ini disebabkan karena dalam pembuatan keramik tidak menggunakan bahan dasar timbal.

**Tabel 4.1b. Nilai pH dan Suhu Pada Sampel Air Limbah Keramik**

Hari/tanggal	Parameter	Perlakuan		
		Eceng gondok	Apu-apu	Tanpa tanaman
Jumat 02-Mar-07	pH	7,27	6,38	7,64
	Suhu	30,8	29,9	30,3

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.1b. Nilai Awal Pengukuran pH pada limbah keramik**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kondisi awal perlakuan hanya tanaman eceng gondok yang telah memenuhi standar PP No.82 Th.2001 yaitu diantara 6 sampai 9.

#### 4.2. Kondisi Sampel Air Limbah Setelah Perlakuan

Setelah diadakan perlakuan ternyata parameter dari masing-masing logam mengalami penurunan kadarnya. Dari hari kehari tanaman eceng gondok dan tanaman apu-apu mengalami perkembangbiakan,yang paling maksimal adalah pada minggu ke-3 dimana tanaman eceng gondok tumbuh bunga dan tanaman apu-apu tumbuh tunas-tunas baru.

##### 4.2.1. Kondisi Sampel Air Limbah Simulasi Tunggal Parameter Fe,Zn,Pb

Untuk kondisi sampel air limbah simulasi tunggal parameter Fe,Zn,Pb terdapat tiga perlakuan, yaitu:

###### 4.2.1.1.Tanaman Eceng gondok

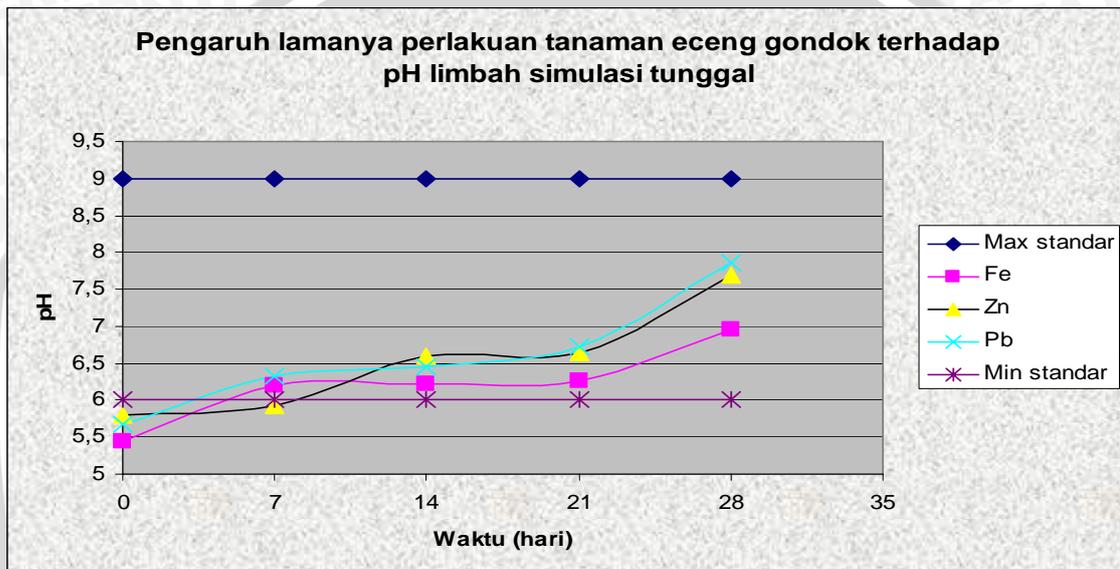
Perlakuan kondisi air limbah ini,ditanami tanaman eceng gondok. Tanaman eceng gondok merupakan salah satu tanaman air yang digunakan untuk menyerap logam-logam Fe,Zn,Pb dalam sampel air limbah simulasi maupun limbah keramik (sebagai perbandingan) yang diuji, mengingat bahwa Fe,Zn, Pb merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman, walaupun dalam jumlah yang sangat kecil, tak terkecuali tanaman eceng gondok.

## A. Pengukuran pH

Tabel 4.2a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
				Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21	Hari ke-28
Eceng gondok	5 rumpun	Fe	5,45	6,19	6,215	6,255	6,96
		Zn	5,79	5,925	6,595	6,645	7,69
		Pb	5,67	6,33	6,455	6,715	7,87

Sumber : Data Hasil Penelitian



Gambar 4.2a. Nilai pH pada perlakuan tanaman eceng gondok limbah simulasi tunggal

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan eceng gondok setelah dilakukan percobaan, derajat keasaman (pH) dari sampel air limbah tersebut mengalami kenaikan, hal ini berarti keadaan pada lingkungan sekitar tanaman semakin netral, hal ini menandakan tanaman menyerap polutan yang ada pada sampel air limbah tersebut.

## B. Pengukuran Suhu

Tabel 4.2b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap nilai suhu

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
				Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
Eceng gondok	5 rumpun	Fe	27,7	26,85	27,75	27,1	26,6
		Zn	27,85	26,75	27,7	26,8	26,7
		Pb	27,8	26,85	26,8	26,65	26,85

Sumber : Data Hasil Penelitian

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan eceng gondok setelah dilakukan percobaan, hasil pengukuran keadaan suhu relatif stabil dari hari ke-7 sampai hari ke-28. Nilai suhu mengalami kecenderungan sesuai dengan suhu ruang.

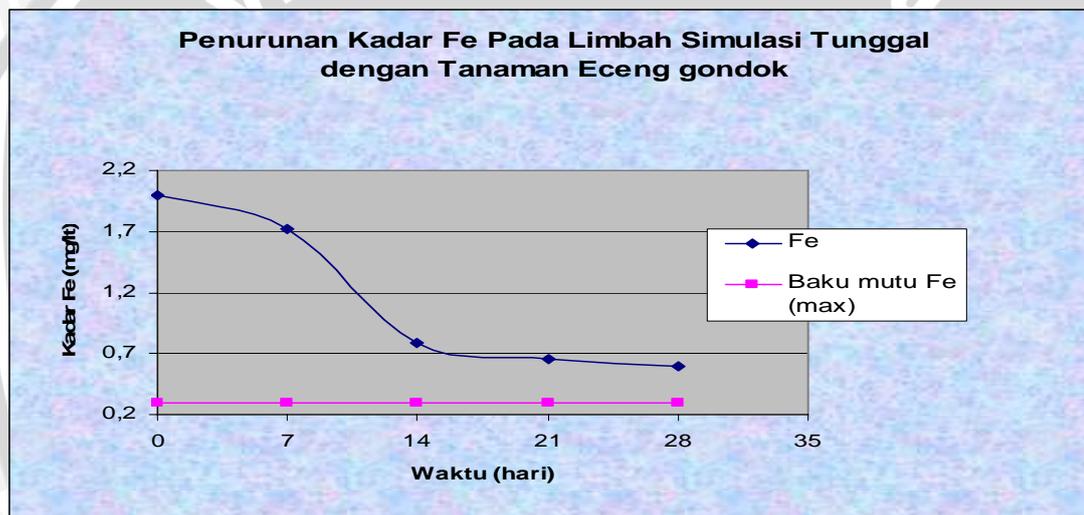
### C. Pengukuran Parameter Fe, Zn, Pb

#### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.2c. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Eceng gondok	5 rumpun	Fe	2	1,72	0,79	0,66	0,59

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.2b. Nilai penurunan limbah Fe pada perlakuan tanaman eceng gondok**

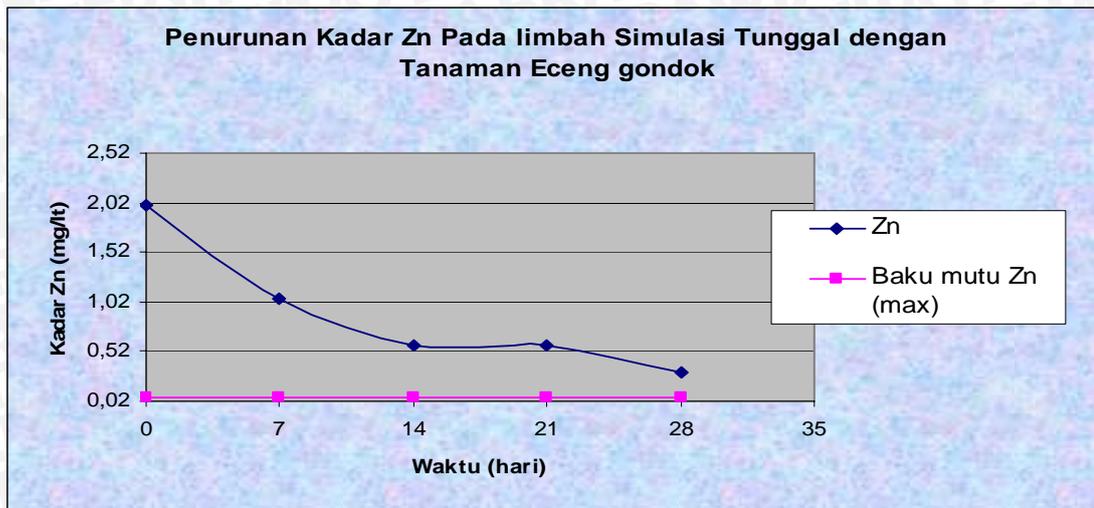
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan tanaman eceng gondok setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Fe pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan tanaman eceng gondok paling efektif menyerap polutan Fe pada hari ke-28. Besarnya penyerapan polutan Fe pada tanaman eceng gondok adalah 0,59 mg/l.

#### ▪ Parameter Zn

**Tabel 4.2d. Tabel pengaruh lamanya perlakuan eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Eceng gondok	5 rumpun	Zn	2	1,06	0,59	0,58	0,31

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.2c. Nilai penurunan polutan Zn pada limbah simulasi tunggal perlakuan tanaman eceng gondok**

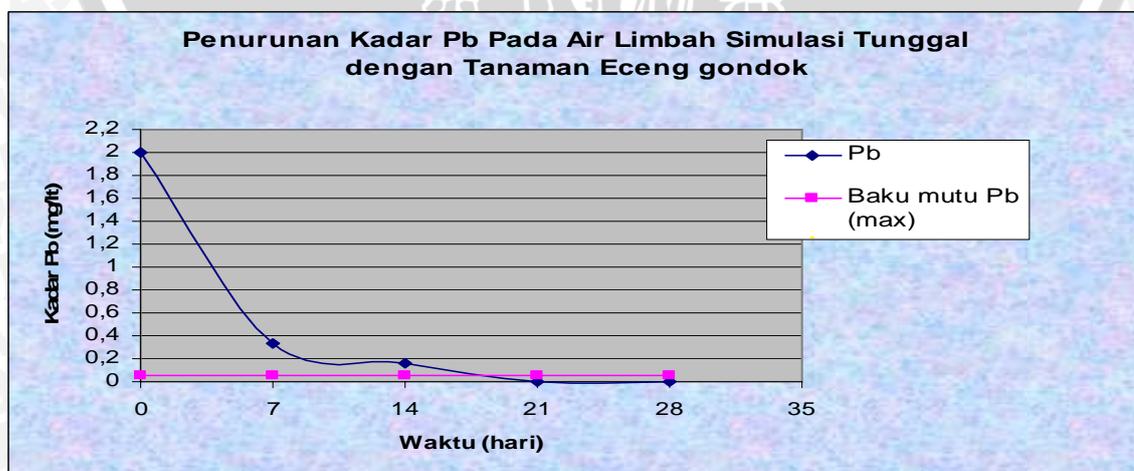
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan tanaman eceng gondok setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Zn pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan tanaman eceng gondok paling efektif menyerap polutan Zn pada hari ke-28. Besarnya penyerapan polutan Zn pada tanaman eceng gondok adalah 0,31 mg/l.

#### ▪ Parameter Pb

**Tabel 4.2e. Tabel Pengaruh Lamanya Perlakuan tanaman eceng gondok terhadap Penurunan Kadar polutan Pb**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Eceng gondok	5 rumpun	Pb	2	0,33	0,16	0	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.2d. Nilai penurunan kadar Pb pada air limbah simulasi tunggal dengan tanaman eceng gondok**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan tanaman eceng gondok setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Pb pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan tanaman eceng gondok paling efektif menyerap polutan Pb pada hari ke-21. Besarnya penyerapan polutan Pb pada tanaman eceng gondok adalah 0 mg/l. Pada kondisi ini sudah mencapai kadar kualitas air kelas I untuk logam Pb, yaitu sebesar 0,05 mg/l.

#### 4.2.1.2 Tanaman Apu-apu

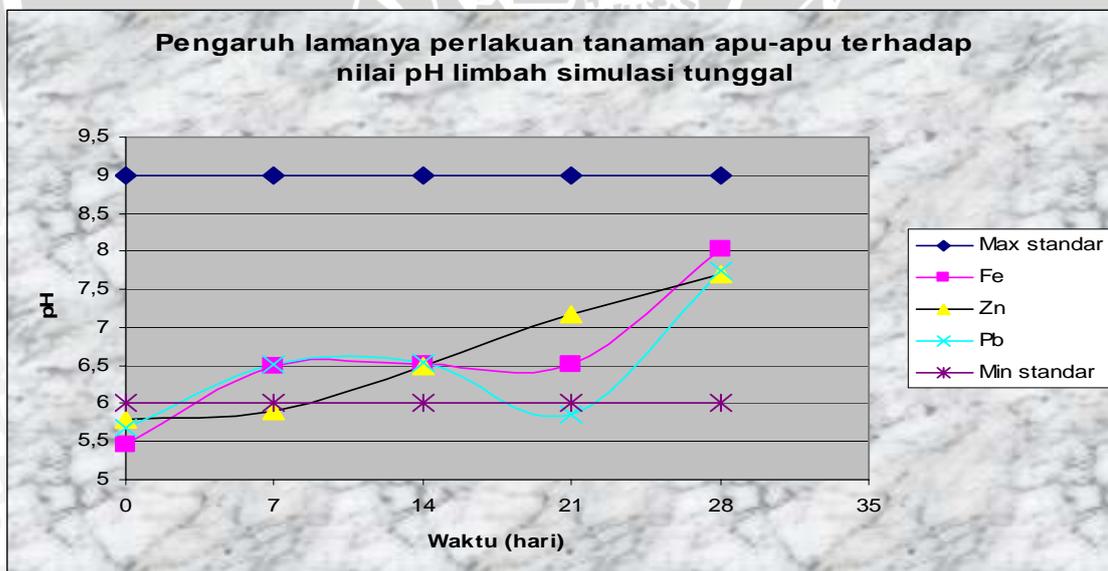
Tanaman apu-apu juga merupakan tanaman air yang digunakan untuk menyerap polutan Fe, Zn, Pb dalam sampel air limbah (air simulasi dan limbah keramik), dalam penelitian ini.

##### A. Pengukuran pH

**Tabel 4.3a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
				Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
Apu-apu	5 rumpun	Fe	5,45	6,49	6,505	6,515	8,04
		Zn	5,79	5,9	6,485	7,165	7,7
		Pb	6,67	6,505	6,545	5,85	7,75

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.3a. Pengukuran pH Pada Air Limbah Simulasi Tunggal dengan Tanaman Apu-apu**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan tanaman apu-apu setelah dilakukan percobaan, derajat keasaman (pH) dari sampel air limbah tersebut mengalami kenaikan, hal ini berarti keadaan pada lingkungan sekitar tanaman semakin

netral, hal ini menandakan tanaman menyerap polutan yang ada pada sampel air limbah tersebut.

### B. Pengukuran Suhu

**Tabel 4.3b.** Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
				Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
Apu-apu	5 rumpun	Fe	28,05	26,85	28	26,75	27,15
		Zn	28,05	26,9	28,05	26,85	26,95
		Pb	28,55	27,1	27,95	26,45	27

Sumber : Data Hasil Penelitian

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan eceng gondok setelah dilakukan percobaan, hasil pengukuran keadaan suhu relatif stabil dari hari ke-7 sampai hari ke-28.

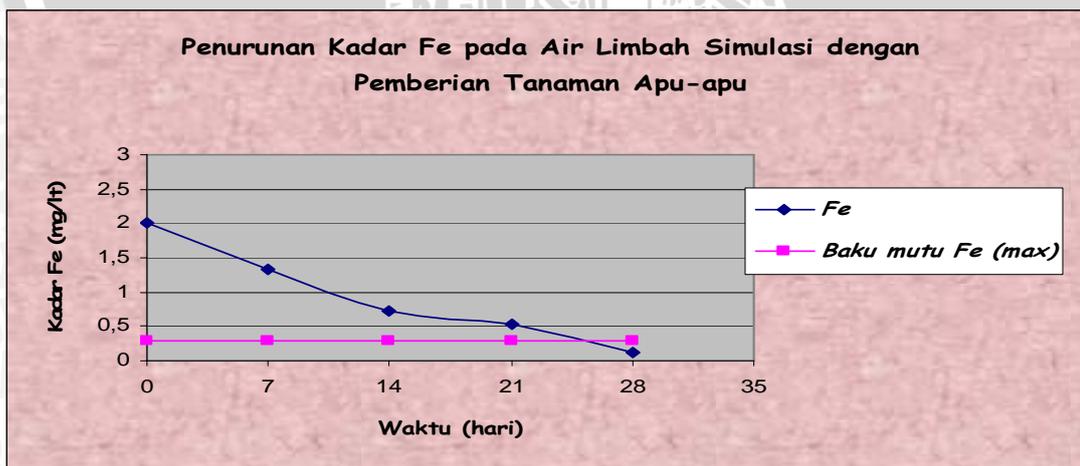
### C. Pengukuran Parameter Fe,Zn,Pb

#### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.3c.** Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Fe

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Apu-apu	5 rumpun	Fe	2	1,33	0,72	0,53	0,13

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Grafik 4.3b.** Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Tunggal

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan tanaman apu-apu setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Fe pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan tanaman apu-apu paling efektif menyerap polutan Fe pada hari ke-

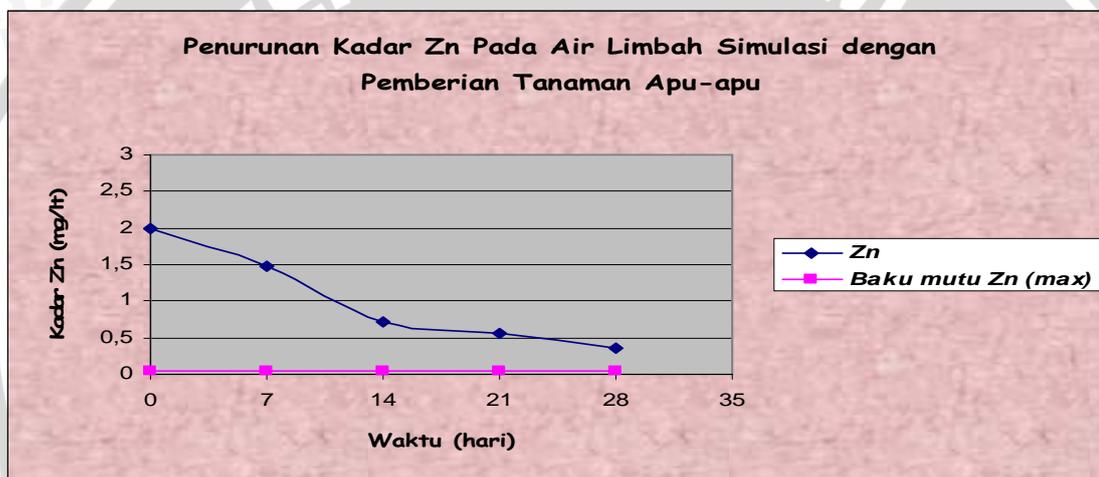
28. Besarnya penyerapan polutan Fe pada tanaman apu-apu adalah 0,13 mg/lt. Pada kondisi ini sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th 2001 untuk jenis logam Fe, yaitu sebesar 0,3 mg/lt.

### B. Parameter Zn

**Tabel 4.3d. Tabel Pengaruh Lamanya Pengambilan Sampel Uji terhadap Penurunan Kadar Polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/lt)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/lt)	Hari ke-14 (mg/lt)	Hari ke-21 (mg/lt)	Hari ke-28 (mg/lt)
Apu-apu	5 rumpun	Zn	2	1,47	0,72	0,56	0,36

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Grafik 4.3c. Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Tunggal dengan Tanaman Apu-apu**

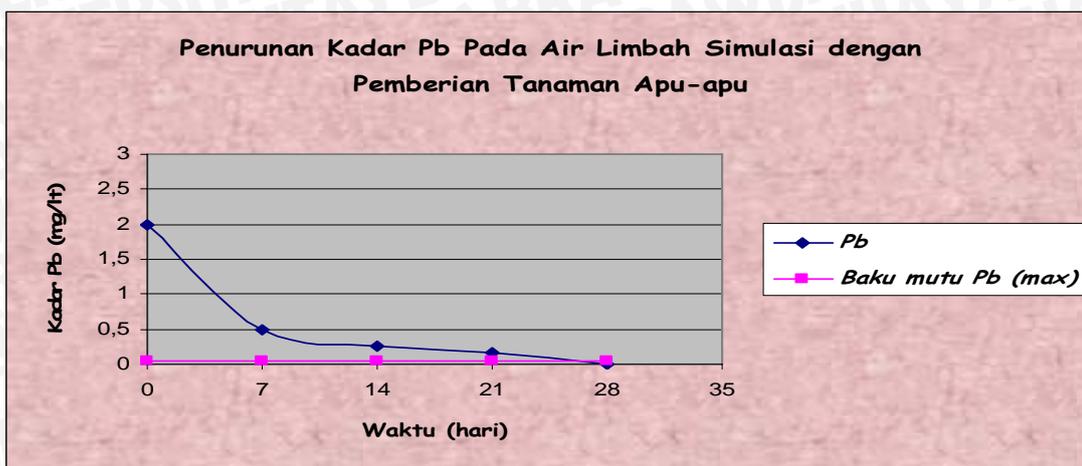
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan tanaman apu-apu setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Zn pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan tanaman apu-apu paling efektif menyerap polutan Zn pada hari ke-28. Besarnya penyerapan polutan Zn pada tanaman apu-apu adalah 0,36 mg/lt.

### C. Parameter Pb

**Tabel 4.3e. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap Penurunan Kadar Polutan Pb**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/lt)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/lt)	Hari ke-14 (mg/lt)	Hari ke-21 (mg/lt)	Hari ke-28 (mg/lt)
Apu-apu	5 rumpun	Pb	2	0,49	0,25	0,16	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Grafik 4.3d. Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Tunggal dengan Tanaman Apu-apu**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan tanaman apu-apu setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Pb pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan tanaman apu-apu paling efektif menyerap polutan Pb pada hari ke-28. Besarnya penyerapan polutan Zn pada tanaman apu-apu adalah 0 mg/l. Pada kondisi ini sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th 2001 untuk logam Pb, yaitu sebesar 0,05 mg/l.

#### 4.2.1.3. Tanpa Tanaman

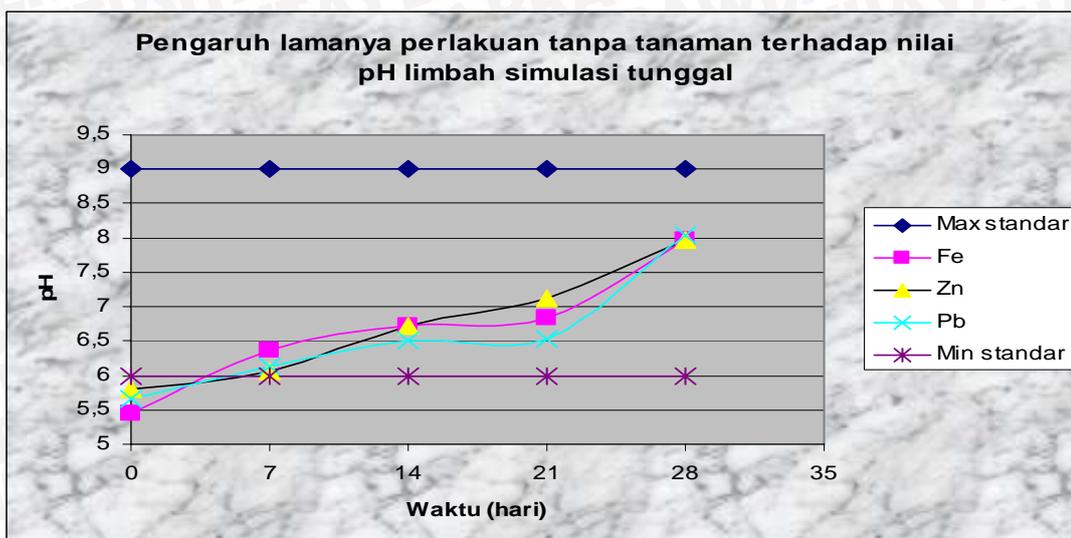
Uji perlakuan tanpa pemberian tanaman didalam bak uji adalah salah satu perlakuan didalam penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui apa ada faktor lain yang menyebabkan kadar polutan turun selain diserap oleh tanaman, misalnya adanya penguapan.

#### A. Pengukuran pH

**Tabel 4.4a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
				Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
Tanpa Tanaman	5 rumpun	Fe	5,45	6,36	6,73	6,84	7,96
		Zn	5,76	6,06	6,73	7,11	7,96
		Pb	5,67	6,14	6,51	6,54	8,05

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.4a. Pengukuran pH Pada Air Limbah Simulasi Tunggal Perlakuan Tanpa Tanaman**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman setelah dilakukan percobaan, derajat keasaman (pH) dari sampel air limbah tersebut mengalami kenaikan, hal ini berarti keadaan pada lingkungan sekitar tanaman semakin basa, hal ini menandakan tanaman menyerap polutan yang ada pada sampel air limbah tersebut.

### B. Pengukuran Suhu

**Tabel 4.4b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap nilai pengukuran suhu**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
				Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
Tanpa Tanaman	5 rumpun	Fe	26,3	26,6	27,9	26,8	27,1
		Zn	26,3	26,6	26	26,2	27,1
		Pb	26,3	26,9	28	26,9	27,2

Sumber : Data Hasil Penelitian

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman setelah dilakukan percobaan, hasil pengukuran keadaan suhu relatif stabil dari hari ke-7 sampai hari ke-28. Nilai suhu mengalami kecenderungan sesuai dengan suhu ruang.

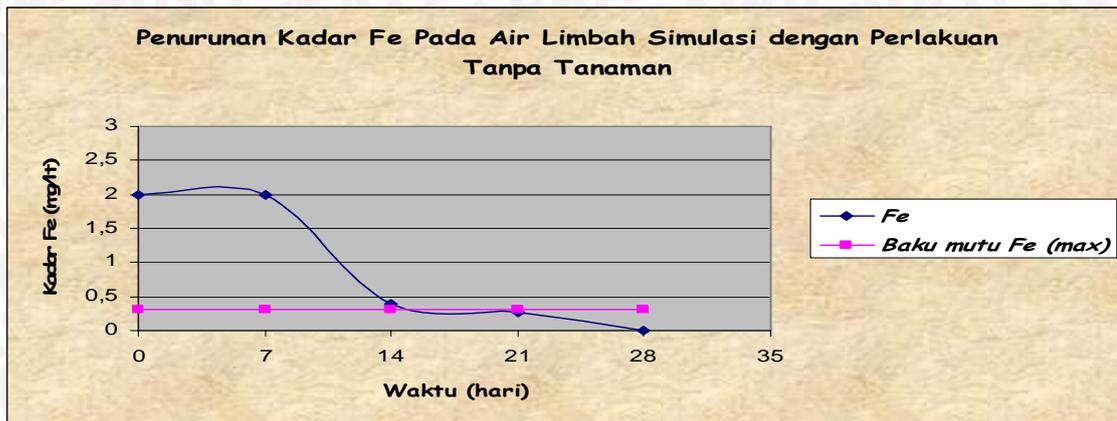
### C. Pengukuran Parameter Fe, Zn, Pb

#### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.4c. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap Penurunan Kadar Polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Tanpa Tanaman	5 rumpun	Fe	2	2	0,4	0,26	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.4b, Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Tunggal  
Perlakuan Tanpa Tanaman**

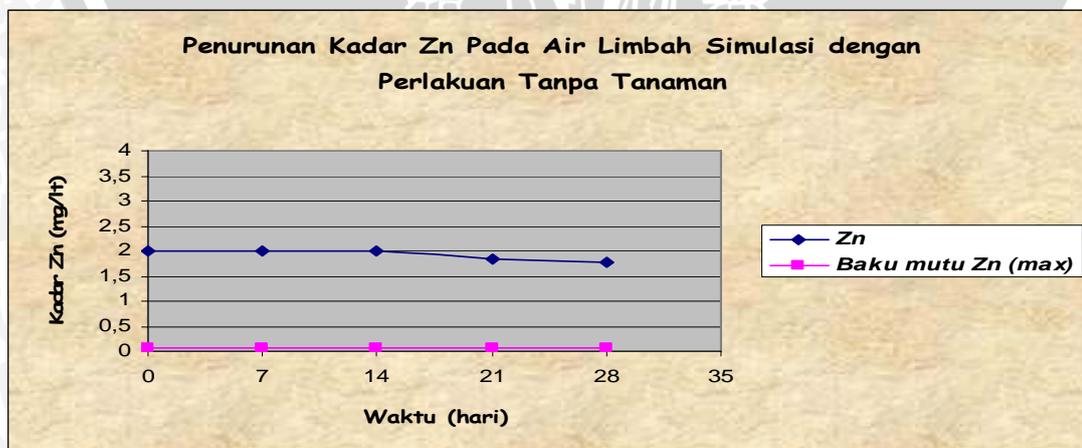
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa perlakuan tanpa tanaman setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Fe pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan hari paling efektif menyerap polutan Fe pada hari ke-28. Besarnya penyerapan polutan Fe pada tanaman apu-apu adalah 0 ppm. Pada kondisi ini sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th 2001 untuk logam Fe, yaitu sebesar 0,3 mg/lit.

- **Parameter Zn**

**Tabel 4.4d. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap  
Penurunan Kadar Polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/lit)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/lit)	Hari ke-14 (mg/lit)	Hari ke-21 (mg/lit)	Hari ke-28 (mg/lit)
Tanpa Tanaman	5 rumpun	Zn	2	2	2	1,84	1,79

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.4c. Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Perlakuan Tanpa Tanaman**

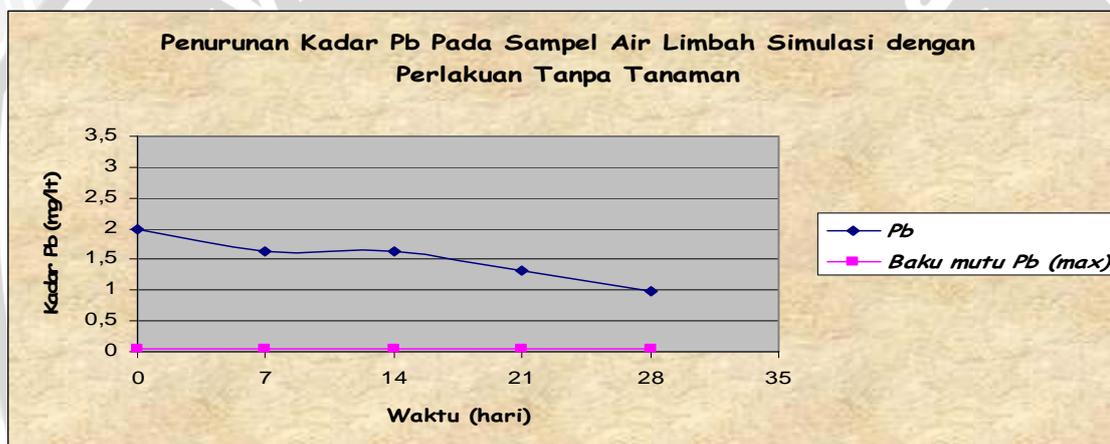
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Zn pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan perlakuan tanpa tanaman paling efektif menyerap polutan Zn pada hari ke-28. Besarnya penyerapan polutan Zn pada perlakuan tanpa tanaman adalah 1,79 mg/l.

- **Parameter Pb**

**Tabel 4.4e. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap Penurunan Kadar Polutan Pb**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Tanpa Tanaman	5 rumpun	Pb	2	1,64	1,64	1,31	0,98

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.4d. Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Tunggal Perlakuan Tanpa Tanaman**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman setelah dilakukan perlakuan percobaan, kadar Pb pada sampel air limbah mengalami penurunan, dan perlakuan tanpa tanaman paling efektif menyerap polutan Pb pada hari ke-28. Besarnya penyerapan polutan Pb pada perlakuan tanpa tanaman adalah 0,98 mg/l

#### 4.2.2. Kondisi Sampel Air Limbah Simulasi Campuran

Untuk kondisi Air Limbah Simulasi Campuran, setiap bak terdapat campuran dari ketiga larutan logam Fe,Zn,Pb. Uji perlakuan pencampuran ketiga logam Fe,Zn,Pb didalam bak uji adalah salah satu perlakuan didalam penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui logam mana yang paling cepat diserap oleh tanaman. Untuk kondisi air limbah simulasi campuran juga terdapat tiga perlakuan, yaitu:

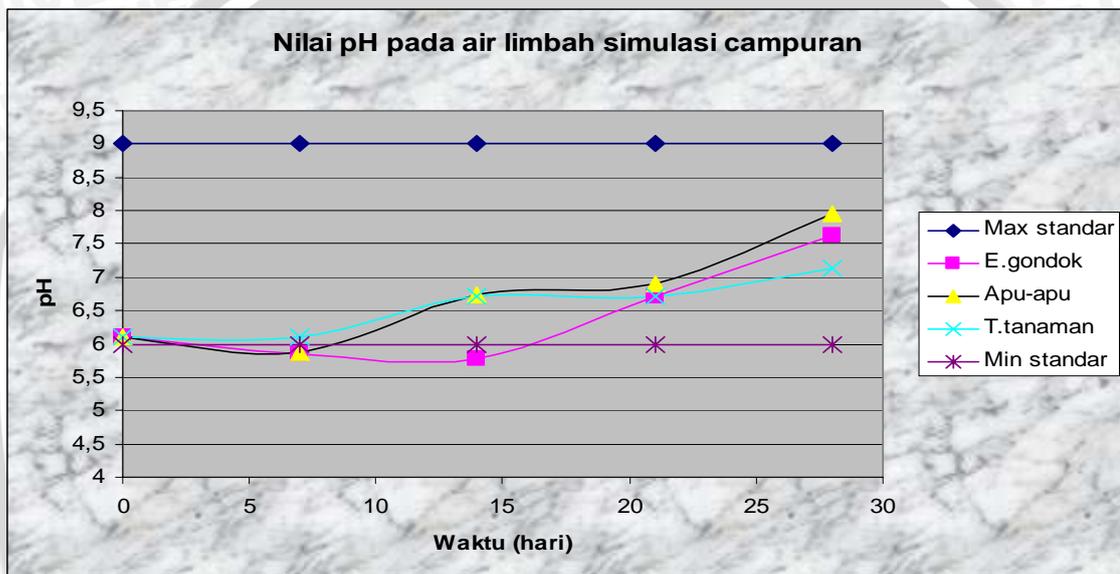
#### 4.2.2.1. Tanaman Eceng gondok

##### A. Pengukuran pH

Tabel 4.5a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap Hasil Pengukuran pH

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
			Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
E.gondok	5 rumpun	5,62	5,85	5,77	6,71	7,62
Apu-apu		5,01	5,87	6,75	6,9	7,96
T.Tanaman		6,11	6,11	6,71	6,72	7,14

Sumber : Data Hasil Penelitian



Gambar 4.5a. Pengukuran pH Pada Air Limbah Simulasi Campuran

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan menggunakan apu-apu setelah dilakukan percobaan, derajat keasaman (pH) dari sampel air limbah tersebut mengalami kenaikan, hal ini berarti keadaan pada lingkungan sekitar tanaman semakin netral, hal ini menandakan tanaman menyerap polutan yang ada pada sampel air limbah tersebut. Untuk tanaman eceng gondok pH dalam keadaan maksimal sebesar 7,62, tanaman apu-apu sebesar 7,96, dan perlakuan tanpa tanaman sebesar 7,14.

##### B. Pengukuran Suhu

Tabel 4.5b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap hasil pengukuran Suhu

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
			Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
E.Gondok	5 rumpun	26,2	27,1	28,2	26,9	27,2
Apu-apu		26,2	26,9	28,1	26,6	27,3
T.Tanaman		26,2	26,9	28,1	27	27,3

Sumber : Data Hasil Penelitian

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman setelah dilakukan percobaan, hasil pengukuran keadaan suhu relatif stabil dari hari ke-7 sampai hari ke-28. Kondisi ini mengalami kecenderungan sesuai dengan suhu ruang.

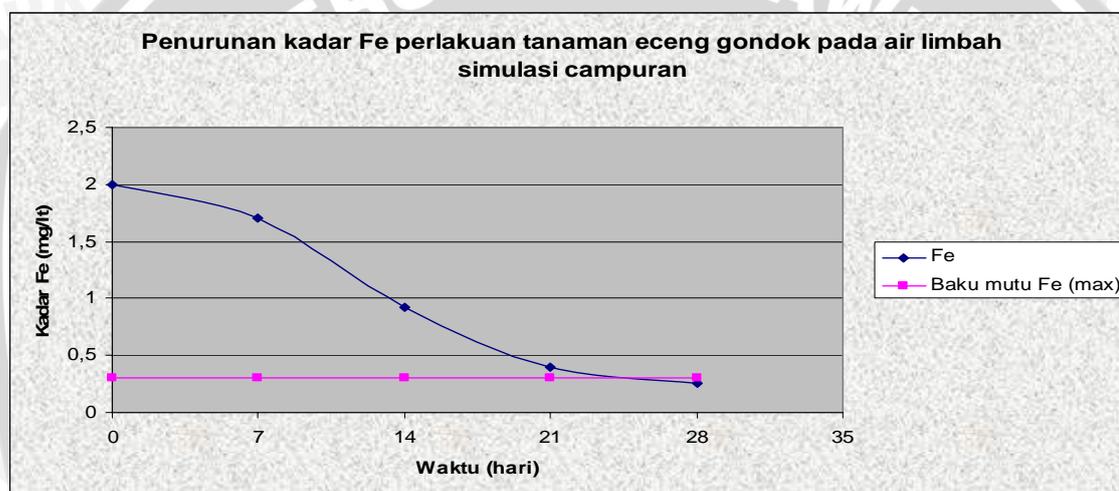
### C. Pengukuran Parameter Fe, Zn, Pb

#### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.5c. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap Penurunan Kadar Polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari Ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
E.Gondok	5 rumpun	Fe	2	1,71	0,92	0,4	0,26

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.5b. Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Eceng gondok**

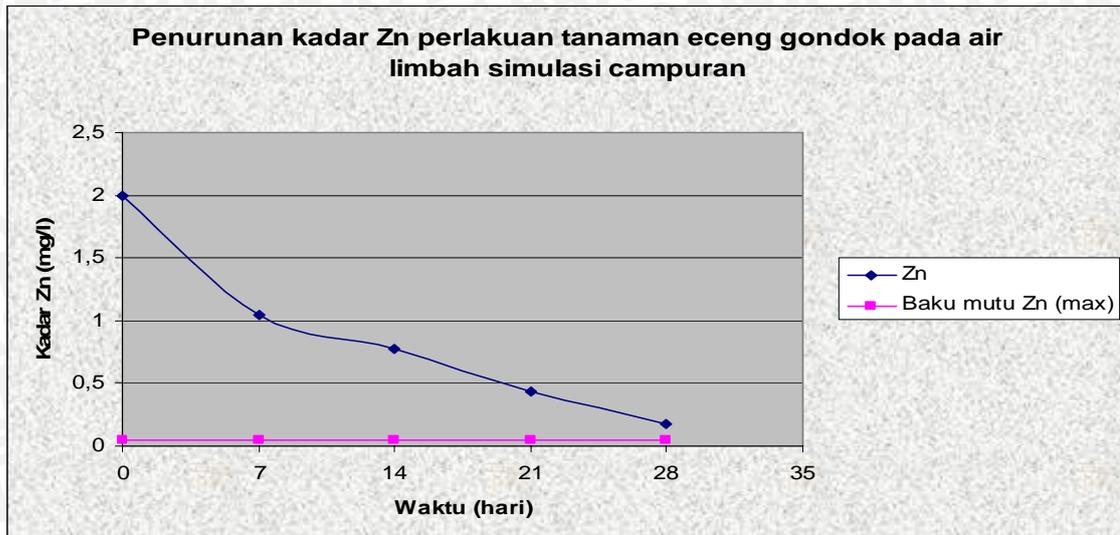
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok dalam campuran larutan Fe, Zn, Pb, untuk kadar Fe paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0,26 mg/l. Dan pada kondisi ini kualitas air sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th.2001, yaitu sebesar 0,3.mg/l. Pada kondisi ini sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th 2001 untuk logam Fe, yaitu sebesar 0,3 mg/l.

#### ▪ Parameter Zn

**Tabel 4.5d. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari Ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
E.Gondok	5 rumpun	Zn	2	1,04	0,77	0,44	0,18

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.5c. Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Eceng gondok**

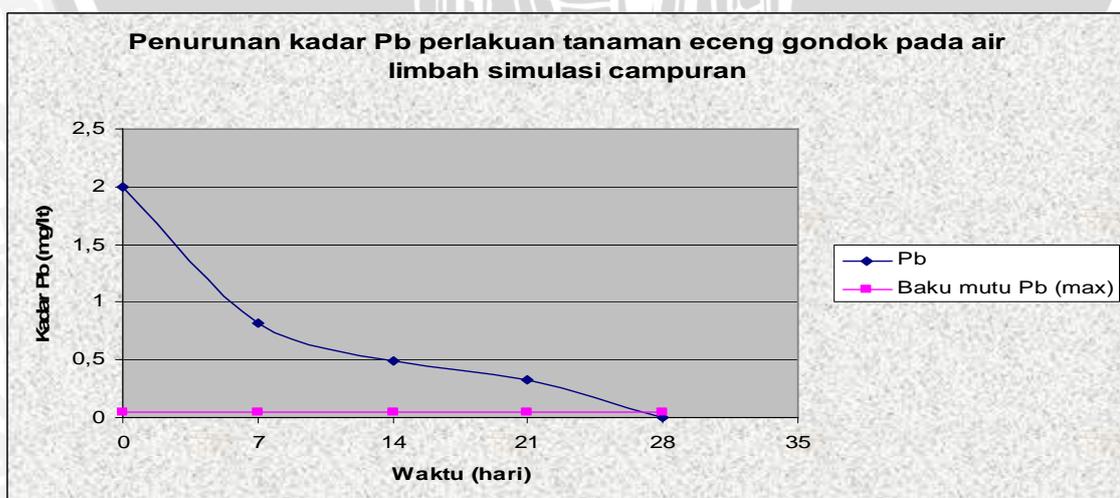
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Zn paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0,18 mg/lt.

▪ **Parameter Pb**

**Tabel 4.5e. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Pb**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/lt)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/lt)	Hari ke-14 (mg/lt)	Hari Ke-21 (mg/lt)	Hari ke-28 (mg/lt)
E.Gondok	5 rumpun	Pb	2	0,82	0,49	0,33	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.5d. Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Eceng gondok**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa pemberian tanaman eceng gondok dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Pb paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0 mg/lt. Dan pada kondisi ini kualitas air sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th.2001, yaitu sebesar 0,05 mg/lt

#### 4.2.2.2. Tanaman Apu-apu

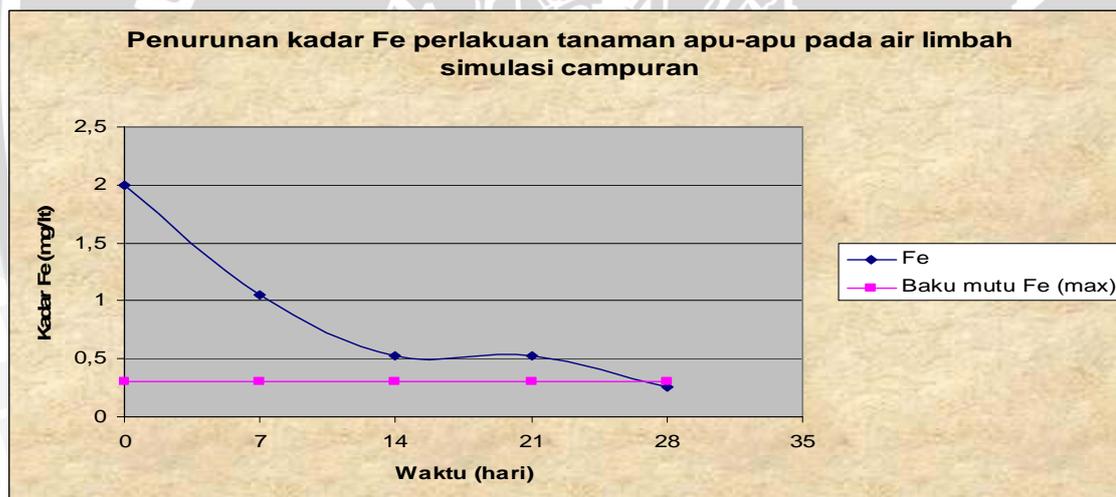
##### o Pengukuran Parameter Fe,Zn,Pb

##### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.6a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap penurunan kadar polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/lt)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/lt)	Hari ke-14 (mg/lt)	Hari ke-21 (mg/lt)	Hari ke-28 (mg/lt)
Apu-apu	5 rumpun	Fe	2	1,05	0,53	0,53	0,26

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.6a. Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi dengan Tanaman Apu-apu**

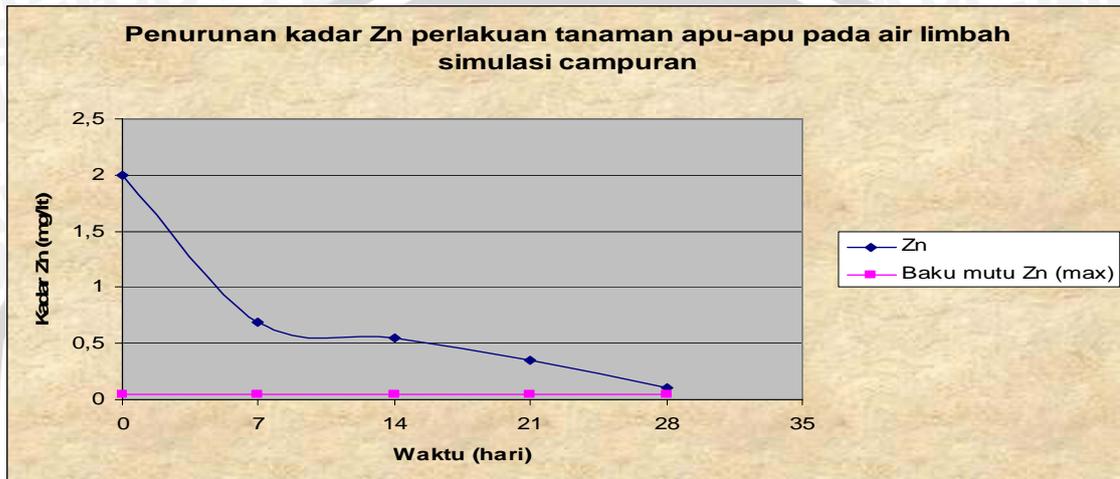
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Fe paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0,26 mg/lt. Dan pada kondisi ini kualitas air sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th.2001, yaitu sebesar 0,3.mg/lt.

- Parameter Zn

Tabel 4.6b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap penurunan kadar Polutan Zn

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Apu-apu	5 rumpun	Zn	2	0,69	0,55	0,35	0,11

Sumber : Data Hasil Penelitian



Gambar 4.6b. Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Apu-apu

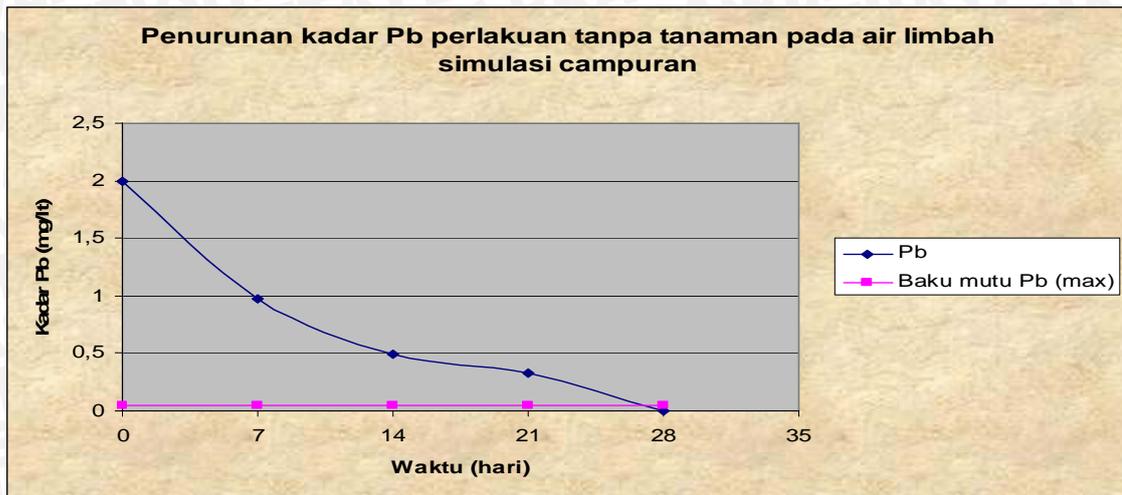
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan pemberian tanaman apu-apu dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Zn paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0,11 mg/l.

- Parameter Pb

Tabel 4.6c. Tabel Pengaruh Lamanya Pengambilan Sampel Uji terhadap Penurunan Kadar Polutan Pb dalam Tanaman Apu-apu

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
Apu-apu	5 rumpun	Pb	2	0,98	0,49	0,33	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.6c. Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Apu-apu**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan pemberian tanaman apu-apu dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Pb paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0 mg/l. Dan pada kondisi ini kualitas air sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th.2001, yaitu sebesar 0,05 mg/l.

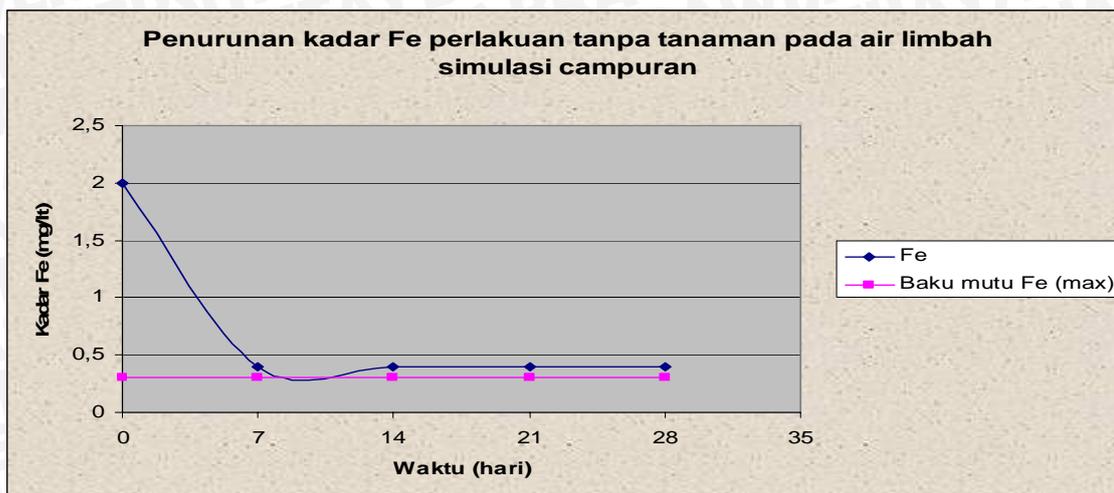
#### 4.2.2.3. Tanpa Tanaman

- Pengukuran Parameter Fe,Zn,Pb
- Parameter Fe

**Tabel 4.7a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (mg/l)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (mg/l)	Hari ke-14 (mg/l)	Hari ke-21 (mg/l)	Hari ke-28 (mg/l)
T.Tanaman	5 rumpun	Fe	2	0,4	0,4	0,4	0,4

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.7a. Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Campuran Perlakuan Tanpa Tanaman**

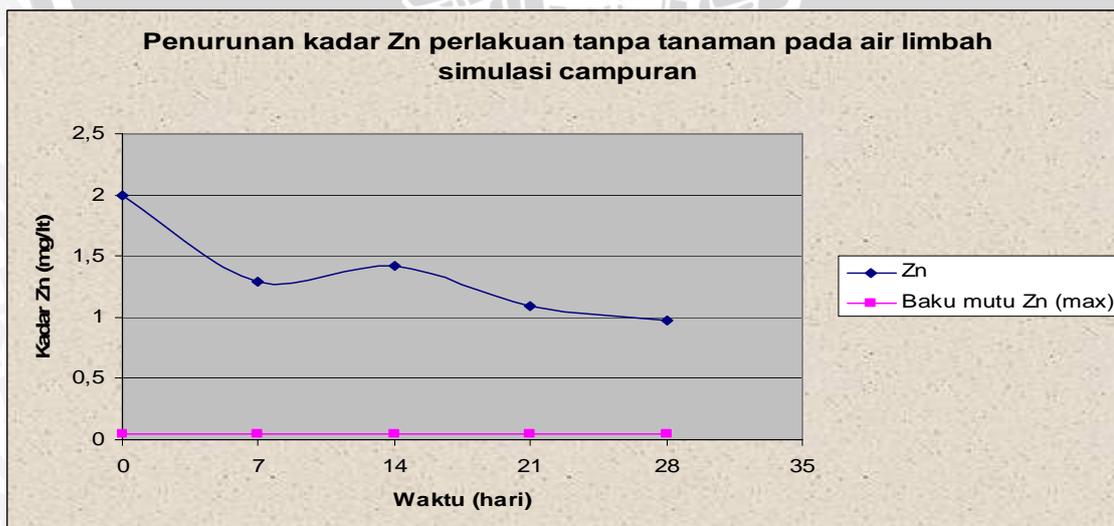
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Fe paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0,4 mg/lit.

▪ **Parameter Zn**

**Tabel 4.7b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T.Tanaman	5 rumpun	Zn	2	1,29	1,42	1,09	0,98

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.7b. Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Campuran Perlakuan Tanpa Tanaman**

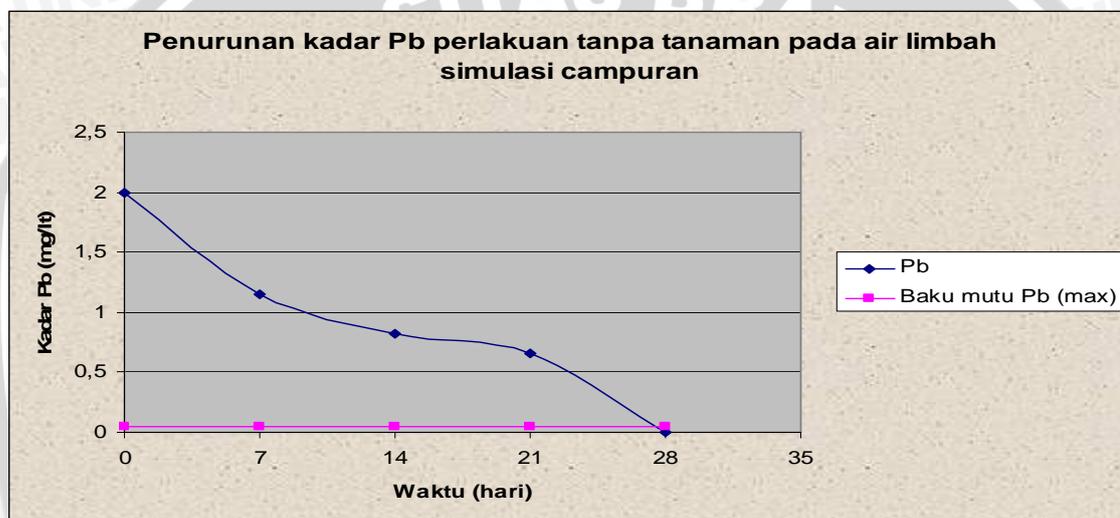
Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Fe paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0,4 mg/lit.

▪ **Parameter Pb**

**Tabel 4.7c. Tabel pengaruh lamanya Perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Pb**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T.Tanaman	5 rumpun	Pb	2	1,15	0,82	0,66	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.7c. Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Campuran Perlakuan Tanpa Tanaman**

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman dalam campuran larutan Fe,Zn,Pb, untuk kadar Pb paling efektif penyerapannya pada hari ke-28 dengan besar penyerapan adalah 0 mg/lit. Pada kondisi ini sudah mencapai standar kualitas air kelas I PP No.82 Th 2001 untuk logam Pb, yaitu sebesar 0,05 mg/lit.

#### 4.2.3. Kondisi Sampel Air Limbah Keramik

Untuk kondisi air limbah keramik hanya terdapat parameter Fe dan Zn tidak terdapat parameter Pb, hal ini disebabkan karena dari bahan pembuatan keramik tidak mengandung logam timbal. Untuk kondisi air limbah keramik juga terdapat tiga perlakuan, yaitu:

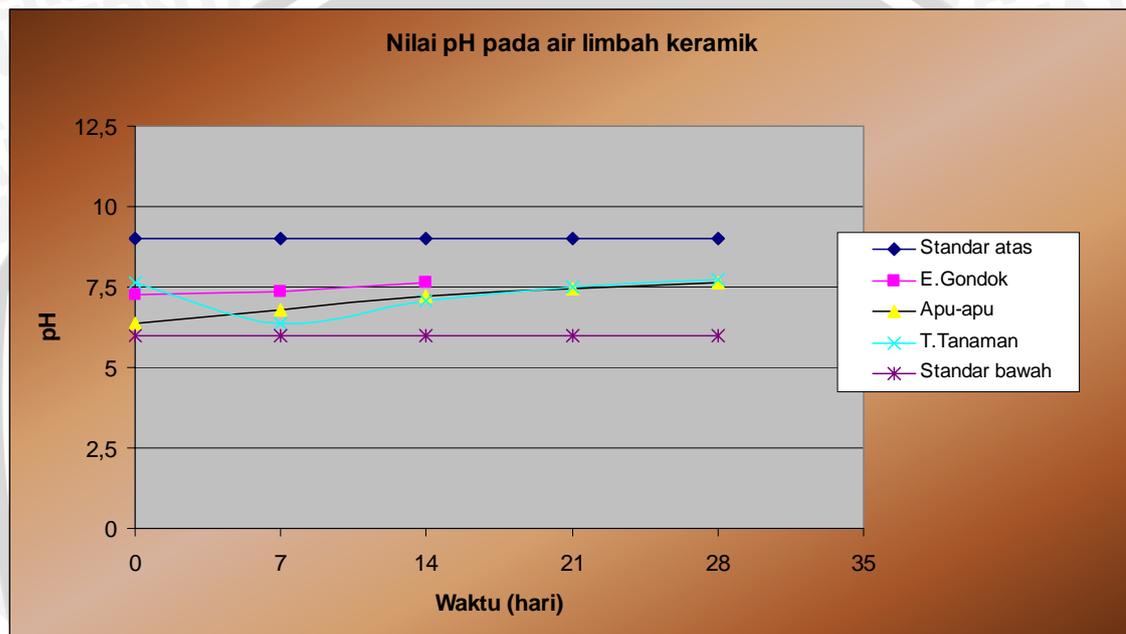
#### 4.2.3.1. Tanaman Eceng gondok

##### A. Pengukuran pH

Tabel 4.8a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap hasil pengukuran pH

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
			Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
E.gondok	5 rumpun	7,27	7,36	7,64	-	-
Apu-apu		6,38	6,78	7,22	7,44	7,64
T.Tanaman		7,64	6,37	7,06	7,52	7,75

Sumber : Data Hasil Penelitian



Gambar 4.8a. Kondisi Awal Pengukuran pH Pada Limbah Keramik

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa keadaan pH dalam kondisi antara 6 sampai 9, hal ini menunjukkan pH tsemakin netral. Untuk kondisi pH eceng gondok pada hari ke- 21 dan hari ke-28 bernilai 0, karena pada hari tersebut air sudah mengering sehingga tidak ada sampel yang bisa diuji

##### B. Pengukuran Suhu

Tabel 4.8b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap Hasil Pengukuran Suhu

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Kondisi Awal	Kondisi akhir			
			Hari Ke-7	Hari Ke-14	Hari Ke-21	Hari Ke-28
E.Gondok	5 rumpun	26,2	27,1	28,2	26,9	27,2
Apu-apu		26,2	26,9	28,1	26,6	27,3
T.Tanaman		26,2	26,9	28,1	27	27,3

Sumber : Data Hasil Penelitian

Dari tabel diatas dapat diuraikan bahwa dengan perlakuan tanpa tanaman setelah dilakukan percobaan, hasil pengukuran keadaan suhu relatif stabil dari hari ke-7 sampai hari ke-28. Kondisi suhu mengalami kecenderungan sesuai dengan suhu ruang

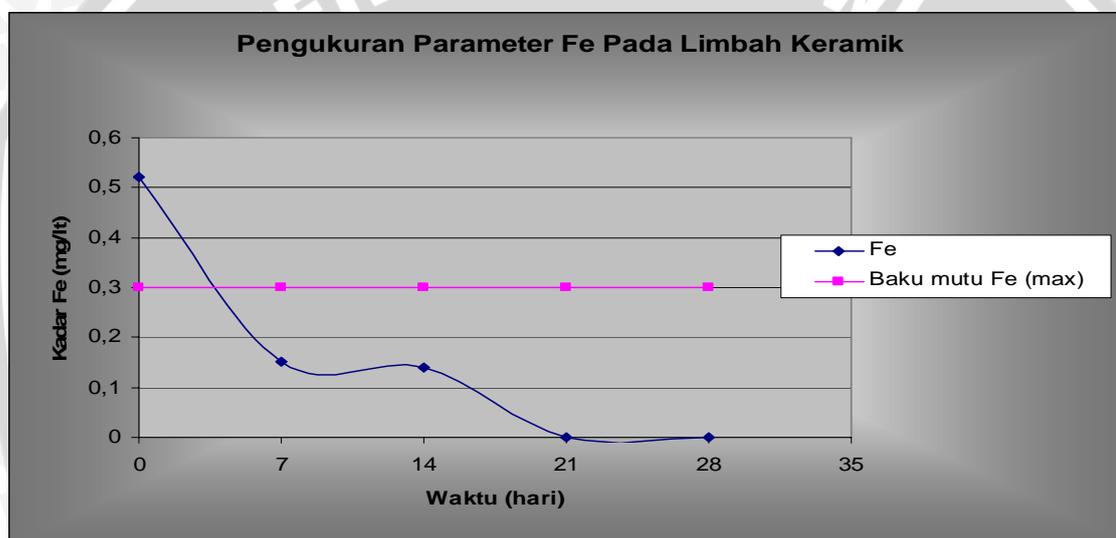
### C. Pengukuran Parameter Fe dan Zn

#### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.8c. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T.Tanaman	5 rumpun	Fe	0,52	0,15	0,14	0	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.8b. Pengukuran parameter Fe pada limbah keramik dengan ditanami Eceng gondok**

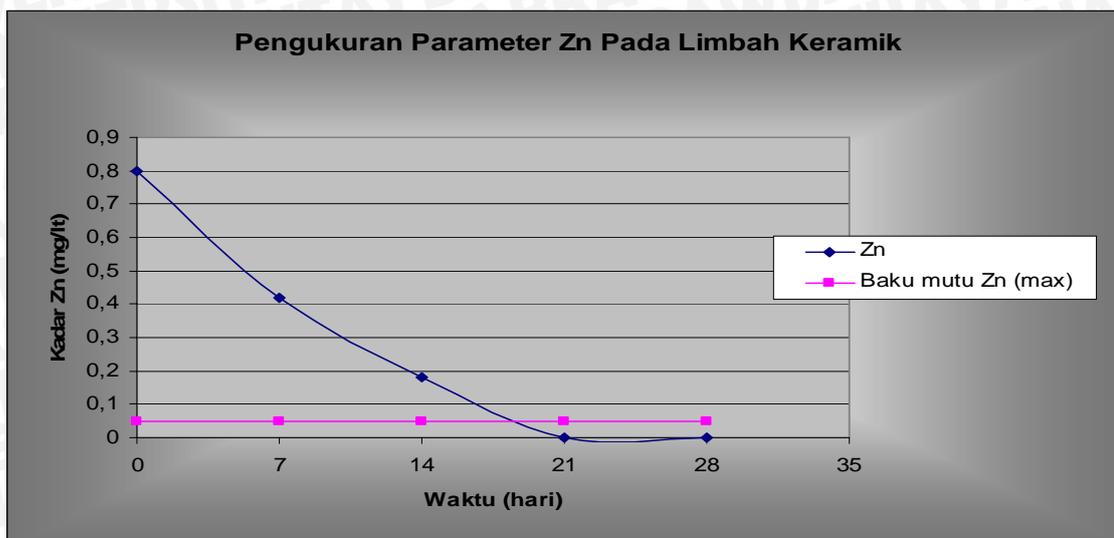
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kondisi kadar Fe dalam limbah keramik sudah memenuhi standar kelas I PP No.82 Th.2001 untuk logam Fe yaitu sebesar 0,3 mg/l. Untuk kondisi perlakuan dengan eceng gondok pada hari ke 21 dan 28 tidak ada nilainya (0) hal ini disebabkan karena air didalam bak uji sudah mengendap.

#### ▪ Parameter Zn

**Tabel 4.8d. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar Polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T.Tanaman	5 rumpun	Zn	0,8	0,42	0,18	0	0

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.8c. Pengukuran parameter Zn pada limbah keramik dengan ditanami Eceng gondok**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kondisi kadar Zn dalam limbah keramik untuk hari 1 sampai hari ke-14 masih diatas standar kelas I PP No.82 Th.2001 untuk logam Zn yaitu sebesar 0,05 mg/l. Untuk kondisi perlakuan dengan eceng gondok pada hari ke 21 dan 28 tidak ada nilainya (0) hal ini disebabkan karena air didalam bak uji sudah mengendap.

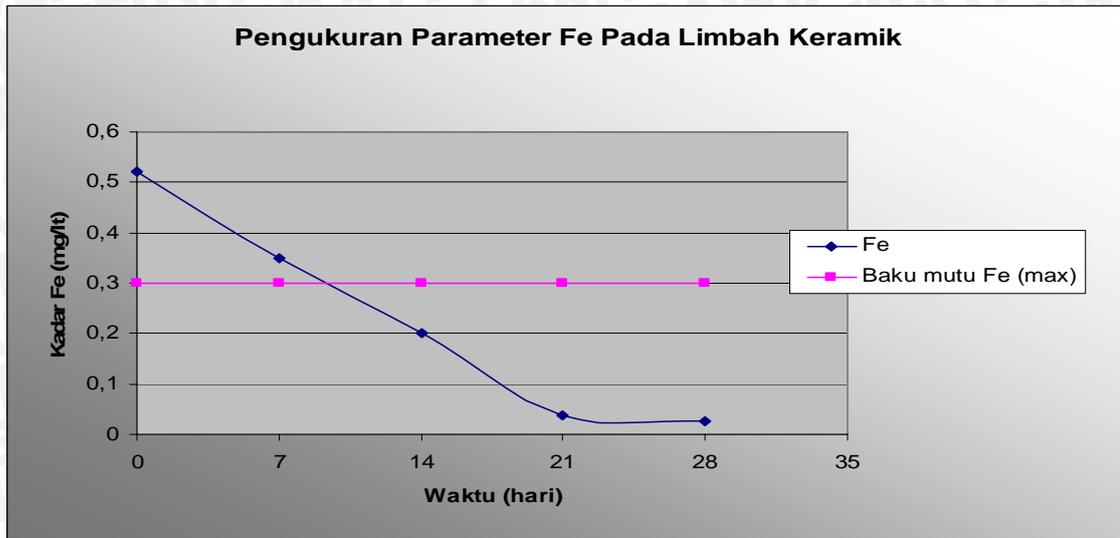
#### 4.2.3.2. Tanaman Apu-apu

- Pengukuran Parameter Fe dan Zn
- Parameter Fe

**Tabel 4.9a. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap penurunan kadar polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T. Tanaman	5 rumpun	Fe	0,52	0,35	0,2	0,038	0,025

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.9a. Pengukuran parameter Fe pada limbah keramik dengan ditanami Apu-apu**

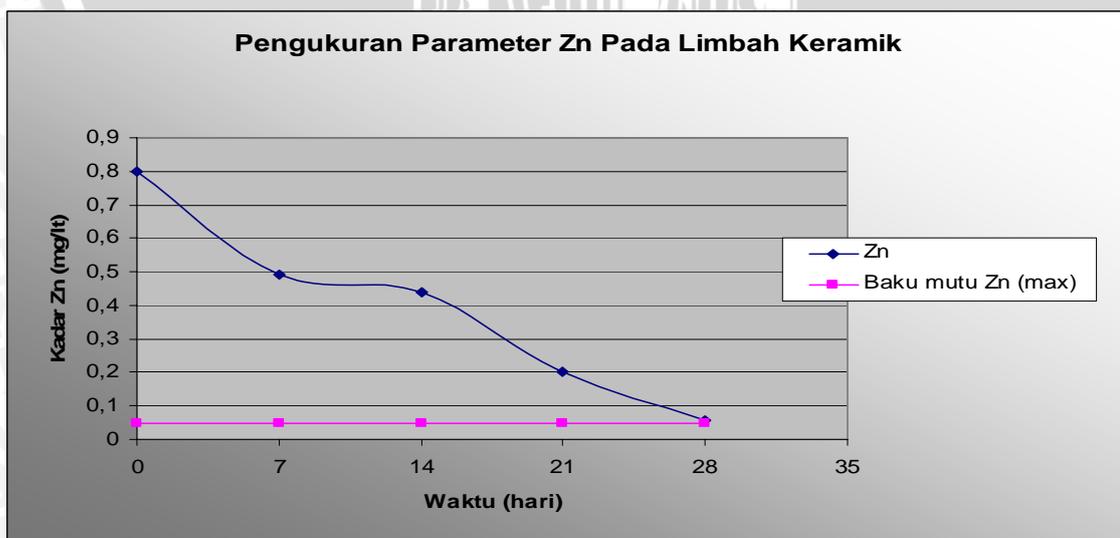
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa pada hari ke-7 nilai kadar Fe masih diatas standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,35 mg/l, tetapi pada hari berikutnya sudah mengalami penurunan.

▪ **Parameter Zn**

**Tabel 4.9b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T.Tanaman	5 rumpun	Zn	0,8	0,492	0,44	0,2	0,055

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.9b. Pengukuran parameter Zn pada limbah keramik dengan ditanami Apu-apu**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar parameter Zn masih diatas standar dari PP No. 82 Th 2001 yaitu sebesar 0,05 mg/lit, dan keadaan penurunan kadar parameter Zn paling efektif yaitu pada hari ke-28, sebesar 0,05 mg/lit.

#### 4.2.3.3. Tanpa Tanaman

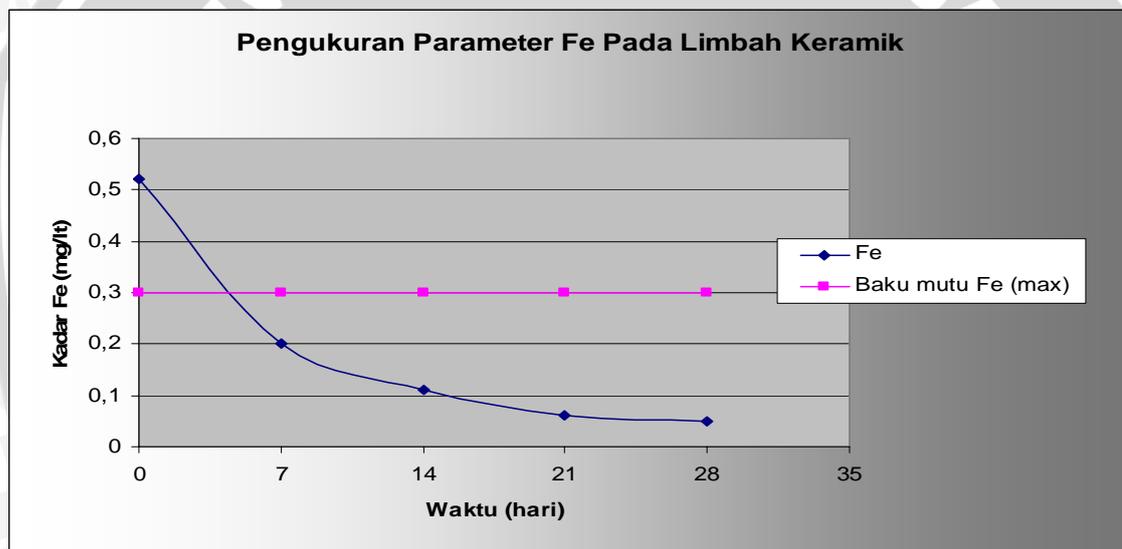
##### o Pengukuran Parameter Fe dan Zn

##### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.10 a. Tabel Pengaruh Lamanya Perlakuan tanaman eceng gondok terhadap Penurunan Kadar Polutan Fe**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T.Tanaman	5 rumpun	Fe	0,52	0,2	0,11	0,062	0,05

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.10a. Pengukuran parameter Fe pada limbah keramik dengan perlakuan tanpa tanaman**

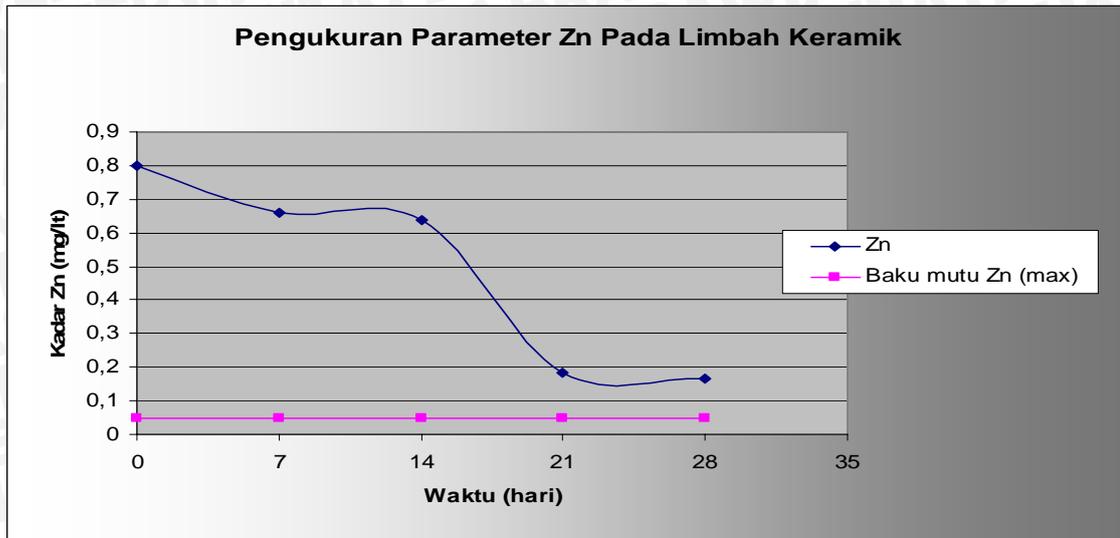
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa keadaan kadar polutan Fe dengan perlakuan tanpa tanaman sudah memenuhi standar PP No.82 Th 2001, dan kadar polutan semakin turun.

##### ▪ Parameter Zn

**Tabel 4.10b. Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Zn**

Jenis Tanaman	Kepadatan Jumlah Tanaman	Parameter Yang Diuji	Kondisi Awal (ppm)	Kondisi akhir			
				Hari ke-7 (ppm)	Hari ke-14 (ppm)	Hari ke-21 (ppm)	Hari ke-28 (ppm)
T.Tanaman	5 rumpun	Zn	0,8	0,66	0,64	0,182	0,164

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.10b. Pengukuran parameter Zn pada limbah keramik dengan perlakuan tanpa tanaman**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar parameter Zn masih diatas standar PP No.82 Th 2001,hal ini menunjukkan kadar polutan Zn pada limbah keramik perlakuan tanpa tanaman masih tinggi.

#### 4.3. Perbandingan kadar limbah

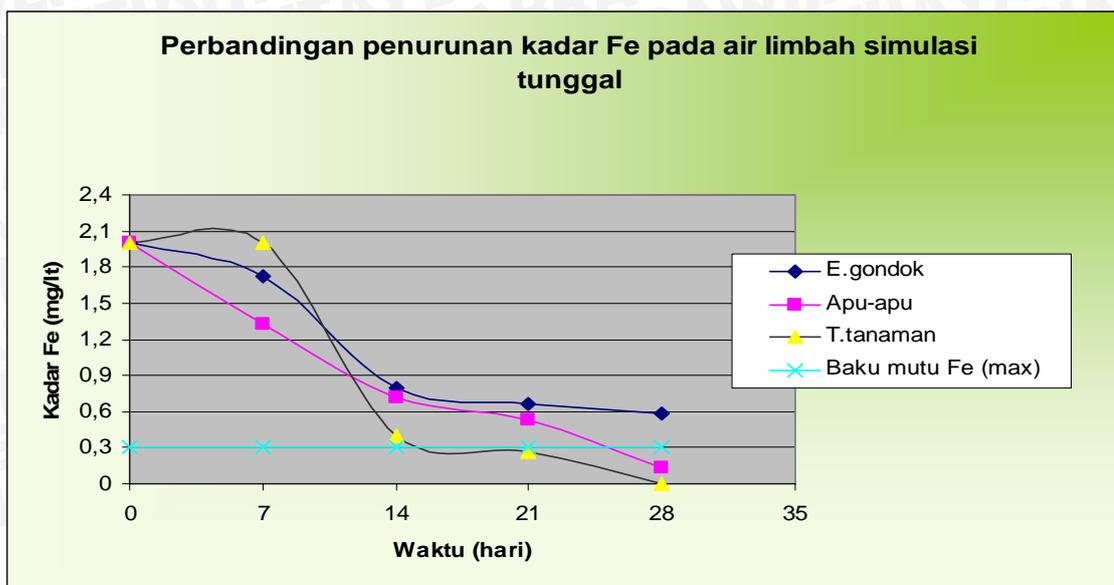
##### 4.3.1. Air Limbah simulasi tunggal

###### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.11a. Perbandingan penurunan kadar Fe**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	Awal	7	14	21	28	
E Fe	2	1,72	0,79	0,66	0,59	0,3
A Fe	2	1,33	0,72	0,53	0,13	0,3
TT Fe	2	2	0,4	0,26	0	0,3

Sumber : Data hasil penelitian



**Gambar 4.11a. Perbandingan penurunan kadar Fe**

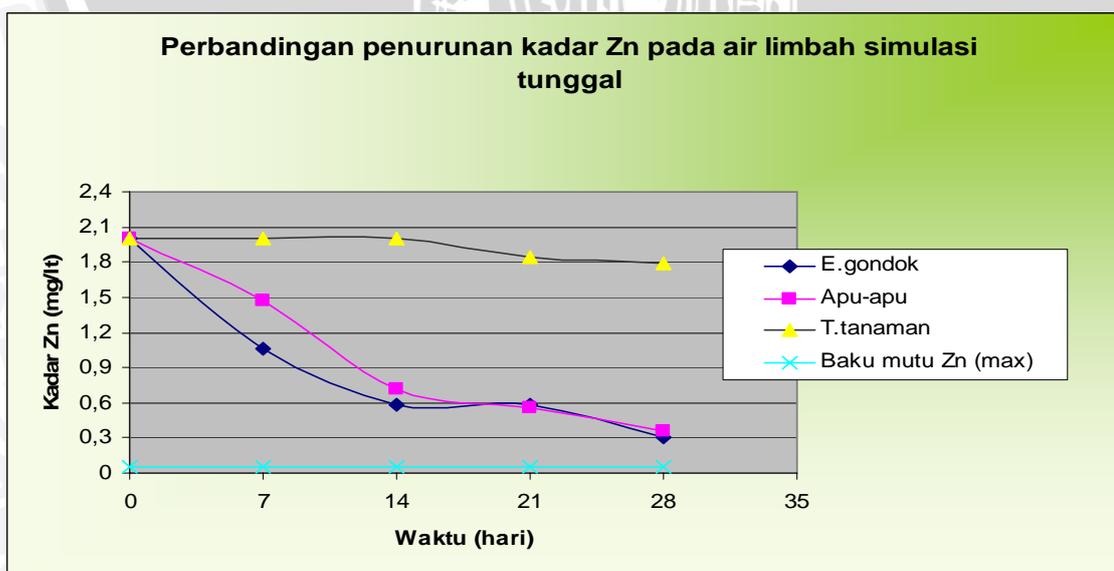
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Fe dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok dan apu-apu pada air limbah simulasi tunggal telah mencapai standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,3 mg/l.

▪ **Parameter Zn**

**Tabel 4.11b. Perbandingan penurunan kadar Zn**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	Awal	7	14	21	28	
E Zn	2	1,06	0,59	0,58	0,31	0,05
A Zn	2	1,47	0,72	0,56	0,36	0,05
TT Zn	2	2	2	1,84	1,79	0,05

Sumber : Data hasil penelitian



**Gambar 4.11b. Perbandingan penurunan kadar Zn**

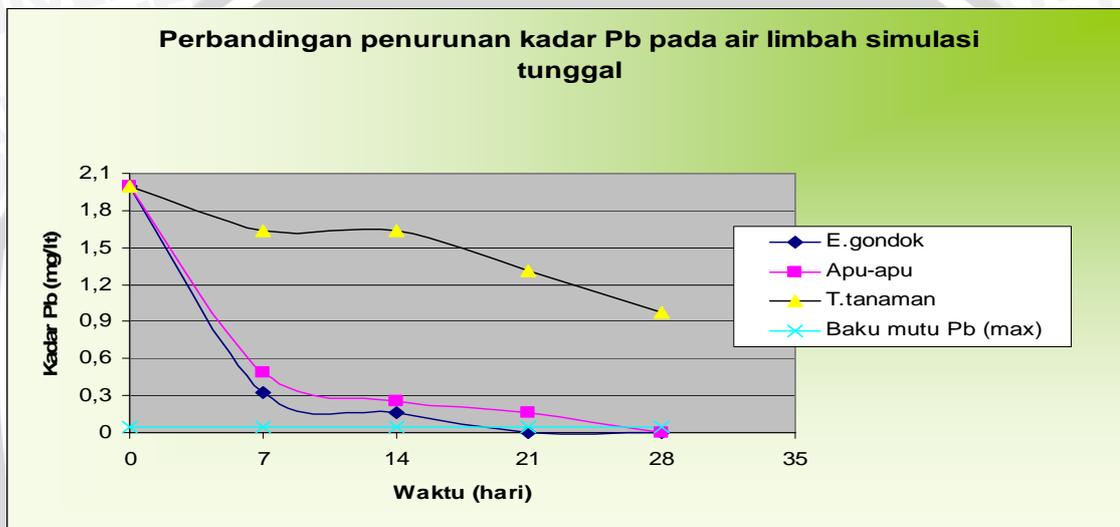
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Zn dengan perlakuan pemberian tanaman maupun tanpa tanaman pada air limbah simulasi tunggal belum memenuhi standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,05 mg/l.

▪ **Parameter Pb**

**Tabel 4.11c. Perbandingan penurunan kadar Pb**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	0	7	14	21	28	
E Pb	2	0,33	0,16	0	0	0,05
A Pb	2	0,49	0,25	0,16	0	0,05
TT Pb	2	1,64	1,64	1,31	0,98	0,05

Sumber : Data hasil penelitian



**Gambar 4.11c. Perbandingan penurunan kadar Pb**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Pb dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok dan apu-apu pada air limbah simulasi tunggal sudah memenuhi standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,05 mg/l.

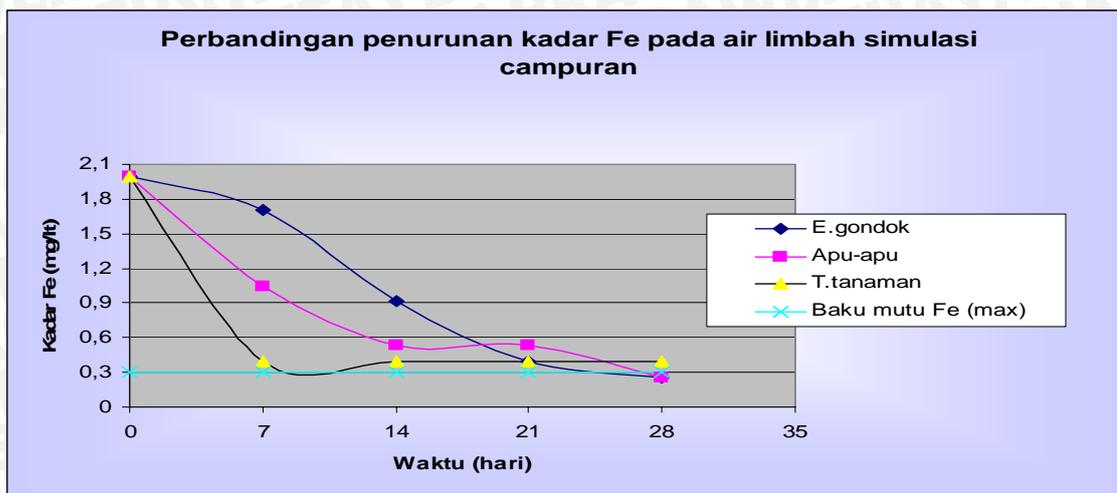
**4.3.2. Air limbah simulasi campuran**

▪ **Parameter Fe**

**Tabel 4.12a. Perbandingan penurunan kadar Fe**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	Awal	7	14	21	28	
E Fe	2	1,71	0,92	0,4	0,26	0,3
A Fe	2	1,05	0,53	0,53	0,26	0,3
TT Fe	2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3

Sumber : Data hasil penelitian



**Gambar 4.12a. Perbandingan penurunan kadar Fe**

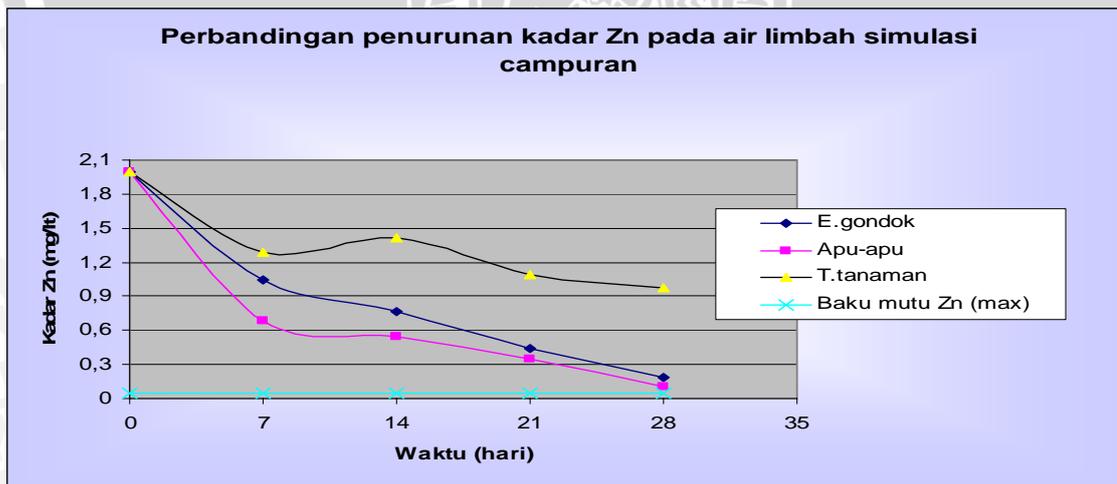
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Fe dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok dan apu-apu pada air limbah simulasi campuran sudah memenuhi standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,3 mg/l.

#### Parameter Zn

**Tabel 4.12b. Perbandingan penurunan kadar Zn**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	Awal	7	14	21	28	
E Zn	2	1,04	0,77	0,44	0,18	0,05
A Zn	2	0,69	0,55	0,35	0,11	0,05
TT Zn	2	1,29	1,42	1,09	0,98	0,05

Sumber : Data hasil penelitian



**Gambar 4.12b. Perbandingan penurunan kadar Zn**

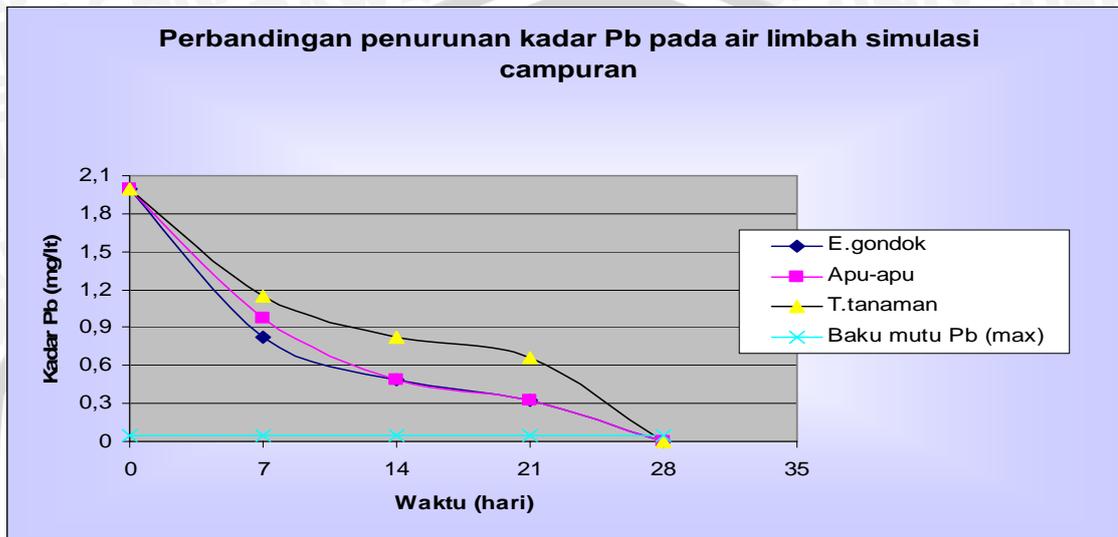
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Zn dengan perlakuan pemberian tanaman maupun tanpa tanaman pada air limbah simulasi campuran pada air limbah simulasi campuran belum memenuhi standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,05 mg/l.

- Parameter Pb

Tabel 4.12c. Perbandingan penurunan kadar Pb

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	Awal	7	14	21	28	
E Pb	2	0,82	0,49	0,33	0	0,05
A Pb	2	0,98	0,49	0,33	0	0,05
TT Pb	2	1,15	0,82	0,66	0	0,05

Sumber : Data hasil penelitian



Gambar 4.12c. Perbandingan penurunan kadar Pb

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Pb dengan perlakuan pemberian tanaman maupun tanpa tanaman pada air limbah simulasi campuran sudah memenuhi standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,05 mg/lit.

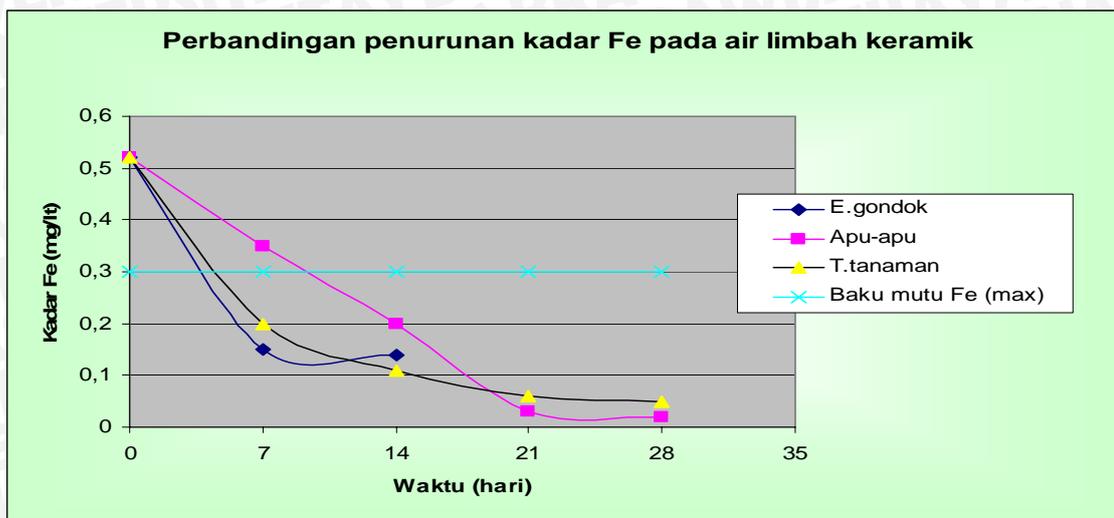
#### 4.3.3. Limbah keramik

- Parameter Fe

Tabel 4.13a. Perbandingan penurunan kadar Fe

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	Awal	7	14	21	28	
E Fe	0,52	0,15	0,14			0,3
A Fe	0,52	0,35	0,2	0,03	0,02	0,3
TT Fe	0,52	0,2	0,11	0,06	0,05	0,3

Sumber : Data hasil penelitian



**Gambar 4.13a. Perbandingan penurunan kadar Fe**

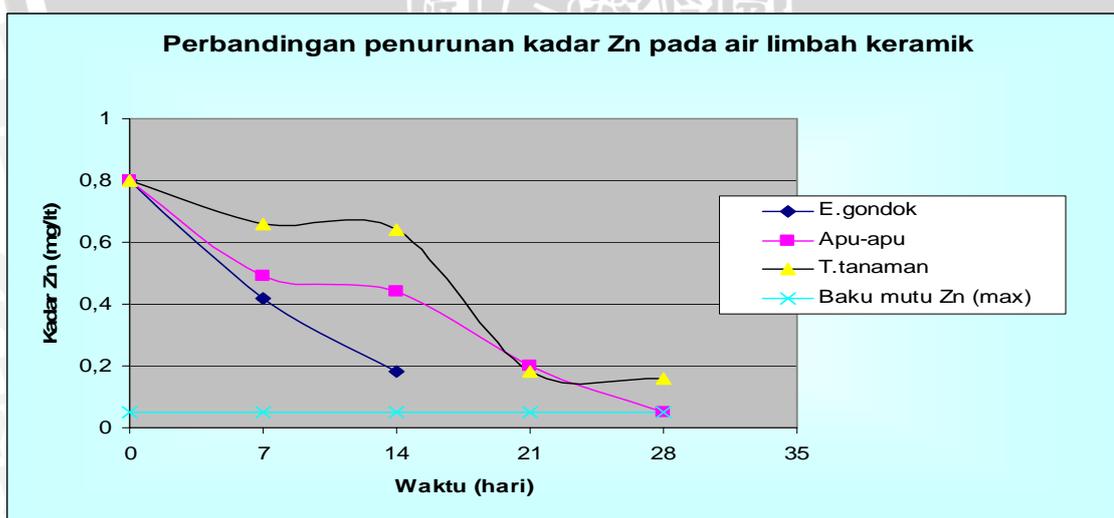
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Fe dengan perlakuan pemberian tanaman maupun tanpa tanaman pada air limbah keramik sudah memenuhi standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,3 mg/l.

▪ **Parameter Zn**

**Tabel 4.13b. Perbandingan penurunan kadar Zn**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-					Standar
	Awal	7	14	21	28	
E Zn	0,8	0,42	0,18			0,05
A Zn	0,8	0,49	0,44	0,2	0,05	0,05
TT Zn	0,8	0,66	0,64	0,18	0,16	0,05

Sumber : Data hasil penelitian



**Gambar 4.13b. Perbandingan penurunan kadar Zn**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa kadar Zn dengan perlakuan pemberian tanaman apu-apu pada air limbah keramik yang memenuhi standar PP No.82 Th 2001 yaitu sebesar 0,05 mg/l.

#### 4.4. Prosentase Penurunan Kadar Limbah

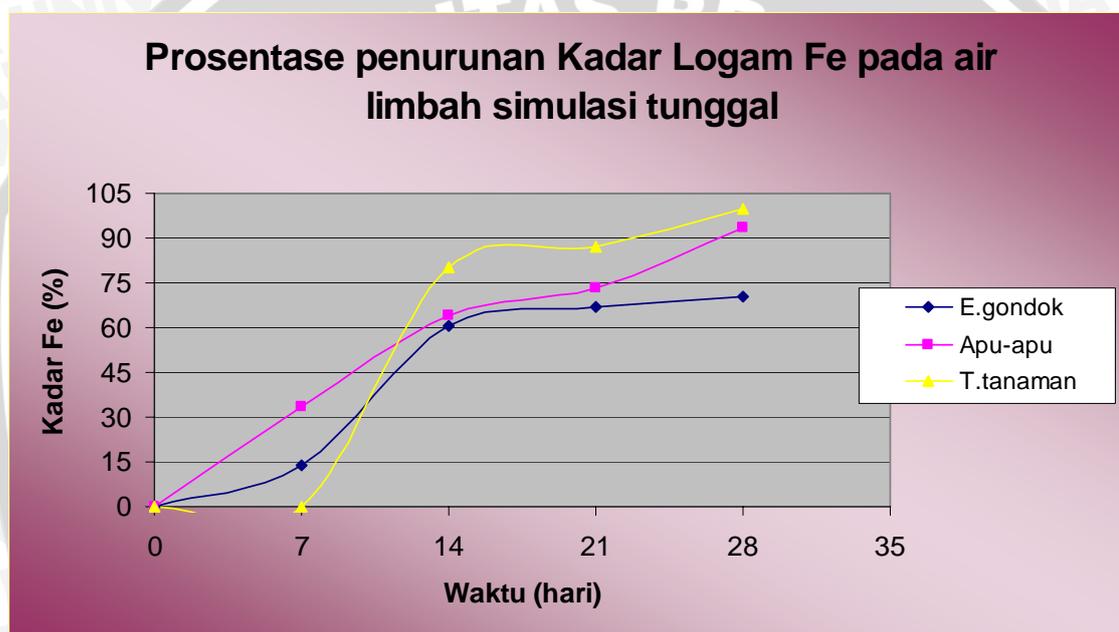
##### 4.4.1. Air Limbah Simulasi Tunggal

- Parameter Fe

Tabel 4.14a. Prosentase Penurunan Kadar Fe

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Fe	0%	14%	60,50%	67%	70,50%
A Fe	0%	33,50%	64%	73,50%	93,50%
TT Fe	0%	0%	80%	87%	100%

Sumber : Data Hasil Penelitian



Gambar 4.14a. Prosentase Penurunan Kadar Fe

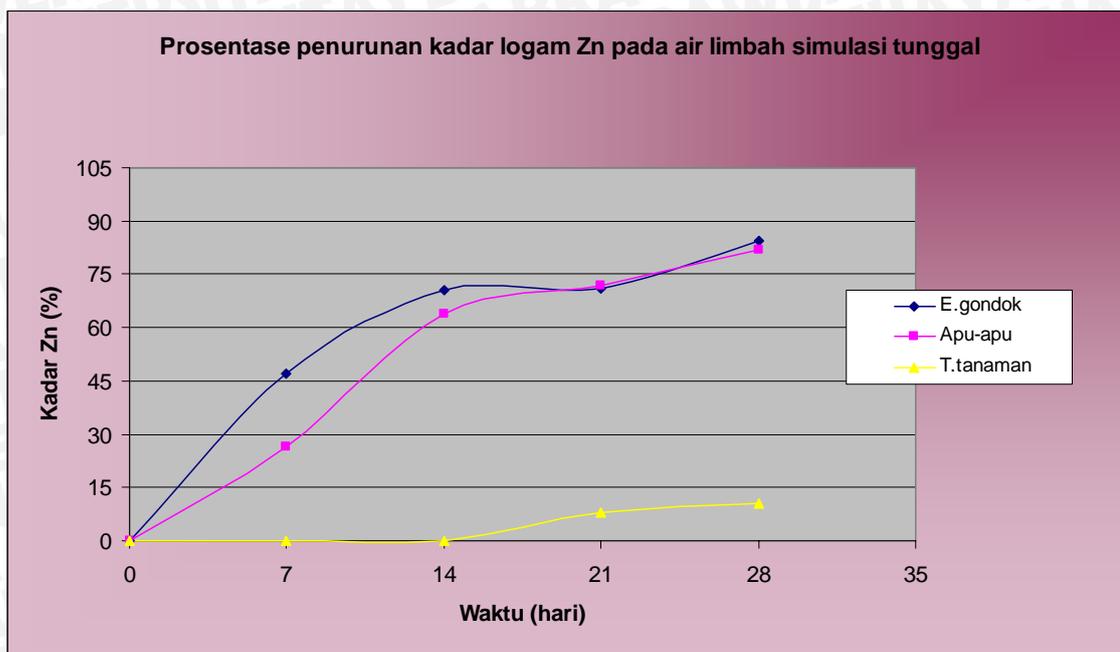
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Fe pada air limbah simulasi tunggal dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 70,50 %, tanaman apu-apu sebesar 93,50 %, dan tanpa tanaman 100 % (mengendap).

- Parameter Zn

Tabel 4.14b. Prosentase Penurunan Kadar Zn

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Zn	0%	47%	70,50%	71%	84,50%
A Zn	0%	26,50%	64%	72%	82%
TT Zn	0%	0%	0%	8%	10,50%

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.14b. Prosentase penurunan kadar Zn**

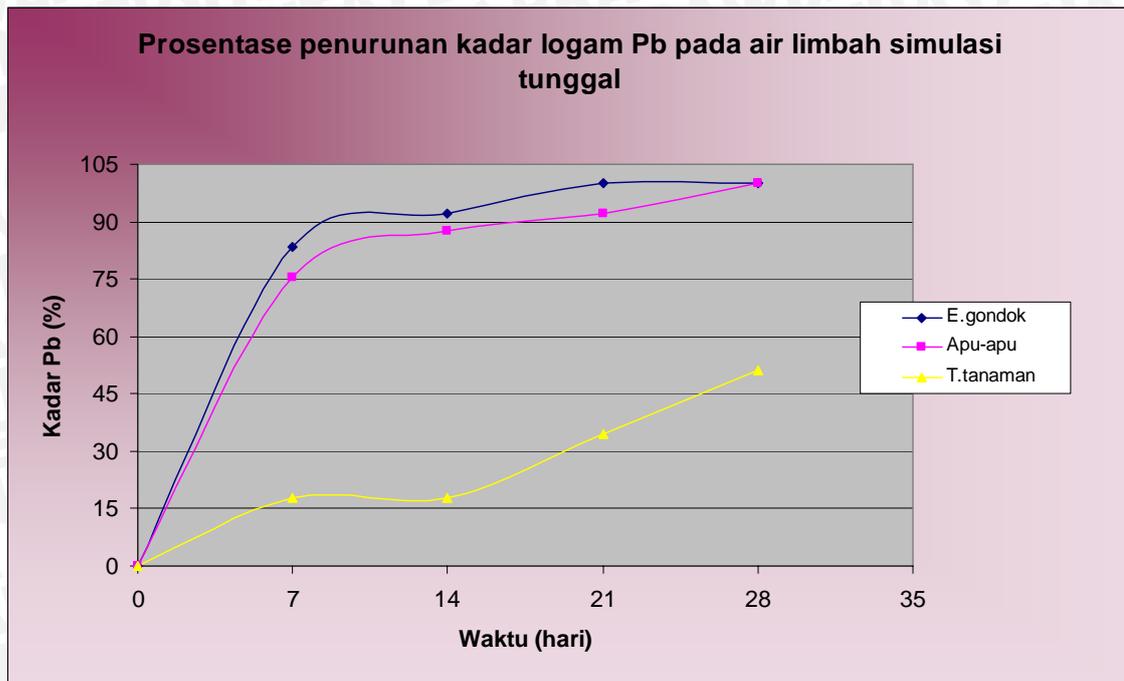
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Zn pada air limbah simulasi tunggal dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 84,50 %, tanaman apu-apu sebesar 82 %, dan tanpa tanaman sebesar 10,50 %.

▪ **Parameter Pb**

**Tabel 4.14c. Prosentase Penurunan Kadar Pb**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Pb	0%	83,50%	92%	100%	100%
A Pb	0%	75,50%	87,50%	92%	100%
TT Pb	0%	18%	18%	34,50%	51%

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.14c. Prosentase Penurunan Kadar Pb**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Pb pada air limbah simulasi tunggal dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 100 %, tanaman apu-apu sebesar 100 %, dan perlakuan tanpa tanaman sebesar 51 %.

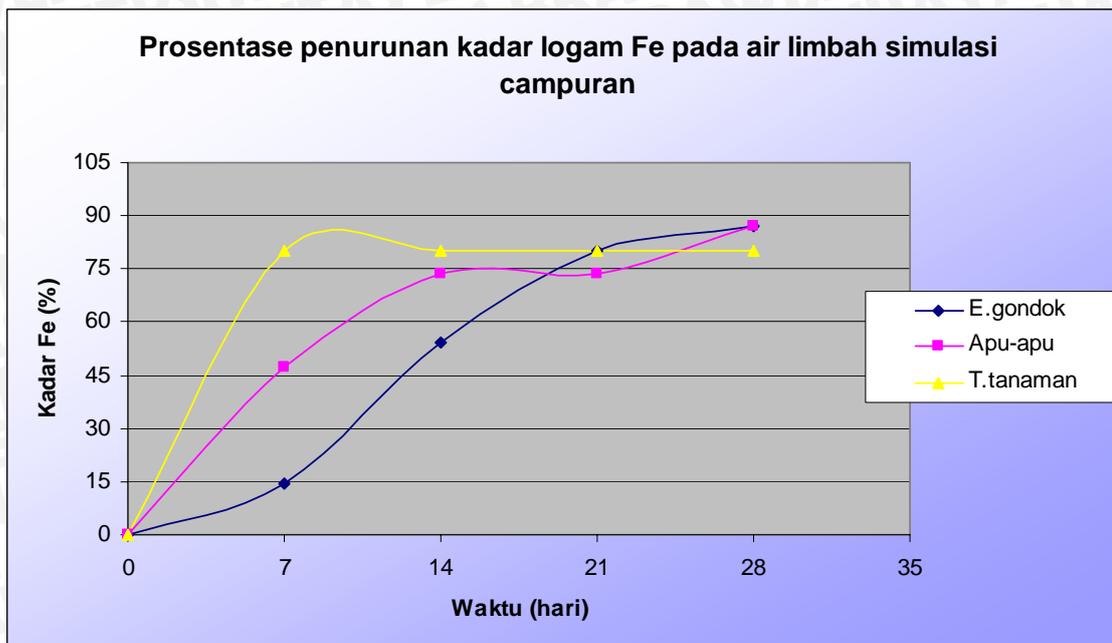
#### 4.4.2. Air Limbah Simulasi Campuran

##### ▪ Parameter Fe

**Tabel 4.15a. Prosentase Penurunan Kadar Fe**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Fe	0%	14,50%	54%	80%	87%
A Fe	0%	47,50%	73,50%	73,50%	87%
TT Fe	0%	80%	80%	80%	80%

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.15a. Prosentase Penurunan Kadar Fe**

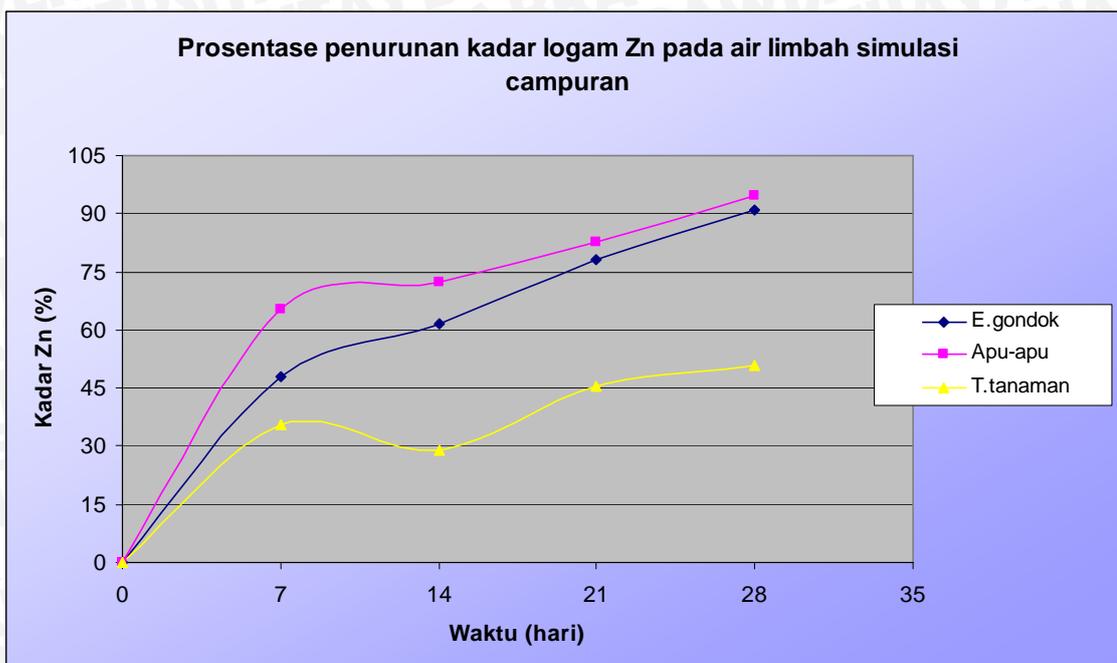
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Fe pada air limbah simulasi campuran dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 87 %, tanaman apu-apu sebesar 87 %, dan perlakuan tanpa tanaman sebesar 80 %.

▪ **Parameter Zn**

**Tabel 4.15b. Prosentase Penurunan Kadar Zn**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Zn	0%	48%	61,50%	78%	91%
A Zn	0%	65,50%	72,50%	82,50%	94,50%
TT Zn	0%	35,50%	29%	45,50%	51%

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.15b. Prosentase Penurunan Kadar Zn**

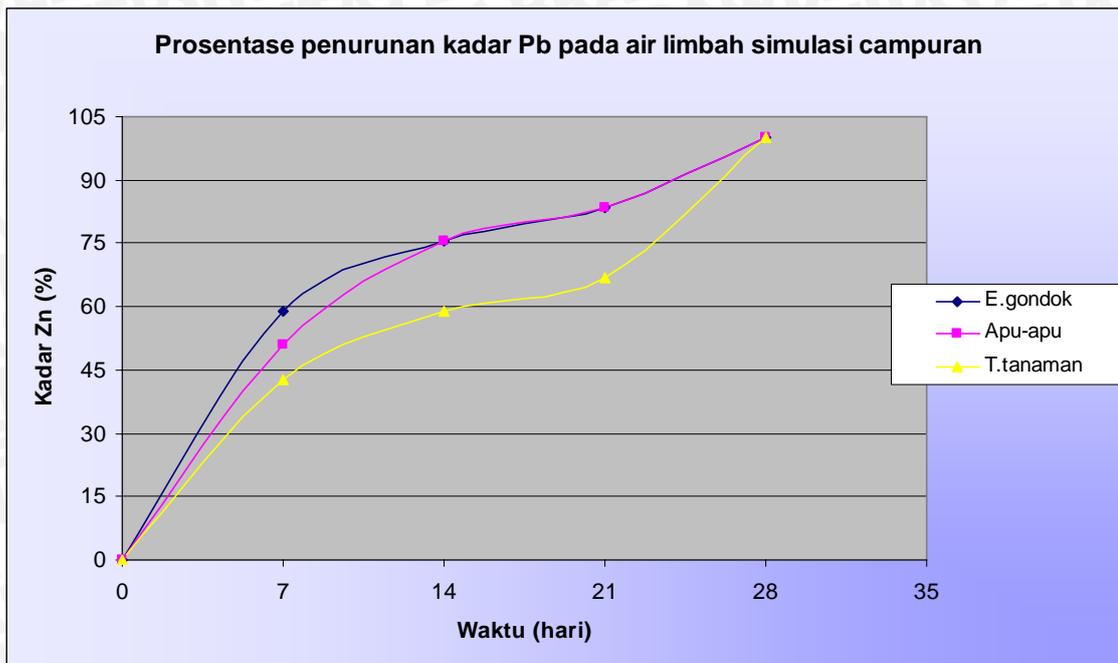
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Zn pada air limbah simulasi campuran dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 91 %, tanaman apu-apu sebesar 94,50 %, dan perlakuan tanpa tanaman sebesar 51 %.

▪ **Parameter Pb**

**Tabel 4.15c. Prosentase Penurunan Kadar Pb**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Pb	0%	59%	75,50%	83,50%	100%
A Pb	0%	51%	75,50%	83,50%	100%
TT Pb	0%	42,50%	59%	67%	100%

*Sumber : Data Hasil Penelitian*



**Gambar 4.15c. Prosentase Penurunan Kadar Pb**

Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Pb pada air limbah simulasi campuran dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 100 %, tanaman apu-apu sebesar 100 %, dan perlakuan tanpa tanaman sebesar 100 %.

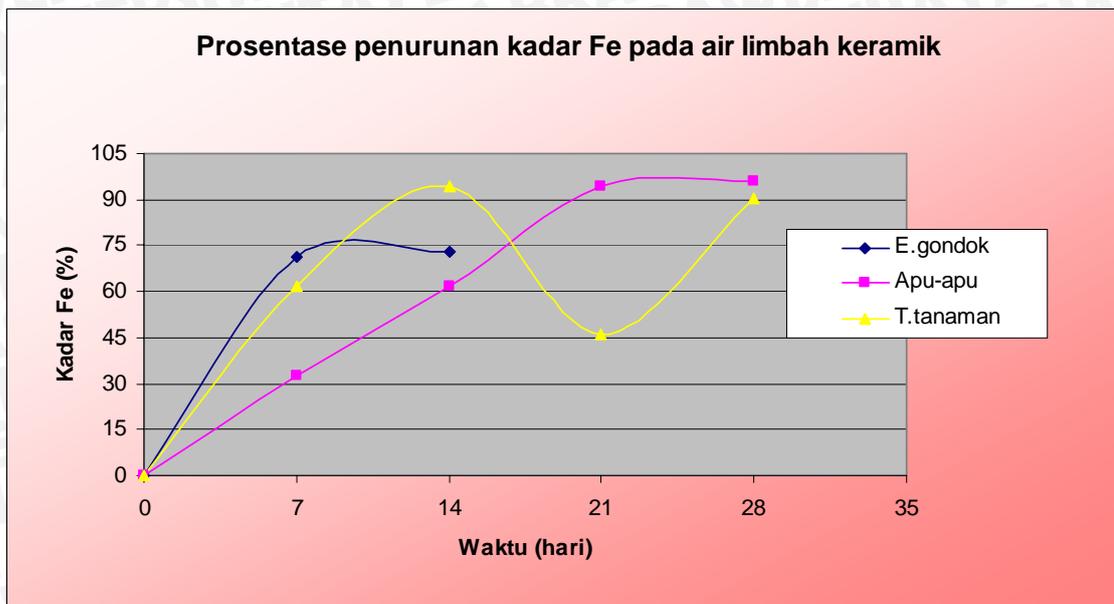
**4.4.3. Air Limbah Keramik**

- **Parameter Fe**

**Tabel 4.16a. Prosentase Penurunan Kadar Fe**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Fe	0%	71,15%	73,10%	-	-
A Fe	0%	32,70%	61,50%	94,20%	96,20%
TT Fe	0%	61,50%	94,50%	46%	90,40%

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.16a. Prosentase Penurunan Kadar Fe**

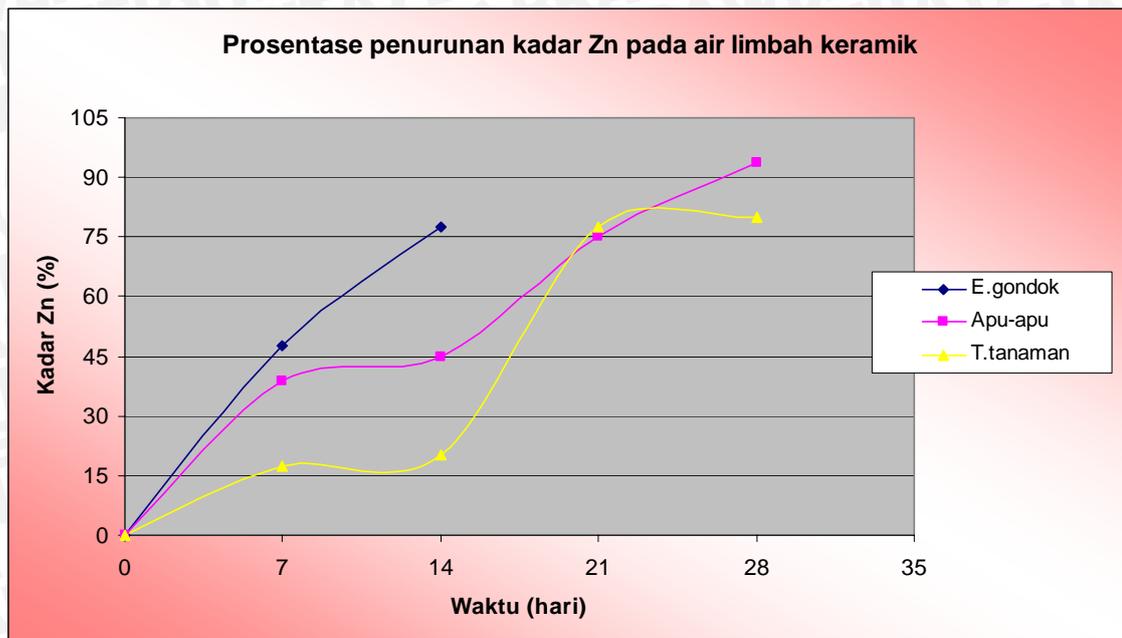
Dari tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Fe pada air limbah keramik dengan perlakuan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 73,10 % pada hari ke- 14, tanaman apu-apu sebesar 96,20 % pada hari ke-28, dan perlakuan tanpa tanaman sebesar 90,40 % pada hari ke-28.

▪ **Parameter Zn**

**Tabel 4.16b. Prosentase Penurunan Kadar Zn**

Kode Sampel	Nilai parameter pada hari ke-				
	0	7	14	21	28
E Zn	0%	47,50%	77,50%	-	-
A Zn	0%	38,80%	45%	75%	93,75%
TT Zn	0%	17,50%	20%	77,50%	80%

Sumber : Data Hasil Penelitian



**Gambar 4.16b. Prosentase Penurunan Kadar Zn**

Dari tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar polutan Zn pada air limbah keramik dengan pemberian tanaman eceng gondok sebesar 77,50 % pada hari ke-14 , tanaman apu-apu sebesar 93,75 % pada hari ke-28, dan perlakuan tanpa tanaman sebesar 80 % pada hari ke-28.

Selektifitas atau afinitas logam berat tergantung dari jenis tanah dan logamnya, suatu jenis ion logam akan lebih terabsorpsi oleh suatu jenis tanah dibanding ion logam lainnya pada tanah yang sama. Elliot et al (1986) dalam studinya untuk mengetahui faktorapa yang mengontrol selektivitas adsorpsilogam mengemukakan bahwa ukuran ion (kation) merupakan faktor dominan yang mengontrol selektivitas sorpsi tersebut. Karena sorpsi kation tidak hanya ditentukan oleh faktor fisis (adsorpsi fisik) saja, maka urutan atau selektivitas sorpsi mungkin akan berbeda untuk jenis tanah yang berbeda, atau bahkan untuk kondisi lingkungan seperti pH yang berbeda. Misalnya jenis tanah Kaolinite, pH 3,5-6, urutan selektivitas  $Pb > Cd > Cu > Mg > Zn > Cd$ , Farrah dan Pickering (1977). Akibat adanya perbedaan muatan dan karakteristik tanah atau sorbent, maka sorbent juga mempunyai kecenderungan untuk memilih atau menyukai suatu jenis sorbat (selectivity), dibanding jenis sorbat yang lain. Selain karena karakteristik sorbat, sorbat dari jenis kation misalnya, akan tersorpsi sesuai dengan prinsip asam dan basa Lewis (HSAB). Dalam prinsip HSAB, misalnya suatu asam Lewis kuat cenderung untuk memilih basa Lewis kuat sebagai pasangannya. Karena sifat atau karakter sorbent dan sorbat sangat bervariasi, maka kecenderungan untuk memilih (*selectivity*) akan bersifat spesifik.

#### 4.5. Nilai parameter yang diserap tanaman

Tabel 4.17. Nilai parameter yang diserap oleh tanaman

Air limbah	Limbah	Tanaman	Nilai limbah yang diserap tanaman a - b = c
Simulasi tunggal	Fe	Eceng gondok	0
		Apu-apu	0
	Zn	Eceng gondok	1,48
		Apu-apu	1,43
	Pb	Eceng gondok	0,98
		Apu-apu	0,98
Simulasi campuran	Fe	Eceng gondok	0,14
		Apu-apu	0,14
	Zn	Eceng gondok	0,80
		Apu-apu	0,87
	Pb	Eceng gondok	0
		Apu-apu	0
Limbah keramik	Fe	Eceng gondok	0,05
		Apu-apu	0,03
	Zn	Eceng gondok	0,16
		Apu-apu	0,11

Ket : a = Nilai penurunan limbah maksimum pada perlakuan tanpa tanaman (kontrol)

b = Nilai penurunan limbah maksimum oleh tanaman (eceng gondok dan apu-apu)

c = Nilai limbah yang diserap oleh tanaman (ppm)

Pada dasarnya tanaman mempunyai kemampuan untuk menyerap. Kemampuan untuk menyerap ini memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, mulai dari unsur yang berlimpah sampai unsur yang sangat kecil dibutuhkan oleh tanaman. Pb tidak termasuk dalam unsur hara, sehingga untuk menyerap logam-logam tersebut, tanaman membuat suatu zat untuk mengikat logam-logam tersebut dengan merubah pH, untuk diangkut dan dicerna didalam jaringan tubuh dari tumbuhan tersebut. Karena logam Pb bersifat racun pada tanaman, maka untuk mencegah keracunan, tanaman menimbun logam Pb didalam akar (Collins, 1999). Didalam sebuah larutan air limbah  $Pb^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , dan  $Zn^{2+}$  membentuk ion  $Pb(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_3$ , dan  $Zn(OH)_3$  karena mendapat oksigen dari air. Senyawa  $Pb(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_3$ , dan  $Zn(OH)_3$  dapat mengurung koloid dan membawanya ke bawah/mengendap (Alaerts dan Santika, 1984)



$OH^-$  didalam bersifat basa, jadi apabila  $OH^-$  didalam larutan semakin basa, berarti logam  $Fe^{2+}$  yang sudah berubah menjadi senyawa akan semakin mengendap.

#### 4.6. Aplikatif hasil penelitian pada kondisi lapangan

Pada penelitian yang dirancang di laboratorium merupakan suatu bentuk simulasi untuk skala laboratorium. Pada penelitian di laboratorium menggunakan air sebesar 9 lt membutuhkan jumlah tanaman 5 rumpun, sedangkan di lapangan apabila volume air lebih besar, membutuhkan jumlah tanaman yang lebih banyak pula. Misal untuk Q sebesar 5 lt/dt dengan waktu tunggu selama 1 jam, sehingga volume menjadi  $300 \text{ lt} = 0,3 \text{ m}^3$ . Jika kedalaman air dirancang sedalam 50 cm, maka luas permukaan bak menjadi  $0,3\text{m}^3/0,5\text{m} = 0,6 \text{ m}^2$ . Sehingga luas tanaman air dengan diameter 6 cm menjadi  $A = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,06)^2 = 0,0027 \text{ m}^2$ . Jadi untuk bak yang berisi air sebanyak 300 lt, harus ditanami tanaman air sebanyak  $0,6 \text{ m}^2 / 0,0027 \text{ m}^2 = 222$  rumpun

**Tabel 4.18. Nilai aplikatif hasil penelitian terhadap kondisi lapangan**

Q (lt/dt)	t (jam)	V (lt)	Kedalaman ( cm )	A (m <sup>2</sup> )	Jml tanaman (rumpun)	Keterangan
		9			5	Penelitian lab
5	1	300	50	0,6	222	Perkiraan lapangan
7,5	1	450	50	0,9	333	
10	1	600	50	1,2	444	
12,5	1	750	50	1,5	555	



## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tanaman eceng gondok dan apu-apu dapat mengurangi kandungan polutan Fe,Zn, dan Pb baik dalam limbah simulasi maupun limbah keramik, sehingga kualitas air limbah memenuhi standar baku mutu air limbah sesuai yang diharapkan.
2. Tanaman apu-apu lebih efektif dibandingkan dengan tanaman eceng gondok dalam mengurangi kadar polutan Fe,Zn dan Pb.
  - Untuk air limbah simulasi tunggal  
Fe : 0 ppm (artinya logam Fe tidak ada yang diserap oleh tanaman), Zn : 1,48 ppm, dan Pb : 0,98 ppm.
  - Untuk air limbah simulasi campuran  
Fe : 0,14 ppm, Zn : 0,87 ppm, dan Pb : 0 ppm (artinya logam Pb tidak ada yang diserap oleh tanaman).
  - Untuk air limbah keramik  
Fe : 0,03 ppm dan Zn : 0,11 ppm.
3. Prosentase penurunan kadar polutan dalam air limbah :
  - Untuk air limbah simulasi tunggal:  
Fe : 93,50 % , Zn : 82 % , dan Pb : 100 %
  - Untuk air limbah simulasi campuran :  
Fe : 87 % , Zn : 94,50 % , dan Pb : 100 %
  - Untuk limbah keramik :  
Fe : 96,20 % , dan Zn : 93,70 % .
3. Pada penelitian di laboratorium air dalam bak sebanyak 9 lt membutuhkan jumlah tanaman sebanyak 5 rumpun, sedangkan pada aplikatif di lapangan apabila air di bak uji sebanyak 300 lt membutuhkan tanaman sebanyak 222 rumpun.
4. Hasil pengukuran kadar logam dari tanaman menunjukkan bahwa logam Pb yang paling banyak diserap oleh tanaman, karena akar cenderung menyerap logam Pb terlebih dahulu, setelah jenuh baru menyerap unsur-unsur logam lain yang terdapat pada air limbah tersebut.

## 5.2. Saran

Dari pelaksanaan penelitian sistem fitoremediasi dengan memakai sarana tanaman air ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan agar mendapatkan hasil yang lebih baik, yaitu :

1. Pemilihan kualitas tanaman perlu diperhatikan agar proses penyerapan polutan dapat maksimal sehingga memenuhi standar kualitas air limbah.
  - a. Tanaman yang dipilih sebaiknya tanaman yang masih segar dan dalam masa produktif. Dipilih tanaman yang tidak terlalu muda tetapi bukan tanaman yang terlalu tua, dengan usia  $\pm$  1-2 bulan.
  - b. Dipilih tanaman yang berdaun lebar dan warna daunnya hijau. Warna hijau daun dan besarnya ukuran daun mempengaruhi deaya serap tanaman terhadap polutan.
2. Perlu adanya perlakuan pada tanaman untuk memberikan kesempatan beradaptasi dengan kondisi dalam sampel air limbah dengan waktu yang lebih lama agar penyerapan polutan dapat lebih maksimal.
3. Perlu adanya tambahan variasi perlakuan, yaitu
  - a. Variasi kedalaman air dan luas permukaan terhadap variasi jumlah tanaman.
  - b. Variasi usia guna dari tanaman
  - c. Variasi perlakuan air, misal air dibuat mengalir
4. Perlu ditambahkan pengujian terhadap parameter-parameter yang lain dalam kualitas air limbah rumah keramik untuk mengetahui kemampuan sistem fitoremediasi dalam menurunkan kadar polutan lain pada air limbah keramik.
5. Pengolahan sistem fitoremediasi yang dirancang di Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya ini merupakan suatu bentuk simulasi untuk skala Laboratorium sehingga apabila akan diterapkan dilapangan perlu dikaji lebih lanjut.

**EFEKTIFITAS TANAMAN ECENG GONDOK DAN APU-APU  
DALAM MENGURANGI KANDUNGAN LOGAM Fe, Zn, Pb DI  
DALAM AIR LIMBAH DENGAN METODE FITOREMEDIASI**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Disusun Oleh:**

**ROSHINTA WIDAYANTI**

**NIM. 0110640051-64**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN PENGAIRAN  
MALANG  
2007**

**EFEKTIFITAS TANAMAN ECENG GONDOK DAN APU-APU  
DALAM MENGURANGI KANDUNGAN LOGAM Fe, Zn, Pb DI  
DALAM AIR LIMBAH DENGAN METODE FITOREMEDIASI**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Disusun Oleh:**

**ROSHINTA WIDAYANTI**

**NIM. 0110640051-64**

**DOSEN PEMBIMBING**

**J.Soegijanto, MSc**  
**NIP. 130 350 757**

**Sumiadi, ST, MT**  
**NIP.132 258 192**

**EFEKTIFITAS TANAMAN ECENG GONDOK DAN APU-APU  
DALAM MENGURANGI KANDUNGAN LOGAM Fe, Zn, Pb DI  
DALAM AIR LIMBAH DENGAN METODE FITOREMEDIASI**

Disusun Oleh :

**ROSHINTA WIDAYANTI**  
NIM. 0110640051-64

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus  
Pada tanggal 30 Mei 2007

DOSEN PENGUJI

**J. Soegijanto, MSc**  
NIP. 130 350 757

**Sumiadi, ST, MT**  
NIP.132 258 192

**Dr. Ir. Rispiningtatai, M.Eng**  
NIP. 130 531 842

**Dr. Ir. Widandi S, M.Eng.**  
NIP. 131 475 835

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Pengairan

**Ir. Suwanto Marsudi, MS**  
NIP. 131 629 863

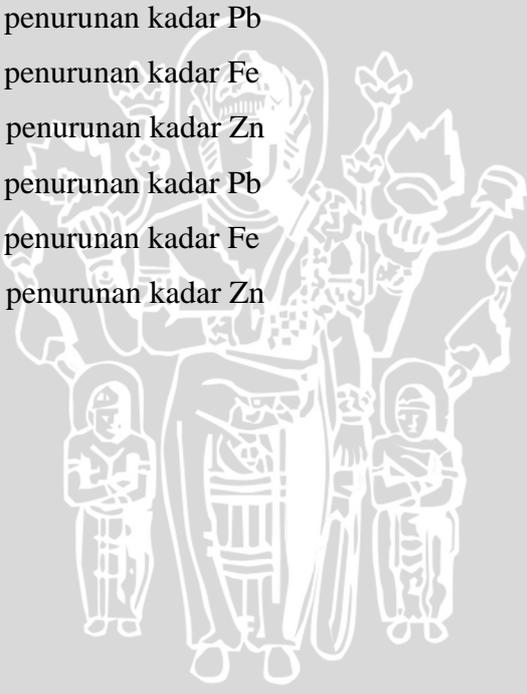


## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>	<b>Judul</b>	<b>Hal</b>
Gambar 2.1.	Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air limbah	6
Gambar 3.1.	Rancangan perencanaan fitoremediasi kondisi limbah murni tanpa perlakuan.	40
Gambar 3.2.	Rancangan perencanaan fitoremediasi kondisi limbah dengan tanaman air.	40
Gambar 3.3.	Diagram alir pengerjaan skripsi	50
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	51
Gambar 3.5.	Diagram alir pembuatan larutan sampel uji/limbah	52
Gambar 4.1a.	Nilai Awal Pengukuran pH terhadap Parameter Fe,Zn,Pb	54
Gambar 4.1a.	Nilai Awal Pengukuran pH terhadap Parameter Fe,Zn,Pb	55
Gambar 4.2a.	Nilai pH pada perlakuan tanaman eceng gondok limbah simulasi tunggal	56
Gambar 4.2b.	Nilai penurunan limbah Fe pada perlakuan tanaman eceng gondok	57
Gambar 4.2c.	Nilai penurunan polutan Zn pada limbah simulasi tunggal perlakuan tanaman eceng gondok	58
Gambar 4.2d.	Nilai penurunan kadar Pb pada air limbah simulasi tunggal dengan tanaman eceng gondok	58
Gambar 4.3a.	Pengukuran pH Pada Air Limbah Simulasi Tunggal dengan Tanaman Apu-apu	59
Gambar 4.3b.	Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Tunggal	60
Gambar 4.3c.	Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Tunggal dengan Tanaman Apu-apu	61
Gambar 4.3d.	Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Tunggal dengan Tanaman Apu-apu	62
Gambar 4.4a.	Pengukuran pH Pada Air Limbah Simulasi Tunggal Perlakuan Tanpa Tanaman	63
Gambar 4.4b.	Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Tunggal Perlakuan Tanpa Tanaman	64

Gambar 4.4c.	Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Perlakuan Tanpa Tanaman	64
Gambar 4.4d.	Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Tunggal Perlakuan Tanpa Tanaman	65
Gambar 4.5a.	Pengukuran pH Pada Air Limbah Simulasi Campuran	66
Gambar 4.5b.	Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Eceng gondok	67
Gambar 4.5c.	Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Eceng gondok	68
Gambar 4.5d.	Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Eceng gondok	68
Gambar 4.6a.	Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi dengan Tanaman Apu-apu	69
Gambar 4.6b.	Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Apu-apu	70
Gambar 4.6c.	Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Campuran dengan Tanaman Apu-apu	71
Gambar 4.7a.	Penurunan Kadar Fe Pada Air Limbah Simulasi Campuran Perlakuan Tanpa Tanaman	72
Gambar 4.7b.	Penurunan Kadar Zn Pada Air Limbah Simulasi Campuran Perlakuan Tanpa Tanaman	72
Gambar 4.7c.	Penurunan Kadar Pb Pada Air Limbah Simulasi Campuran Perlakuan Tanpa Tanaman	73
Gambar 4.8a.	Kondisi Awal Pengukuran pH Pada Limbah Keramik	74
Gambar 4.8c.	Pengukuran parameter Fe pada limbah keramik dengan ditanami Eceng gondok	75
Gambar 4.8c.	Pengukuran parameter Zn pada limbah keramik dengan ditanami Eceng gondok	76
Gambar 4.9a.	Pengukuran parameter Fe pada limbah keramik dengan ditanami Apu-apu	77
Gambar 4.9b.	Pengukuran parameter Zn pada limbah keramik dengan ditanami Apu-apu	77
Gambar 4.10a.	Pengukuran parameter Fe pada limbah keramik dengan perlakuan tanpa tanaman	78

Gambar 4.10b. Pengukuran parameter Zn pada limbah keramik dengan perlakuan tanpa tanaman	79
Gambar 4.11a. Perbandingan penurunan kadar Fe	80
Gambar 4.11b. Perbandingan penurunan kadar Zn	80
Gambar 4.11c. Perbandingan penurunan kadar Pb	81
Gambar 4.12a. Perbandingan penurunan kadar Fe	82
Gambar 4.12b. Perbandingan penurunan kadar Zn	82
Gambar 4.12c. Perbandingan penurunan kadar Pb	83
Gambar 4.13a. Perbandingan penurunan kadar Fe	84
Gambar 4.13b. Perbandingan penurunan kadar Zn	84
Gambar 4.14a. Prosentase penurunan kadar Fe	85
Gambar 4.14b. Prosentase penurunan kadar Zn	86
Gambar 4.14c. Prosentase penurunan kadar Pb	87
Gambar 4.15a. Prosentase penurunan kadar Fe	88
Gambar 4.15b. Prosentase penurunan kadar Zn	89
Gambar 4.15c. Prosentase penurunan kadar Pb	90
Gambar 4.16a. Prosentase penurunan kadar Fe	91
Gambar 4.16b. Prosentase penurunan kadar Zn	92





**DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xii</b>
<b>RINGKASAN</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Rumusan Masalah.....	3
1.5. Tujuan dan Manfaat.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Umum.....	4
2.2. Sumber-sumber asal air limbah.....	5
2.2.1. Air Limbah Rumah Tangga .....	5
2.2.2. Air Limbah Industri.....	5
2.2.3. Air Limbah Rembesan dan Tumbuhan .....	5
2.3. Komposisi Air Limbah.....	5
2.4. Analisis sifat-sifat Air Limbah.....	6
2.4.1. Sifat Fisik Air Limbah .....	6
2.4.2. Sifat Kimia Air Limbah .....	9
2.4.3. Sifat Biologis Air Limbah.....	12
2.5. Proses-proses pencemaran di dalam Air .....	12
2.6. Bahan-bahan Pencemar dari Kota .....	15
2.7. Pengaruh Tanaman dalam Mengurangi Kandungan Zat Pencemar dalam Air Limbah .....	16
2.7.1. Zat Pencemar dalam Air Limbah.....	19
2.7.1.1. Timbal (Pb).....	19

2.7.1.1.1. Reaksi-reaksi dari ion Timbal (Pb) .....	20
2.7.1.1.2. Kegunaan ion Timbal (Pb) .....	23
2.7.1.1.3. Kerugian ion Timbal (Pb) bagi Kesehatan ....	23
2.7.1.2. Seng (Zn) .....	24
2.7.1.2.1. Reaksi-reaksi dari ion Seng (Zn).....	23
2.7.1.2.2. Kegunaan ion Seng (Zn) .....	25
2.7.1.2.3. Kerugian ion Seng (Zn) bagi Kesehatan .....	25
2.7.1.3. Besi (Fe).....	25
2.7.1.3.1. Reaksi-reaksi dari ion Besi (Fe) .....	26
2.7.1.3.2. Kegunaan ion Besi (Fe).....	28
2.7.1.3.3. Kerugian ion Besi (Fe) bagi Kesehatan.....	28
2.7.2. Kontaminan Logam dan Kation .....	28
2.8. Fitoremidiasi.....	30
2.9. Mutu dan Jumlah Cahaya .....	31
2.10. Fotosintesis .....	32
2.10.1. Faktor-faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Fotosin tesis .....	33
2.10.2. Faktor-faktor dalam Tumbuhan yang Berpengaruh dalam Fotosintesis .....	35
2.11. Kebutuhan unsur hara tanaman .....	37
2.11.1. Sumber-sumber unsur hara tanaman .....	37
2.11.2. Proses Absorpsi Unsur Hara.....	38
2.12. Mekanisme penyerapan logam dalam tumbuhan.....	39

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Perencanaan Model dan Peralatan Penelitian.....	40
3.1.1. Perencanaan Model Filtrasi .....	40
3.1.2. Peralatan Penelitian .....	41
3.2. Variabel yang diteliti .....	41
3.3. Prosedur Pengujian Parameter Kualitas Air Yang diuji .....	42
3.3.1. Analisis Pengukuran pH.....	42
3.3.2. Determinasi Timbal (Pb), Seng (Zn), Besi (Fe).....	42

3.3.2.1. Perangkat .....	42
3.3.2.2. Reagent .....	43
3.3.2.3. Prosedur .....	44
3.3.2.3.1. Operasi instrumen .....	44
3.3.2.3.2. Standardisasi .....	44
3.3.2.3.3. Analisis Sampel .....	45
3.4. Pembuatan Larutan Limbah Yang Mengandung Logam-logam Pb, Fe,Zn .....	45
3.4.1. Alat.....	45
3.4.2. Bahan .....	45
3.4.3. Cara Pembuatan Larutan Limbah .....	46
3.5. Langkah Penelitian dan Rancangan Perlakuan .....	47
3.5.1. Langkah Penelitian .....	47
3.5.2. Rancangan Perlakuan.....	48

**BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1. Kondisi awal sampel air limbah .....	53
4.1.1. Kondisi awal sampel air limbah simulasi.....	53
4.1.2. Kondisi awal sampel air limbah keramik.....	54
4.2. Kondisi sampel air limbah setelah perlakuan .....	55
4.2.1. Kondisi sampel air limbah simulasi tunggal parameter Fe,Zn dan Pb.....	55
4.2.1.1. Tanaman eceng gondok.....	55
4.2.1.2. Tanaman apu-apu.....	59
4.2.1.3. Tanpa tanaman.....	62
4.2.2. Kondisi sampel air limbah simulasi campuran .....	65
4.2.2.1. Tanaman eceng gondok .....	66
4.2.2.2. Tanaman apu-apu.....	69
4.2.2.3. Tanpa tanaman.....	71
4.2.3. Kondisi sampel air limbah keramik .....	73
4.2.3.1. Tanaman eceng gondok .....	74
4.2.3.2. Tanaman apu-apu.....	76

4.2.3.3. Tanpa tanaman..... 78

4.3. Perbandingan kadar limbah..... 79

    4.3.1. Air limbah simulasi tunggal..... 79

    4.3.2. Air limbah simulasi campuran..... 81

    4.3.3. Air limbah keramik..... 83

4.4. Prosentase penurunan kadar limbah..... 85

    4.4.1. Air limbah simulasi tunggal..... 85

    4.4.2. Air limbah simulasi campuran..... 87

    4.4.3. Air limbah keramik..... 90

4.5. Nilai parameter yang diserap tanaman..... 93

4.4. Aplikatif hasil penelitian pada kondisi lapangan..... 84

**BAB V. PENUTUP**

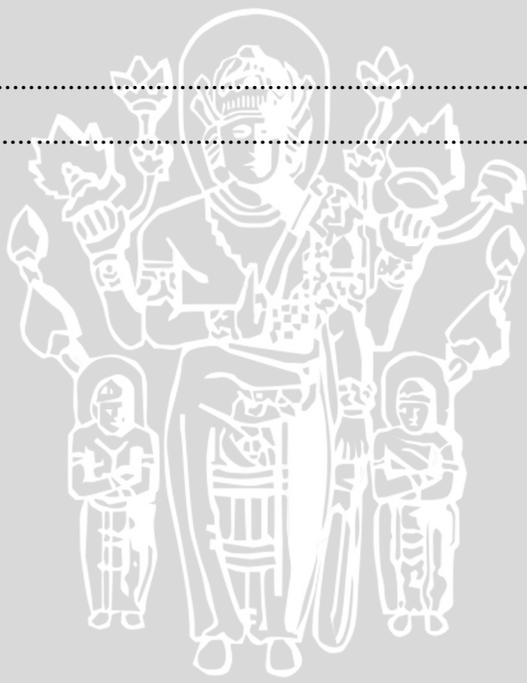
5.1. Kesimpulan..... 95

5.2. Saran..... 95

**DAFTAR PUSTAKA**

**xiv**

**LAMPIRAN**





## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zainal.1984. "*Dasar Pengetahuan Ilmu Tanaman*". Bandung: Angkasa
- Achmad, Rukaesih.2004."*Kimia Lingkungan*".Yogyakarta: ANDI OFFSET
- Alaerts, G. dan Santika Sumestri Sri. 1984. "*Metode Penelitian Air*". Surabaya: Usaha Nasional
- Ahmady, D, 1993, "*Efektifitas Penyerapan Hg dan Pengaruhnya Pada Eceng Gondok*", Yogyakarta,; Skripsi, Fakultas Biologi UGM.
- Anonim, 2001. "*Peraturan Pemerintah PP No.14 Tahun 2001, tentang pengolahan kualitas air dan penendalian pencemaran air*".Jakarta.
- Harjadi, Setyati Sri. 1779."*Pengantar Agronomi*". Jakarta: PT. Gramedia.
- Hasim, Dr, 2000, "*Penyerapan Logam Berat dengan Tanaman Air dan Eceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*", Bandung: Dosen Biokimia dan Toksikologi FMIPA dan Pascasarjana.
- Heddy,Suwarsono.1987."*Biologi Pertanian*".Jakarta: CV.Rajawali
- Islami Titiek dan Utomo Hadi Wani. 1995. "*Hubungan Tanah, Air, dan Tanaman*". Semarang: IKIP Semarang Press
- Mariato, Lukito Adi.2002."*Tanaman Air*". Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Moenandir, J dan Hidayat, S, 2004, "*Peranan Eceng Gondok dan Kangkung Air Pada Peningkatan Mutu Air Limbah*",Agrivita, Vol 16 No.2, Malang: Dosen dan alumnus Pascasarjana Universitas Brawijaya, www. gogle. com
- Moenandir, J dan Irawan, A, 2005, "*Kemampuan Eceng gondok, Kiambang, dan Tawas dalam Penjernihan Bahan Baku Air Minum*" Agrivita, Vol 16, No.2, Malang : Dosen dan Alumnus Pascasarjana Universitas Brawijaya, www.gogle.com
- Neis, Uwe.1989."*Memfaatkan air Limbah*" Jakarta: Yayasan Obor Indonesia
- Prawiro,H. Ruslan.1998."*Ekologi Lingkungan Pencemaran*". Semarang: Penerbit SW
- Priyanto, B, dan Prayitno, J, 2004, "*Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat*", www.gogle.com
- Soegiharto.1987."*Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*". Jakarta: Universitas Indonesia
- Suripin, 2002. "*Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*" Yogyakarta: ANDI OFFSET

Svehla,G.1995.”*VOGEL (Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro) Edisi ke Lima*).Jakarta : PT.Kaiman Media Pusaka.

Tjahaja, PI, 2006, “ *Fitoremediasi Lingkungan Perairan Tawar:Penyerapan Radioserum Oleh Kiambang (Salvinia Molesta)*”, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia Vol VII, No.1 hal 83-96. [www. gogle. com](http://www.gogle.com)



## DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Hal
Tabel 2.1.	Sifat fisik dari air limbah	8
Tabel 2.2	Kontaminan logam dan kation	29
Tabel 2.3.	Nilai intensitas cahaya berbagai keadaan cahaya dan reaksi cahaya dari tanaman	31
Tabel 2.4.	Unsur hara yang dibutuhkan tanaman	37
Tabel 3.1.	Variabel penelitian	41
Tabel 3.2.	Rancangan Perlakuan Penelitian	49
Tabel 4.1a.	Nilai pH dan Suhu Pada Awal Sampel Air Limbah Simulasi	53
Tabel 4.1b.	Nilai pH dan Suhu Pada Sampel Air Limbah Keramik	54
Tabel 4.2a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal	56
Tabel 4.2b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap nilai suhu	56
Tabel 4.2c.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Fe	57
Tabel 4.2d.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Zn	57
Tabel 4.2e.	Tabel Pengaruh Lamanya Perlakuan tanaman eceng gondok terhadap Penurunan Kadar polutan Pb	58
Tabel 4.3a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal	59
Tabel 4.3b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal	60
Tabel 4.3c.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Fe	60
Tabel 4.3d.	Tabel Pengaruh Lamanya Pengambilan Sampel Uji terhadap Penurunan Kadar Polutan Zn	61
Tabel 4.3e.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap Penurunan Kadar Polutan Pb	61
Tabel 4.4a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap nilai pH limbah simulasi tunggal	62

Tabel 4.4b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap nilai pengukuran suhu	63
Tabel 4.4c.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap Penurunan Kadar Polutan Fe	63
Tabel 4.4d.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap Penurunan Kadar Polutan Zn	64
Tabel 4.4e.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap Penurunan Kadar Polutan Pb	65
Tabel 4.5a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap Hasil Pengukuran pH	66
Tabel 4.5b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap hasil pengukuran Suhu	66
Tabel 4.5c.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap Penurunan Kadar Polutan Fe	67
Tabel 4.5d.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Zn	67
Tabel 4.5e.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Pb	68
Tabel 4.6a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap penurunan kadar polutan Fe	69
Tabel 4.6b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap penurunan kadar Polutan Zn	70
Tabel 4.6c.	Tabel Pengaruh Lamanya Pengambilan Sampel Uji terhadap Penurunan Kadar Polutan Pb dalam Tanaman Apu-apu	70
Tabel 4.7a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Fe	71
Tabel 4.7b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Zn	72
Tabel 4.7c.	Tabel pengaruh lamanya Perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Pb	73
Tabel 4.8a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap hasil pengukuran pH	74
Tabel 4.8b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan terhadap Hasil Pengukuran Suhu	74

Tabel 4.8c.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Fe	75
Tabel 4.8d.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar Polutan Zn	75
Tabel 4.9a.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman apu-apu terhadap penurunan kadar polutan Fe	76
Tabel 4.9b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanpa tanaman terhadap penurunan kadar polutan Zn	77
Tabel 4.10a.	Tabel Pengaruh Lamanya Perlakuan tanaman eceng gondok terhadap Penurunan Kadar Polutan Fe	78
Tabel 4.10b.	Tabel pengaruh lamanya perlakuan tanaman eceng gondok terhadap penurunan kadar polutan Zn	78
Tabel 4.11a.	Perbandingan penurunan kadar Fe	79
Tabel 4.11b.	Perbandingan penurunan kadar Zn	80
tabel 4.11c.	Perbandingan penurunan kadar Pb	81
Tabel 4.12a.	Perbandingan penurunan kadar Fe	81
Tabel 4.12b.	Perbandingan penurunan kadar Zn	82
Tabel 4.12c.	Perbandingan penurunan kadar Pb	83
Tabel 4.13a.	Perbandingan penurunan kadar Fe	83
Tabel 4.13b.	Perbandingan penurunan kadar Zn	84
Tabel 4.14a.	Prosentase penurunan kadar Fe	85
Tabel 4.14b.	Prosentase penurunan kadar Zn	85
Tabel 4.14c.	Prosentase penurunan kadar Pb	86
Tabel 4.15a.	Prosentase penurunan kadar Fe	87
Tabel 4.15b.	Prosentase penurunan kadar Zn	88
Tabel 4.15c.	Prosentase penurunan kadar Pb	89
Tabel 4.16a.	Prosentase penurunan kadar Fe	90
Tabel 4.16b.	Prosentase penurunan kadar Zn	91
Tabel 4.17.	Nilai parameter yang diserap oleh tanaman	93
Tabel 4.18.	Nilai aplikatif hasil penelitian terhadap kondisi lapangan	94



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir tentang sistem penjernihan air dengan menggunakan metode fitoremediasi. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademik dalam menempuh gelar sarjana (S1) di Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penyusun ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

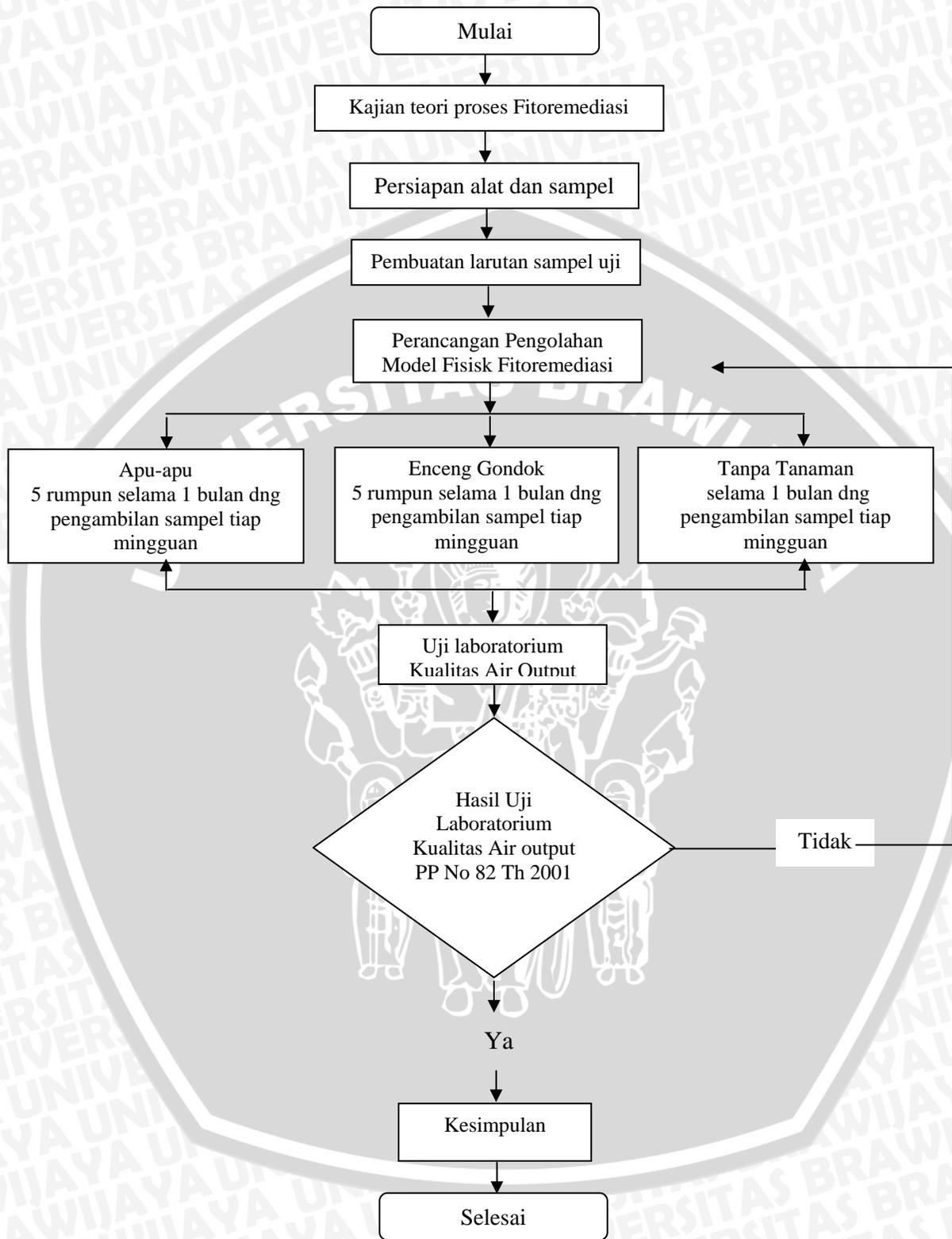
1. Kedua orang tua dan keluarga atas doa, kasih sayang dan dukungannya.
2. Bapak Ir. Suwanto Marsudi, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Ir. Ussy Andawayanti, MS, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya .
4. Bapak J. Soegijanto, MSc (almarhum ), selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Sumiadi, ST, MT, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan masukan, bimbingan, serta nasehat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Mas Prasetyo Rubiantoro selaku, Laboran Laboratorium Air Tanah Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, yang telah memberikan informasi, masukan , dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2001, atas semua bantuan dan dukungannya.
8. Semua pihak yang membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penyusun menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi penyempurnaan lebih lanjut. Semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi semua pihak yang mengambil manfaat dari kajian ini.

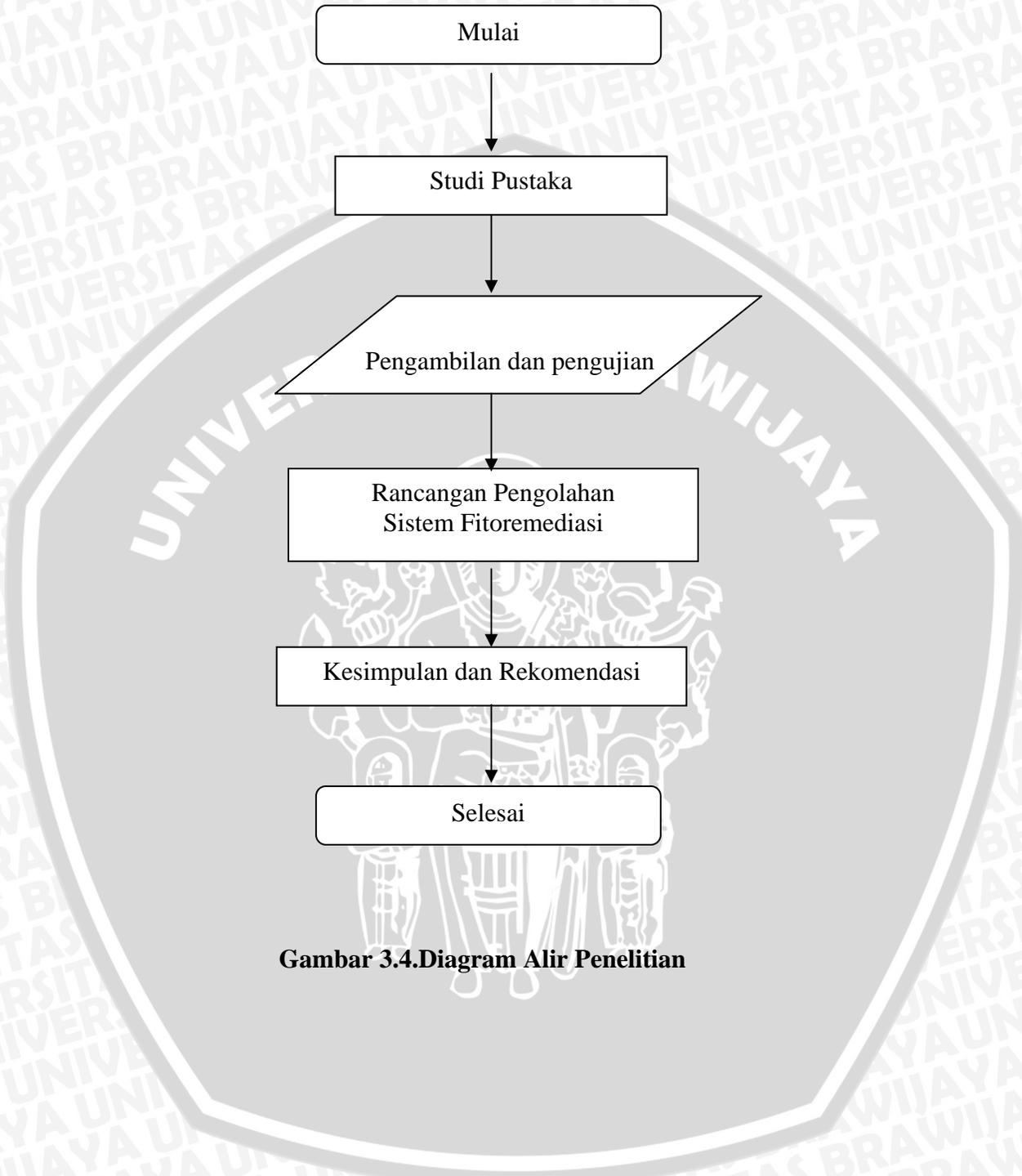
Malang, Mei 2007

Penyusun

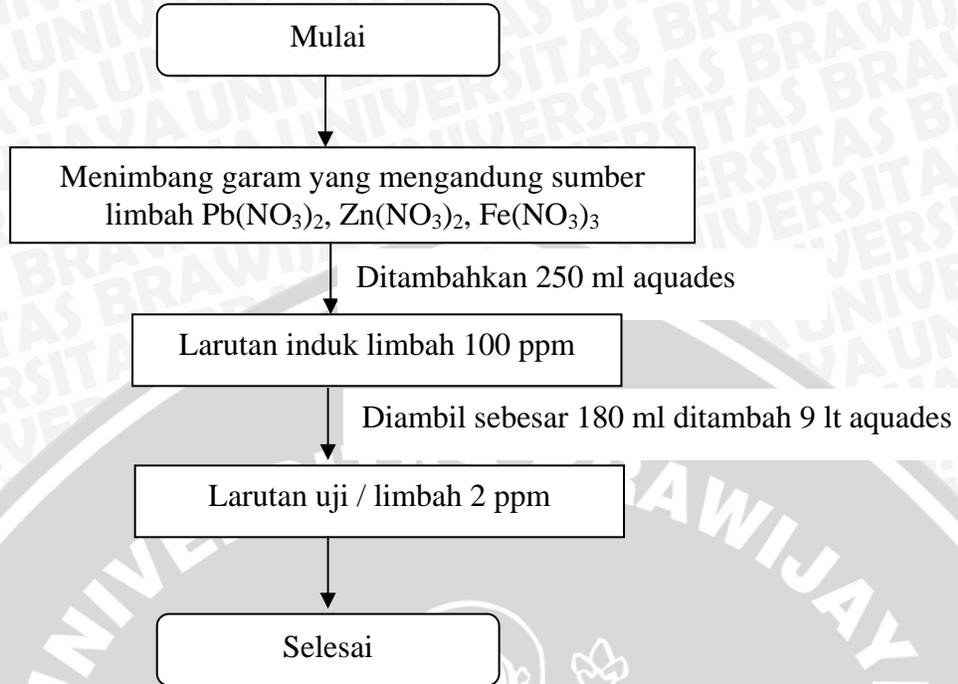




Gambar 3.3. Diagram Alir Pengerjaan Skripsi



**Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian**



**Gambar 3.5. Diagram alir pembuatan larutan sampel uji / limbah**



## RINGKASAN

ROSHINTA WIDAYANTI, Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2007, *Efektifitas Tanaman Eceng Gondok Dan Apu-apu Dalam Mengurangi Kandungan Logam Fe, Zn, Pb Didalam Air Limbah Dengan Metode Fitoremediasi*, Malang, Dosen Pembimbing: J. Soegijanto, MSc dan Sumiadi, ST, MT

Air merupakan sumber kehidupan yang sangat penting. Pada saat ini ketersediaan air bersih sangat terbatas dan terkadang memanfaatkan air tanpa memperdulikan keadaan tanpa memperdulikan keadaannya yang kurang memenuhi kesehatan, sehingga apabila kondisi ini berlansung secara terus-menerus mengakibatkan penurunan kualitas air. Fenomena ini ditandai dengan timbulnya masalah pencemaran air limbah, baik limbah yang dihasilkan dari rumah tangga atau dari industri. Dengan demikian dibutuhkan suatu tindakan peningkatan kualitas air yang mampu mengatasi masalah penurunan kualitas air dan dapat menjaga keseimbangan alam melalui sistem konservasi air serta menciptakan lingkungan yang sehat.

Kajian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengadakan penelitian tentang peningkatan kualitas air dengan menggunakan metode fitoremediasi, yaitu pemulihan kontaminasi lingkungan dengan menggunakan tanaman. Dengan kajian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi pihak terkait dalam melakukan tindakan peningkatan kualitas air serta dapat menjadi salah satu alternatif metode/cara tentang solusi permasalahan peningkatan kualitas air dan penanganan air limbah, baik limbah rumah tangga maupun limbah industri.

Penelitian kualitas air ini menggunakan metode fitoremediasi yang memanfaatkan tanaman khususnya tanaman air sebagai filternya, yaitu tanaman eceng gondok dan tanaman apu-apu, serta air limbah berasal dari air limbah buatan (simulasi) dan air limbah keramik.

Untuk perencanaan bak penelitian, menggunakan bak plastik dengan ukuran 44 x 32 cm, dan berisi 9 lt air. Selanjutnya untuk air limbah buatan (air limbah simulasi), bak yang berisi air sebanyak 9 lt dikontaminasikan dengan larutan induk  $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ , dan  $Pb^{2+}$  sebanyak 180 ml, sebesar 2 ppm. Ke dalam bak tersebut dimasukkan sejumlah tanaman eceng gondok dan tanaman apu-apu, yang masing-masing berjumlah 5 rumpun dengan diameter tanaman masing-masing 6 cm, dan dipelihara selama 28 hari. Sebagai kontrol dilakukan pula pemberian air limbah kedalam bak tanpa penanaman tanaman. Untuk perlakuan penanaman tanaman juga berlaku pada air limbah keramik.

Hasil akhir dari kajian ini berupa keefektifitasan tanaman apu-apu dalam menyerap polutan yang berada dalam air limbah tersebut yaitu untuk limbah simulasi tunggal penyerapan polutan Zn sebesar 1,48 ppm, Pb sebesar 0,98 ppm, sedangkan polutan Fe pada air limbah simulasi tunggal belum ada yang diserap oleh tanaman. Untuk air limbah simulasi campuran Fe sebesar 0,14 ppm, Zn sebesar 0,87 ppm, sedangkan untuk polutan Pb belum ada yang diserap oleh tanaman. Untuk air limbah keramik, karena pada air limbah keramik polutan Pb tidak terdeteksi maka hanya polutan Fe dan Zn yang diuji, yaitu pada polutan Fe sebesar 0,03 ppm dan polutan Zn sebesar 0,11 ppm. Pada penelitian di laboratorium air dalam bak sebanyak 9 lt membutuhkan 5 rumpun tanaman, sedangkan pada aplikatif lapangan apabila air sebanyak 300 lt membutuhkan tanaman sebanyak 222 rumpun.

**Kata kunci : fitoremediasi**



