

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu sumber daya perairan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Meningkatnya berbagai aktifitas manusia di sepanjang perairan sungai, dapat meningkatkan resiko terhadap terjadinya degradasi perairan sungai. Salah satunya adalah penurunan kualitas perairan sungai yang disebabkan antara lain limbah industri, limbah rumah tangga dan limbah dari berbagai aktifitas penduduk lainnya (Suwondo, 2005).

Sungai Lesti dimanfaatkan untuk berbagai aktifitas seperti transportasi, perikanan, pertanian, rumah tangga, dan bahan baku air minum bagi masyarakat di sekitar Sungai Lesti. Aktifitas industri yang terdapat di sepanjang DAS Lesti antara lain pembakaran gamping dan yang terbesar adalah industri kertas. Aktifitas industri ini menghasilkan buangan berupa limbah yang sebagian akan memasuki perairan sungai, kondisi tersebut menyebabkan terjadinya perubahan kualitas air Sungai Lesti.

Pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang berada di Desa Gampingan Kecamatan Pagak Kabupaten Malang merupakan salah satu contoh pabrik yang membuang limbah cairnya ke sungai. Proses produksi yang menggunakan berbagai campuran bahan kimia serta penggunaan berbagai peralatan yang berasal dari logam menyebabkan limbah cair yang dihasilkan mengandung logam berat. Limbah cair yang mengandung logam berat ini dialirkan ke Sungai Lesti sehingga terjadilah pencemaran logam berat yang mengganggu ekosistem Sungai Lesti itu sendiri. Mengacu dari hasil penelitian logam berat timbal (Pb) yang dilakukan oleh Irfanto (2010), Sungai Lesti dapat dikatakan tercemar karena nilai kandungan timbal (Pb) pada perairan sudah melebihi ambang batas yang boleh dipergunakan yaitu 0,2 – 0,7 ppm. PP 82 tahun 2001 tentang

Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dalam Putra (2009), membuat kriteria mutu air berdasarkan kelas untuk timbal (Pb): kelas 1 adalah 0,03 mg/L, kelas 2 adalah 0,03 mg/L, kelas 3 adalah 0,03 mg/L sedangkan kelas 4 adalah 1 mg/L. Bagi pengolahan air minum konvensional Pb < 0,1 mg/L.

Timbal merupakan salah satu unsur logam yang termasuk elemen mikro merupakan logam berat yang tidak mempunyai fungsi biologi sama sekali. Logam tersebut sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (Darmono, 1995). Pencemaran logam berat timbal (Pb) merupakan masalah yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Pb dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan, bahkan manusia. Masuknya Pb ke tubuh manusia dapat melalui makanan dari tumbuhan yang biasa dikonsumsi manusia seperti padi, teh dan sayur-sayuran. Logam Pb terdapat di perairan baik secara alamiah maupun sebagai dampak dari aktivitas manusia. Logam ini masuk ke perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan (Palar, 1994).

Jenis tanaman yang terdapat di Sungai Lesti diantaranya rumput-rumputan, eceng gondok dan kangkung. Tanaman yang paling banyak dijumpai diberbagai sudut Sungai Lesti adalah eceng gondok. Eceng gondok merupakan tanaman yang dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam berat yang ada di perairan karena memiliki serabut-serabut akar yang banyak, pertumbuhan yang cepat dan tidak memerlukan substrat tanah untuk tumbuh karena sifatnya yang mengapung di air sehingga keberadaannya sampai ditengah sungai, mudah berkembang biak, serta mudah beradaptasi.

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes Solms*) merupakan salah satu tanaman yang mempunyai kemampuan sebagai biofilter. Dengan adanya mikrobia rhizosfera pada akar dan didukung oleh daya absorpsi serta akumulasi yang besar terhadap bahan pencemar tertentu, maka dapat dimanfaatkan

sebagai alternatif pengendali pencemaran di perairan (Kurniawan, 2009). Eceng gondok dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran air karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya (bioakumulator). Sehingga dalam penelitian ini dipilih eceng gondok karena eceng gondok banyak ditemukan di sepanjang daerah penelitian dan mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat yang tinggi pada organ tubuhnya.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Apakah ada pengaruh pembuangan limbah cair pabrik kertas terhadap kadar logam berat Pb di Sungai Lesti?
2. Seberapa besar tingkat akumulasi logam berat Pb pada organ eceng gondok (akar, tangkai, daun) di Sungai Lesti?
3. Apakah ada pengaruh logam berat Pb pada jaringan daun eceng gondok?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui potensi tingkat pencemaran yang terjadi di Sungai Lesti ditinjau dari kadar logam berat timbal Pb.
2. Untuk mengetahui kadar Pb dalam organ eceng gondok (akar, tangkai, daun) yang ada di Sungai Lesti.
3. Untuk mengetahui pengaruh Pb terhadap jaringan daun eceng gondok yang ada di Sungai Lesti.

1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk memperluas wawasan dan keterampilan mahasiswa dalam melakukan kegiatan penelitian bioremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan bekal yang telah diperoleh dari bangku kuliah. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi kepada masyarakat tentang tingkat pencemaran logam berat timbal yang terjadi pada perairan Sungai Lesti sehingga dapat dijadikan rujukan bagi pemerintah untuk pengelolaan perairan tersebut dan diharapkan masyarakat tidak menggunakan air dari perairan tersebut untuk bahan baku air minum. Penelitian ini dapat bermanfaat sebagai suatu ilmu pengetahuan baru yang selanjutnya dapat dikembangkan dan dilakukan penelitian lebih lanjut.

1.5 Tempat dan Waktu

Lokasi Pengambilan sampel dilakukan di Sungai Lesti Desa Gampingan Kecamatan Pagak Kabupaten Malang, Jawa Timur, sedangkan penelitian dilakukan di Laboratorium Ilmu – Ilmu Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan serta Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang mulai bulan April 2011.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat termasuk ke dalam golongan logam dengan kriteria sama dengan logam-logam lainnya. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat tersebut membentuk ikatan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup (Hariono, 1998).

Umumnya logam berat bersifat racun, meskipun dalam jumlah kecil logam berat dibutuhkan oleh tubuh, sifat racunnya akan timbul bila dalam kadar yang relatif tinggi. Ada 11 jenis logam berat yang diperlukan untuk kehidupan organisme, diantaranya adalah Cu dan Zn. Leninger menyatakan organisme perairan membutuhkan Cu dan Zn sebagai kofaktor dalam proses fisiologi enzim, di mana Cu terdapat sebagai haemocyanin, cytochrom bersama-sama dengan Fe, dan Zn sebagai karbonik anhidrase. Sedangkan Hg, Pb, dan Cd belum diketahui manfaatnya bagi organisme, sebaliknya dapat menimbulkan penyakit (Ahmad, 2009).

Kelompok logam berat menurut Palar (1994), memiliki ciri - ciri sebagai berikut:

1. Unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari $5 \text{ gr}\text{cm}^3$.
2. Memiliki nomor atom 22 – 34 dan 40 – 50 serta unsur lantanida dan aktinida.
3. Mempunyai respon biokimia spesifik pada organisme hidup.

Logam berat menurut Darmono (1995), dibagi kedalam dua jenis, yaitu:

1. Logam berat esensial, yakni logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Dalam jumlah yang berlebihan, logam tersebut bias menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain sebagainya.

2. Logam berat tidak esensial, yakni logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat toksik. Contohnya adalah Hg, Cd, Cr, Pb, dan lain sebagainya.

2.2 Pencemaran Logam Berat Pada Perairan

Pencemaran air adalah penyimpangan sifat – sifat air dari keadaan normal, bukan dari kemurniannya. Air yang tersebar di alam semesta ini tidak pernah terdapat dalam bentuk murni, namun bukan berarti bahwa semua air sudah tercemar. Air permukaan dan air sumur pada umumnya mengandung bahan – bahan metal terlarut, seperti Na, Mg, Ca dan Fe. Air yang mengandung komponen – komponen tersebut dalam jumlah tinggi disebut air sadah. Adanya benda – benda asing yang mengakibatkan air tersebut tidak dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya secara normal disebut dengan pencemaran air (Kristanto, 2002).

Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia (Rochyatun *et al.*, 2006). Keberadaan logam - logam dalam badan perairan dapat berasal dari sumber alamiah dan dari aktifitas manusia. Sumber alamiah masuk ke dalam perairan bisa dari pengikisan batuan mineral. Di samping itu partikel logam yang ada di udara, karena adanya hujan dapat menjadi sumber logam dalam perairan. Adapun logam yang berasal dari aktifitas manusia dapat berupa buangan industri ataupun buangan dari rumah tangga (Fardiaz, 1992).

Pembangunan di Indonesia diutamakan pada sektor industri. Kemajuan dari sektor industri memberikan efek samping bagi manusia sendiri yaitu timbulnya pencemaran, berupa buangan atau limbah industri yang mengandung gugus logam berat. Pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah industri yang mengandung logam berat misalnya As, Cd, Pb, dan Hg dapat berakumulasi

dalam tanaman misalnya padi, rumput, sayuran, dan jenis tanaman lain yang digunakan makanan ternak. Akibat yang ditimbulkan dari pencemaran adalah terganggunya aktivitas kehidupan makhluk hidup, terlebih apabila organisme tersebut tidak mampu mendegradasi bahan pencemar tersebut, sehingga bahan tersebut terakumulasi dalam tubuhnya. Peristiwa tersebut akan mengakibatkan terjadinya *biomagnifikasi* dari organisme satu ke organisme yang lain yang mempunyai tingkatan yang lebih tinggi (Darmono, 2001).

Logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan, yang terutama adalah merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Nikel (Ni). Logam – logam tersebut diketahui dapat berkumpul di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi. Dua macam logam berat yang sering mengkontaminasi air adalah merkuri dan timbal (Kristanto, 2002).

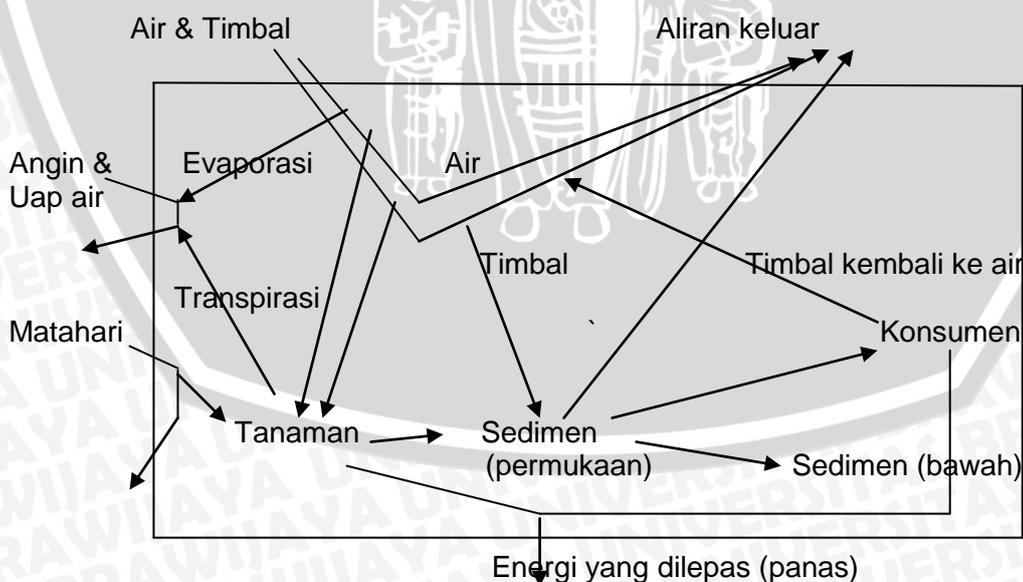
Pengetahuan mengenai kandungan logam berat di perairan sangat bermanfaat untuk mencegah adanya akibat buruk bagi lingkungan perairan. Darmono (2001) menyatakan, pencemaran logam berat dalam suatu lingkungan perairan perlu diperhatikan secara serius, mengingat akan timbulnya akibat buruk bagi keseimbangan lingkungan hidup. Tujuan utama untuk mengetahui konsentrasi logam dalam lingkungan perairan adalah :

- a. mengetahui konsentrasi logam yang tinggi dalam hewan air, baik ikan air laut maupun air tawar, yang dapat digunakan sebagai pedoman untuk mencegah terjadinya toksisitas kronis maupun akut pada orang yang memakannya.
- b. mengetahui konsentrasi logam yang tinggi dalam air dan sedimen, yang dapat digunakan sebagai pedoman untuk memonitor kualitas air yang mungkin digunakan sebagai irigasi ataupun air minum, yang akhirnya berakibat buruk bagi orang yang mengkonsumsinya.

2.3 Logam Berat Pb (Plumbum)

Timbal (Pb) adalah logam berat yang secara alami terdapat di dalam kerak bumi dan tersebar melalui proses alami dan berasal dari kegiatan manusia (Widowati *et al*, 2008). Timbal tidak termasuk unsur yang esensial bagi makhluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik bagi hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang. Toksisitas timbal terhadap tumbuhan relatif lebih rendah dibandingkan dengan unsur renik lainnya (Effendi, 2003).

Sumber alami logam Pb adalah *galena* (PbS), *gelesite* (PbSO₄), dan *crussite* (PbCO₃). Secara alamiah logam Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan logam Pb di udara dengan bantuan air hujan, disamping itu proses korofikasi batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin yang merupakan salah satu jalur sumber logam Pb yang akan masuk ke dalam badan perairan (Effendi, 2003). Timbal terdapat dalam air karena adanya kontak antara air dengan tanah atau udara tercemar timbal, air yang tercemar oleh limbah industri atau akibat korosi pipa. Skema distribusi logam Pb dalam perairan dangkal di sajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema distribusi logam Pb dalam perairan dangkal (Odum, 2000).

Gambar 1 diatas menunjukkan, adanya aliran materi dan energi yang ditunjukkan oleh garis. Garis yang menuju ke dalam (kotak) menggambarkan adanya angin, cahaya matahari, uap air serta air yang mengandung logam Pb (misal dari sungai ataupun air hujan) masuk kedalam badan air. Sedangkan garis yang menuju keluar (kotak) menunjukkan adanya sinar matahari yang dipantulkan oleh air, uap air baik berasal dari evaporasi ataupun transpirasi yang terbawa angin, dan arus air yang membawa bahan organik maupun logam Pb serta energi panas yang dihasilkan oleh tumbuhan dan hewan (metabolisme). Tumbuhan merupakan organisme yang dapat memproduksi makanan (bahan organik) dalam tubuhnya sendiri. Tumbuhan dapat menyerap logam Pb dalam air, ketika tumbuhan ini mati akan menjadi sedimen (*organik detritus*) yang kaya akan bahan organik dan juga mengandung logam Pb di dasar perairan. Di dalam sedimen perairan terdapat organisme (mikroba) yang juga mampu mengambil logam Pb dalam air. Beberapa dari bahan organik tersebut secara bersamaan akan dikonsumsi oleh mikroba dan hewan kecil lain yang hidup diperairan tersebut, ketika bahan organik yang mengandung logam Pb dikonsumsi, maka akan menyisakan mineral anorganik begitu pula dengan logam Pb yang ada, menyebabkan logam Pb tersebut akan kembali ke dalam air (Odum, 2000).

Purnomo dan Muchyiddin (2007) menyatakan, sifat-sifat dan kegunaan logam Pb adalah :

- (a) mempunyai titik lebur yang rendah sehingga mudah digunakan dan murah biaya operasionalnya, (b) mudah dibentuk karena lunak, (c) mempunyai sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan, (d) bila dicampur dengan logam lain membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya, (e) kepadatannya melebihi logam lainnya.

2.4 Bioakumulasi Logam Berat

Purnomo dan Muchyiddin (2007) berpendapat, akumulasi logam berat sebagai logam beracun pada suatu perairan merupakan akibat dari muara aliran sungai yang mengandung limbah. Meskipun kadar logam dalam aliran sungai itu relatif kecil akan tetapi sangat mudah diserap dan terakumulasi secara biologis oleh tanaman atau hewan air dan akan terlibat dalam sistem jaring makanan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses bioakumulasi, yaitu logam berat akan terkumpul dan meningkat kadarnya dalam tubuh organisme air yang hidup, termasuk ikan bandeng, kemudian melalui biotransformasi akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat tersebut secara tidak langsung melalui rantai makanan. Proses rantai makanan ini akan sampai pada jaringan tubuh manusia sebagai satu komponen dalam sistem rantai makanan.

Pengambilan dan retensi pencemar oleh makhluk hidup mengakibatkan peningkatan kepekatan yang dapat memiliki pengaruh yang merusak. Proses ini dapat terjadi oleh penyerapan langsung dari lingkungan atau melalui bahan makanan. Pencemar dalam makhluk hidup melalui bahan makanan dapat timbul dari sumber yang sama. Jadi dalam suatu rantai makanan alamiah, pencemaran dapat dipindahkan dari suatu tingkat trofik ke tingkat trofik lainnya (Cornell *et al.*, 1995).

Retensi pencemar bergantung pada waktu paruh biologisnya. Jadi, suatu pencemar harus menunjukkan daya tahan yang relatif tinggi terhadap penghancuran atau pembuangan oleh makhluk hidup untuk memungkinkan waktu pengambilan yang cukup agar tercapai kepekatan yang tinggi. Kandungan logam berat dalam biota air biasanya akan bertambah dari waktu ke waktu karena bersifat *bioakumulatif*, sehingga biota air dapat digunakan sebagai indikator pencemaran logam dalam perairan (Darmono, 1995).

2.5 Klasifikasi Eceng Gondok

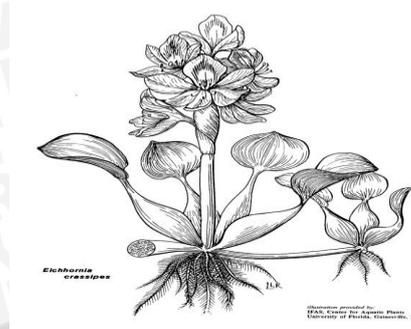
Klasifikasi eceng gondok menurut ITIS (2011), adalah :

Divisi	:Magnoliophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Liliopsida
Suku	: Pontederiaceae
Marga	: Eichhornia
Jenis	: <i>Eichhornia crassipes</i>

Eceng gondok pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh ilmuwan bernama *Carl Friedrich Philipp von Martius*, seorang botanis berkebangsaan Jerman pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di sungai Amazon, Brasil. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan (Batcher, 2000).

2.6 Morfologi dan Ekologi Eceng Gondok

Ciri – ciri eceng gondok menurut Mukti (2008), adalah: 1) eceng gondok merupakan tumbuhan yang hidup mengapung di air, 2) tinggi mencapai 0,8 meter serta tidak mempunyai batang, 3) Daun eceng gondok berbentuk oval dan pangkalnya menggelembung, 4) Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau, 5) Bunganya termasuk bunga majemuk, 6) Bijinya berbentuk bulat berwarna hitam, dan 7) Akarnya merupakan akar serabut. Lebih jelas mengenai morfologi eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (Mukti, 2008).

Bagian akar eceng gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang berserabut, berfungsi sebagai pegangan atau jangkar. Sebagian besar peranan akar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tumbuhan dari dalam air. Susunan akarnya dapat mengumpulkan lumpur atau partikel-partikel yang terlarut dalam air. Eceng gondok tergolong makrofita yang memiliki daun terletak diatas permukaan air. Zat hijau daun eceng gondok terdapat dalam sel epidermis, dipermukaan atas daun dipenuhi oleh stomata. Bunga eceng gondok bertangkai dengan warna mahkota lembayung muda dan merupakan bunga majemuk dengan jumlah 6 - 35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal (Lail, 2008).

Tangkai eceng gondok berbentuk bulat menggelembung yang didalamnya penuh dengan udara yang berperan agar tetap terapung di permukaan air. Lapisan terluar petiole adalah lapisan epidermis, kemudian dibagian bawahnya terdapat jaringan tipis sklerenkim dengan bentuk sel yang tebal disebut lapisan parenkim, kemudian didalam lapisan ini terdapat lapisan pengangkut (xilem dan floem). Eceng gondok memperbanyak diri secara vegetatif. Perkembangannya sangat cepat dan "rakus" minum. Eceng gondok tumbuh di kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat, danau, tempat penampungan air dan sungai (Batcher, 2000).

2.7 Kualitas Air Eceng Gondok

Sastroutomo (1990) dalam Suprobowati (2005) berpendapat, untuk dapat tumbuh pada lingkungan dengan baik eceng gondok memiliki syarat :

1. Temperatur optimum (28 - 30) °C,
2. Nilai pH optimum (6 - 7,5), dan
3. Cukup matahari untuk pertumbuhannya dan akan tumbuh lebih baik pada keadaan cahaya yang penuh (100 %) jika dibandingkan dengan cahaya matahari 75 %, 50 ,dan 25 %.

Eceng gondok dapat mentolerir perubahan yang ekstrim dari ketinggian air, laju air, dan perubahan ketersediaan nutrien, pH, temperatur dan racun-racun dalam air. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat terutama disebabkan oleh air yang mengandung nutrien yang tinggi, terutama yang kaya akan nitrogen, fosfat, dan potasium (Batcher, 2000).

2.8 Syarat Tumbuhan Penyerap Logam Berat

IRRI (1987) dalam Suprobowati (2005) menyatakan, penelitian yang memanfaatkan tumbuhan air untuk menyerap logam berat harus memenuhi syarat :

1. Mempunyai pertumbuhan yang cepat,
2. Mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menyerap logam berat.

Tumbuhan Eceng gondok merupakan jenis tumbuhan air yang mampu menyerap bahan pencemar seperti logam Pb, Cu dan Zn dan mengakumulasi logam pada organ akar, batang dan daun. Tumbuhan Eceng gondok mempunyai potensi sebagai agensia pembersih perairan dari limbah logam dan menurunkan tingkat toksisitas bahan pencemar yang terdapat di dalam limbah tersebut. Kemampuan Eceng gondok untuk menyerap logam disebabkan Eceng gondok mempunyai akar yang bercabang-cabang halus yang berfungsi sebagai alat

untuk menyerap senyawa logam, sehingga toksisitas logam yang terlarut semakin berkurang menyatakan bahwa Eceng gondok ini juga memiliki kemampuan sebagai bioakumulator yakni dapat menyerap anion atau kation yang terdapat di dalam air buangan serta dapat berkembang cukup cepat dan tahan hidup pada kondisi yang buruk (Suwondo *et al*, 2010).

2.9 Mekanisme Transport Membran Sel Pada Tanaman Air

a. Transport Pasif

Onrizal (2005) menyatakan bahwa, proses pengambilan garam tumbuhan mangrove merupakan sistem transport pasif. Sistem transport pasif ini merupakan transport yang digerakkan oleh kekuatan fisik, dalam hal ini dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah yang terdapat dalam sel. Ion – ion anorganik, seperti ion natrium dan chlorida yang diambil oleh tanaman yang digunakan untuk proses fisiologis.

b. Difusi

Difusi merupakan perpindahan partikel zat dari larutan berkonsentrasi tinggi ke larutan berkonsentrasi rendah. Peristiwa difusi pada tumbuhan sangat penting untuk keseimbangan hidup tumbuhan. Karbon dioksida (CO_2) dan oksigen (O_2) diambil oleh tumbuhan dari udara melalui proses difusi. Pengambilan air dan garam mineral oleh tumbuhan dari dalam tanah, salah satunya melalui proses difusi. Difusi zat dari dalam tanah ke dalam tubuh tumbuhan disebabkan konsentrasi garam mineral di tanah lebih tinggi daripada di dalam sel. Demikian juga gas CO_2 di udara masuk ke dalam tubuh tumbuhan karena konsentrasi CO_2 di udara lebih tinggi daripada di dalam sel tumbuhan. Sebaliknya, O_2 dapat berdifusi keluar tubuh tumbuhan jika konsentrasi O_2 dalam tubuh tumbuhan lebih tinggi akibat adanya fotosintesis dalam sel.

c. Osmosis

Osmosis adalah difusi pelarut melalui membran. Keadaan di atas terjadi juga pada peristiwa osmosis pada penyerapan air tanah ke dalam sel akar. Jika sel dimasukkan ke dalam larutan isotonis, bentuk sel tetap karena keadaan seimbang. Akan tetapi, jika sel tumbuhan berada dalam larutan hipertonis (konsentrasi larutan lebih tinggi daripada cairan sel), air dalam plasma sel akan berosmosis keluar sehingga sel mengerut/menyusut. Protoplasma yang kekurangan air menyusut volumenya mengakibatkan membran sel terlepas dari dinding sel, sehingga terjadi plasmolisis. Sebaliknya, jika sel berada dalam larutan hipotonis (konsentrasi larutan lebih rendah daripada cairan sel), air dari luar akan masuk ke dalam sel sehingga sel membengkak. Pada sel-sel akar tumbuhan terdapat penumpukan mineral. Artinya, konsentrasi mineral di dalam sel lebih tinggi daripada di luar sel, atau potensial air di luar sel lebih tinggi dibandingkan dengan potensial air di dalam sel. Oleh karena itu, osmosis dari luar sel ke dalam sel tetap berlangsung untuk mencegah plasmolisis. Akan tetapi, keadaan ini menghambat pengambilan mineral dari luar ke dalam sel melalui difusi, terutama karena membran sel memiliki permeabilitas yang sangat rendah. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan transpor aktif yang melibatkan energi dari ATP agar ion-ion dapat masuk ke dalam sel. ATP adalah molekul pembawa energi di dalam sel.

d. Transport Aktif

Transpor aktif merupakan transpor partikel-partikel melalui membran semipermeabel yang bergerak melawan gradien konsentrasi yang memerlukan energi dalam bentuk ATP. Transpor aktif berjalan dari larutan yang memiliki konsentrasi rendah ke larutan yang memiliki konsentrasi tinggi, sehingga dapat tercapai keseimbangan di dalam sel. Adanya muatan listrik di dalam dan luar sel dapat mempengaruhi proses ini, misalnya ion K^+ , Na^+ dan Cl^-



2.10 Mekanisme Penyerapan Air dan Unsur Hara

Terdapat 3 faktor penyerapan unsur hara dan air pada tanaman menurut Furqonita (2007), yaitu:

a. Tekanan Akar

Air tanah masuk ke dalam akar secara osmosis. Jadi, air tanah yang sifatnya lebih encer (konsentrasi rendah) mengalir ke arah cairan pada tubuh tumbuhan yang bersifat lebih pekat (konsentrasi tinggi) melalui membran semi permeable (sel – sel tumbuhan). Pergerakan air menyebabkan adanya tekanan di dalam sel yang mendorong air masuk sampai pembuluh kayu akar, air mengalir ke pembuluh kayu di batang. Tekanan yang mendorong air tersebut dinamakan tekanan akar.

b. Sifat Kapilaritas Pembuluh Kayu

Kapilaritas adalah naiknya permukaan air melalui pipa yang sempit atau pipa kapiler. Makin sempit suatu pipa, ketinggian air semakin meningkat. Kapilaritas disebabkan adanya gaya tarik menarik antara dua zat yang berbeda. Pembuluh kayu pada tumbuhan merupakan kumpulan pipa – pipa kapiler sehingga air dapat naik sampai ke daun.

c. Daya Isap Daun

Pada proses transpirasi, daun mengeluarkan air dalam bentuk uap melalui stomata. Hal ini menyebabkan cairan pada sel – sel yang terdapat pada daun menjadi lebih pekat. Kepekatan cairan sel – sel daun mengakibatkan terjadinya penarikan air dari sel – sel daun sampai pembuluh kayu di daun. Pembuluh kayu di daun akan menarik pembuluh kayu di batang. Air yang berkurang dari pembuluh kayu di batang akan digantikan oleh air dari pembuluh kayu di akar. Seluruh proses tersebut menimbulkan aliran air secara terus menerus dari akar sampai daun. Kekuatan penarikan air oleh daun akibat dari proses transpirasi ini disebut daya isap daun. Ada 2 tipe transpirasi, yaitu

transpirasi kutikula dan transpirasi stomata. Transpirasi kutikula adalah pengeluaran uap air yang terjadi secara langsung melalui kutikula epidermis, sedangkan transpirasi stomata adalah pengeluaran air yang berlangsung melalui stomata.

2.11 Mekanisme Kerja Fitoremediasi Tanaman Air

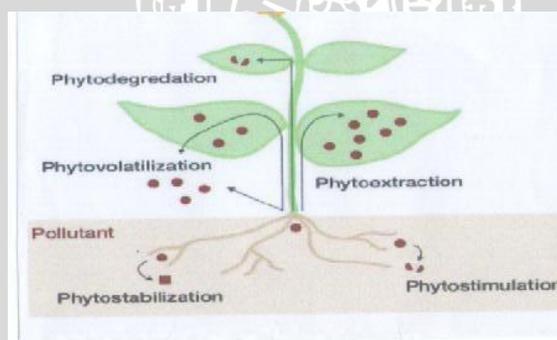
Tumbuhan yang tumbuh di air akan terganggu bahan kimia toksik dari limbah. Pengaruh polutan terhadap tumbuhan dapat berbeda tergantung pada macam polutan, konsentrasinya dan lamanya polutan itu berada. Gejala adanya pencemaran pada tumbuhan sangat bervariasi dan tidak spesifik. Pada konsentrasi tinggi tumbuhan akan menderita kerusakan akut dengan menampilkan gejala seperti klorosis, perubahan warna, nekrosis dan kematian seluruh bagian tumbuhan. Di samping perubahan morfologi juga akan terjadi perubahan kimia, biokimia, fisiologi dan struktur tumbuhan (Panjaitan, 2009).

Jumlah absorpsi logam dan kandungan logam dalam air biasanya proporsional, yakni kenaikan kandungan logam dalam jaringan sesuai dengan kenaikan kandungannya dalam air. Pada logam-logam non esensial (termasuk timbal), kandungan dalam jaringan naik terus sesuai dengan kenaikan konsentrasi logam dalam air lingkungannya (Darmono, 1995).

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa konsep dasar yaitu: *fitoekstraksi*, *fitovolatilisasi*, *fitodegradasi*, *fitostabilisasi*, *rhizofiltrasi* dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi polutan (Kusuma, 2008).

Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah dan kemudian diakumulasi/disimpan didalam tanaman (daun atau batang), tanaman seperti itu disebut dengan *hiperakumulator*. Setelah polutan terakumulasi, tanaman bisa dipanen dan tanaman tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus di musnahkan dengan insinerator kemudian di *landfilling*.

Fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut dirubah menjadi bersifat volatil dan kemudian ditranspirasikan oleh tanaman. Polutan yang di lepaskan oleh tanaman keudara bisa sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal. *Fitodegradasi* adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme didalam tanaman. Metabolisme polutan didalam tanaman melibatkan enzim antara lain *nitroductase*, *laccase*, *dehalogenase* dan *nitrilase*. *Fitostabilisasi* merupakan proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan didalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut kedalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada didalam tanah. *Rhizofiltrasi* adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan (Kusuma, 2008). Gambaran penyerapan polutan pada tanaman dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kemungkinan jalur penyerapan polutan pada tanaman

2. 12 Industri Pulp Dan Kertas

2.12.1 Proses

Bahan baku untuk produksi pulp dan kertas adalah serat selulosa. Bahan baku non selulosa adalah soda kostik, natrium sulfat, kapur, klorin, tanah liat, resin, alum, zat pewarna dan getah. Proses pembuatan pulp mencakup penggunaan bahan kima, panas, penggilingan mekanis dan atau *hydropulping* untuk memisahkan serat selulosa. Pembuatan pulp secara kimia juga mengurangi jumlah serat. Untuk menghilangkan warna coklat dari pulp dan kertas, bahan itu dikelantang dengan menggunakan klor, *hidrosulfit* dan oksigen dan peroksida. Kostik digunakan untuk ekstraksi produk kelantang yang mengandung klorin. Pertama-tama, kertas dibuat dengan memurnikan serat (menyikat dan memotong serat) lalu memasukkan bahan kimia seperti resin, tanah liat dan natrium oksida sebagai bahan pengisi. Kertas lalu dibentuk di atas ayakan kawat lebar yang bergerak cepat secara kontinu sambil membiarkan air terpisah keluar, menekan dan mengeringkan produk (Santi, 2004).

2.12.2 Limbah Industri Kertas

Pada proses pembuatan kertas terdapat zat yang berpotensi mencemari lingkungan. Rini (2002) dalam Cahyono (2007), limbah proses pembuatan kertas yang berpotensi mencemari tersebut dibagi menjadi 4 kelompok yaitu:

- limbah cair, yang terdiri dari :
 - padatan tersuspensi yang mengandung partikel kayu, serat dan pigmen,
 - senyawa organik koloid terlarut seperti hemiselulosa, gula, alkohol, lignin, terpentin, zat pengurai serat, perekat pati dan zat sintetis yang menghasilkan BOD (*Biological Oxygen Demand*) tinggi,
 - limbah cair berwarna pekat yang berasal dari lignin dan pewarna kertas,
 - bahan anorganik seperti NaOH, Na₂SO₄ dan klorin,

- limbah panas,
- mikroba seperti golongan bakteri koliform.
- Partikulat yang terdiri dari :
 - abu dari pembakaran kayu bakar dan sumber energi lain
 - partikulat zat kimia terutama yang mengandung natrium dan kalsium.
- Gas yang terdiri dari :
 - gas sulfur yang berbau busuk seperti merkaptan dan H₂S yang dilepaskan dari berbagai tahap dalam proses *kraft pulping* dan proses pemulihan bahan kimia
 - oksida sulfur dari pembakaran bahan bakar fosil, *kraft recovery furnace* dan *lime kiln* (tanur kapur)
 - uap yang mengganggu jarak pandangan
- Limbah padat yang terdiri dari :
 - *sludge* dari pengolahan limbah primer dan sekunder
 - limbah dari potongan kayu.

JEMAI (1999) dalam Cahyono (2007) berpendapat, industri pulp dan kertas mempunyai karakteristik limbah cair yang mengandung BOD, COD (*Chemical Oxygen Demand*), padatan terlarut, fenol, warna dan bau dalam jumlah besar, namun biasanya tidak mengandung bahan toksik (beracun). Akan tetapi menurut Cahyono (2007), selain memiliki karakteristik tersebut, nilai BOD/ COD yang sangat tinggi mengakibatkan degradasi kualitas air yang ditandai dengan matinya ikan dan biota air. Pada beberapa limbah cair industri kertas didapatkan unsur Pb (timbal) yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Sunoko (2005) dalam Cahyono (2007), limbah pembuatan pulp dan kertas sebagian besar mengandung serat dan padatan tersuspensi, resin dan asam lemah, fenol terklorinasi, asam organik terklorinasi dan senyawa terklorinasi netral.

2.13 Parameter Kualitas Air Pendukung

2.13.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Suhu air merupakan salah satu faktor abiotik yang memegang peranan penting bagi kehidupan organisme perairan, suhu dapat mempengaruhi aktifitas metabolisme serta kelarutan gas - gas yang ada didalamnya. Suhu perairan juga mempengaruhi proses produksi laju pertumbuhan, pencapaian seksual dan tingkah laku. Perubahan pada suhu normal yang tiba – tiba dapat menyebabkan pertumbuhan dan siklus hidup menjadi tidak normal (Suprobowati, 2005).

Suhu mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan dan pertumbuhan tanaman air. Suhu air dapat berpengaruh terhadap beberapa fungsi fisiologis tanaman air seperti bukaan stomata, laju transpirasi, fotosintesa, respirasi, metabolisme, laju penyerapan air dan nutrisi, pertumbuhan dan reproduksi. Suhu yang optimal untuk pertumbuhan tanaman air adalah 15-35^oC, sedangkan suhu optimumnya adalah 22 sampai 30^oC (Purwandari, 2009).

Kurniawan (2009) menyatakan, bahwa semakin tinggi suhu lingkungan disekitar tanaman maka semakin tinggi pula penyerapan tumbuhan, dikarenakan dengan semakin tinggi suhu menyebabkan proses fotosintesis meningkat sehingga kemampuan penyerapan tumbuhan juga akan meningkat.

b. Kecepatan Arus

Kecepatan arus (velocity/flow rate) suatu badan air sangat berpengaruh terhadap kemampuan badan air tersebut untuk mengasimilasi dan mengangkut bahan pencemar. Pengetahuan akan kecepatan arus digunakan untuk memperkirakan kapan bahan pencemar akan mencapai suatu lokasi tertentu apabila bagian hulu suatu badan air mengalami pencemaran. Kecepatan arus dinyatakan dalam satuan m/detik (Effendi, 2003).

Odum (2000) menyatakan, kecepatan arus ditentukan oleh kemiringan, kekasaran, kedalaman dan kelebaran dasarnya. Kecepatan arus dapat bervariasi amat besar di tempat yang berbeda dari suatu aliran air yang sama (membujur ataupun melintang dari poros arah aliran) dan dari waktu ke waktu. Di dalam aliran air yang besar atau sungai, arus dapat berkurang sedemikian rupa sehingga menyerupai kondisi air yang tergenang.

Welch (1980), membuat klasifikasi kecepatan arus yang dibagi dalam 5 kelompok, yaitu:

- a. Kecepatan arus > 100 cm/detik : tergolong sangat cepat
- b. Kecepatan arus $50 - 100$ cm/detik : tergolong cepat
- c. Kecepatan arus $25 - 50$ cm/detik : tergolong sedang
- d. Kecepatan arus $10 - 25$ cm/detik : tergolong lambat
- e. Kecepatan arus < 10 cm/detik : tergolong sangat lambat

c. Substrat

Sudaryanti dan Marsoedi (1995) menyatakan, substrat batuan umumnya ditemukan hampir di daerah berarus deras, sebaliknya substrat lumpur ditemukan di daerah yang berarus lambat. Sedangkan substrat pasir umumnya ditemukan di daerah peralihan antara arus deras dan arus lambat. Mengacu Sudaryanti (1997), substrat dibagi ke dalam beberapa jenis ukuran diameter substrat, yaitu:

- a. Batu bundar besar ("boulder") : > 256 mm
- b. Batu kecil ("cobble") : $64 - 256$ mm
- c. Kerikil kecil ("gravel") : $2 - 16$ mm
- d. Pasir ("sand") : $0,06 - 2$ mm
- e. Lumpur ("silt") : $0,004 - 0,06$ mm
- f. Tanah liat ("clay") : $< 0,004$ mm

2.13.2 Parameter Kimia Air

a. Derajat keasaman (pH)

pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam suatu larutan, melalui konsentrasi (sebetulnya aktivitas) ion hidrogen H^+ (Alaerts, 1984). Pada suasana asam logam Pb larut membentuk ion Pb^{2+} dengan demikian akan menjadi lebih mobil jika dibandingkan dalam bentuk partikel. Nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas suatu senyawa kimia, toksisitas logam memperlihatkan peningkatan pada pH rendah dan berkurang dengan meningkatnya pH. Nilai pH berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas. Pada $pH < 5$, alkalinitas dapat mencapai nol. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas (Effendi, 2003). pH yang ideal bagi kehidupan organisme air pada umumnya terdapat antara 7 sampai 8,5. Kondisi perairan yang bersifat sangat asam maupun sangat basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme dan respirasi (Barus, 2001). Haslam (1995) dalam Effendi (2003) berpendapat bahwa, tumbuhan air dapat menyerap logam, penyerapan logam oleh tanaman banyak terjadi pada perairan dengan pH rendah.

b. Karbondioksida (CO_2)

Karbondioksida merupakan gas yang sangat diperlukan dalam proses fotosintesis, di udara sangat sedikit $\pm 0,033\%$ dan di dalam air melimpah mencapai 12 mg/l. sumber CO_2 dalam air adalah difusi dari udara, proses dekomposisi bahan organik, air hujan dan air bawah tanah maupun hasil respirasi organisme (Arfiati, 2001). Gambaran tentang siklus karbon dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Siklus Karbon (Suhadaprawira, 2010).

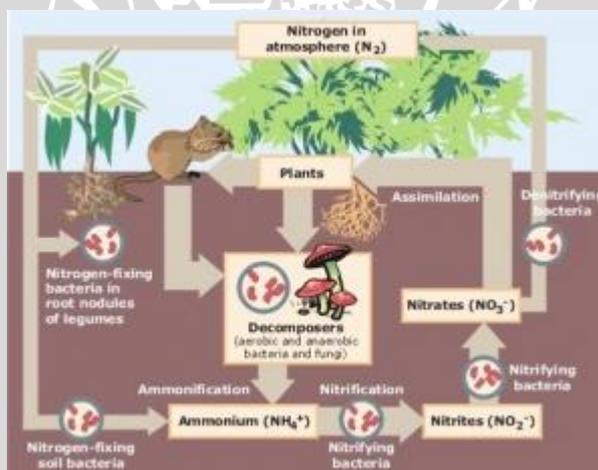
Bahan organik dan nutrien tidak dapat diserap secara langsung oleh tumbuhan air. Bahan organik dan nutrien yang mengandung unsur- unsur C, H, O, N, S dan P tersebut harus diuraikan terlebih dahulu oleh organisme baik secara aerobik maupun secara anaerobik. Asam – asam organik dan CO₂ yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik tersebut dapat diabsorpsi oleh tumbuhan air untuk melakukan fotosintesis. Pada waktu proses fotosintesis berlangsung, molekul – molekul air diambil dari media tumbuhnya sedangkan molekul – molekul karbondioksida diambil dari udara (Suprobowati, 2005).

c. Nitrat Nitrogen

Di alam terdapat tiga sumber utama nitrogen yaitu di udara (nitrogen bebas), senyawa anorganik (nitrat, nitrit, amoniak), dan di dalam senyawa anorganik (protein, urea dll). Dari ketiga bentuk tersebut yang dapat dijadikan indikator pencemaran adalah nitrogen anorganik (nitrat, nitrit, amoniak). Dalam air kehadiran amoniak dijadikan ukuran bahwa dalam air tersebut kemasukan bahan pencemar berupa kotoran hewan atau pupuk. Jika amoniak dirubah oleh bakteri maka akan dihasilkan nitrit dan kemudian nitrat (Sastrawijaya, 1991).

Nitrat dalam air dapat berasal dari penguraian amoniak oleh bakteri sehingga jika manusia membuang kotoran dalam air maka akan meningkatkan jumlah nitrat karena kotoran manusia mengandung amoniak. Penyebab tingginya konsentrasi nitrat dalam air lainnya adalah masukan dari limbah pertanian terutama pupuk, pembusukkan sisa tanaman dan hewan, pembuangan industri dan kotoran hewan (Sastrawijaya, 1991).

Nitrat merupakan hasil akhir dari reaksi biologi yaitu nitrogen anorganik. Limbah industri dan limbah domestik banyak mengandung nitrat yang dapat menyebabkan polusi apabila terjadi pencemaran limbah. Pada keadaan anaerob nitrit akan berubah menjadi ammonium, adanya proses nitrifikasi oleh bakteri *nitrosomonas* maka ammonium akan dirubah menjadi nitrat yang akan diserap oleh tumbuhan yang kemudian akan diolah menjadi protein dan selanjutnya akan menjadi sumber utama untuk pertumbuhan organisme perairan. Siklus nitrogen di perairan akan disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Siklus Nitrogen (Sefray, 2010).

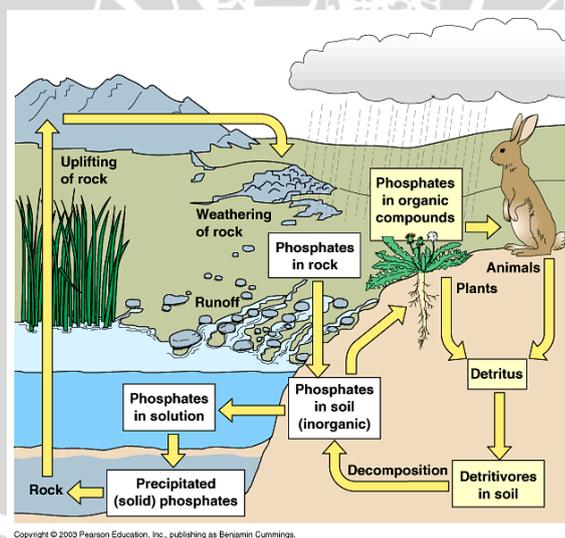
d. Orthofosfat

Fosfor merupakan unsur yang penting untuk segala bentuk kehidupan dalam perairan. Fotosintesis tidak terjadi tanpa tersedianya unsur fosfor, selain itu fosfor digunakan untuk pernafasan, produksi protein, pembelahan sel dan



pertumbuhan. Fosfor dalam perairan ditemukan dalam bentuk ortofosfat, metafosfat, polyfosfat. Orthofosfat merupakan bentuk fosfat yang langsung dapat dimanfaatkan bagi pertumbuhan fitoplankton, fosfor dapat hilang karena diserap oleh tanaman air dan bakteri. Tanaman dapat menyerap fosfor lebih dari kebutuhannya dan menyimpannya tetapi kebanyakan fosfor diserap oleh lumpur keras (Boyd, 1979).

Orhofosfat adalah senyawa fosfat yang berbentuk anorganik dan larut dalam air, sehingga dapat diserap oleh organisme nabati. Unsur fosfor merupakan faktor pembatas pertumbuhan algae, karena keberadaan di air yang sedikit dan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor fisika dan kimia air. Kebutuhan fosfat oleh algae hanya dalam jumlah tertentu dan sangat sedikit tergantung dari jenisnya dan apabila sampai berlebihan, maka akan terjadi pertumbuhan algae mempengaruhi kesuburan perairan (Subarijanti, 2002). Gambaran mengenai siklus fosfor di alam disajikan pada gambar 6.



Gambar 6. Siklus Fosfor (Suhadaprawira, 2010).

Fosfor banyak terdapat dalam air limbah atau air alam sebagai senyawa orthofosfat, polifosfat, fosfat organik. Orthofosfat adalah senyawa monomer seperti $H_3PO_4^-$, PO_4^{3-} Fosfat organik adalah P yang terikat dengan senyawa –

senyawa organik sehingga tidak berada dalam larutan secara lepas. Setiap senyawa fosfor tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi maupun terikat dalam sel organisme di air. Dalam air limbah, senyawa fosfat dapat berasal dari limbah penduduk, industri dan pertanian. Polifosfat dapat memasuki sungai melalui air buangan penduduk maupun industri yang menggunakan bahan deterjen yang mengandung fosfat, sedangkan fosfat organik terdapat dalam air buangan penduduk dan sisa makanan, fosfat organik dapat pula terjadi dari orthofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena bakteri dan tanaman menyerap fosfat dari pertumbuhannya (Raharjo, 1998).

2.11.3 Parameter Kimia Tanah

a. Reaksi Tanah

Reaksi tanah menunjukkan sifat kemasaman atau alkalinitas tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion tanah H^+ di dalam tanah, semakin masam tanah tersebut. Di dalam tanah selain H^+ dan ion – ion lain ditemukan pula ion OH^- , yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya H^+ . Pada tanah – tanah yang masam jumlah ion H^+ lebih tinggi daripada OH^- , sedang pada tanah alkalis kandungan OH^- lebih banyak daripada H^+ . Bila kandungan H^+ sama dengan OH^- maka tanah bereaksi netral yaitu mempunyai $pH = 7$ (Hardjowigeno, 1995). Sarief (1986) membuat kisaran pH tanah yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kisaran pH tanah

Reaksi Tanah	pH	Reaksi Tanah	pH
Paling masam (ekstrim)	$\leq 4,0$	Netral	6,5 – 7,5
Sangat asam	4,0 – 4,5	Agak basa	7,5 – 8,5
Asam	4,5 - 5,5	Basa	8,5 – 9,0
Agak asam	5,5 – 6,5	Sangat basa	9,0

b. Nitrat sedimen

Nitrogen adalah unsur yang berpengaruh cepat terhadap pertumbuhan tanaman. Bagian vegetative tanaman berwarna hijau gelap bila kecukupan N, karena N berfungsi sebagai regulator penggunaan kalium, fosfor dan unsur – unsur yang lain yang terlibat dalam proses fotosintesis. Bila kekurangan N, maka tanaman kerdil dan pertumbuhan perakaran mengalami penghambatan. Di lain pihak, bila N berlebihan akan terjadi penebalan dinding sel, jaringan sukulen (berair), sehingga tanaman mudah rebah ataupun terserang hama (Syekhfani, 1997).

Nitrogen di dalam tanah terdapat dalam berbagai bentuk yaitu protein (bahan organik), senyawa – senyawa amino, ammonium (NH_4^+), nitrat (NO_3^-). Hilangnya N dari tanah dapat disebabkan karena: 1) digunakan oleh tanaman dan mikroorganisme; 2) N dalam bentuk NH_4^+ dapat diikat oleh mineral liat sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman; 3) N dalam bentuk NO_3^- mudah dicuci oleh air hujan (Hardjowigeno, 1995).

c. Fosfat Sedimen

Fosfor dalam tanah berada dalam bentuk senyawa organik maupun inorganik. Bila dalam bentuk organik, maka perombakan merupakan proses penting dalam penyediaan P bagi tanaman. Fosfor organik dijumpai dalam bentuk asam nukleat. Fosfor inorganik umumnya dijumpai sebagai senyawa Ca, Fe, Al dan dalam larutan tanah serta terjerap pada permukaan kompleks padatan (Syekhfani, 1997).

Unsur P di dalam tanah berasal dari: bahan organik (pupuk kandang, sisa – sisa tanaman), pupuk buatan (TSP, DS), mineral – mineral di dalam tanah. Jenis – jenis P di dalam tanah dalam bentuk P organik dan P anorganik. Fungsi

P adalah untuk: pembelahan sel, pembentukan albumin, pembentukan bunga, buah dan biji dll (Hardjowigeno, 1995).

Hardjowigeno (1995) menyatakan, sebab – sebab kekurangan P di dalam tanah adalah: 1) Jumlah P di dalam tanah sedikit; 2) sebagian besar terdapat dalam bentuk yang tidak dapat diambil oleh tanaman; 3) terjadi pengikatan (fiksasi) oleh Al pada tanah masam atau Ca pada tanah alkalis.

2.14 Dampak Pb Terhadap Jaringan Daun Eceng Gondok

Timah hitam (Pb), yang diserap oleh tanaman akan memberikan efek buruk apabila kepekatannya berlebihan. Pengaruh yang ditimbulkan antara lain dengan adanya penurunan pertumbuhan dan produktivitas tanaman serta kematian. Penurunan pertumbuhan dan produktivitas pada banyak kasus menyebabkan tanaman menjadi kerdil dan klorosis. Kepekaan logam berat pada daun memperlihatkan batas toksisitas terhadap tanaman yang berbeda-beda (Kholidiyah, 2010).

Sumber utama kontaminan logam berat sesungguhnya berasal dari udara dan air yang mencemari tanah. Selanjutnya semua tanaman yang tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasi logam-logam tersebut pada semua bagian (akar, batang, daun dan buah). Kurniawan (2009) menyatakan bahwa, organ pengakumulasi logam berat Pb pada terbesar adalah daun.

Mahmood *et al* (2005) berpendapat, jaringan daun tanaman eceng gondok yang mengakumulasi bahan pencemar berbeda dengan jaringan daun eceng gondok yang tidak terkena. Semua ukuran sel yang terkena bahan pencemar seperti sel parenkim, sel palisade, sel epidermis mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan sel yang tidak terkena bahan pencemar.

3. MATERI DAN METODE PENELITIAN

3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah pengukuran kandungan logam berat timbal (Pb) pada eceng gondok (*Eichornia crassipes*), sedimen dan perairan serta parameter fisika, kimia air di Sungai Lesti Desa Gampingan Kecamatan Pagak Kabupaten Malang. Parameter biologi adalah penampang jaringan daun yang terkena Pb.

3.1.1 Alat-Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk pengambilan sampel di lapang, penanganan sampel di laboratorium, analisis logam berat Pb dan alat untuk analisis air.

- Alat untuk pengambilan sampel meliputi kotak pendingin, plastik pembungkus sampel, transek ukuran 1 m², pisau dan botol air sampel.
- Alat untuk analisis logam berat Pb, yaitu menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) merek Philips, series Pu-9100X
- Alat untuk analisis kualitas air meliputi spektrofotometer, biuret, pipet tetes, kotak standart, thermometer, botol air mineral, tali rafia, stop watch, tongkat skala, gelas ukur, beaker glass, erlenmeyer, cuvet, hot plate, cawan petri, tabung nessler, pipet volume, bola hisap, spatula.

3.1.2 Bahan-Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk pengambilan sampel di lapang, penanganan sampel di laboratorium, analisis logam berat Pb dan alat untuk analisis air

.Bahan untuk analisa kualitas air antara lain: Na_2CO_3 0,0454 N, PP, pH paper, aquades, NH_4OH (1:1), ammonium molybdat, SnCl_2 , kertas saring, tissue, air sampel, asam fenol disulfonik, dan kertas label.

- Bahan untuk analisis logam berat Pb meliputi aquades, aquatrides, HNO_3 1:3, N_2 cair, NaOH , larutan HNO_3 pekat 65%, larutan HClO_4 , larutan asam ascorbic dan larutan buffer Chlor asetat.

3.2 Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian skripsi ini adalah penelitian deskriptif dengan menggunakan metode penelitian survei. Menurut Arikunto (2005), penelitian deskriptif merupakan penelitian bukan eksperimen karena tidak dimaksudkan untuk mengetahui akibat dari suatu perlakuan. Dengan penelitian deskriptif peneliti hanya bermaksud menggambarkan atau menerangkan gejala.

Teknik pengambilan data pada penelitian ini dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Data primer

Sugiyono (2005) menyatakan, data primer adalah data yang secara langsung dikumpulkan di lapangan oleh orang yang melakukan penelitian atau yang bersangkutan yang memerlukannya. Data primer dalam penelitian ini berupa data kualitas air dan kandungan logam berat Pb pada air, sedimen, dan eceng gondok serta parameter fisika air – kimia air dan tanah.

2. Data sekunder

Surakhmad (1995) menyatakan, data sekunder adalah data yang telah lebih dahulu dikumpulkan dan dilaporkan oleh orang luar dari penyelidik sendiri, walaupun yang itu sesungguhnya adalah data asli. Data sekunder penelitian ini berupa laporan instansi terkait kepustakaan lain yang menunjang dalam penelitian. Analisis data statistik dan intepretasinya menggunakan Uji T berpasangan.

3.2.1 Penetapan Stasiun Pengamatan

Penetapan stasiun pengamatan ditentukan berdasarkan tata guna lahan di sekitar Sungai Lesti. Lokasi pengamatan dibagi menjadi tiga stasiun (lihat Lampiran 1), dengan jarak antar stasiun 400-700 meter. Adapun ketiga stasiun tersebut antara lain:

- Stasiun pertama, stasiun ini mewakili sebelah Timur keluar dari Desa Gampingan, selain itu terdapat pemukiman dan banyak areal pertanian serta ada juga beberapa industri kapur. Terdiri dari 4 transek dengan letak masing-masing 2 transek dari arah samping kanan dan kiri aliran sungai. Pengambilan sampel 2 transek sebelah kanan di campur jadi satu, begitu pula pengambilan sampel 2 transek sebelah kiri di campur jadi satu, sehingga dalam stasiun ini ada 2 titik sampel yang diambil dan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan dalam tiga minggu.
- Stasiun kedua, stasiun ini terletak di Desa Gampingan sendiri yang merupakan kawasan pabrik dan sedikit lahan untuk pertanian Stasiun ini berjarak 700 meter dari stasiun 1. Terdiri dari 4 transek dengan letak masing-masing 2 transek dari arah samping kanan dan kiri aliran sungai. Pengambilan sampel 2 transek sebelah kanan di campur jadi satu, begitu pula pengambilan sampel 2 transek sebelah kiri di campur jadi satu, sehingga dalam stasiun ini ada 2 titik sampel yang diambil dan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan dalam tiga minggu.
- Stasiun ketiga, stasiun ini terletak di Desa Gampingan bagian Utara yang banyak ditumbuhi berbagai jenis makrofit dan sedikit lahan pertanian. Stasiun ini merupakan muara dari Sungai Lesti yang bertemu dengan Sungai Brantas. Terdiri dari 4 transek dengan letak masing-masing 2 transek dari arah samping kanan dan kiri aliran sungai. Pengambilan sampel 2 transek sebelah kanan di campur jadi satu, begitu pula pengambilan sampel 2 transek sebelah

kiri di campur jadi satu, sehingga dalam stasiun ini ada 2 titik sampel yang diambil dan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

3.2.2 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel eceng gondok dalam penelitian ini dengan menggunakan transek berukuran 1m^2 , dimana dalam transek masing-masing sisi dibagi 10 bagian yang sama sehingga dalam satu terdapat 100 kotak kecil yang sama luasnya. Pengambilan sampel eceng gondok sendiri diambil berdasarkan beberapa kriteria yaitu: daun segar, ukuran yang sama (tinggi berkisar 40 - 50 cm, jumlah tangkai setiap rumpun relatif sama memiliki 6 - 7 cabang) (Lihat Lampiran 2). Dalam setiap stasiun terdapat 4 transek pengambilan sampel, 2 transek diambil sebelah kanan dari arah aliran sungai dan 2 transek lagi diambil sebelah kiri dari aliran sungai. Pengambilan sampel terutama eceng gondok dilakukan pencacahan terlebih dahulu berdasarkan akar, batang dan daun. Kemudian dari masing-masing bagian itu dimasukkan dalam botol ukuran 600 ml dengan diisi air sungai, setelah itu ditetesi HNO_3 pekat 65% sebanyak 1 ml. Begitu juga dengan air dan sedimen yang akan diukur kadar logam Pb-nya diperlakukan sama.

3.2.3 Metode Analisa Contoh

Analisa kualitas air dilakukan dengan berpedoman pada buku pedoman praktikum limnologi (2009). Sedangkan untuk mengukur logam berat digunakan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) merek Philips series Pu-9100X. metode analisa beberapa parameter yang diamati, secara singkat dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Metode Pengukuran Fisika dan Kimia Air

No	Parameter	Satuan / unit	Alat / Metode	Tempat pengukuran
1	Fisika <ul style="list-style-type: none"> • Suhu • Arus 	°C m / detik	Thermometer Konvensional	lapang lapang
2	Kimia Air <ul style="list-style-type: none"> • pH • Karbondioksida • Nitrat-nitrogen • Orthofosfat 	- mg / l mg / l mg / l	pH paper Spektrofotometer Spektrofotometer	lapang laboratorium laboratorium laboratorium
3.	Kimia Tanah <ul style="list-style-type: none"> • Nitrat • Fosfat • Reaksi tanah 	mg / kg mg / kg mg / kg		laboratorium laboratorium laboratorium
4	Sedimen <ul style="list-style-type: none"> • Tekstur 	-	Segitiga tanah tekstur	laboratorium
5.	Logam berat Pb <ul style="list-style-type: none"> • Eceng gondok (daun, batang, akar, dan air) • Sedimen • Air 	mg / l mg / l mg / l	AAS AAS AAS	laboratorium laboratorium laboratorium
5	Biologi <ul style="list-style-type: none"> • Jaringan daun 		FAA segar	laboratorium

3.2.4 Prosedur Kerja Pengukuran Parameter

3.2.4.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Pengukuran suhu dengan menggunakan alat yaitu thermometer Hg. Pengukuran suhu pada penelitian ini diacu menurut Tim Praktikum Limnologi (2010), adapun tahapan pengukuran adalah sebagai berikut:

- Memasukkan thermometer ke dalam perairan sekitar 10 cm dan ditunggu sekitar 2 menit sampai air raksa dalam skala thermometer berhenti pada skala tertentu

- Mencatat dalam skala °C
- Membaca skala pada saat thermometer masih berada di dalam air

b. Kecepatan Arus

Pengukuran kecepatan arus diacu menurut Tim Praktikum Limnologi (2010), adapun cara kerja pengukuran sebagai berikut:

Cara kerja: Menyiapkan 2 botol air mineral yang dihubungkan dengan tali rafia. Salah satu botol diisi air sebagai pemberat dan yang lain dibiarkan kosong sebagai pelampung. Kemudian menghanyutkan kedua botol tersebut mengikuti arus dan dihitung waktu yang diperlukan hingga botol menempuh jarak sepanjang 10 meter dengan menggunakan stopwatch setelah itu mencatat waktu tempuhnya.

Menghitung kecepatan arus dengan rumus:

$$\text{Kecepatan Arus (m/s)} = \frac{\text{panjang tali (meter)}}{\text{waktu yang dibutuhkan hingga tali menegang (d etik)}}$$

c. Sedimen

Prosedur analisis sedimen diacu menurut Tim Praktikum Ilmu Tanah (2009), adapun tahapannya adalah sebagai berikut:

Di lapang tekstur tanah dapat ditentukan dengan memijit tanah basah diantara jari-jari, sambil dirasakan adanya butir-butir pasir, debu dan liat sebagai berikut: Pasir: rasa kasar sangat jelas, tidak melekat, tidak dapat dibentuk bola; Pasir berkoral: rasa kasar sangat jelas, terdapat pecahan karang mati, tidak melekat; Pasir berlempung: rasa kasar jelas, sedikit sekali melekat, dapat dibentuk bola yang mudah sekali hancur; Lempung berpasir: rasa kasar agak jelas, agak melekat, dapat dibuat bola dan mudah hancur; Lempung: rasa tidak kasar, dan tidak licin, agak melekat, dapat dibentuk bola agak teguh.

3.2.4.2 Parameter kimia

a. Derajat Keasaman Air (pH Air)

Derajat keasaman (pH) perairan dapat diukur dengan menggunakan pH paper atau pH pen. Pengukuran pH dengan menggunakan pH paper menurut Tim Praktikum Limnologi (2010), meliputi :

- Memasukkan pH paper ke dalam air sekitar 2 menit
- Mengkibas-kibaskan pH paper sampai setengah kering
- Mencocokkan perubahan warna pH paper dengan kotak standar

b. Karbondioksida (CO₂)

Pengukuran karbondioksida diacu menurut Tim Praktikum Limnologi (2010), adapun cara untuk mengukur kadar CO₂ yaitu sebagai berikut:

- Memasukkan 25 ml air sampel ke dalam Erlenmeyer
- Menambahkan 1-2 tetes indikator PP, bila air berwarna merah berarti air tersebut tidak mengandung CO₂ bebas, bila air sampel tetap tidak berwarna, segera mentitrasi sampel dengan Na₂CO₃ 0,0454 N sampai warna menjadi merah (pink) pertama kali
- Menghitung kadar CO₂ dengan rumus :

$$\text{CO}_2 \text{ bebas (mg/L)} = \frac{\text{ml (titran)} \times \text{N (titran)} \times 22 \times 1000}{\text{ml air sampel}}$$

c. Nitrat - Nitrogen Air

Pengukuran nitrat - nitrogen diacu menurut Tim Praktikum Limnologi (2010), adapun cara untuk mengukur kadar nitrat - nitrogen yaitu sebagai berikut:

Pereaksi :

- Larutan standar nitrat : Melarutkan 0.607 gr Na_2NO_3 (p.a) dalam 1 liter aquadest. Menguapkan 50 ml larutan dalam cawan porselin hingga kering. Menambahkan 2 ml larutan asam fenol disulfonik pada larutan yang sudah dingin kemudian encerkan sampai 500 ml dengan aquadest (1 ml larutan standar ini mengandung 0,01 ml nitrat-nitrogen).
- Menyiapkan larutan standar pembanding seperti yang ditampilkan Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Larutan standart nitrat

Larutan standar nitrat (ml)	Tambah aquadest sampai menjadi (ml)	Nitrat-N yang dikandung (ppm)
0,1	100	0,05
0,2	100	0,1
0,5	100	0,25
1	100	0,5
1,5	100	0,75
2	100	1,00

Cara kerja:

- Menyaring 25 ml sampel dan menuangkan ke dalam cawan porselin / Petri dish
- Menguapkan diatas pemanas sampai kering hati – hati jangan sampai pecah dan didinginkan
- Menambahkan 1 ml asam fenol disulfonik, aduk dengan pengaduk gelas dan encerkan dengan 10 ml aquadest.
- Menambahkan NH_4OH (1:1) sampai terbentuk warna, encerkan dengan aquadest sampai 25 ml. Kemudian masukkan dalam cuvet.
- Membandingkan dengan larutan standar pembanding yang telah dibuat, baik secara visual atau dengan spektrofotometer (pada panjang gelombang 410 μm)

d. Orthofosfat

Pengukuran orthofosfat diacu menurut Tim Praktikum Limnologi (2010), adapun cara untuk mengukur kadar orthofosfat yaitu sebagai berikut:

Larutan standar fosfat : Melarutkan 0,2195 gr KH_2PO_4 dan tambahkan aquadest sampai 1000 ml. Larutan ini mengandung 50 ppm fosfor. Mengambil 5 ml larutan tersebut dan encerkan sampai 50 ml dengan aquadest. Larutan ini mengandung 5 ppm fosfor.

Cara kerja:

- Menyiapkan larutan standar pembanding seperti yang ditampilkan Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Larutan standar fosfat

Larutan standar yang mengandung pospor 5 ppm (ml)	Tambah aquadest sampai menjadi (ml)	Kadar fosfor dalam larutan ini
0,5	25	0,1
1,25	25	0,25
2,5	25	0,5
3,75	25	0,75
5	25	1

- Menambahkan 1 ml ammonium molybdat - asam sulfat ke dalam masing-masing larutan standar yang telah dibuat dan menggoyangkannya sampai larutan bercampur.
- Menambahkan 2 tetes larutan SnCl_2 dan kocok. Warna biru akan timbul (10-12 menit) sesuai dengan kadar fosfornya.
- Menuangkan 25 ml air sampel ke dalam Erlenmeyer berukuran 50 ml.
- Menambahkan 1 ml amonium molybdat.
- Menambahkan 2 tetes SnCl_2 dan kocok.

- Membandingkan warna biru air sampel dengan larutan standar, baik secara visual atau dengan menggunakan spektrofotometer (panjang gelombang 690 μm).

3.2.4.3. Analisis Logam Pb

Analisis logam Pb yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: Analisis Pb di sedimen, bagian – bagian eceng gondok, dan analisis Pb di air.

Pengukuran logam Pb baik sampel padat (bagian – bagian eceng gondok dan substrat) maupun sampel cair (air sampel) dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Brawijaya Malang.

Metode analisis sampel padat (bagian – bagian eceng gondok dan sedimen) Pb diacu menurut Departemen Pekerjaan Umum (1990), sebagai berikut:

a. Analisis Logam Berat Pada Sampel Padat

- Metode analisis logam Pb pada sampel padat ± 15 gr dengan timbangan Sartorius untuk mendapatkan berat basah.
- Mengoven sampel padat pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ selama 3 – 5 jam sampai mendapat berat konstan.
- Menimbang berat konstan dengan timbangan Sartorius sebagai berat kering.
- Memasukkan sampel yang sudah kering ke dalam beaker glass 100 ml.
- Menambahkan HNO_3 dengan perbandingan 1 : 1 (HNO_3 : HCl) sebanyak ± 10 – 15 ml.
- Memanaskan di atas hotplate di dalam kamar asam sampai ± 3 ml.
- Menyaring dengan kertas saring ke dalam labu ukur 50 ml.
- Mengulang proses penyaringan sampai tanda batas labu ukur dengan terlebih dahulu menambahkan 15 ml aquades ke dalam beaker glass tempat sampel.

- Menganalisis sampel dengan menggunakan mesin Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) pada panjang gelombang 283,3 nm.
- Menyiapkan larutan standar dari kelarutan Pb dengan konsentrasi 0; 0,05; 0,1; 0,5; 1; 2; 4 ppm.
- Menyiapkan larutan standar dari kelarutan Pb dengan mesin AAS dan mencatat nilai absorbansinya kemudian membuat kurva kalibrasinya. Larutan standar ini berfungsi untuk membantu nilai konsentrasi logam Pb pada sampel, karena prinsip kerja mesin AAS hanya menentukan nilai absorbansi dengan sampel.

b. Analisis Logam Berat Di Air

Hutagalung (1997) menetapkan, metode analisis sampel cair (air sampel) adalah sebagai berikut:

- Memasukkan sampel cair ke dalam beaker glass 50 ml.
- Menambahkan HNO_3 encer 2,5 N sebanyak $\pm 10 - 15$ ml.
- Memanaskan sampai mendidih dan mendinginkannya.
- Mengeringkan sampel tersebut ke dalam labu ukur 50 ml.
- Menambahkan aquades sampai tanda batas dan mengocoknya sampai homogen.
- Menganalisis dengan menggunakan mesin AAS dengan panjang gelombang 283,3 nm dan mencatat absorbansinya. Prinsip perhitungan dan pembuatan larutan standar sama dengan sampel padat

3.2.4.4 Faktor Biologi

Pengamatan Jaringan Daun

Tahapan pembuatan preparat awetan jaringan tumbuhan menurut Suntoro (1987) adalah sebagai berikut:

- Bagian tumbuhan yang akan dijadikan preparat dimasukkan ke dalam larutan FAA.
- Lalu bahan diaspirasi untuk menghilangkan udara dan jaringan. Setelah diaspirasi bahan menuju perlakuan dengan parafin,
- Dilanjutkan dengan proses penanaman bahan dalam parafin cair dan dicetak dalam bentuk persegi panjang.
- Bahan dalam parafin yang mengeras selanjutnya dipotong menggunakan mikrotom.
- Potongan preparat kemudian diletakkan di atas kaca obyektif yang sebelumnya telah diolesi dengan houpe-adhesive dan ditetesi formaldehid 4%.
- Preparat kemudian dipanaskan di atas slide warmer hingga kering, agar preparat melekat pada kaca obyektif,
- Selanjutnya preparat memasuki pewarnaan.
- Preparat yang telah diwarnai ditetesi entelan. lalu ditutup dengan kaca penutup (cover glass)
- Selanjutnya preparat diberi label dan siap digunakan



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Kecamatan Pagak terletak di Kabupaten Malang (lihat Lampiran 3). Menurut Kantor Desa (2009), memiliki curah hujan 2670 mm/tahun dan terletak pada ketinggian 360 meter di atas permukaan laut dengan suhu 25⁰C-33⁰C, mempunyai luas wilayah 5.053.407 ha. Menurut Kantor Desa (2009), batas-batas wilayah Kecamatan Pagak meliputi:

Sebelah utara : Kecamatan Sumber Pucung

Sebelah selatan : Samudera Hindia

Sebelah timur : Kecamatan Bantur dan Kecamatan Pagelaran

Sebelah barat : Kecamatan Kalipare dan Kecamatan Donomulyo

Desa Gampingan merupakan salah satu desa di Kecamatan Pagak yang terletak paling Utara. Menurut Kantor Desa (2009), memiliki luas dataran 144,2 Ha dan luas perbukitan / pegunungan yaitu 1281,903 Ha. Dialiri dua sungai yang juga sebagai pembatas Desa Gampingan dengan desa-desa lainnya yaitu Sungai Brantas yang membatasi Desa Gampingan dengan Desa Sengguruh dan Desa Jenggolo, Sungai Lesti yang membatasi Desa Gampingan dengan Desa Kanigoro. Potensi penduduk Desa Gampingan meliputi kegiatan di bidang perikanan, pertanian, kehutanan, industri kecil dan industri besar. Adapun potensi dibidang perikanan yaitu budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada karamba jaring sekat di Sungai Brantas tepatnya di Dusun Dempok, potensi dibidang Pertanian yaitu padi, tebu, papaya, dan kacang. Potensi dibidang kehutanan yaitu pohon jati, potensi dibidang industri ada dua macam skala yaitu industri kecil dan industri besar. Untuk industri kecil yaitu pembuatan batu kapur dari batu gamping, untuk industri besar yaitu pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna.

Menurut Irfanto (2011), batas-batas wilayah Desa Gampingan terdiri dari:

- Sebelah utara : Desa Sengguruh, Desa Jenggolo, Desa Kanigoro
- Sebelah selatan : Desa Pagak
- Sebelah timur : Desa Sumberejo
- Sebelah barat : Desa Tlogorejo

Menurut Balai Pengelolaan Aliran Sungai Brantas (2007), Sungai Lesti termasuk dalam DAS Brantas yang terdapat di bagian hulu (Sub DAS Brantas hulu) dan merupakan Sub DAS prioritas, sumber air Sungai Lesti berasal dari Gunung Semeru. Luas seluruh Sub DAS Lesti adalah 58.384 ha, terbagi sub-sub DAS yaitu Lesti Hulu (28.790 ha), Genteng (11.551 ha) dan Lesti Hilir (18.043 ha). Kondisi tanah di Sub DAS Lesti sebagian besar berupa lempung berpasir (6.696 Ha), liat (20.519 Ha), Jenis Tanah di Sub Das lesti terdiri dari alluvial (12.665 Ha), mediteran (18.123 Ha). litososol (4.021 Ha). Titik pertemuan Sungai Lesti dan Sungai Brantas terletak di Desa Gampingan Kecamatan Pagak Kabupaten Malang. Penelitian ini dilaksanakan di Sungai Lesti bagian hilir terletak di Desa Gampingan, Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang. Sungai Lesti telah mengalami perubahan fungsi tata guna lahan menjadi daerah pertanian dan hortikultura pada sempadan kanan maupun kiri sungai. Aktivitas pertanian dan hortikultura dikelola sendiri oleh petani yang beraktivitas di sekitar sungai. Selain itu Sungai Lesti juga berubah fungsi menjadi daerah pembuangan limbah cair yang dilakukan oleh pihak pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna. Sub DAS Sungai Lesti menjadi masukan yang penting bagi DAS Brantas di mana DAS Brantas berperan penting dalam sumber irigasi bagi pertanian, perikanan dan dalam pembangkit listrik tenaga air Waduk Sengguruh.

4.2 Deskripsi Stasiun Pengambilan Sampel

4.2.1 Stasiun 1

Stasiun ini mewakili terletak di sebelah Timur Desa Gampingan, terdapat pemukiman dan banyak areal pertanian serta ada juga industri pembuatan kapur di sempadan kiri aliran sungai yang berjarak ± 100 meter dari bibir sungai. Kondisi perairan sedikit keruh bersubstrat lempung berpasir, pada stasiun ini sempadan kanan dan kiri sungai berupa sawah yang ditanami padi. Lebar sungai ± 33 meter dengan kedalaman $\pm 3,5$ meter pada titik tengah. Stasiun 1 banyak dijumpai beberapa jenis tanaman yang paling dominan yaitu eceng gondok, kangkung, dan kayu apuh. Kondisi stasiun 1 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Stasiun 1

Keterangan:

← : arah aliran sungai

4.2.2 Stasiun 2

Stasiun ini mewakili titik tengah dari Desa Gampingan, terdapat pemukiman dan areal pertanian serta ada juga industri kertas PT. Ekamas Fortuna yang membuang limbah cairnya ke sungai terletak di sempadan kiri aliran sungai yang berjarak ± 50 meter dari bibir sungai. Kondisi perairan sedikit keruh bersubstrat lempung berpasir. Stasiun ini, $\pm 20\%$ pada sempadan kanan dan kiri sungai berupa sawah yang ditanami padi, selain itu pada stasiun ini banyak dijumpai beberapa jenis tanaman air yang paling dominan yaitu eceng gondok, dan kangkung. Lebar sungai ± 30 meter dengan kedalaman $\pm 3,5$ meter pada titik tengah. Kondisi stasiun 2 dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Stasiun 2

Keterangan:

← : arah aliran sungai

4.2.3 Stasiun 3

Stasiun ini berada dibagian Utara dari Desa Gampingan, daerah ini merupakan muara Sungai Lesti yang masuk ke Sungai Brantas. Kondisi perairan sedikit keruh bersubstrat lempung berpasir, stasiun ini di sebelah kanan dan kiri sungai banyak dijumpai beberapa jenis tanaman yang paling dominan yaitu eceng gondok, dan kangkung. Lebar sungai ± 35 meter dengan kedalaman ± 3 meter pada titik tengah. Sempadan kanan memiliki lebar lebih dari ± 20 meter, sedangkan untuk sempadan kiri ± 10 meter. Kondisi stasiun 3 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Stasiun 3

Keterangan:

← : arah aliran sungai

4.3 Pabrik Kertas PT.Ekamas Fortuna

4.3.1 Sejarah berdirinya

Pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna merupakan anak cabang dari pabrik kertas PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia Tbk yang berlokasi di Desa Gampingan Kecamatan Pagak Malang Jawa timur, memiliki luas tanah 255,150 m², luas taman 166,110 m², dan luas bangunan 70,563 m² didirikan pada tahun 1995. Menurut hasil wawancara dengan Kohar (2011), menjelaskan bahwa sebelumnya pabrik PT. Ekamas Fortuna ini bernama PT. Ayu Wangi yang didirikan pada bulan juli 1984 yang bergerak pada pengolahan bahan baku pembuat rokok. PT.Ayu Wangi ini merupakan anak cabang dari pabrik PT.Bentoel Group. Pada tahun 1995 terjadi pergantian kepemilikan oleh pihak Tommy Soeharto menjadi pihak Bakrie hingga saat ini. Dari pergantian kepemilikan itu juga mengakibatkan perubahan nama perusahaan dari PT.Ayu Wangi menjadi PT.Ekamas Fortuna begitu juga sektor produksinya dari bahan baku rokok menjadi bahan baku kertas, untuk karyawannya sebagian ada yang ikut pindah bersama PT.Ayu Wangi bekerja kepada PT.Bentoel Group di Karanglo dan sebagian lagi tetap bekerja di pabrik yang lama berstatus sebagai karyawan PT.Ekamas Fortuna. Hal ini dilakukan oleh keduabelah pihak masing-masing manajemen pada saat proses transisi kepemilikan untuk memberi kebebasan karyawan memilih pekerjaan yang diinginkan yaitu mengikuti PT. Ayu Wangi atau PT. Ekamas Fortuna. Pada saat ini seiring perkembangannya untuk membantu produksi kertas yang permintaannya semakin meningkat, didirikan sebuah gedung produksi yang sangat besar dan luas semua tanah milik warga disekitar areal pabrik dibeli dan juga membuka kesempatan pelamar kerja.



Gambar 10. Bagian Depan Pabrik Kertas PT. Ekamas Fortuna.

4.3.2 Proses Produksi

4.3.2.1 Penyediaan Bahan Baku

PT. Ekamas Fortuna dikenal sebagai salah satu basis pabrik kertas Indonesia dan pabrik kertas dikonversi berdasarkan konsep daur ulang, dengan memaksimalkan konten daur ulang, sumber serat bertanggung jawab dan menerapkan praktek-praktek produksi bersih produsen kertas, pemasok dan pembeli secara tidak langsung dapat mengurangi dampak perubahan iklim industri kertas. Menurut hasil wawancara dengan Kohar (2011), menjelaskan bahwa bahan bakunya kertas bekas pabrik daur ulang kertas ini diperoleh dari pelanggan lokal seperti: Batam, Riau, Jakarta, Surabaya dll dan ada juga yang impor dari Afrika Selatan, Taiwan, Australia, Cina, Vietnam, dan Singapura. Bahan baku kertas bekas tersebut berupa kertas bekas yang ditumpuk jadi kotak (*afva*). Selain pembelian kertas bekas, potongan kertas yang rusak atau tidak digunakan lagi dari mesin kertas juga digunakan kembali. Selain bahan baku utama, untuk membuat kertas diperlukan juga beberapa bahan penolong seperti bahan pewarna dan bahan-bahan aditif yang dipergunakan.

4.3.2.2 Proses Pembuatan Kertas

Berdasarkan hasil wawancara dengan kohar (2011), Proses pembuatan kertas di unit produksi mesin (PM) I dan II ini dibagi tiga tahap, yaitu : penyiapan serat, pembentukan lembaran kertas dan *Finishing*. Berikut tahapan pembentukan lembaran kertas yang terdiri dari :

1. *Draining*

Tahap ini bertujuan mengurangi kadar air. Pembuatan lembaran kertas yang terbentuk sesuai dengan lebar mesin.

2. *Pressing*

Tahap ini bertujuan mengeluarkan air dari lembaran basah secara mekanis dengan cara menekan lembaran basah di antara dua roll yang berputar. Ada penambahan bahan kimia untuk memperbaiki sifat fisik kertas.

3. *Drying*

Tahap ini bertujuan menghilangkan kelembaban dari lembaran kertas dengan cara pemanasan atau penguapan.

Finishing merupakan tahap akhir dari proses produksi sebelum kertas dipasarkan. Prinsip dari *finishing* adalah memotong dan membentuk kertas agar memiliki bentuk permukaan yang baik. Selain itu, dilakukan pembungkusan dan pelabelan kertas yang berbentuk rol yang akan dipasarkan.

4.3.3 Produk Yang Dihasilkan

Berdasarkan profil perusahaan PT. Ekamas Fortuna (2010), bahwa kapasitas produksi PT. Ekamas Fortuna bisa mencapai 14.000 ton / bulan. Jenis produk kertas yang dihasilkan berdasarkan ukuran diameternya antara lain: kraft liner, core board, core tube, medium liner. Berikut gambar 11 merupakan masing-masing produk diatas:



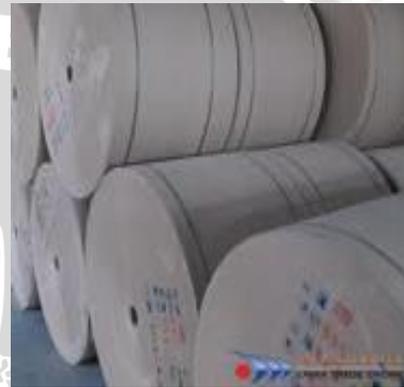
White top kraft liner



Core Tube



Medium liner



Core board

Gambar 11. Macam-macam produk yang dihasilkan

4.3.4 Pengolahan Limbah Cair PT. Ekamas Fortuna

Berdasarkan hasil wawancara dengan Kohar (2011), Pengolahan limbah cair di PT Ekamas Fortuna secara umum terdiri dari :

1. Pengolahan pendahuluan
2. Pengolahan primer
3. Pengolahan sekunder
4. Pengolahan lumpur

1. Pengolahan Pendahuluan

Pengolahan pendahuluan terdiri dari penyaringan, pencampuran, dan penghilangan pasir.

1) Penyaringan

Penyaringan di PT. Ekamas Fortuna terdiri dari 2 jenis, yaitu penyaringan kasar dan penyaringan halus.

a) Penyaringan kasar

Limbah cair dari unit IV masuk ke penyaringan kasar. Fungsi dari penyaringan kasar adalah memisahkan kotoran-kotoran yang besar dan kasar seperti kertas, kayu dan sebagainya.

b) Penyaringan halus

Limbah cair dari penyaringan kasar masuk ke penyaringan halus. Alat ini dilengkapi dengan pengeruk mekanik yang bergerak secara periodik. Berfungsi menyaring kotoran-kotoran yang lebih kecil dan yang terlewatkan dari penyaring kasar.

2) Netralisasi

Limbah cair yang berasal dari masing-masing *plant* di PT Ekamas Fortuna memiliki pH yang berbeda-beda sehingga tujuan dari netralisasi ini untuk menyamakan pH limbah cair. Akibatnya dalam proses ini dihasilkan buih. Penetrulan atau pengaturan pH limbah cair industri pulp dan kertas yang dilakukan PT Ekamas Fortuna dengan pencampuran limbah cair. Limbah cair yang berbeda pH-nya ini dapat dicampurkan (lihat Gambar 12) dalam jumlah yang sesuai sehingga dapat diperoleh limbah cair dengan sifat netral atau mendekati netral.



Gambar 12. Limbah Cair Pada bak pencampuran

3) Penghilangan pasir

Limbah cair hasil pencampuran di bak pencampuran masuk ke tangki penghilang pasir. Pada tahap ini, limbah cair dihilangkan zat padatnya karena dapat mengakibatkan abrasi atau timbul deposit dalam sistem perpipaan. PT Ekamas Fortuna memiliki 2 unit tangki ini dilengkapi dengan kompresor yang berfungsi untuk mencegah mengerasnya endapan yang dapat mengganggu proses pengolahan.

2. Pengolahan Primer

limbah cair masuk ke bak pengendapan I melalui bagian tengah dasar tangki yang di atasnya diberi pengaduk agar terjadi flokulasi. Tujuan flokulasi adalah membentuk partikel menjadi lebih besar sehingga sifatnya lebih mudah dipisahkan. Bak pengendapan I terdiri dari 2 unit tangki. Masing-masing bak dilengkapi dengan scrapper. Scrapper bekerja secara mekanis dan berputar mendorong lumpur ke bagian tengah untuk selanjutnya dikeluarkan melalui lubang. Scrapper dilengkapi dengan pengumpul sampah yang berfungsi untuk mengumpulkan sampah atau kotoran-kotoran yang terdapat dipermukaan, untuk kemudian ditampung ke dalam scum pit.

3. Pengolahan sekunder

Ada dua buah unit pengolahan sekunder, yaitu tangki aerasi dan bak pengendapan sekunder.

1) Tangki Aerasi

Limbah cair dari pengolahan primer ditampung melalui pipa-pipa atau saluran yang dipasang radial dan kemudian dialirkan ke pintu masuk aerasi untuk diolah secara biologis. Unit pengolahan biologi ini berupa tangki aerasi dengan dimana di atas tangki-tangki tersebut terdapat baling-baling yang berputar yang berfungsi untuk mengalirkan oksigen ke dalam limbah cair tersebut sehingga tercipta kondisi yang aerob.

Pada tangki aerasi terdapat penambahan lumpur aktif yang merupakan pengolahan secara biologi (Lihat Gambar 13). Proses pengolahan secara biologi pada prinsipnya adalah memanfaatkan populasi mikroorganisme yang dapat menguraikan zat organik terlarut dalam limbah cair menjadi bahan seluler yang baru dan sumber tenaga. Pengolahan biologi dengan proses lumpur aktif sering dipakai dalam industri apabila diperlukan efisiensi yang tinggi sedangkan lahan yang tersedia sangat terbatas. Proses ini sangat dipengaruhi oleh adanya perubahan pH, suhu, konsentrasi zat padat tersuspensi dan zat lainnya yang ada di dalam limbah cair. Keberhasilan dari proses lumpur aktif sangat tergantung pada populasi mikroorganisme yang terbentuk endapan lumpur yang dapat mendegradasi senyawa organik dalam limbah cair secara aerobik. Dari massa lumpur yang terbentuk kemudian dilakukan pemisahan antara padatan dan cairannya, sebagian dari endapan disirkulasi untuk dipakai kembali dan sisanya dibuang.



Gambar 13. Tangki aerasi Saat Diberi Aerasi

Pada proses ini kecepatan aktivitas bakteri ditingkatkan dengan cara memasukkan udara dan lumpur yang mengandung bakteri ke dalam tangki sehingga lebih banyak mengalami kontak dengan air buangan yang sebelumnya telah mengalami proses penanganan primer. Air buangan, udara dan lumpur aktif tetap mengalami kontak selama beberapa jam di dalam tangki aerasi. Selama proses ini bahan buangan organik dipecah menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana oleh bakteri yang terdapat di dalam lumpur aktif.

2) Bak Pengendapan II

Pada bak ini, lumpur naik ke atas melalui pipa-pipa untuk menyamakan permukaan level air. Air yang sudah jernih pada permukaan bak langsung dibuang menuju pipa keluar. Resirkulasi bertujuan untuk pengurangan kadar solid dan penambahan bakteri pada lumpur aktif. Limbah cair yang keluar dari bak pengendapan sekunder dapat langsung dialihkan untuk pengairan sawah penduduk, sedangkan endapannya berupa lumpur dialirkan kembali ke tangki aerasi.



Gambar 14. Outlet dalam pabrik

4. Pengolahan lumpur

Proses pengolahan lumpur ini secara mekanis merupakan treatment untuk memproses limbah (dalam bentuk endapan) ke dalam bentuk padatan. Endapan dari bak pengendapan II disirkulasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Sebagian masuk ke tangki aerasi, sedangkan sebagian lagi masuk ke tangki homogenisasi dan ditempa di mesin press. Kemudian Air dari endapan tersebut diserap dan filtratnya dialirkan kembali ke bak pengendapan pertama. Limbah padat yang dihasilkan dari mesin press merupakan hasil akhir pengolahan limbah dan sudah berbentuk padatan. Limbah ini kemudian ditampung dan dikeluarkan ke area pabrik.

4.3.5 Pembuangan akhir limbah yang dihasilkan

Berdasarkan hasil wawancara dengan Kohar (2011), menjelaskan bahwa buangan akhir air limbah pabrik kertas mengandung Air buangan (*Sludge*) yang mengandung Cl, Al, Hg, Pb, Cu, Mn dan bahan organik, serta endapan yang tinggi. Selain itu berupa air pencucian pulp, Kondensat, lindi hitam, zat pemutih serta soda.

Karakteristik dari limbah cair pabrik adalah warnanya yang kehitaman atau abu-abu keruh, bau yang khas, kandungan padatan terlarut dan padatan

tersuspensi yang tinggi, COD yang tinggi dan tahan terhadap oksidasi biologis.

Selain itu pabrik juga menghasilkan limbah beracun seperti :

- a. limbah korosif yang dihasilkan dari penggunaan asam dan basa kuat dalam proses pembuburan kertas
- b. limbah pewarna dan tinta yang mengandung logam berat, warna air limbah yang hitam tidak mudah terurai secara alami sehingga meninggalkan warna yang persisten pada badan air penerima dan akan menghambat fotosintesis dan proses pembersihan alami *self purification*.

Saluran pembuangan limbah yang kedua berupa saluran selokan besar dengan debit limbah yang besar (lihat pada Lampiran 4). Air limbah pada saluran ini langsung masuk ke sungai yang akibatnya menimbulkan pendangkalan sungai serta kekeruhan sebagai akibat keberadaan limbah sludge terutama pada tepi sungai di sekitar areal pabrik. Limbah sludge yang berada pada tepian sungai akan menempel dan menutupi tanaman air terutama enceng gondok, sehingga akan mengganggu baik proses fotosintesis dan respirasinya tanaman itu sendiri.

Pada saluran utama pembuangan limbah sludge pabrik ada pintu saluran yang menghubungkan ke parit – parit sawah dengan debit limbah yang relatif kecil (lihat pada Lampiran 5), pada saluran ini berperan sebagai saluran irigasi yang akan mengairi beberapa petak sawah di sekitar areal pabrik. Limbah sludge yang masuk petak sawah dan mencemarinya jika dalam keadaan kekurangan air maka sludge akan menutupi pori – pori tanah. Sedangkan limbah padat lainnya berupa plastik dan abu batubara yang dari proses produksi. Kedua limbah ini masih bernilai ekonomi karena untuk limbah plastik dimanfaatkan masyarakat sekitar untuk bahan bakar pembuatan gamping, sedangkan abu dari sisa pembakaran batubara dimanfaatkan pihak pabrik sendiri untuk bahan baku pembuatan batako

4.4 Karakteristik Sampel Eceng Gondok

Eceng gondok sering dipilih menjadi media penyerapan logam berat dikarenakan kemampuannya tahan dalam perairan tercemar dan perkembangbiakan yang cepat. Widagdo (2005) menyatakan bahwa untuk menyerap polutan maka tumbuhan yang digunakan harus memenuhi syarat, yaitu : 1) Mempunyai stomata yang banyak, 2) Mempunyai ketahanan terhadap polutan tertentu, dan 3) Mempunyai tingkat pertumbuhan yang cepat.

Eceng gondok yang diambil dari Sungai Lesti, Kepanjen memiliki kriteria (Lihat Gambar 15) sebagai berikut:

1. Daun segar (berwarna hijau),
2. Tinggi relatif sama (berkisar ± 40 cm),
3. Jumlah tangkai setiap rumpun relatif sama (6 atau 7 cabang).



Gambar 15. Sampel Eceng Gondok

4.5 Data Pengukuran Logam Berat Pb dan Kualitas Air

4.5.1 Data Logam Berat Pb Pada Air dan Eceng Gondok

a. Timbal (Pb) Pada Air

Hasil analisis kimia sampel air Sungai Lesti menunjukkan adanya kandungan Pb pada sampel air sungai tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 5, sebagai berikut:

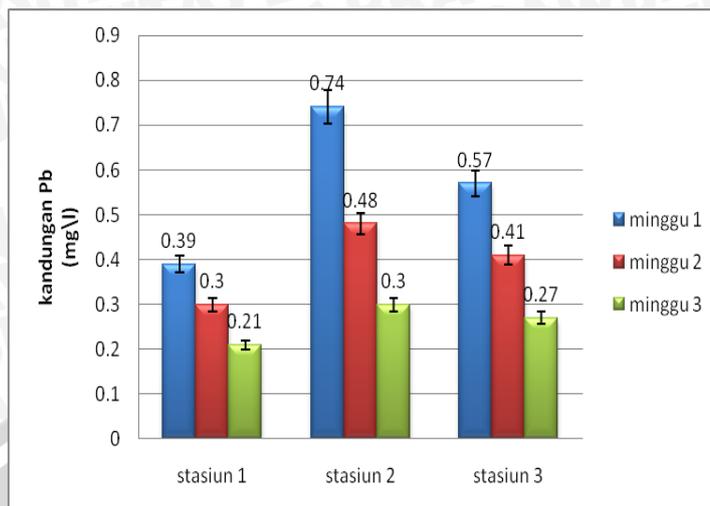
Tabel 5. Hasil Pengukuran Timbal (Pb) Pada Air

perlakuan		ulangan / kelompok		Rata – rata stasiun
stasiun	minggu	1(mg\L)	2(mg\L)	
1	1	0,48	0,3	0,3
	2	0,37	0,23	
	3	0,23	0,19	
2	1	0,7	0,78	0,51
	2	0,44	0,51	
	3	0,29	0,31	
3	1	0,61	0,53	0,42
	2	0,4	0,42	
	3	0,28	0,26	

Kisaran kandungan logam Pb pada Sungai Lesti adalah 0,23 mg\L – 0,78 mg\L. Kandungan ini berada di atas standar baku mutu air terhadap logam Pb yang tertera pada PP 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kelas 1 adalah 0,03 mg/L, kelas 2 adalah 0,03 mg/L, kelas 3 adalah 0,03 mg/L sedangkan kelas 4 adalah 1 mg/L. Bagi pengolahan air minum konvensional Pb < 0,1 mg/L, sehingga disimpulkan bahwa kondisi perairan Sungai Lesti sudah tercemar logam Pb.

Melihat data pada Tabel 5 di atas nilai rata – rata terendah pada stasiun 1 yaitu 0,3 mg\L. Nilai tertinggi pada stasiun 2 yaitu 0,51 mg\L. Dari Tabel 5 di atas dilakukan analisis uji T.

Berdasarkan Uji T (Lihat Lampiran 6), diketahui bahwa kandungan logam Pb pada stasiun 1 tidak berbeda nyata dengan stasiun 2, kandungan logam Pb pada stasiun 1 tidak berbeda nyata dengan stasiun 3 begitu juga kandungan logam Pb pada stasiun 2 tidak berbeda nyata dengan stasiun 3. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun 2 yang membuang limbah cairnya ke perairan Sungai Lesti tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kandungan logam Pb di perairan Sungai Lesti. Namun melihat grafik pada Gambar 16 di bawah ini, terjadi perubahan fluktuatif kandungan Pb pada stasiun 1, 2, dan 3.



Gambar 16. Grafik kandungan logam Pb dalam air pada setiap stasiun (mg/L).

Grafik gambar 16 menunjukkan adanya perubahan kandungan logam Pb pada setiap stasiun. Terjadi peningkatan kandungan logam Pb pada stasiun 1 ke stasiun 2, hal ini diduga karena stasiun 1 hanya menerima masukan limbah pertanian, sedangkan stasiun 2 merupakan outlet pembuangan limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna. Terjadi penurunan kandungan logam Pb pada stasiun 2 ke 3, hal ini diduga terjadi karena di sepanjang stasiun 2 dan 3 banyak tumbuhan eceng gondok sehingga terjadi proses fitoremediasi. Lokasi penelitian pada perairan mengalir sehingga perubahan kandungan Pb berubah dengan sangat cepat. Kholdiyah (2010), menyatakan bahwa walaupun terjadi peningkatan atau penurunan logam berat pada air, namun konsentrasinya dapat berubah setiap saat, hal ini terkait dengan adanya berbagai proses yang di alami senyawa tersebut pada kolom air.

b. Timbal (Pb) Pada Akar Eceng Gondok

Akar eceng gondok ditumbuhi bulu – bulu akar yang halus dan berserabut. Salah satu fungsi dari akar adalah untuk menyerap unsur hara yang terlarut dalam air tak terkecuali logam berat beracun seperti logam berat Pb

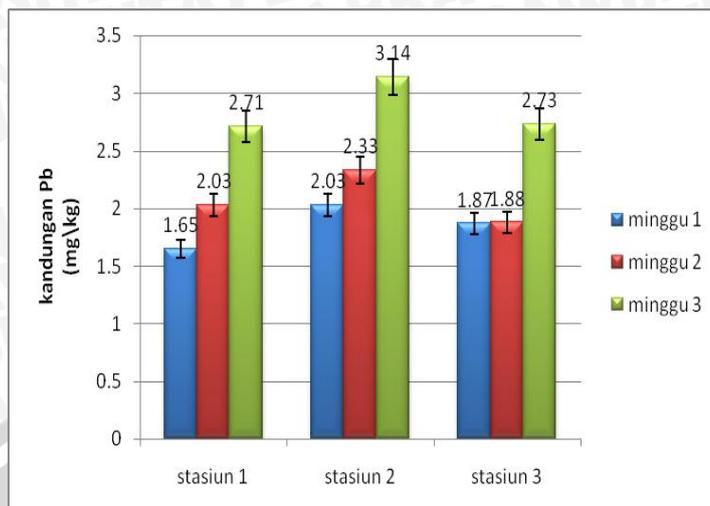
(Kurniawan, 2009). Hasil analisis kimia sampel akar eceng gondok di perairan Sungai Lesti menunjukkan adanya kandungan Pb pada sampel akar eceng gondok sungai tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 6, sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Pengukuran Timbal (Pb) Pada Akar Eceng Gondok

perlakuan		ulangan / kelompok		Rata – rata stasiun
stasiun	minggu	1 (mg/kg)	2 (mg/kg)	
1	1	1,74	1,56	2,13
	2	2,2	1,85	
	3	2,95	2,47	
2	1	2,15	1,9	2,5
	2	2,39	2,27	
	3	3,27	3	
3	1	1,94	1,79	2,16
	2	1,96	1,8	
	3	2,81	2,65	

Kisaran kandungan logam berat Pb pada akar eceng gondok adalah 1,56 mg/kg – 3,27 mg/kg. Nilai ini sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian Kholidiyah (2010), yang dilakukan di perairan Sungai Porong yaitu dengan nilai kandungan rata – rata 2,7 mg/kg. Melihat data pada Tabel 6 di atas, nilai rata – rata terendah pada stasiun 1 yaitu 2,13 mg/L, nilai rata – rata tertinggi pada stasiun 2 yaitu 2,5 mg/L. Dari Tabel 6 di atas dilakukan analisis uji T.

Berdasarkan Uji T (Lihat Lampiran 6), diketahui bahwa kandungan logam Pb pada stasiun 1 berbeda sangat nyata dengan stasiun 2, kandungan logam Pb pada stasiun 1 tidak berbeda nyata dengan stasiun 3 begitu juga kandungan logam Pb pada stasiun 2 tidak berbeda nyata dengan stasiun 3. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun 2 yang membuang limbah cairnya ke perairan Sungai Lesti memberikan dampak terhadap peningkatan kandungan logam Pb pada akar eceng gondok di perairan Sungai Lesti lihat grafik gambar 17.



Gambar 17. Grafik kandungan logam Pb dalam akar pada setiap stasiun (mg/kg).

Grafik gambar 17, menunjukkan adanya kenaikan nilai kandungan Pb pada akar pada stasiun 1 ke 2 dan penurunan pada stasiun 2 ke 3. Hal ini diduga karena stasiun 2 merupakan outlet limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna sehingga logam Pb yang tersedia di air dan sedimen tinggi sehingga logam Pb yang diserap akar juga tinggi, karena laju penyerapan meningkat. Pada stasiun 1 dan 3 lebih rendah karena ketersediaan logam Pb dalam air dan sedimen juga rendah sehingga logam Pb yang diserap juga rendah dikarenakan laju penyerapan juga turun.

c. Timbal (Pb) Pada Tangkai Eceng Gondok

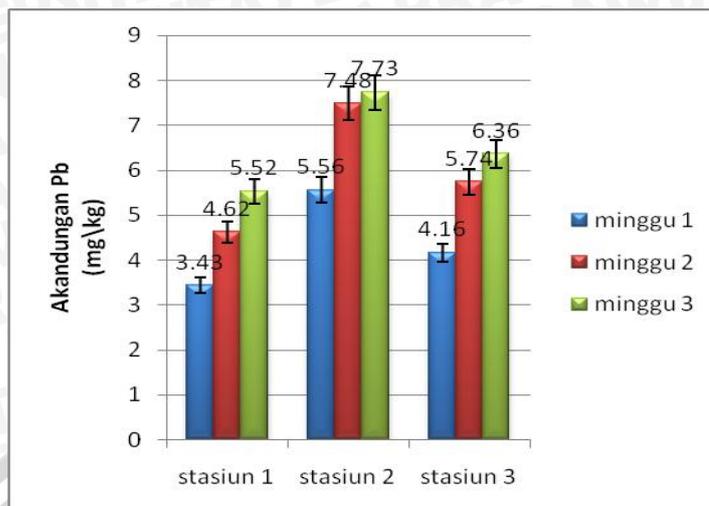
Merupakan bagian daun yang berfungsi sebagai penopang. Tangkai eceng gondok berbentuk bulat menggelembung yang di dalamnya penuh dengan udara yang berperan agar tetap terapung di permukaan air. Hasil analisis kimia sampel tangkai eceng gondok di perairan Sungai Lesti menunjukkan adanya kandungan Pb pada sampel tangkai eceng gondok perairan sungai tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 7, sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Pengukuran Timbal (Pb) Pada Tangkai Eceng Gondok

stasiun	perlakuan minggu	ulangan / kelompok		Rata – rata Stasiun
		1 (mg\kg)	2 (mg\kg)	
1	1	3,26	3,6	4,52
	2	4,68	4,56	
	3	5,65	5,4	
2	1	5,28	5,84	6,92
	2	7,31	7,64	
	3	7,85	7,6	
3	1	4,3	4,01	5,42
	2	5,85	5,63	
	3	6,27	6,45	

Kisaran kandungan logam berat Pb pada tangkai eceng gondok adalah 3,26 mg\kg – 7,85 mg\kg. Nilai ini sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Kholidiyah (2010), yang dilakukan di perairan Sungai Porong yaitu dengan nilai kandungan rata – rata 4,41 mg\kg. Melihat data pada Tabel 7 di atas, nilai rata – rata terendah pada stasiun 1 yaitu 4,52 mg\L. Nilai rata –rata tertinggi pada stasiun 2 yaitu 6,92 mg\L. Dari Tabel 7 di atas dilakukan analisis uji T.

Berdasarkan Uji T (Lihat Lampiran 6), diketahui bahwa kandungan logam Pb pada stasiun 1 berbeda sangat nyata dengan stasiun 2, kandungan logam Pb pada stasiun 1 berbeda nyata dengan stasiun 3 begitu juga kandungan logam Pb pada stasiun 2 berbeda sangat nyata dengan stasiun 3. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun 2 yang membuang limbah cairnya ke perairan Sungai Lesti memberikan dampak terhadap peningkatan kandungan logam Pb pada tangkai eceng gondok di perairan Sungai Lesti lihat grafik gambar 18.



Gambar 18. Grafik kandungan logam Pb dalam tangkai pada setiap stasiun (mg/kg).

Grafik gambar 18, menunjukkan adanya perbedaan nilai kandungan Pb pada tangkai eceng gondok dimana stasiun 1 memiliki nilai lebih rendah dibandingkan stasiun 2 dan 3, sedangkan stasiun 2 dan 3 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan stasiun 1 dan 3. Sama seperti pada akar, tingginya kandungan logam Pb yang tersedia di air dan sedimen pada stasiun 2, menyebabkan logam Pb yang diserap akar juga tinggi sehingga konsentrasi Pb yang di translokasikan menuju tangkai oleh jaringan xylem juga tinggi, karena laju penyerapan meningkat. Lakitan (1995) menyatakan bahwa ion yang sudah diserap akar sebagian diangkut kebagian atas tumbuhan melalui pembuluh xylem pada akar, tangkai dan daun yang merupakan sistem kontinu.

d. Timbal (Pb) Pada Daun Eceng Gondok

Zat hijau daun eceng gondok terletak dalam sel epidermis dan dipermukaan atas daun dipenuhi oleh stomata (Lail, 2008). Hasil analisis kimia sampel daun eceng gondok di perairan Sungai Lesti menunjukkan adanya kandungan Pb pada sampel daun eceng gondok perairan sungai tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 8, sebagai berikut:

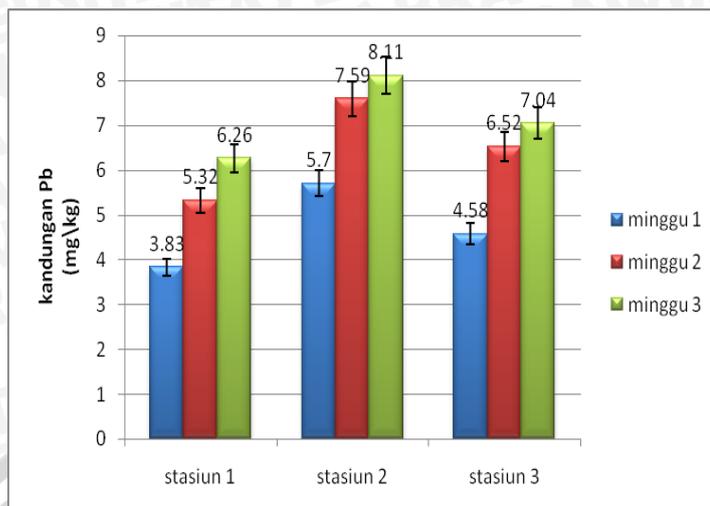


Tabel 8. Hasil Pengukuran Timbal (Pb) Pada Daun Eceng Gondok

perlakuan		ulangan / kelompok		Rata – rata stasiun
stasiun	minggu	1 (mg\kg)	2 (mg\kg)	
1	1	3,75	3,9	5,13
	2	5,19	5,44	
	3	6,14	6,38	
2	1	5,25	6,15	7,13
	2	7,48	7,7	
	3	7,95	8,26	
3	1	4,76	4,4	6,05
	2	6,39	6,65	
	3	7,24	6,84	

Kisaran kandungan logam berat Pb pada daun eceng gondok adalah 3,75 mg\kg – 7,95 mg\kg. Data pada Tabel 8 di atas, nilai rata – rata terendah yaitu 5,13 mg\L. Nilai rata – rata tertinggi pada stasiun 2 yaitu 7,13 mg\L. Dari Tabel 8 di atas dilakukan analisis uji T.

Berdasarkan Uji T (Lihat Lampiran 6), diketahui bahwa kandungan logam Pb pada stasiun 1 berbeda sangat nyata dengan stasiun 2, kandungan logam Pb pada stasiun 1 berbeda nyata dengan stasiun 3 begitu juga kandungan logam Pb pada stasiun 2 berbeda sangat nyata dengan stasiun 3. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun 2 yang membuang limbah cairnya ke perairan Sungai Lesti memberikan dampak terhadap peningkatan kandungan logam Pb pada daun eceng gondok di perairan Sungai Lesti lihat grafik gambar 19



Gambar 19. Grafik kandungan logam Pb dalam daun pada setiap stasiun (mg/kg).

Grafik gambar 19 menunjukkan adanya perbedaan nilai kandungan logam Pb pada daun eceng gondok dimana stasiun 1 memiliki nilai lebih rendah dibandingkan stasiun 2 dan 3, stasiun 2 dan 3 memiliki nilai sama dan paling tinggi dibandingkan stasiun 1. Dari hasil data rata – rata konsentrasi logam Pb dalam air yang diserap oleh eceng gondok banyak terakumulasi di dalam organ daun. Hal ini menunjukkan bahwa eceng gondok merupakan tumbuhan hiperakumulator terhadap logam Pb. Kurniawan (2009), menyatakan salah satu karakteristik yang mengindikasikan sifat hiperakumulator suatu tumbuhan adalah memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke daun yang tinggi sehingga akumulasinya pada daun lebih tinggi daripada bagian akar.

e. Timbal (Pb) Pada Sedimen

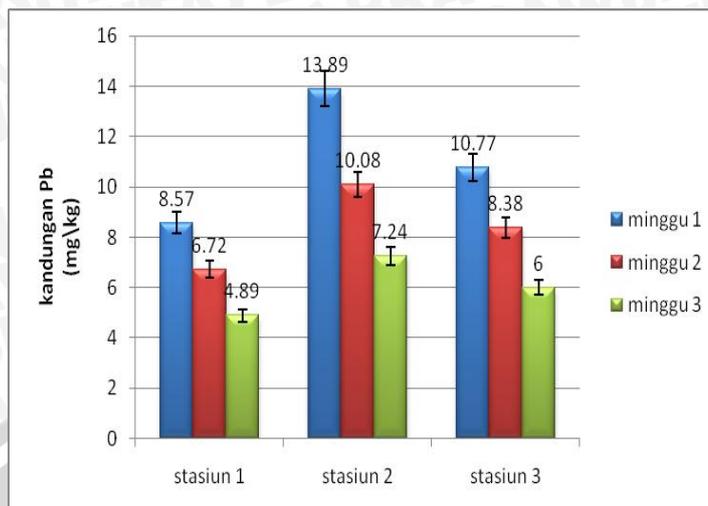
Hasil analisis kimia sampel sedimen Sungai Lesti menunjukkan adanya kandungan Pb pada sampel sedimen sungai tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 9, sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Pengukuran Timbal (Pb) Pada Sedimen

stasiun	perlakuan		ulangan / kelompok		Rata – rata stasiun
	minggu		1 (mg/kg)	2 (mg/kg)	
1	1		9,12	8,02	6,73
	2		7,28	6,16	
	3		5,11	4,66	
2	1		13,28	14,49	10,4
	2		10,35	9,8	
	3		7,14	7,33	
3	1		11,36	10,18	8,4
	2		8,6	8,16	
	3		6,24	5,75	

Kisaran kandungan logam Pb pada Sungai Lesti adalah 4,66 mg/kg – 14,49 mg/kg. Kandungan ini masih berada dalam batasan alami kandungan Pb alami pada sedimen, karena menurut Rahman (2006), konsentrasi logam berat dalam sedimen secara alami berkisar antara 10 – 70 mg/kg untuk Pb. NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*), US Department of Commerce dalam Kusumastuti (2006), menetapkan nilai baku mutu untuk Pb yang ada di dalam sedimen adalah 30,240 mg/kg. Melihat data pada Tabel 9 di atas nilai rata – rata terendah pada stasiun 1 yaitu 6,73 mg/L. Nilai rata – rata tertinggi pada stasiun 2 yaitu 10,4 mg/L. Dari Tabel 9 di atas dilakukan analisis uji T.

Berdasarkan Uji T (Lihat Lampiran 6), diketahui bahwa kandungan logam Pb pada stasiun 1 tidak berbeda nyata dengan stasiun 2, kandungan logam Pb pada stasiun 1 berbeda nyata dengan stasiun 3 begitu juga kandungan logam Pb pada stasiun 2 tidak berbeda nyata dengan stasiun 3, sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun 2 yang membuang limbah cairnya ke perairan Sungai Lesti tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kandungan logam Pb pada sedimen pada perairan Sungai Lesti, namun terjadi perubahan fluktuatif kandungan Pb pada stasiun 1, 2, dan 3.



Gambar 20. Grafik kandungan logam Pb dalam sedimen pada setiap stasiun (mg/kg).

Grafik gambar 20 menunjukkan adanya perubahan kandungan logam Pb pada setiap stasiun. Terjadi peningkatan kandungan logam Pb pada stasiun 1 ke stasiun 2, hal ini diduga karena stasiun 1 hanya menerima masukan limbah pertanian, sedangkan stasiun 2 merupakan outlet pembuangan limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna. Terjadi penurunan kandungan logam Pb pada stasiun 2 ke 3, hal ini diduga karena logam Pb yang berasal dari stasiun 1 dan 2 telah mengendap di sepanjang stasiun 1 dan 2. Septory *et al.* (2008), menyatakan secara normal konsentrasi logam berat pada sedimen akan lebih tinggi dibandingkan di perairannya, disamping karena keberadaan logam berat tersebut secara alami terdapat di batuan sedimen tetapi juga karena sifat sedimen yang stabil dan cenderung untuk menangkap logam berat yang masuk ke perairan. Oleh karena itu sedimen dapat dipakai untuk mengetahui konsentrasi logam berat ketika logam berat tidak terdeteksi dalam air.

4.6 Analisis Jaringan Daun Eceng Gondok

Adaptasi tanaman terhadap lingkungan merupakan rekayasa secara khusus untuk memberikan peluang keberhasilan menyesuaikan kehidupan di habitat tertentu. Namun demikian jenis tumbuhan yang berbeda menunjukkan sensitifitas yang berbeda pula terhadap perubahan lingkungan bahkan terhadap bahan pencemar khususnya logam berat. Banyak jenis tumbuhan yang mampu tumbuh pada tanah yang kaya arsen, kadmium dan logam lain. Spesies yang menyerap dan mengakumulasi logam pada tingkat yang mematikan untuk spesies yang tidak toleran disebut spesies akumulator (Haryanti *et al*, 2009). Adaptasi struktural dari tumbuhan air dapat berupa pengurangan jaringan kayu, tangkai yang tipis dan ringan, daun seperti benang, pembentukan organ khusus, produksi turion, dan lainnya

Daun eceng gondok tergolong dalam makrofitas yang terletak di atas permukaan air, yang di dalamnya terdapat lapisan rongga udara dan berfungsi sebagai alat pengapung tanaman. Hidayat (1996), jaringan daun terdiri dari:

a. Jaringan Epidermis

Epidermis merupakan lapisan terluar daun, ada epidermis atas dan epidermis bawah, untuk mencegah penguapan yang terlalu besar, lapisan epidermis dilapisi oleh lapisan kutikula. Pada epidermis terdapat stomata/mulut daun, stomata berguna untuk tempat berlangsungnya pertukaran gas dari dan ke luar tubuh tumbuhan. Stomata bisa ditemukan pada kedua sisi daun (daun amfistomatik), atau hanya di satu sisi, yakni di sebelah atas atau adaksial (daun epistomatik) atau di bagian bawah abaksial (daun hipostomatik). Di sekitar stoma terdapat dua sel yang dinamai sel penjaga. Sel jaga mengatur tutup – bukanya stomata. Jadi melakukan pengendalian ketat terhadap pertukaran daun dengan atmosfernya.

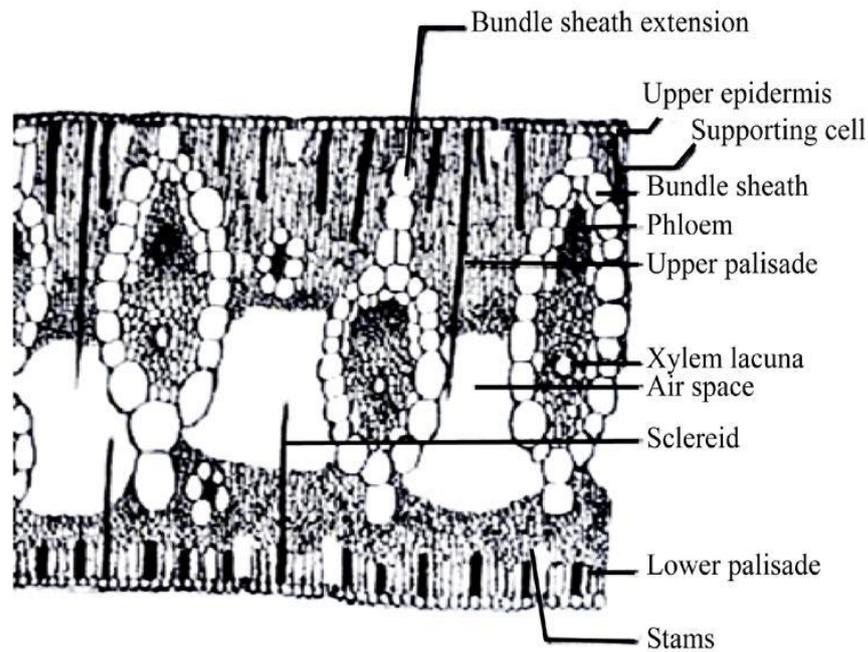
b. Jaringan mesofil

Bagian utama helai daun adalah mesofil yang banyak mengandung kloroplas dan ruang antar sel. Mesofil dapat bersifat homogen atau terbagi menjadi jaringan tiang (palisade) dan jaringan bunga karang (spons). Jaringan tiang lebih kompak daripada jaringan spons yang memiliki ruang antar sel lebih luas. Jaringan tiang terdiri dari sejumlah sel yang memanjang tegak lurus terhadap permukaan daun. Meskipun jaringan tiang lebih rapat, sisi panjang selnya saling terpisah sehingga udara dalam ruang antar sel mencapai sisi panjang, kloroplas pada sitoplasma melekat di tepi dinding sel. Hal tersebut dapat mengakibatkan fotosintesis berjalan efisien. Jaringan spons terdiri dari sel bercabang yang tak teratur bentuknya. Hubungan antar sel dan sel lain terbatas pada ujung cabang. Fungsi utama sebagai penyimpan sementara molekul – molekul makanan yang dihasilkan sel – sel lapisan palisade, juga membantu pertukaran gas diantara daun dan sekitarnya.

c. Jaringan pembuluh

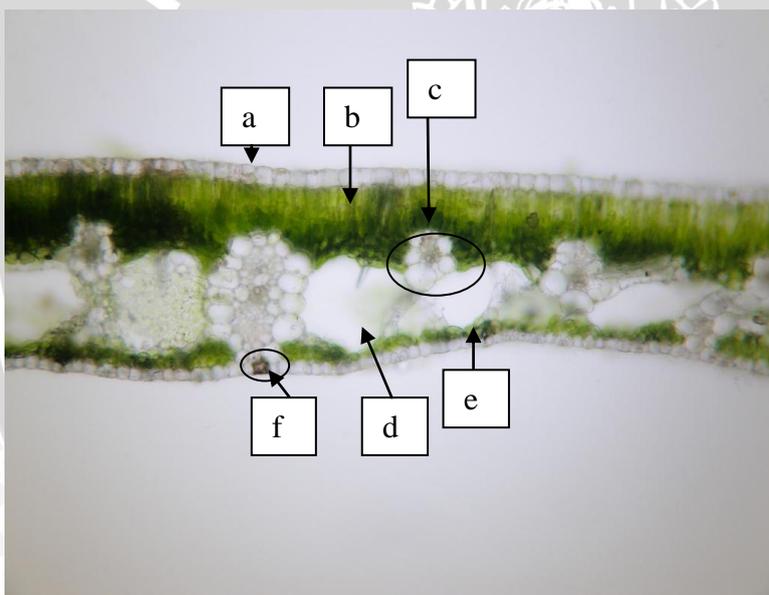
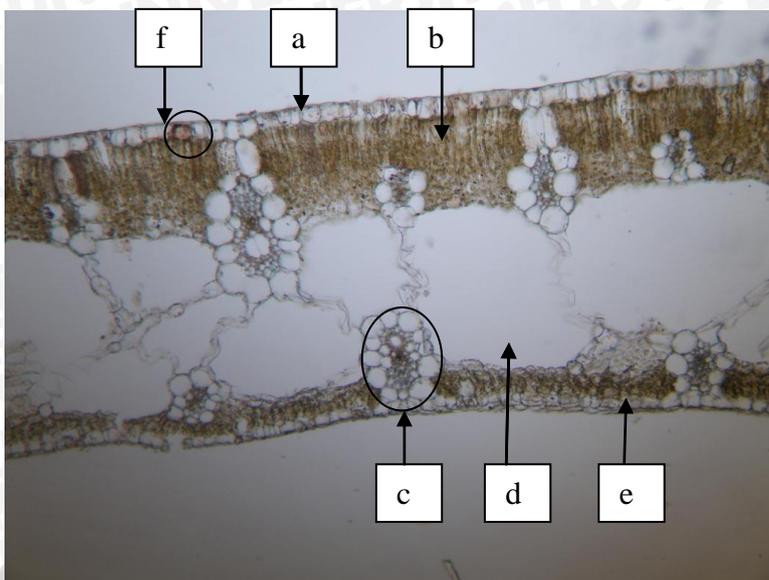
Terdiri dari xilem atau pembuluh kayu dan floem atau pembuluh tapis, pada tumbuhan dikotil keduanya dipisahkan oleh kambium. Pada akar, Xilem berfungsi mengangkut air dan mineral menuju daun. Pada batang, xilem berfungsi sebagai sponsor penegak tumbuhan. Floem berfungsi mentranspor hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan

Zat hijau daun (klorofil) eceng gondok terdapat dalam sel epidemis. Dipermukaan atas daun dipenuhi oleh mulut daun (stomata) dan bulu daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang, dan daun selain sebagai alat penampungan juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan O₂ dari proses fotosintesis, gambar penampang jaringan daun eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Jaringan daun eceng gondok (Mahmood *et al*, 2005)

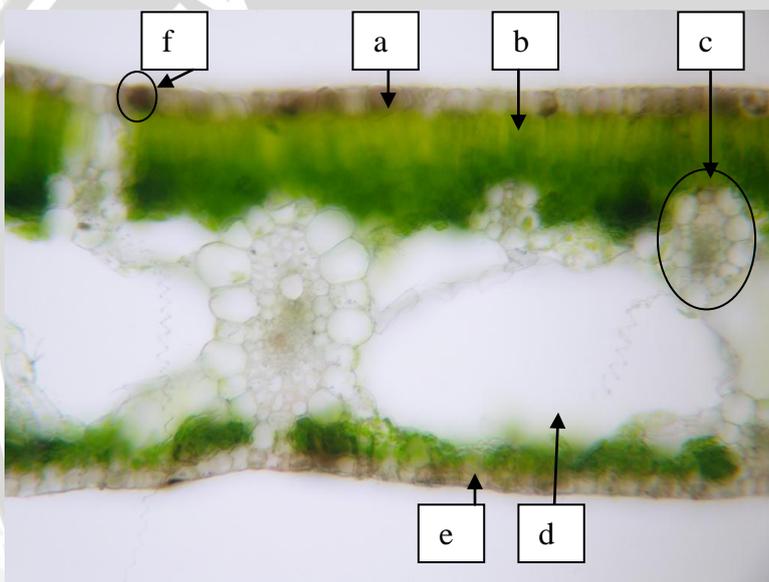
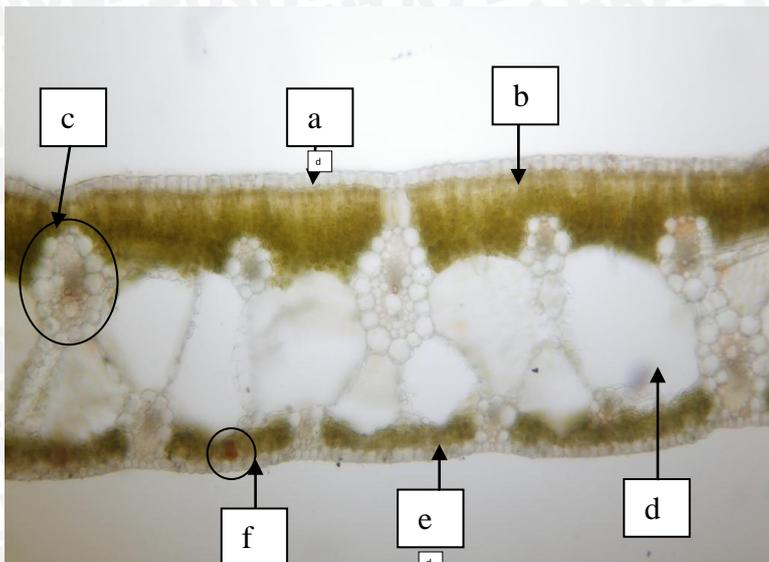
Eceng gondok mengakumulasi logam berat pada organ akar, tangkai daun. Daun adalah organ yang mengakumulasi logam berat paling banyak dibandingkan dengan bagian akar dan tangkai daun. Respon biologis anatomi daun eceng gondok pada perairan yang tercemar logam berat menunjukkan adanya perbedaan dengan perairan yang tidak tercemar yaitu adanya sel kristal yang ada pada beberapa bagian daun. Jaringan daun eceng gondok yang terdampak logam berat dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22 a. Penampang irisan melintang daun stasiun 1 sisi kanan sungai

Ket:
 Atas : perlakuan FAA (alcohol 70%)
 Bawah : perlakuan segar

Keterangan gambar:
 a.epidermis atas
 b.palisade
 c.seludang pembuluh
 d.rongga udara
 e.epidermis bawah
 f.kristal akumulasi Pb



Gambar 22 b. Penampang irisan melintang stasiun 1 sisi kiri sungai

Ket:

Atas : perlakuan FAA (alcohol 70%)

Bawah : perlakuan segar

Keterangan gambar:

a.epidermis atas

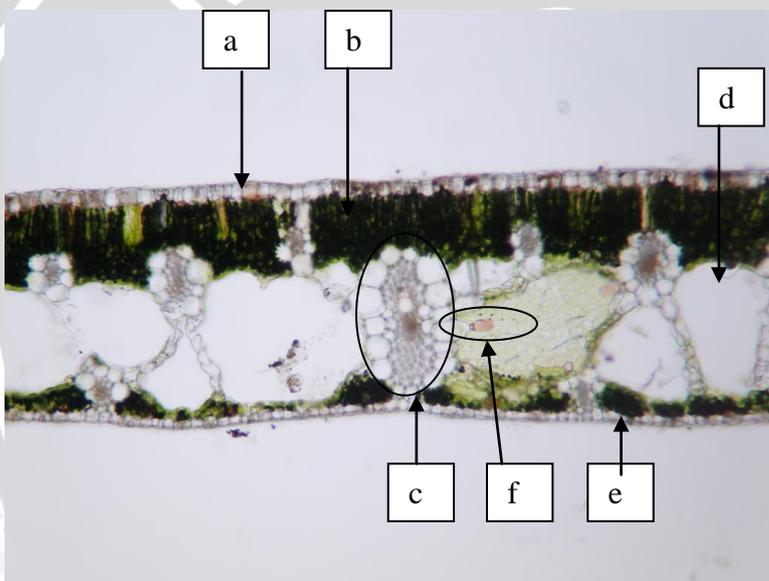
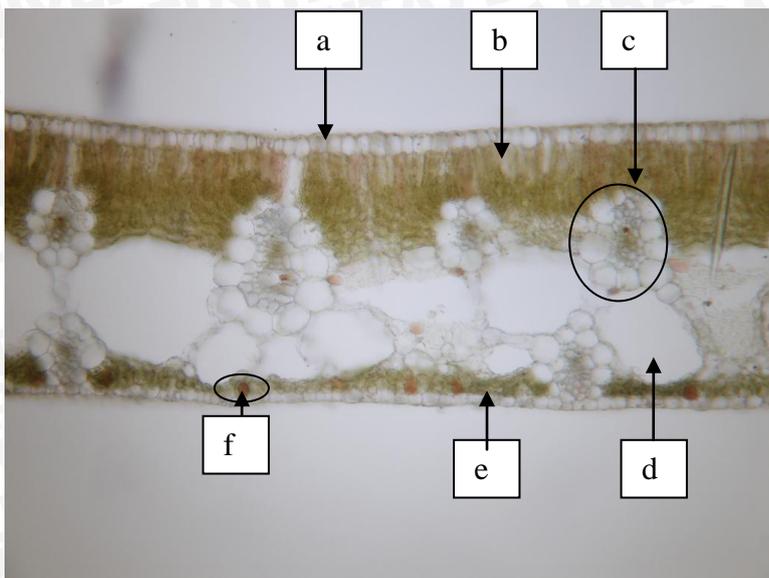
b.palisade

c.seludang pembuluh

d.rongga udara

e.epidermis bawah

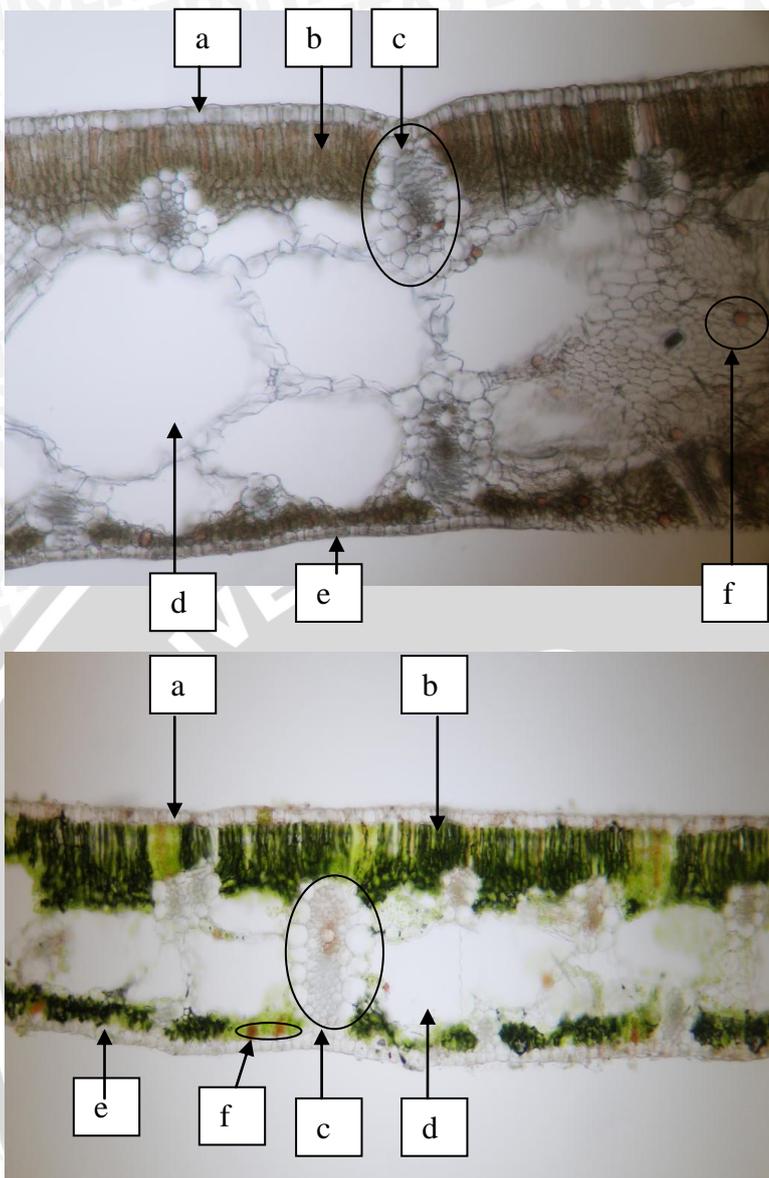
f.kristal akumulasi Pb



Gambar 22 c. Penampang irisan melintang daun stasiun 2 sisi kanan sungai

Ket:
 Atas : perlakuan FAA (alcohol 70%)
 Bawah : perlakuan segar

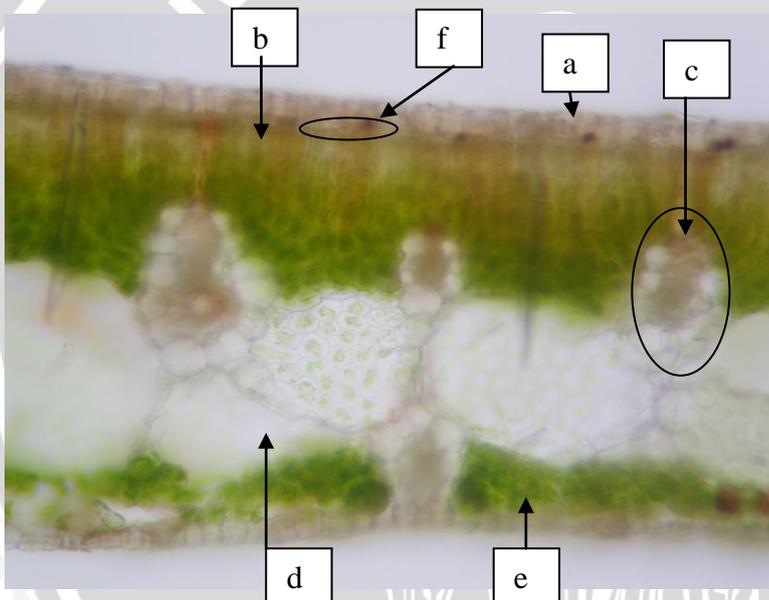
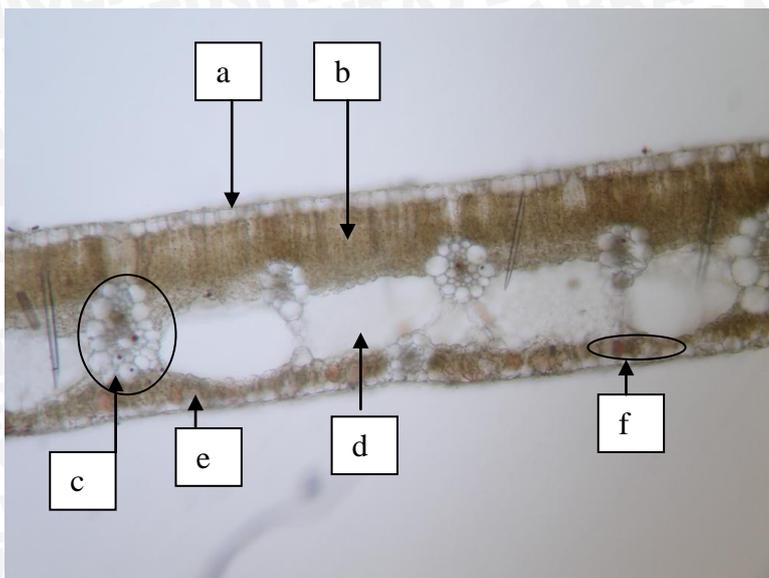
Keterangan gambar:
 a.epidermis atas
 b.palisade
 c.seludang pembuluh
 d.rongga udara
 e.epidermis bawah
 f.kristal akumulasi Pb



Gambar 22 d. Penampang irisan melintang daun stasiun 2 sisi kiri sungai

Ket:
 Atas : perlakuan FAA (alcohol 70%)
 Bawah : perlakuan segar

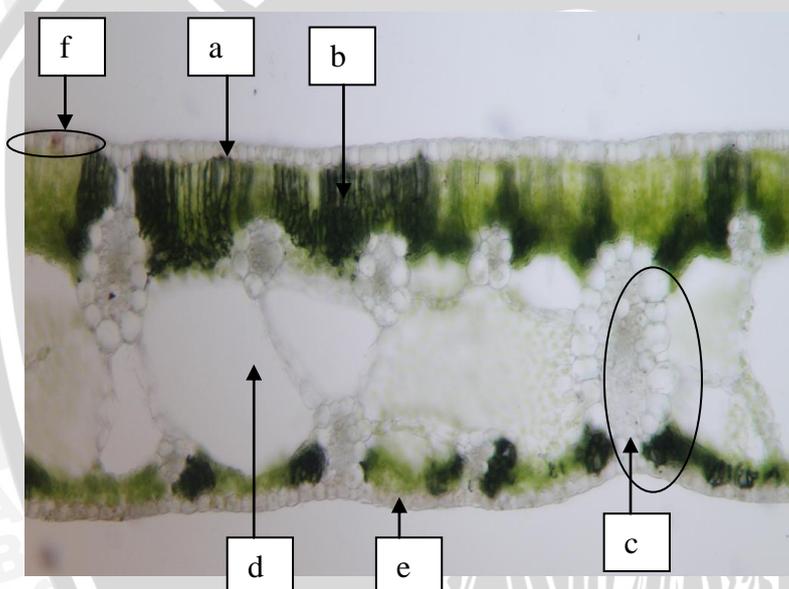
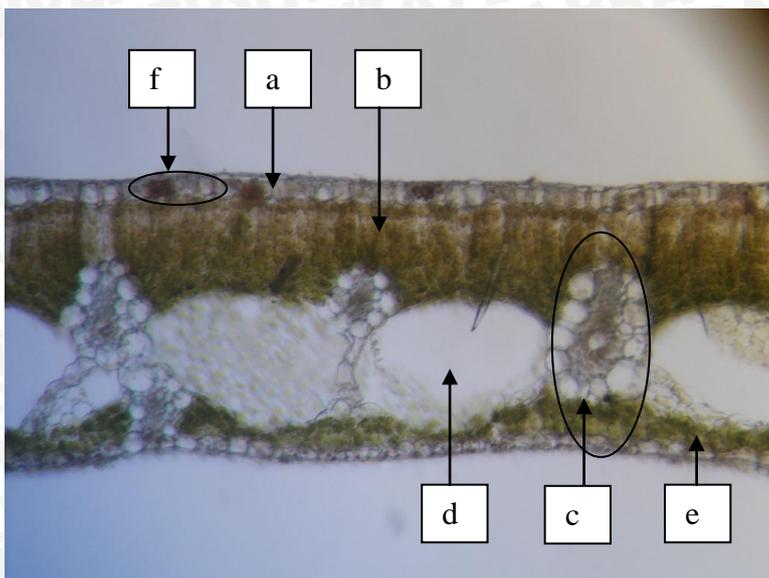
Keterangan gambar:
 a.epidermis atas
 b.palisade
 c.seludang pembuluh
 d.rongga udara
 e.epidermis bawah
 f.kristal akumulasi Pb



Gambar 22 e. Penampang irisan melintang daun stasiun 3 sisi kanan sungai

Ket:
 Atas : perlakuan FAA (alcohol 70%)
 Bawah : perlakuan segar

Keterangan gambar:
 a.epidermis atas
 b.palisade
 c.seludang pembuluh
 d.rongga udara
 e.epidermis bawah
 f.kristal akumulasi Pb



Gambar 22 f. Penampang irisan melintang daun stasiun 3 sisi kiri sungai

Ket:

Atas : perlakuan FAA (alcohol 70%)

Bawah : perlakuan segar

Keterangan gambar:

a.epidermis atas

b.palisade

c.seludang pembuluh

d.rongga udara

e.epidermis bawah

f.kristal akumulasi Pb

Anatomi daun eceng gondok menurut Mahmood *et al* (2005), daun eceng gondok termasuk dalam bentuk amphistomatik, stomata adalah jenis parasitik. Frekuensi stomata pada epidermis atas adalah 2,83 mm² dan 3,32 mm² pada epidermis bawah. Bagian melintang dari lamina memiliki kutikula yang sangat tipis pada sel – sel epidermis. Mesofil dibedakan menjadi mesofil palisade dan spons, lapisan palisade hadir pada kedua sisi atas dan bawah epidermis. Epidermis atas memiliki 5–7 lapisan sel, epidermis bawah memiliki 2–3 lapisan. Mesofil spons terdiri dari sejumlah besar ruang udara dikelilingi oleh dinding tipis penuh kloroplas. Sklereid terdapat pada lapisan sel terluar ruang udara. Bundel vaskuler terdiri dari dua jenis yaitu bundel vaskuler kecil dan lebih besar. Bundel vaskuler yang lebih kecil terdapat pada kedua sisi atas dan bawah epidermis. Setiap bundel vaskuler mengiringi xylem ke arah sisi epidermis bawah dan floem menuju sisi epidermis atas.

Akumulasi logam berat Pb pada daun terdapat pada beberapa bagian yaitu parenkim dan epidermis (bagian stomata), pada daun terlihat adanya banyak noda yang terdapat pada sel parenkim dan epidermis. Ariantiwi (1995) menyatakan, eceng gondok mengakumulasi Pb pada seluruh organ, dan transport Pb berlangsung melalui jaringan xylem maka diduga akumulasi pada akar batang dan daun pada pembuluh xylem.

Diduga distribusi akumulasi Pb di akar mungkin berhubungan dengan translokasi air dan garam mineral dari akar ke bagian atas tumbuhan. Hal ini terbukti dengan adanya akumulasi pada sel – sel epidermis yang merupakan jalur translokasi air dan garam mineral pada tanaman. Parenkim palisade juga mengakumulasi Pb hal tersebut mungkin disebabkan air dan garam mineral bukan saja dihantarkan oleh tulang daun dan perluasan seludang pembuluh melainkan juga oleh sel – sel mesofil (Fahn, 1991 *dalam* Ariantiwi, 1995) Dalam daun bahan terlarut keluar dari xylem dan menutupi dinding – dinding sel mesofil.

Dari bahan terlarut inilah ion – ion diserap oleh sel – sel mesofil terutama oleh parenkim palisade. Selain itu Pb di udara masuk ke dalam organ eceng gondok dapat melalui stomata. Kholdiyah (2010) menyatakan, tumbuhan dapat tercemar logam berat melalui penyerapan akar dari tanah atau melalui stomata daun dari udara. Ini dikarenakan di dalam tanah hanya sebagian kecil logam berat yang terlarut dalam air. Penyerapan pada daun terjadi karena partikel Pb atau timah hitam di udara masuk ke dalam daun melalui proses penyerapan pasif. Masuknya partikel timah hitam ke dalam jaringan daun sangat dipengaruhi oleh ukuran dan jumlah dari stomata. Celah stomata mempunyai panjang sekitar 10 μm dan lebar antara 2- 7 μm , oleh karena ukuran Pb sangat kecil yaitu 4 μm , rerata 0,2 μm , maka partikel Pb akan masuk melalui stomata. Semakin besar ukuran dan semakin banyak jumlah stomatanya maka semakin besar pula penyerapannya timah hitam masuk ke dalam daun. Penyerapan melauai daun ini terjadi karena partikel timbale di udara jatuh dan mengendap pada permukaan daun.

Akumulasi pada bagian epidermis (diduga bagian stomata) dan parenkim tersebut ditandai dengan adanya titik berwarna merah kegelapan yang diduga merupakan kristal yang terbentuk akibat akumulasi logam berat. Xin Xu *et al* (2010) menyatakan, kristal Ca oksalat adalah bahan penyimpan paling umum yang ditemukan di sebagian besar jaringan dan organ tanaman fotosintesis. Kristal interseluler sering terdapat pada vakuola untuk pembentukan idioblast kristal. Sel – sel kristal juga bekerja sebagai kompartemen logam berat beracun untuk mengurangi kerusakan fisiologis. Eceng gondok dapat menyerap dan mengumpulkan sejumlah besar zat – zat beracun seperti ion logam berat dan polutan tanpa kerusakan. Kristal Ca oksalat yang mengikat ion logam berat seperti Cd dan Pb juga diamati dalam sel daun eceng gondok.

4.7 Kualitas Air

4.7.1 Parameter Fisika

a. Sedimen Sungai Lesti

Tipe sedimen pada Sungai Lesti merupakan tipe lumpur berpasir hal ini dipengaruhi kecepatan arus yang sedang dan juga disebabkan oleh banyaknya masukan bahan organik pada perairan Sungai Lesti. Tanah dengan tekstur pasir memiliki luas permukaan yang kecil sehingga sukar untuk menyerap maupun menahan unsur hara. Tanah yang bertekstur liat mempunyai luas permukaan yang besar sehingga mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menyerap dan menahan unsur hara (Sunarmi *et al.*, 2006). Kandungan logam berat dalam sedimen dipengaruhi oleh tipe sedimen, dengan kategori kandungan logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir > berpasir. Baku mutu logam berat dalam lumpur atau sedimen di Indonesia sendiri belum ditetapkan.

b. Kecepatan Arus

.Arus merupakan gerakan air yang terjadi di perairan mengalir. Kecepatan arus di sungai ditentukan oleh kecuraman gradient permukaan, halus kasarnya dasar sungai, kedalaman lebar sungai (Subarijanti, 1990).

Menurut Welch (1980) dalam Fitriyah (2008), kecepatan arus sungai dapat dikelompokkan menjadi 5 yaitu :

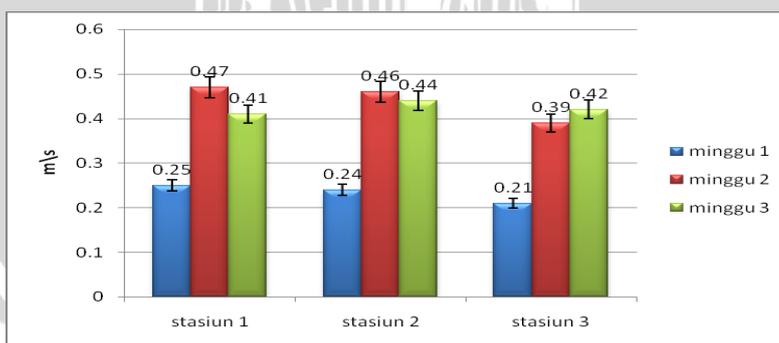
- Arus sangat cepat, dengan kecepatan lebih dari 100 cm / detik
- Arus cepat, dengan kecepatan 50 - 100 cm / detik
- Arus sedang, dengan kecepatan 25 - 50 cm / detik
- Arus lemah, dengan kecepatan 10 - 25 cm / detik
- Arus sangat lemah, dengan kecepatan kurang dari 10 cm / detik

Kecepatan arus Sungai Lesti berkisar antara 0,20 m/s – 0,48 m/s (dapat dilihat pada Tabel 10).

Tabel 10. Data Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Pada Perairan Sungai

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Rata - rata
Stasiun	Minggu	1(m/s)	2(m/s)	
1	1	0.22	0.27	0.37
	2	0.45	0.48	
	3	0.41	0.41	
2	1	0.21	0.26	0.38
	2	0.45	0.46	
	3	0.42	0.45	
3	1	0.22	0.20	0.34
	2	0.40	0.38	
	3	0.42	0.41	

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa perairan Sungai Lesti tergolong dalam perairan dengan arus lemah hingga arus sedang. nilai rata – rata terendah pada stasiun 3 dan tertinggi pada stasiun 2 (lihat Gambar 23). Hal ini diduga karena morfologi sungai. Pada stasiun 1 dan 2 terjadi pembelokan arus sehingga kecepatan arus bertambah cepat. sehingga memungkinkan pertumbuhan eceng gondok berlangsung secara optimal. karena eceng gondok adalah tumbuhan terapung yang bila berada pada arus kuat maka tanaman ini akan terbawa oleh arus. Batcher (2000) berpendapat. pada sungai yang aliran airnya tenang eceng gondok dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. tetapi pada sungai yang deras eceng gondok cenderung untuk hanyut terbawa air.



Gambar 23. Grafik kecepatan arus perairan Sungai Lesti (m/s)

c. **Suhu**

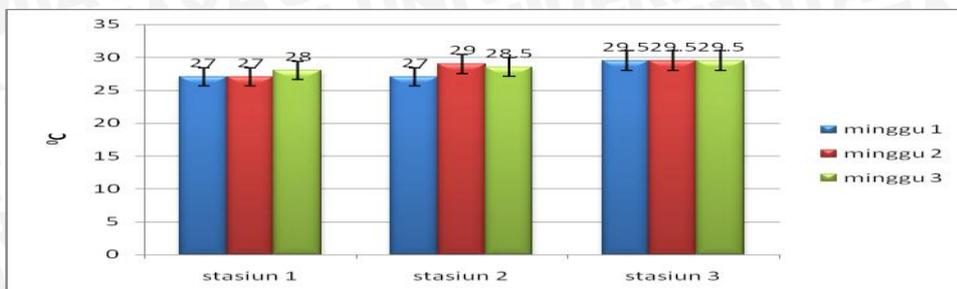
Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang, ketinggian dari permukaan laut, sirkulasi udara, penutupan awan, serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh pada proses fisika, kimia, biologi badan air. Selain itu suhu juga sangat berperan mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Organisme akuatik mempunyai suhu tertentu yang disukai bagi pertumbuhannya (Effendi, 2003). Suhu selama penelitian berkisar antara 26 °C – 30 °C (lihat Tabel 11).

Tabel 11. Data Hasil Pengukuran Suhu Pada Perairan Sungai.

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Rata-rata
Stasiun	Minggu	1(°C)	2(°C)	
1	1	26	28	27.3
	2	27	27	
	3	28	28	
2	1	27	27	28.2
	2	28	30	
	3	29	28	
3	1	30	29	29.5
	2	29	30	
	3	30	29	

Rata – rata suhu terendah pada stasiun 1 dan rata - rata suhu tertinggi pada stasiun 3 (lihat Gambar 24). Perbedaan suhu ini dikarenakan perbedaan waktu pengambilan sampel, dimana pada stasiun 1 pengambilan sampel dilakukan pada pukul 10.00 WIB sehingga intensitas cahaya matahari belum optimal. Suhu paling tinggi pada stasiun 3 dikarenakan waktu pengambilan sampel dilakukan pukul 14.30 WIB dimana intensitas cahaya matahari sudah sangat optimal. Suhu mempunyai korelasi positif (searah) dengan konsentrasi Pb dalam air, tapi berkorelasi negatif (berlawanan) dengan Pb dalam sedimen. Peningkatan suhu dalam suatu perairan akan menyebabkan kenaikan kecepatan reaksi kimia dan peningkatan aktivitas biologi (Widiyanti *et al.* 2005). Kisaran suhu di Sungai Lesti ini masih dalam kisaran normal untuk pertumbuhan eceng gondok. Hal ini sesuai dengan pendapat Kasselmann (1995) dalam Ramey

(2001). toleransi suhu eceng gondok tidak pada suhu dingin. pertumbuhan minimum pada suhu 12^oC. Pertumbuhan optimal pada suhu 25 – 30 ^oC dan pertumbuhan maksimum adalah pada suhu 33 – 35 ^oC.



Gambar 24. Grafik suhu perairan Sungai Lesti (°C)

4.7.2 Parameter Kimia Air

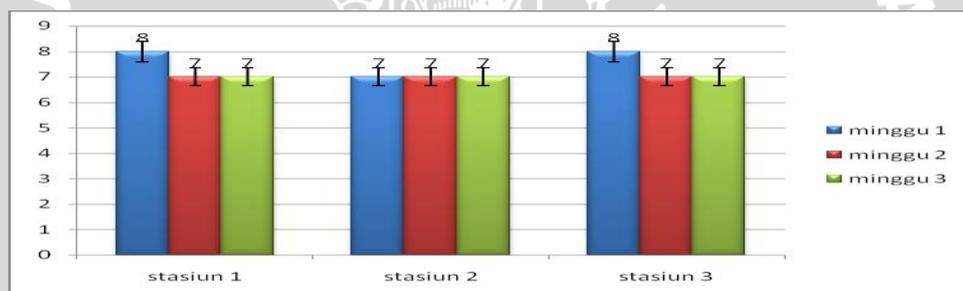
a. pH Air

pH merupakan derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Nilai pH yang ideal bagi kehidupan organisme air pada umumnya terdapat antara 7 sampai 8.5. Kondisi perairan yang bersifat sangat asam maupun sangat basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme dan respirasi (Barus. 2001). Hasil pengukuran pH pada tiap stasiun berkisar antara 7 – 8 (lihat Tabel 12).

Tabel 12. Data Hasil Pengukuran pH Pada Perairan Sungai.

Stasiun	Perlakuan Minggu	Ulangan / Kelompok		Rata - rata
		1	2	
1	1	8	8	7.3
	2	7	7	
	3	7	7	
2	1	7	7	7
	2	7	7	
	3	7	7	
3	1	8	8	7.3
	2	7	7	
	3	7	7	

Berdasarkan hasil pengamatan, nilai pH yang didapat tidak menunjukkan perbedaan yang cukup besar (Lihat Gambar 25). Nilai pH pada perairan Sungai Lesti masih dalam kisaran netral. Secara umum, korelasi antara pH dengan logam berat adalah berlawanan arah, kenaikan pH pada badan perairan menyebabkan turunnya kelarutan logam berat, sehingga logam berat akan cenderung mengendap dan daya larut logam menjadi rendah (Widiyanti *et al.* 2005). Lail (2008) berpendapat, untuk pertumbuhan yang lebih baik eceng gondok lebih cocok terhadap pH air berkisar antara 7 – 7.5. jika lebih atau kurang maka akan menghambat pertumbuhannya sehingga dapat disimpulkan pH air selama pengukuran sudah optimal untuk mendukung aktivitas kehidupan eceng gondok.



Gambar 25. Grafik pH perairan Sungai Lesti

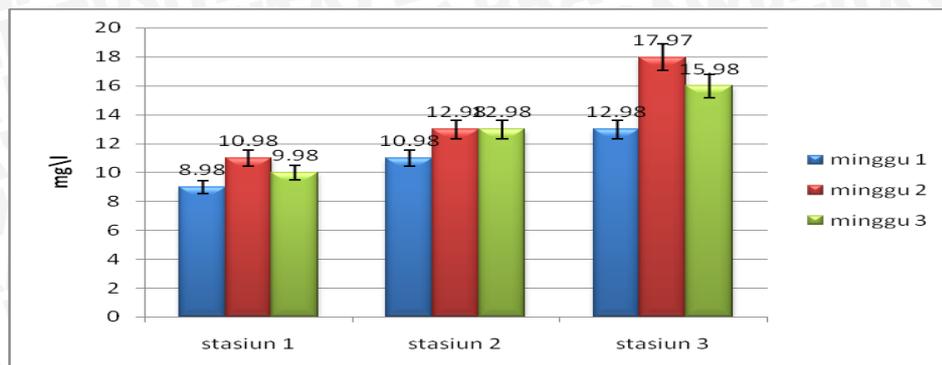
b. Karbondioksida

Karbondioksida merupakan gas yang sangat diperlukan dalam proses fotosintesis. di udara sangat sedikit $\pm 0.033\%$ dan di dalam air melimpah mencapai 12 mg/l. Sumber CO_2 dalam air adalah difusi dari udara, proses dekomposisi bahan organik, air hujan dan air bawah tanah maupun hasil respirasi organisme (Arfiati, 2001). Kisaran kandungan karbondioksida di perairan Sungai Lesti selama penelitian adalah 7.99 mg/l – 19.97 mg/l (lihat Tabel 13).

Tabel 13. Data Hasil Pengukuran Karbondioksida Pada Perairan Sungai.

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Rata – rata
Stasiun	Minggu	1(mg/L)	2(mg/L)	
1	1	9.98	7.99	9.98
	2	11.98	9.98	
	3	9.98	9.98	
2	1	9.98	11.98	12.3
	2	11.98	13.98	
	3	11.98	13.98	
3	1	13.98	11.98	15.65
	2	19.97	15.98	
	3	15.98	15.98	

Nilai rata – rata terendah terdapat pada stasiun 1 dan tertinggi terdapat pada stasiun 3 (lihat Gambar 26). Rendahnya kandungan karbondioksida pada stasiun 1 karena kecepatan arus pada stasiun tersebut paling tinggi di antara stasiun yang lain. Sedangkan pada stasiun 3 dikarenakan kecepatan arus pada stasiun 3 tidak terlalu cepat karena pada stasiun ini merupakan muara dari sungai Lesti sehingga kecepatan arusnya melambat. hal ini yang menyebabkan penurunan kandungan O_2 dan meningkatnya kandungan CO_2 selain itu banyaknya bahan organik yang ada juga mengakibatkan peningkatan proses dekomposisi bahan organik pada stasiun tersebut. Namun demikian kisaran nilai CO_2 pada perairan Sungai Lesti masih dapat dikatakan aman bagi kehidupan organisme akuatik. Menurut Hariyadi *et al.* (1992). kandungan CO_2 sebesar 10 mg/L atau lebih masih dapat ditolerir oleh ikan bila oksigen di perairan juga cukup tinggi. Kebanyakan spesies dari biota akuatik masih dapat hidup pada perairan yang memiliki kandungan CO_2 bebas 60 mg/L.



Gambar 26. Grafik Kandungan Karbondioksida Sungai Lesti (mg/L)

c. Nitrat - Nitrogen Air

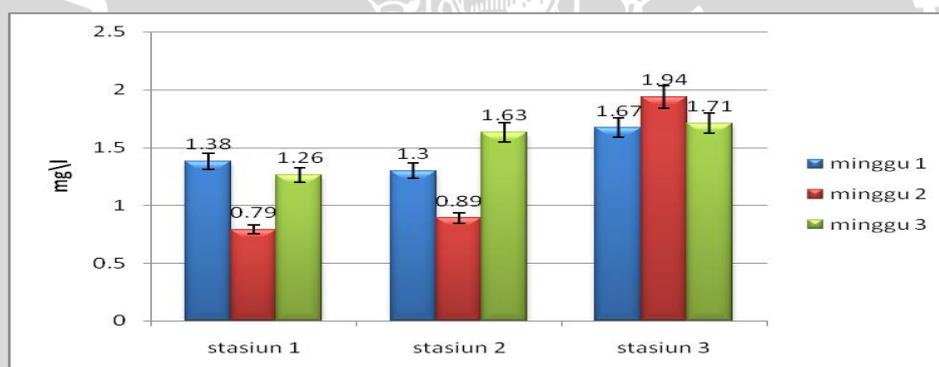
Nitrat adalah bentuk senyawa yang stabil dan keberadaannya berasal dari buangan pertanian, pupuk, kotoran hewan dan manusia dan sebagainya. Nitrat pada konsentrasi tinggi dapat menstimulasi pertumbuhan ganggang yang tak terbatas, sehingga air kekurangan oksigen terlarut yang bisa menyebabkan kematian ikan (Sasongko, 2006). Kisaran nitrat pada perairan Sungai Lesti antara 0.553 mg/l hingga 2.671 mg/l (lihat Tabel 14).

Tabel 14. Data Hasil Pengukuran Nitrat-Nitrogen Pada Perairan Sungai.

Stasiun	Perlakuan Minggu	Ulangan / Kelompok		Rata – rata
		1(mg/L)	2(mg/L)	
1	1	1.299	1.467	1.15
	2	0.553	1.029	
	3	1.187	1.346	
2	1	1.066	1.533	1.28
	2	0.889	0.908	
	3	1.495	1.766	
3	1	1.719	1.626	1.78
	2	2.671	1.215	
	3	1.915	1.514	

Nilai rata – rata terendah pada stasiun 1 (lihat Gambar 27) dikarenakan pada stasiun tersebut sumber nitrat hanya berasal dari kegiatan pertanian sedangkan nilai rata – rata tertinggi pada stasiun 3 karena masukan bahan organik berasal dari stasiun 1 dan 2 dimana menurut Effendi (2003), kadar nitrat

– nitrogen yang lebih dari 0.2 mg/liter dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan. yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tanaman air secara pesat (*blooming*). Tingginya kadar nitrat pada perairan sungai Lesti ini diduga karena penggunaan pupuk ZA dan Urea yang digunakan petani pada saat pemupukan sawahnya. Volenweider (1969) dalam Wetzel (1975) dalam Effendi (2003) menyatakan. nitrat dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kesuburan perairan. Perairan oligotrofik memiliki kadar nitrat antara 0 – 1 mg/liter. perairan mesotrofik memiliki kadar nitrat antara 1 – 5 mg/liter. Perairan eutrofik memiliki kadar nitrat antara 5 – 50 mg/liter. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perairan Sungai Lesti termasuk dalam perairan yang subur yang mengandung nitrat relatif tinggi.



Gambar 27. Grafik kandungan nitrat perairan Sungai Lesti (mg/L)

d. Orthofosfat Air

Di perairan unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen. melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa organik yang berupa partikulat. Senyawa fosfor membentuk kompleks ion besi dan kalsium pada kondisi aerob. bersifat tidak larut. dan mengendap pada sedimen sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh algae akuatik (Fauzi. 2001). Kisaran nilai orthofosfat pada Sungai Lesti adalah 0.142 mg/l hingga 0.597 mg/l (lihat Tabel 15).

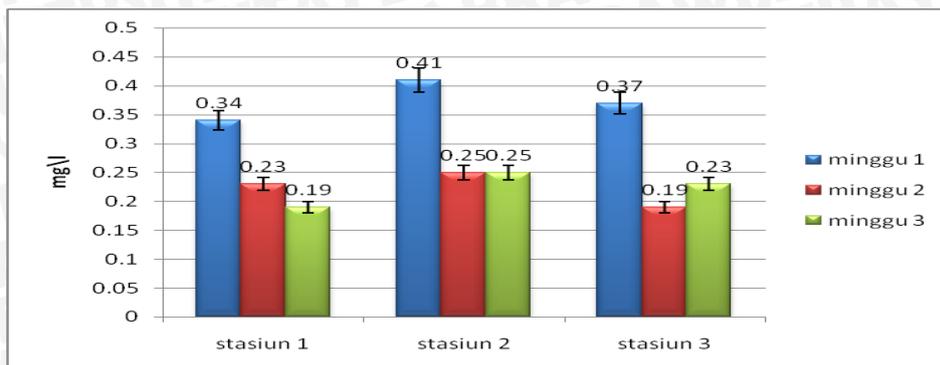
Tabel 15. Data Hasil Pengukuran Orthofosfat Pada Perairan Sungai.

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Rata - rata
Stasiun	Minggu	1(mg/L)	2(mg/L)	
1	1	0.167	0.515	0.253
	2	0.142	0.313	
	3	0.175	0.207	
2	1	0.216	0.597	0.302
	2	0.211	0.284	
	3	0.194	0.309	
3	1	0.564	0.171	0.263
	2	0.197	0.185	
	3	0.256	0.205	

Nilai rata – rata terendah terdapat pada stasiun 1 dan tertinggi terdapat pada stasiun 2 (lihat Gambar 28). Hal ini disebabkan karena pada stasiun 2 adalah outlet dari IPAL pabrik kertas dan terdapat masukan dari daerah pertanian sehingga orthofosfat yang terkandung dalam air mempunyai nilai yang tinggi. Secara keseluruhan kadar orthofosfat yang ada pada perairan Sungai Lesti adalah tinggi. Hal ini diduga disebabkan karena adanya lahan pertanian yang luas dengan penggunaan pupuk yang besar sehingga memungkinkan masuknya limbah pertanian yang mengandung fosfat ke dalam air sungai selain itu masukan limbah industri dan limbah domestik juga menyebabkan pengayaan orthofosfat di perairan. Sehingga perairan Sungai Lesti sudah termasuk dalam perairan dengan kondisi eutrofikasi.

Vollenweider dalam Wetzel (1975) dalam Effendi (2003) menyatakan bahwa terdapat tiga klasifikasi perairan berdasarkan kadar orthofosfat adalah :

- Perairan oligotrofik memiliki kadar orthofosfat antara 0.003 – 0.01 mg/liter
- Perairan mesotrofik memiliki kadar orthofosfat antara 0.011 – 0.03 mg/liter
- Perairan eutrofik memiliki kadar orthofosfat antara 0.031 – 0.1 mg/liter.



Gambar 28. Grafik kandungan orthofosfat perairan Sungai Lesti (mg/L)

4.7.3 Parameter Kimia Tanah

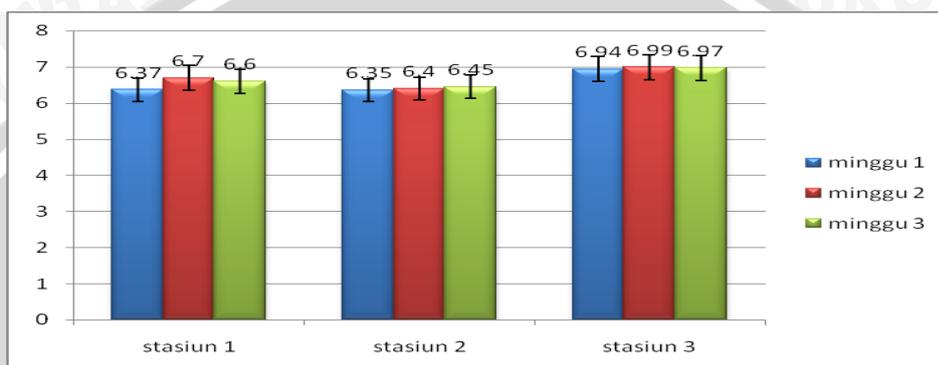
a. pH Sedimen

Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion H^+ di dalam tanah, semakin masam tanah tersebut. Di dalam tanah selain H^+ dan ion $-$ ion lain ditemukan pula ion OH^- , yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya ion H^+ . pada tanah $-$ tanah masam jumlah ion H^+ lebih tinggi daripada OH^- , sedang pada tanah alkalis kandungan OH^- lebih banyak daripada H^+ , bila kandungan H^+ sama dengan OH^- maka tanah bereaksi netral yaitu mempunyai $pH = 7$ (Hardjowigeno. 1995). Kisaran pH sedimen di Sungai Lesti antara 6.28 – 7.28 (lihat pada Tabel 16).

Tabel 16. Data Hasil Pengukuran pH sedimen

Stasiun	Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Rata - rata
	Minggu		1	2	
1	1		6.41	6.34	6.57
	2		6.73	6.81	
	3		6.56	6.61	
2	1		6.28	6.42	6.4
	2		6.32	6.48	
	3		6.38	6.52	
3	1		6.62	7.26	6.97
	2		7.28	6.70	
	3		7.01	6.94	

Berdasarkan hasil pengamatan, nilai pH yang didapat tidak menunjukkan perbedaan yang cukup besar (Lihat Gambar 29). Kisaran pH sedimen Sungai Lesti termasuk kisaran netral cenderung basa. Namun menurut standar baku NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*). US Department of Commerce, maka hasil analisis pH sedimen di lokasi penelitian di bawah nilai baku yaitu 7.5 hingga 8.7.



Gambar 29. Grafik pH sedimen

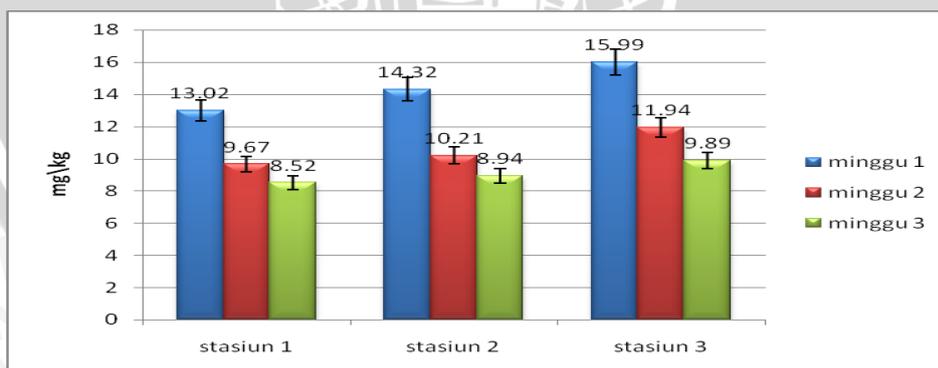
b. Nitrat Sedimen

Nitrogen adalah unsur hara makro utama yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak. diserap tanaman dalam bentuk ammonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-). Sumber N tidak diperoleh dari batuan dan mineral tapi berasal dari hasil pelapukan bahan organik, dari udara melalui fiksasi N oleh mikroorganisme baik yang bersimbiosa dengan akar tanaman leguminosa seperti bakteri rhizobium atau seperti bakteri *Azotobacter* dan *Clostridium*. Sumber lain dari nitrogen di dalam tanah melalui air hujan dan melalui penambahan pupuk buatan seperti urea atau ZA (Fauzi, 2008). Kisaran nitrat sedimen pada perairan Sungai Lesti adalah 8.34 (mg/kg) – 16.26 (mg/kg) dapat di lihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Data Hasil Pengukuran Nitrat – Nitrogen Sedimen.

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Rata - rata
Stasiun	Minggu	1(mg/kg)	2(mg/kg)	
1	1	13.53	12.51	10.41
	2	10.26	9.09	
	3	8.71	8.34	
2	1	14.01	14.64	11.16
	2	9.62	10.81	
	3	8.62	9.26	
3	1	16.26	15.72	12.61
	2	12.59	11.28	
	3	10.14	9.65	

Nilai terendah pada stasiun 1 (lihat Gambar 30) dikarenakan pada stasiun tersebut sumber nitrat hanya berasal dari kegiatan pertanian sedangkan nilai tertinggi pada stasiun 3 karena masukan bahan organik berasal dari stasiun 1 dan 2 besarnya nilai nitrat sedimen tersebut diduga dikarenakan penggunaan pupuk yang mengandung nitrogen pada sawah disekitar Sungai Lesti. Pupuk yang biasanya digunakan oleh petani adalah pupuk ZA dan Urea. Tetapi, dapat dikatakan nilai nitrat sedimen pada Sungai Lesti masih tergolong normal, karena menurut Susana (1997), kadar n-nitrat Sungai Cirarab adalah 14.32 mg/kg dan Sungai Mati adalah 29.92 mg/kg.



Gambar 30. Grafik kandungan nitrat sedimen (mg/kg)



c. Phospat Sedimen

Unsur P di dalam tanah berasal dari bahan organik (pupuk kandang, sisa - sisa tanaman), pupuk buatan (TPS dan DS), mineral – mineral di dalam tanah (Hardjowigeno, 1995). Unsur hara P di sedimen mempunyai konsentrasi yang lebih tinggi daripada air. Pada sedimen terdapat fosfor anorganik dan organik yang mengandung senyawa – senyawa berasal dari tanaman dan mikroorganisme yang tersusun dari asam nukleat, fosfolipid dan folutid. Materi organik yang berasal dari seresah yang kemudian membusuk, kaya akan sumber – sumber P organik, namun akan diserap kembali oleh tanaman dalam bentuk tersedia (Sutiknowati, 2005). Dari hasil analisis phospat sedimen didapatkan kisaran phospat di Sungai Lesti berkisar antara 12.96 mg\kg – 29.90 mg\kg (lihat Tabel 18).

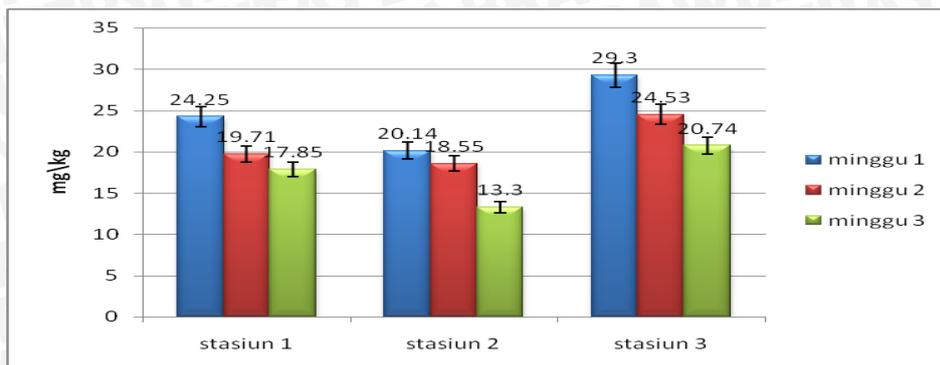
Tabel 18. Data Hasil Pengukuran Phospat Sedimen

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Rata - rata
Stasiun	Minggu	1(mg\kg)	2(mg\kg)	
1	1	25.18	23.32	20.6
	2	20.44	18.97	
	3	18.78	16.92	
2	1	20.47	19.80	17.33
	2	18.88	18.21	
	3	13.63	12.96	
3	1	29.90	28.69	24.85
	2	25.17	23.89	
	3	20.63	20.84	

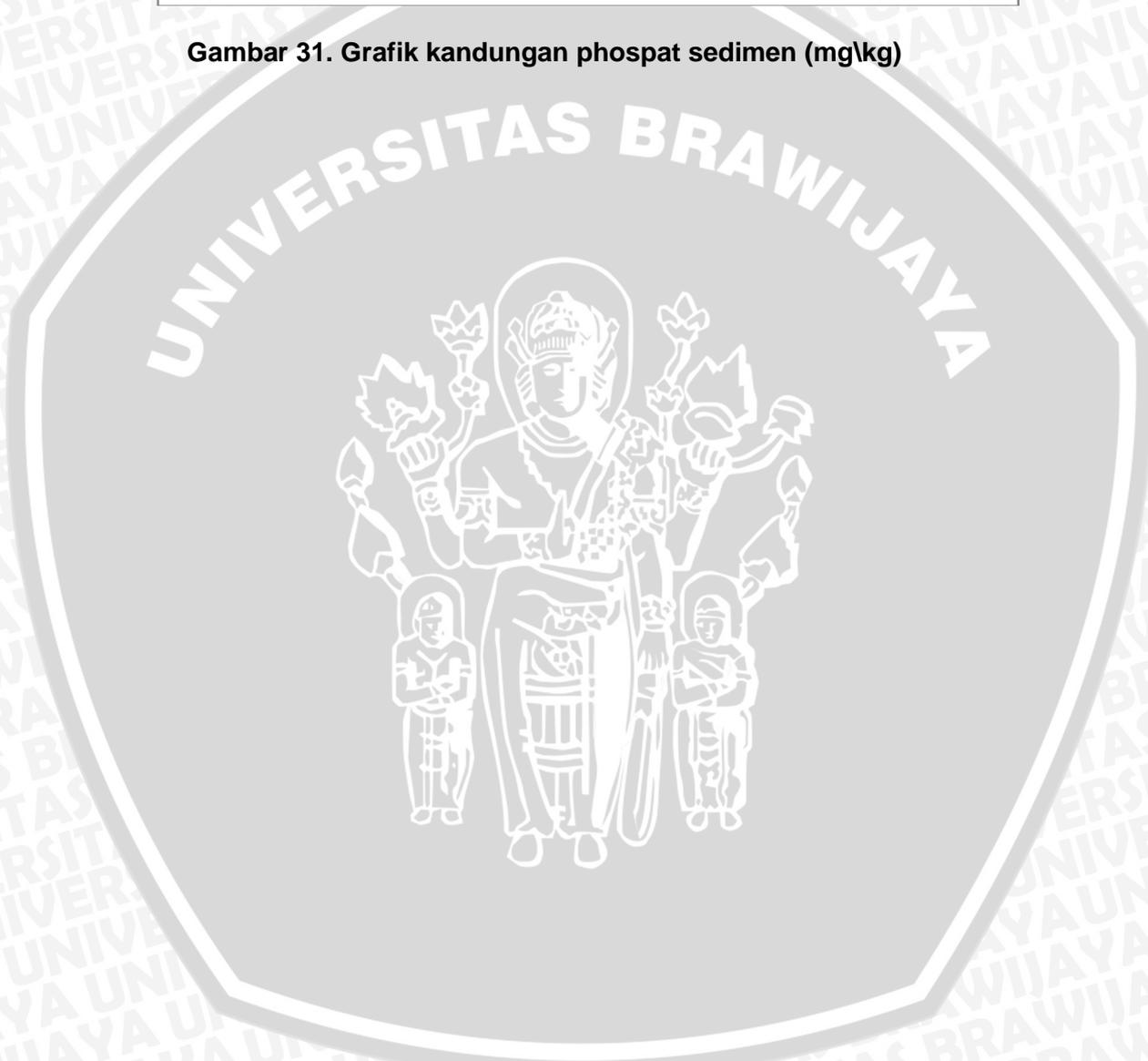
Kadar phospat terendah pada stasiun 2 dan tertinggi pada stasiun 3 (lihat Gambar 31). hal ini diduga karena pada stasiun 3 merupakan daerah muara sehingga banyak bahan organik yang terdapat pada stasiun tersebut.

Faesholi (2010), menyatakan rentang nilai P tanah sangat lebar rentang dari 3.5 sampai 190.7 mg/kg. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa kadar phospat sedimen Sungai Lesti masih dalam batasan normal bagi organisme.





Gambar 31. Grafik kandungan fosfat sedimen (mg/kg)



5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

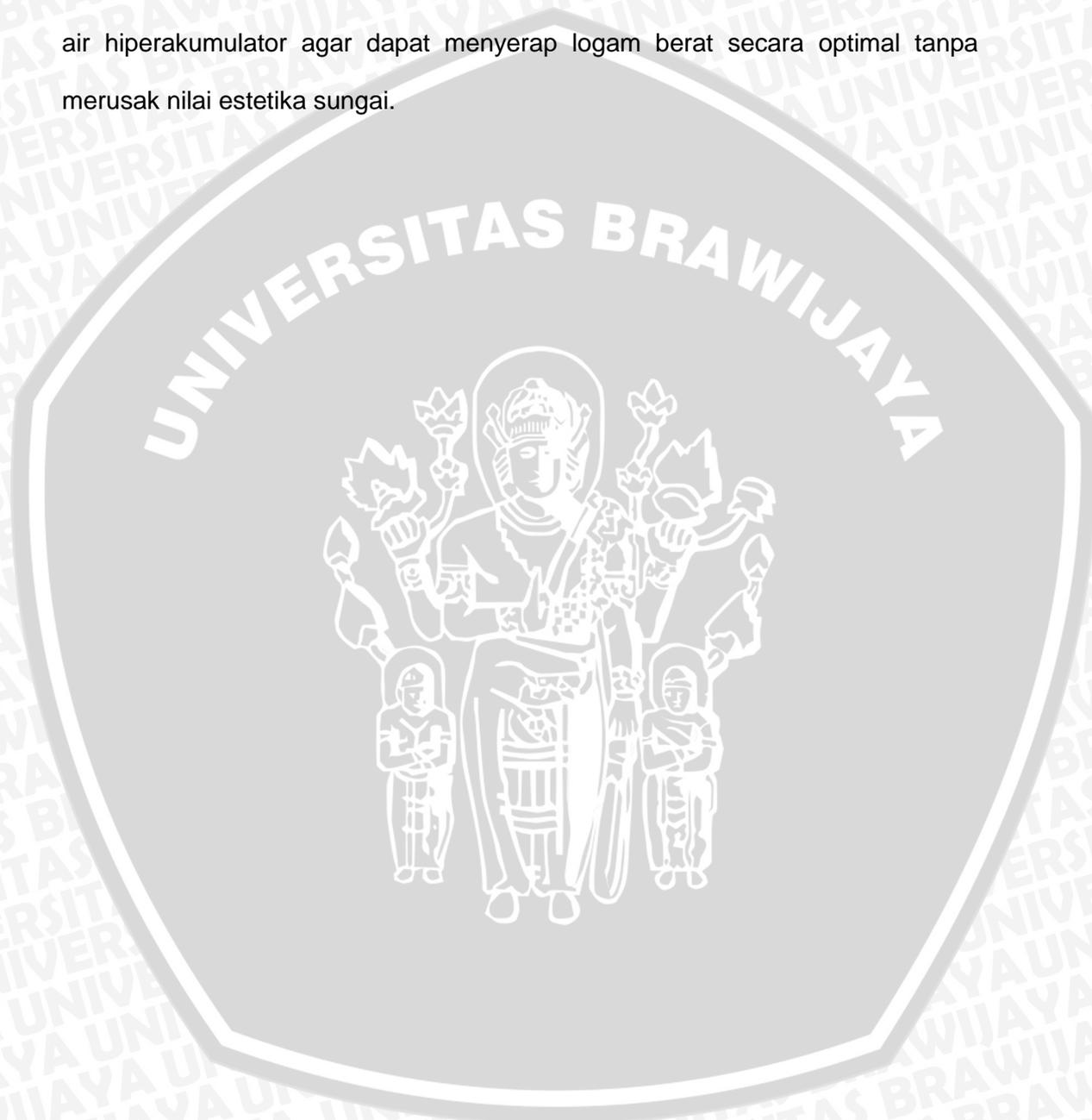
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Logam Pb pada perairan Sungai Lesti berkisar 0.23 – 0.78 ppm melebihi ambang batas dari yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No.82 tahun 2001 untuk golongan III sebesar 0.03 ppm. Keberadaan pabrik kertas PT.Ekamas Fortuna memberikan pengaruh terhadap peningkatan logam berat Pb di Sungai Lesti melalui pengujian pada air, sedimen dan eceng gondok, sehingga dapat disimpulkan bahwa perairan Sungai Lesti sudah tercemar logam berat Pb.
2. Dari semua stasiun kadar Pb pada akar 1.56 – 3.27 mg/kg; batang 3.26 – 7.85 mg/kg dan daun 3.75 – 7.95 mg/kg, sehingga disimpulkan bahwa eceng gondok mengakumulasi logam berat pada seluruh bagian tubuhnya yaitu akar, batang dan daun. Akumulasi tertinggi terdapat pada bagian daun.
3. Akumulasi logam berat Pb pada jaringan daun terdapat paling banyak pada jaringan epidermis dan parenkim.

5.2 Saran

Saran dari hasil penelitian ini untuk pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna dalam pengelolaan limbah cairnya agar memantau secara ketat nilai baku mutu limbah cair yang dibuang ke perairan agar tidak mencemari Sungai Lesti. Selain itu menerapkan bioremediasi dengan tanaman air agar logam berat yang ada pada limbah cair dapat terakumulasi pada tanaman air tersebut. Untuk masyarakat sekitar disarankan untuk tidak menggunakan air Sungai Lesti sebagai

bahan baku air minum. dan pada bidang pertanian tidak dianjurkan menggunakan pupuk anorganik karena akan menyebabkan eutrofikasi. untuk pemerintah disarankan melakukan pengawasan yang lebih ketat terhadap limbah yang dihasilkan disepanjang Sungai Lesti dan membuat zonasi tempat tanaman air hiperakumulator agar dapat menyerap logam berat secara optimal tanpa merusak nilai estetika sungai.



Daftar Pustaka

- Ahmad. F. 2009. Tingkat Pencemaran Logam Berat Dalam Air Laut Dan Sedimen Di Perairan Pulau Muna. Kabaena. Dan Buton Sulawesi Tenggara. Jurnal MAKARA. SAINS. VOL. 13. NO. 2. NOVEMBER 2009: 117-124
- Alaerts. G. dan Santika. S. S. 1987. Metode Penelitian Air. Usaha Nasional. Surabaya
- Arfiati. D. 2001. Limnologi. Sub Bahasan Kimia Air. Diktat Kuliah. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang
- Arikunto. S. 2005. Prosedur Penelitian : Suatu Pendekatan Praktik. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Artantiwi. W. 1995. Distribusi Logam Berat Pb (Timbal) Dalam Tubuh Eceng Gondok. Skripsi. Jurusan Biologi. Fakultas MIPA. Universitas Brawijaya. Malang
- Balai Pengelolaan Daerah ALiran Sungai Brantas. 2007. Statistika Pengelolaan Daerah ALiran Sungai Brantas. Departemen Kehutanan. Direktorat Jendral Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Nasioanal.
- Barus. T. A. 2001. Pengantar Limnologi. Jurusan Biologi FMIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Batcher. M. 2000. Eichornia crassipes (Mart) Solms. Water Hyacinth. Discover Life. Copyright 1995 – 2001. UC Regents. University Of California. Berkeley.
- Boyd. C. E. 1979. Water Quality Management In Warm Water Fish Ponds. ICFA. Auburn University. Alabama.
- Cahyono. R. 2007. Dampak Limbah Cair Pt Kertas Basuki Rachmat. Banyuwangi Terhadap Kesehatan Masyarakat. Tesis. Program Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang
- Cornell. D., W. Gregory. J., Miller. Koestoer. Yanti (Editor). 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI Press. Jakarta
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup Dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam. UI Press. Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. Kumpulan SNI Bidang Pekerjaan Umum Mengenai Kualitas Air. Jakarta.
- Effendi. H. 2003. Telaah Kualitas Air. Penerbit Kanisius. Yogyakarta

- Faesholi. A. I. 2010. Kondisi Nitrat Dan Fosfat Terhadap Kualitas Lamun Di Perairan Pantai Bama Taman Nasional Baluran Kabupaten Situbondo Jawa Timur. Skripsi Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang
- Fardiaz. S. 1992. Polusi Air dan Udara. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi IPB. Bogor.
- Fauzi. A. 2008. Analisa Kadar Unsur Hara Karbon Organik Dan Nitrogen Di Dalam Tanah Perkebunan Kelapa Sawit Bengkalis Riau. Tugas Akhir Fakultas Kimia dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Fauzi. M. 2001. Faktor Fisika Dan Kimia Air Sungai Selagan Bengkulu Utara. Jurnal Natur Indonesia III (2): 168 – 177
- Fitriyah. N. 2008. Studi Komunitas Alga Periphyton Pada Daun Lamun *Enhalus acoroides* Di Pantai Bama Kecamatan Banyuputih Kabupaten Situbondo Jawa Timur. Skripsi Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang
- Fitter. A. H dan Hay. R. K. M. 1991. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Gadjah Mada University Press. Jogjakarta.
- Furqonita, D. 2007. Seri IPA Biologi SMP kelas VIII. Qudra. Jakarta. Hal 187-189
- Hardjowigeno. S. 1995. Ilmu Tanah Edisi Revisi. Cetakan keempat. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Hariono. B. 1998. Berbagai Masalah Pencemaran Logam Berat Di Lingkungan Kita. Jurnal Manusia dan Lingkungan No 15. Th. V hal. 37-46
- Hariyadi. S., Suryadiputra, L.N., Widagdo, B. 1992. Limnologi : Praktikum dan Metode Analisis Kualitas Air. Fakultas Perikanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hutomo. M dan Aziz. A. 1999. Oceana. Majalah ilmiah Semi Populer. Volume XXIV. Nomer 1. Puslitbang Oceanografi. LIPI. Jakarta
- Haryanti, S., N. Setiari, R. B. Hastuti, E. D. Hastuti, Y. Nurchayati. 2009. Respon Fisiologi Dan Anatomi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solm) Di Berbagai Perairan Tercemar. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi*, Vol. 10, No. 1, 2009: 30 – 40
- Hidayat, E. B. 1996. Anatomi Tumbuhan Berbiji. Penerbit ITB. Bandung
- Hutagalung. H. P. 1997. Pencemaran Laut Oleh Logam Berat Dalam Status Pencemaran Laut Di Indonesia Dan Teknik Pemantauannya. P3O. LIPI. Jakarta.
- Irfanto. 2010. Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Limbah Cair Pt.Ekamas Fortuna Pada Sungai Lesti Dengan Bioindikator Kangkung (*Ipomea Aquatica*) Di Kabupaten Malang. Skripsi. Fakultas Perikanan Dan Ilmu

Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang

IT IS Standart Report. 2011. The Plants Database. <http://www.itis.gov/>

Kantor Kecamatan Pagak. 2009. Monografi Kecamatan Pagak. Kabupaten Malang.

Kholidiyah. N. 2010. Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* Solms) Sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) Dan Plumbum (Pb) Pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo. Kecamatan Porong. Kabupaten Sidoarjo. Skripsi. Jurusan Biologi Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim. Malang

Kristanto. P. 2002. Ekologi Industri. Penerbit Andi. Jogjakarta.

Kurniawan. R. 2009. Analisa Tentang Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Dalam Menyerap Logam Timbal (Pb) Dengan Konsentrasi Berbeda .Skripsi. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang

Kusuma. Z. 2008. Pencemaran Tanah Dan Air Oleh Bahan Agrokimia. Pasca Sarjana. Universitas Brawijaya. Malang.

Kusumastuti. W. 2006. Evaluasi Lahan Basah Bervegetasi Mangrove Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan (Studi Kasus Di Desa Kepetingan Kabupaten Sidoarjo) Thesis. Program Studi Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang

Lail. N. 2008. Penggunaan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Sebagai Pre Treatment Pengolahan Air Minum Pada Air Selokan Mataram. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia. Jogjakarta

Lakitan. B. 2001. Dasar – Dasar Fisiologi Tumbuhan. Raja Grafindo Persada. Jakarta

Mahmood Q., Z. Ping, S.M. Rehan, I. Ejuz, A. M. Rashid, H. Yousaf. 2005. Anatomical Studies On Water Hyacinth (*Eichornia Crassipes* (Mart.) Solms) Under The Influence Of Textile Wastewater. Journal Of Zhejiang University Science Issn 1009-3095

Mukti. A. M. 2008. Penggunaan Tanaman Eceng Gondok Sebagai Pre Treatment. Skripsi. Jurusan Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan . Univ. Islam Indonesia. Jogjakarta

Nawawi. H. 1996. Penelitian Terapan. Gadjah Mada University Press. Jogjakarta.

Odum. E. P .2000. Dasar – dasar Ekologi. Edisi Ketiga. Alih Bahasa: Simangun. T. Gajah Mada University Press. Yogyakarta

Onrizal. 2005. Adaptasi Tumbuhan Mangrove pada Lingkungan Salin dan Jenuh Air. Jurusan Kehutanan. Fakultas Pertanian. USU. Medan

- Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Panjaitan, G. Y. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Pada Pohon Avicennia Marina Di Hutan Mangrove. Thesis. Departemen Kehutanan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara.
- Purnomo, T. dan Muchyiddin. 2007. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik Jurusan Biologi FMIPA. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Purwandari, A. R. 2009. Efektifitas Penggunaan Tanaman Kangkung (*Ipomoea Aquatica*). Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*). Dan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Terhadap Penurunan Kadar Nitrat Dan Fosfat Pada Limbah Cair Pt. Sasa Inti Gending Probolinggo. Skripsi. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang
- Putra, K. G. D. 2009. Petunjuk Teknis Pemantauan Kualitas Air. Udayana University Press. Bali
- Raharjo, T. A. 1998. Studi Tentang Pengaruh Pemanenan. Kedalaman dan waktu Tinggal Dalam Reaktor Duckwedd (*Lemna sp*) Untuk Menurunkan COD. N dan P. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan. FTSP. ITS. Surabaya
- Rahman, A. 2006. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Beberapa Jenis Krustasea Di Pantai Batakan Dan Takisung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Bioscientiae* volume 3: 93-101
- Ramey. 2001. *Eichhornia crassipes* Non-Native to Florida. Center For Aquatic and Inasive Plants. University Of Florida. IFAS
- Rochyatun, E., M. T. Kaisupy, A. Rozak. 2006. Distribusi Logam Berat Dalam Air Dan Sedimen Di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Jurnal Makara. Sains*. Vol. 10. No. 1. April 2006: 35-40
- Rosmarkam, A. dan Nasih, W. Y. 2002. Ilmu Kesuburan Tanah. Penerbit Kanisius. Jogjakarta.
- Santi, D. N. 2004. Pengelolaan Limbah Cair Pada Industri Penyamakan Kulit Industri Pulp Dan Kertas Industri Kelapa Sawit. Bagian Kesehatan Lingkungan. Fakultas Kesehatan Masyarakat . Universitas Sumatera Utara
- Sarief, E. 1986. Ilmu Tanah Pertanian. Cetakan Kedua. Pustaka Buana. Bandung.
- Sasongko, L.A. 2006. Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk Di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya. Kecamatan Gajah Mungkur . Semarang. Jawa Tengah. Tesis. Program Magister Ilmu Lingkungan. Program Pasca Sarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.

- Sastrawijaya. A. T. 1991. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta. Jakarta.
- Sefray. 2010. Gambar siklus karbon, fosfat, nitrogen. <http://google.images.com>.
- Septory, R., A. Hanafi, J. Risandi. 2008. Kualitas Fisika Dan Kimia Sedimen Pada Perairan Gondol-Bali. prosiding seminar nasional tahunan v hasil penelitian perikanan dan kelautan tahun 2008 (ugm) jilid 2
- Setyowati. S.. N. H. Suprpti, E. Wiryani. 2007. Kandungan Logam tembaga (Cu) dalam Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* Solms.). Perairan dan Sedimen Berdasarkan Tata Guna Lahan di Sekitar Sungai Banger Pekalongan
- Soemirat. J. 2003. Toksikologi Lingkungan. Gajah Mada University Press. Jogjakarta.
- Subarijanti. U. H. 1990. Limnology. Diktat Kuliah. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang
- Subarijanti. U. H. 2002. Ekologi Perairan. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang
- Sudaryanti. S. 1997. Prosiding Pelatihan Strategi Pemantauan Kualitas Air Secara Biologi. Fakultas Perikanan dan Wageningen Agricultural University. The Netherlands. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sugiyono, 2005, Metode Penelitian Kualitatif, Bandung. Alfabeta
- Sunarmi. P.. S. Andayani. Purwohadiyanto. 2006 Dasar – Dasar Ilmu Tanah. . Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang
- Suntoro. 1987. Metode Pewarnaan. Bharatara Karya Aksara. Jakarta
- Suprobowati. D. 2005. Pengaruh Penggunaan Eceng Gondok. Kayu Apu Dan Hydrilla Terhadap Penyerapan Kandungan Nitrat Dan Fosfat Air Limbah Domestik. Skripsi Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang
- Surakhmad. W. 1995. Pengantar Penelitian Ilmiah. Penerbit Tarsito. Bandung
- Susana. T. 1997. Rasio Senyawa Nitrogen Di Muara Sungai Cirarab dan Sungai Mati. Prosiding Seminar Biologi XIV Dan Kongres Nasional Biologi XI 1: 481 – 496
- Sutiknowati. L. I. 2005. Kelimpahan Bakteri Fosfat Di Padang Lamun Teluk Banten. Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia (2010) 36(1): 21-35
- Suwondo, Y. Fauziah, Syafrianti. S. Wariyanti. 2005. Akumulasi Logam Cuprum (Cu) Dan Zincum (Zn) Di Perairan Sungai Siak Dengan Menggunakan Bioakumulator Eceng Gondok *Eichhornia crassipes*. Jurnal Biogenesis Vol. 1(2):51-56.

Syekhfani. 1997. Hara – Air – Tanah – Tanaman. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang

Tim Asisten Limnologi. 2010. Petunjuk Praktikum Limnologi Analisis Air. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang.

Tim Asisten Tanah. 2010. Petunjuk Praktikum Tanah. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang.

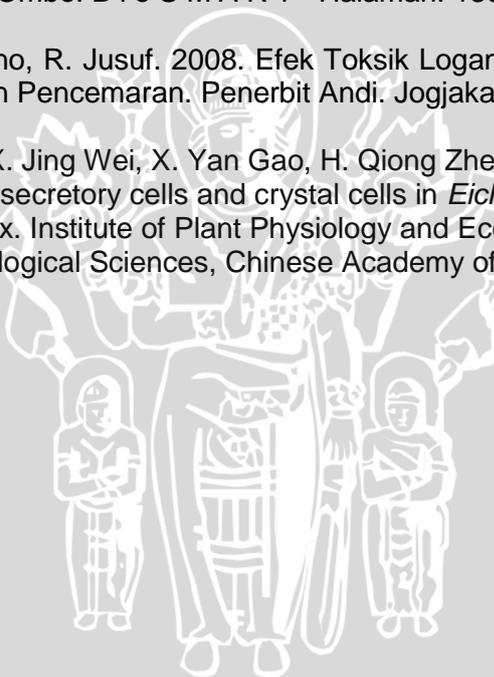
Welch. E. B .1980. Ecological Effect of Waste Water Aplied Limnology and Pollutant Effect. Cambridge University Press. Washington

Widagdo. S. 2005. Tanaman Elemen Lanskap Sebagai Biofilter Untuk Mereduksi Polusi (Pb) di Udara. Makalah pribadi falsafah sains IPB. Bogor.

Widiyanti, C. A., Sunarto, N. S. Handajani. 2005. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) serta Struktur Mikroanatomi Ctenidia dan Kelenjar Pencernakan (Hepar) *Anodonta woodiana* Lea di Sungai Serang Hilir Waduk Kedung Ombo. B i o S M A R T Halaman: 136-142.

Widowati. W., A Sastiono, R. Jusuf. 2008. Efek Toksik Logam: Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Penerbit Andi. Jogjakarta.

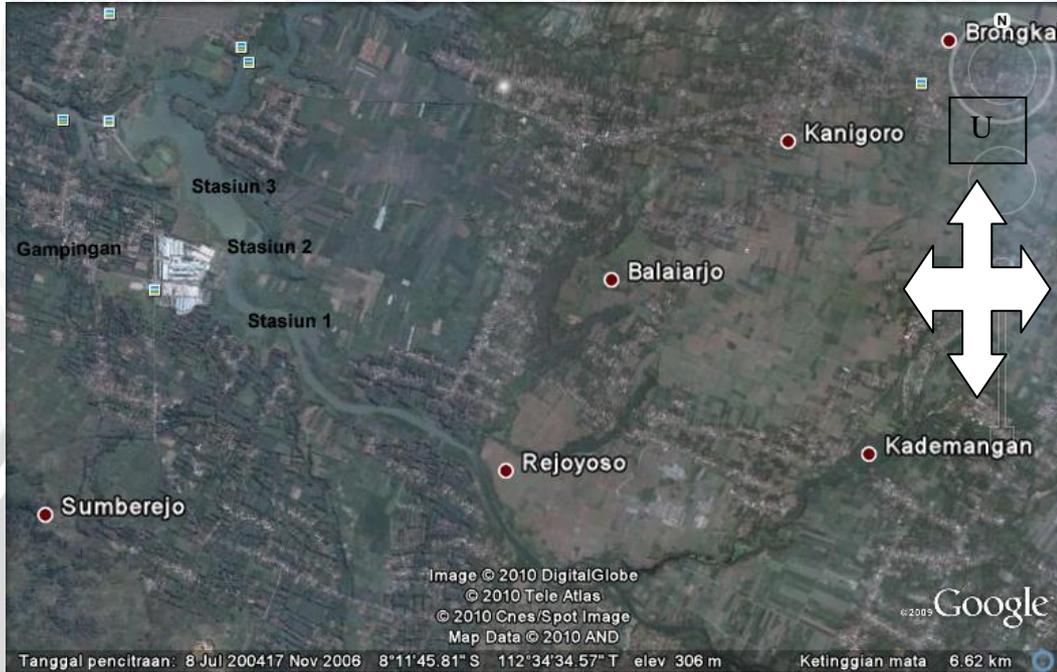
Xin Xu, G.,Chao Tan, X. Jing Wei, X. Yan Gao, H. Qiong Zheng. 2010. Development of secretory cells and crystal cells in *Eichhornia crassipes* ramet shoot apex. Institute of Plant Physiology and Ecology, Shanghai Institutes for Biological Sciences, Chinese Academy of Sciences.



Lampiran 1. a. Denah Lokasi Penelitian



Lanjutan Lampiran 1. b. Lokasi Stasiun Pengambilan Sampel Di Sungai Lesti



Skala 1:7000 cm



Lampiran 2. Kriteria Eceng Gondok Sampel



Sampel Stasiun 1 kiri



Sampel Stasiun 2 kiri



Sampel Stasiun 3 kiri



Sampel Stasiun 1 kanan

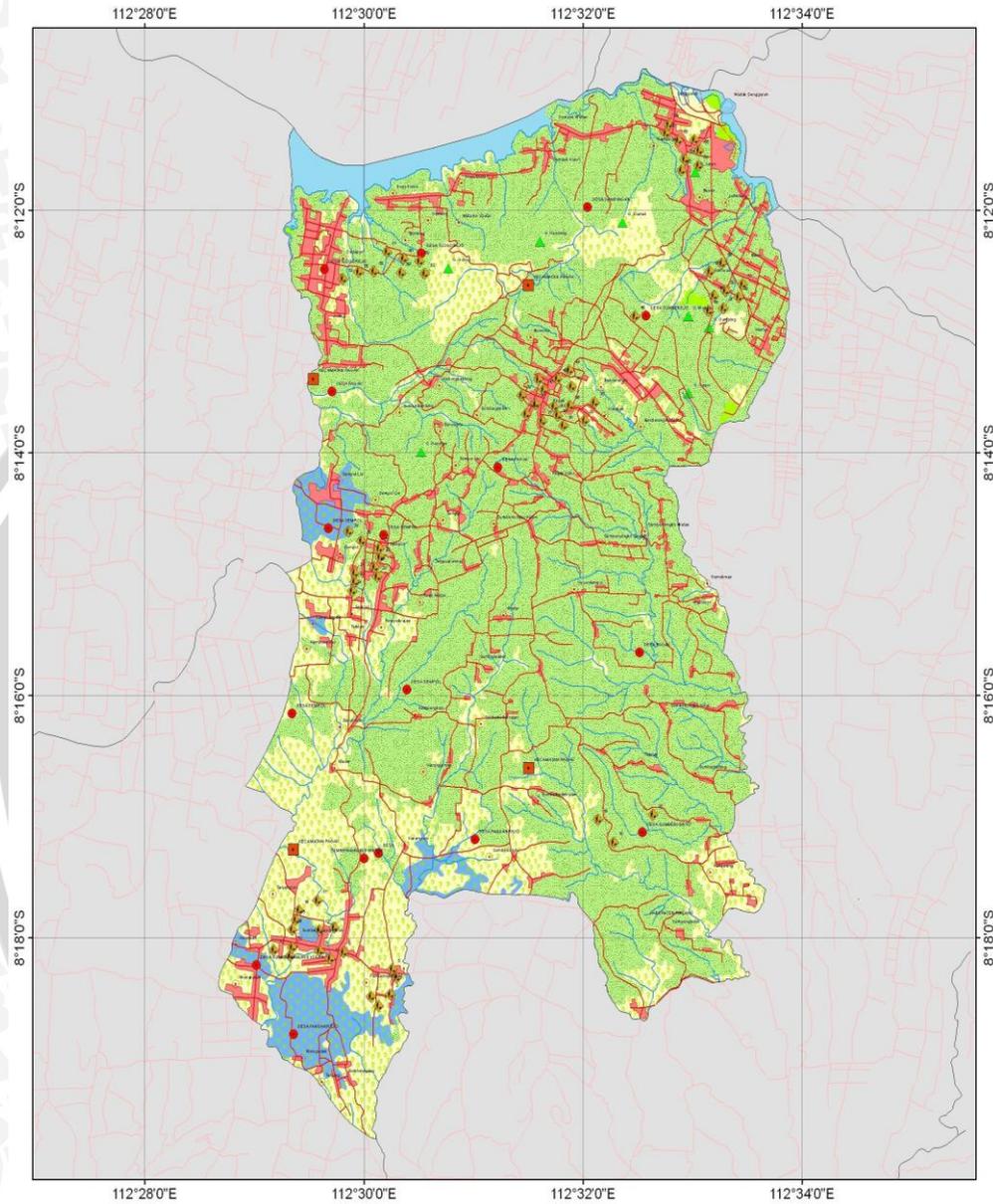


Sampel Stasiun 2 kanan



Sampel Stasiun 3 kanan

Lampiran 3. Peta Kecamatan Pagak. Kabupaten Malang



PETA KECAMATAN PAGAK

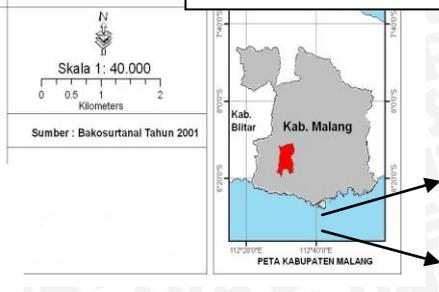
Legenda

- | | | |
|------------------|-----------------|-------------------|
| Lokasi Pekerjaan | sungai | sawah tadah hujan |
| dusun | Kecamatan Pagak | danau |
| desa | kecamatan lain | |
| kecamatan | pemukiman | |
| Waduk | belukar | |
| gunung | kebun | |
| Jalan Pagak | ladang | |
| Jalan lain | sawah irigasi | |

Keterangan insert:

1. Kec. Pagak
2. Lokasi pengambilan sampel

Peta Kab.



- 1
- 2



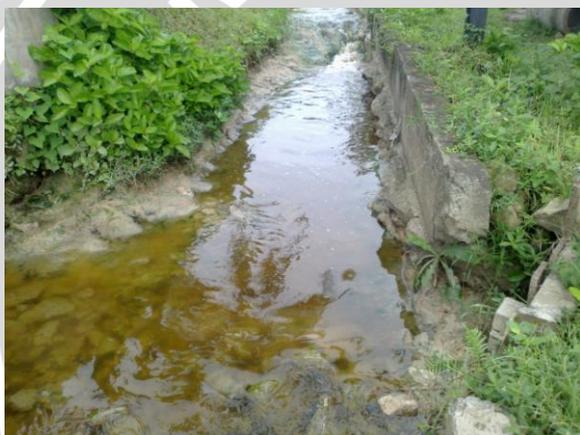
Lampiran 4. Outlet Utama Limbah Cair Yang Langsung Menuju Sungai



Outlet utama limbah cair



Warna air limbah cair



Endapan limbah cair pada tanaman disekitar
cair



tanaman yang rusak akibat limbah

Lampiran 5. Limbah Cair Yang Memasuki Kawasan Pertanian



Limbah cair yang masuk ke tanah pertanian



aliran limbah cair di sawah

Lampiran 6. Perhitungan Uji T

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Air

perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	minggu	1	2			
1	1	0.48	0.3	0.78	0.39	0.3
	2	0.37	0.23	0.6	0.3	
	3	0.23	0.19	0.42	0.21	
2	1	0.7	0.78	1.48	0.74	0.505
	2	0.44	0.51	0.95	0.475	
	3	0.29	0.31	0.6	0.3	
3	1	0.61	0.53	1.14	0.57	0.41667
	2	0.4	0.42	0.82	0.41	
	3	0.28	0.26	0.54	0.27	
total		3.8	3.53	7.33		
rata- rata		0.42222	0.39222			

Ket. pada titik sampel
 a = sebelah kanan aliran sungai
 b = sebelah kiri aliran sungai

Uji T berpasangan Timbal (Pb) Air

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	2	
1	0.39	0.74	-0.35
2	0.3	0.475	-0.175
3	0.21	0.3	-0.09
$\sum X = X_1$	0.9	1.515	-0.615
$\bar{X} = \bar{X}_n$	0.3	0.505	-0.205

- $\bar{X}_n = \frac{0.3+0.505}{2} = 0,4025$ atau $\frac{0,9+1,515}{6} = 0,4025$
- $S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-0.35)^2 + (-0.175)^2 + (-0.09)^2 - (-0.615)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{0.161 - 0.126}{2} = 0.0175$

$$S_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 \frac{0,0175}{3} \longrightarrow S_d = 0.0763$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{S_d} = \frac{0,205}{0,0763} = 2.686$$

$t_{0,05(2)} = 4.303$ dan $t_{0,01(2)} = 9.925$

Karena $t_{hitung}(2.686) > t_{0,01(2)}(9.925) \rightarrow$ menerima H_0 . sehingga disimpulkan

kadar logam berat Pb pada air di stasiun 1 sama dengan stasiun 2 dengan kata lain tidak berbeda nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	3	
1	0.39	0.57	-0.18
2	0.3	0.41	-0.11
3	0.21	0.27	-0.06
$\sum X = X_1$	0.9	1.25	-0.35
$\bar{X} = \bar{X}_n$	0.3	0.4167	-0.1167

$$\bar{X}_n = \frac{0.3+0.4167}{2} = 0,358 \text{ atau } \frac{0.9+1.25}{6} = 0,358$$

$$S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-0.18)^2 + (-0.11)^2 + (-0.06)^2 - (-0.35)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{0.0481 - 0.0408}{2} = 0.0036$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,0036}{3} \rightarrow S_d = 0.034$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{S_d} = \frac{0,1167}{0,034} = 3.43$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(3.43) < t_{0.05(2)}(4.303) \rightarrow$ menerima H_0 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada air di stasiun 1 tidak berbeda dengan stasiun 3 dengan kata lain tidak berbeda nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	2	3	
1	0.74	0.57	0.17
2	0.475	0.41	0.065
3	0.3	0.27	0.03
$\sum X = X_1$	1.515	1.25	0.265
$\bar{X} = \bar{X}_n$	0.505	0.4167	0.088

$$\bar{X}_n = \frac{0.505+0.4167}{2} = 0,46 \text{ atau } \frac{1.515+1.25}{6} = 0,46$$

$$S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((0.17)^2 + (0.065)^2 + (0.03)^2 - (0.265)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{0.034 - 0.0234}{2} = 0.005$$

$$s_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,005}{3} \longrightarrow S_d = 0.04$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_d} = \frac{|\bar{A}-\bar{B}|}{s_d} = \frac{0,088}{0,04} = 2.2$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(2.2) < t_{0.05(2)} (4.303) \rightarrow$ menerima H_0 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada air di stasiun 2 tidak berbeda dengan stasiun 3 dengan kata lain tidak berbeda nyata.

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Air

perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	minggu	a	b			
1	1	0.48	0.3	0.78	0.39	0.3
	2	0.37	0.23	0.6	0.3	
	3	0.23	0.19	0.42	0.21	
2	1	0.7	0.78	1.48	0.74	0.505
	2	0.44	0.51	0.95	0.475	
	3	0.29	0.31	0.6	0.3	
3	1	0.61	0.53	1.14	0.57	0.41667
	2	0.4	0.42	0.82	0.41	
	3	0.28	0.26	0.54	0.27	
total		3.8	3.53	7.33		
rata- rata		0.42222	0.39222			

Ket.pada titik sampel
 a = sebelah kanan aliran sungai
 b = sebelah kiri aliran sungai

$$FK = \frac{Y^2}{r \times n} = \frac{53.73}{18} = 2.985$$

Ket. n = jumlah perlakuan
 r = jumlah ulangan

$$JKT = \sum Y_{ij}^2 - FK = (0.48^2 + 0.37^2 + 0.23^2 + \dots + 0.26^2) - 2.985 = 0.482$$

$$JKK = \frac{\sum (\text{jumlah total kuadrat kelompok}) - FK}{n} = \frac{(3.8^2 + 3.53^2) - 2.985}{9} = 0.004$$

$$JKP = \frac{\sum (\text{jumlah total kuadrat perlakuan}) - FK}{r} = \frac{(0.78^2 + 0.6^2 + 0.42^2 + \dots + 0.54^2) - 2.985}{2} = 0.445$$



$$JKG = JKT - (JKK+JKP) = 0.482 - (0.004+0.445) = 0.033$$

Dan tabel analisis ragamnya (Anova) adalah sebagai berikut:

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
Ulangan/kelompok	1	0.004	0.004	1ns	5.32	11.26
Perlakuan	8	0.445	0.055	13.75**	3.44	6.03
Galat	8	0.033	0.004			
Total	17					

Karena F hitung > F 1% maka disimpulkan perlakuan yang dilakukan “ sangat berbeda nyata”

Perhitungan Standar Deviasi Grafik

$$Sd = \frac{n\sum y^2 - (\sum y)^2}{n(n-1)}$$

$$Sd_1 = 0.09$$

$$Sd_2 = 0.22$$

$$Sd_3 = 0.15$$

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Akar Eceng Gondok

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Total	Rata - Rata Per Minggu	Rata - Rata Per Stasiun
Stasiun	Minggu	A	b			
1	1	1.74	1.56	3.3	1.65	2.128
	2	2.2	1.85	4.05	2.025	
	3	2.95	2.47	5.42	2.71	
2	1	2.15	1.9	4.05	2.025	2.497
	2	2.39	2.27	4.66	2.33	
	3	3.27	3	6.27	3.135	
3	1	1.94	1.79	3.73	1.865	2.158
	2	1.96	1.8	3.76	1.88	
	3	2.81	2.65	5.46	2.73	
total		21.41	19.29	40.7		
rata- rata		2.37889	2.14333			

Ket. pada titik sampel

a = sebelah kanan aliran sungai

b = sebelah kiri aliran sungai

Uji T berpasangan Timbal (Pb) Pada Akar Eceng Gondok

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	2	
1	1.65	2.025	-0.375
2	2.025	2.33	-0.305
3	2.71	3.135	-0.425
$\sum X = X_1$	6.38	7.49	-1.105
$\bar{X} = \bar{X}_n$	2.12	2.49	-0.368

- $\bar{X}_n = \frac{2,12+2,49}{2} = 2,3$ atau $\frac{6,38+7,49}{6} = 2,3$

- $S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1}$

$$\frac{((-0.375)^2 + (-0.305)^2 + (-0.425)^2 - (-1.105)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{0.414 - 0.4070}{2} = 0.0036$$

- $S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = S_d^2 \frac{0,0036}{3} \rightarrow S_d = 0.034$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{s_{\bar{d}}} = \frac{0,368}{0,034} = 10.82$$

$t_{0.05(2)} = 4.303$ dan $t_{0.01(2)} = 9.925$

Karena $t_{hitung}(10.82) > t_{0.01(2)}(9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada akar di stasiun 1 tidak sama dengan stasiun 2 dengan kata lain berbeda sangat nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	3	
1	1.65	1.86	-0.215
2	2.025	1.88	0.145
3	2.71	2.73	-0.02
$\sum X = X_1$	6.38	6.475	-0.09
$\bar{X} = \bar{X}_n$	2.12	2.158	-0.03

$$\bar{X}_n = \frac{2,12+2,158}{2} = 2,14$$
 atau $\frac{6,38+6,475}{6} = 2,14$

- $S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1}$

$$\frac{((-0.215)^2 + (0.145)^2 + (-0.02)^2 - (-0.09)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{0.067 - 0.0027}{2} = 0.032$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,032}{3} \longrightarrow S_d = 0.1$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{|\bar{A}-\bar{B}|}{S_d} = \frac{0,03}{0,1} = 0.3$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(0.3) < t_{0.05(2)} (4.303) \rightarrow$ menerima H_0 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada akar di stasiun 1 tidak berbeda dengan stasiun 3 dengan kata lain tidak berbeda nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	2	3	
1	2.025	1.86	0.16
2	2.33	1.88	0.45
3	3.135	2.73	0.405
$\sum X = X_1$	7.49	6.475	1.015
$\bar{X} = \bar{X}_n$	2.49	2.158	0.338

$$\bar{X}_n = \frac{2.49+2.158}{2} = 2,32 \text{ atau } \frac{7.49+6.47}{6} = 2,32$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((0.16)^2 + (0.45)^2 + (0.405)^2 - (1.015)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{0.39 - 0.34}{2} = 0.025$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,05}{3} \longrightarrow S_d = 0.09$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{|\bar{A}-\bar{B}|}{S_d} = \frac{0,338}{0,09} = 3.76$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(3.76) < t_{0.05(2)} (4.303) \rightarrow$ menerima H_0 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada akar di stasiun 2 tidak berbeda dengan stasiun 3 dengan kata lain tidak berbeda nyata.

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Akar Eceng Gondok



Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Total	Rata - Rata Per Minggu	Rata - Rata Per Stasiun
Stasiun	Minggu	a	b			
1	1	1.74	1.56	3.3	1.65	2.128
	2	2.2	1.85	4.05	2.025	
	3	2.95	2.47	5.42	2.71	
2	1	2.15	1.9	4.05	2.025	2.497
	2	2.39	2.27	4.66	2.33	
	3	3.27	3	6.27	3.135	
3	1	1.94	1.79	3.73	1.865	2.158
	2	1.96	1.8	3.76	1.88	
	3	2.81	2.65	5.46	2.73	
total		21.41	19.29	40.7		
rata- rata		2.37889	2.14333			

Ket.pada titik sampel

a = sebelah kanan aliran sungai

b = sebelah kiri aliran sungai

$$FK = \frac{Y^2}{r \times n} = \frac{1656.49}{18} = 92.027$$

Ket. n = jumlah perlakuan

r = jumlah ulangan

$$JKT = \sum Y_{ij}^2 - FK = (1.74^2 + 2.2^2 + 2.95^2 + \dots + 2.73^2) - 92.027 = 4.26$$

$$JKK = \sum \frac{(\text{jumlah total kuadrat kelompok})}{n} - FK$$

$$= \frac{(21.41^2 + 19.29^2)}{9} - 92.027 = 0.25$$

$$JKP = \sum \frac{(\text{jumlah total kuadrat perlakuan})}{r} - FK$$

$$= \frac{(3.3^2 + 4.05^2 + 5.42^2 + \dots + 5.46^2)}{2} - 92.027 = 3.95$$

$$JKG = JKT - (JKK + JKP) = 4.26 - (0.25 + 3.95) = 0.06$$

Dan tabel analisis ragamnya (Anova) adalah sebagai berikut:

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
Ulangan/kelompok	1	0.25	0.25	33.3**	5.32	11.26
Perlakuan	8	3.95	0.49	65.3**	3.44	6.03
Galat	8	0.06	0.0075			
Total	17					

Karena F hitung > F 1% maka disimpulkan perlakuan yang dilakukan “ sangat berbeda nyata”

Perhitungan Standar Deviasi Grafik

$$Sd = \frac{n\sum y^2 - (\sum y)^2}{n(n-1)}$$

$$Sd_1 = 0.54$$

$$Sd_2 = 0.57$$

$$Sd_3 = 0.5$$

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Tangkai Eceng Gondok

Perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	Minggu	1	2			
1	1	3.26	3.6	6.86	3.43	4.52
	2	4.68	4.56	9.24	4.62	
	3	5.65	5.4	11.05	5.525	
2	1	5.28	5.84	11.12	5.56	6.92
	2	7.31	7.64	14.95	7.475	
	3	7.85	7.6	15.45	7.725	
3	1	4.3	4.01	8.31	4.155	5.42
	2	5.85	5.63	11.48	5.74	
	3	6.27	6.45	12.72	6.36	
total		50.45	50.73	101.18		
rata- rata		5.605	5.637			

Ket. pada titik sampel

a = sebelah kanan aliran sungai

b = sebelah kiri aliran sungai

Uji T berpasangan Timbal (Pb) Pada Batang Eceng Gondok

Minggu	Ulangan	Stasiun		A - B = d
		1	2	
1		3.43	5.56	-2.13
2		4.62	7.475	-2.86
3		5.525	7.725	-2.2
	$\sum X = X_1$	13.58	20.77	-7.2
	$\bar{X} = \bar{X}_n$	4.53	6.92	-2.4

$$\bullet \bar{X}_n = \frac{4.53+6.92}{2} = 5,725 \text{ atau } \frac{13,58+20,77}{6} = 5,725$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-2.13)^2 + (-2.86)^2 + (-2.2)^2 - (-7.2)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{17.56 - 17.23}{2} = 0.16$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 \frac{0,16}{3} \longrightarrow S_d=0.23$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{|\bar{A}-\bar{B}|}{s_{\bar{d}}} = \frac{2,4}{0,23} = 10.43$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(10.43) > t_{0.01(2)} (9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada batang di stasiun 1 tidak sama dengan stasiun 2 dengan kata lain berbeda sangat nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	3	
1	3.43	4.155	-0.72
2	4.62	5.74	-1.12
3	5.525	6.36	-0.83
$\sum X = X_1$	13.58	16.25	-2.67
$X = \bar{X}_n$	4.53	5.42	-0.9

$$\bar{X}_n = \frac{4.53+5.42}{2} = 4,97 \text{ atau } \frac{13.58+16.25}{6} = 4,97$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-0.72)^2 + (-1.12)^2 + (-0.83)^2 - (-2.67)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{2.46 - 2.37}{2} = 0.04$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,04}{3} \longrightarrow S_d=0.115$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{|\bar{A}-\bar{B}|}{s_{\bar{d}}} = \frac{0,9}{0,115} = 7.8$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{0.05(2)}(4.303) < t_{hitung}(7.8) < t_{0.01(2)} (9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada batang di stasiun 1 tidak sama dengan stasiun 3 dengan kata lain berbeda nyata.



Ulangan Minggu	Stasiun		A - B = d
	2	3	
1	5.56	4.155	1.41
2	7.475	5.74	1.74
3	7.725	6.36	1.37
$\sum X = X_1$	20.77	16.25	4.52
$\bar{X} = \bar{X}_n$	6.92	5.42	1.5

$$\bar{X}_n = \frac{6.92+5.42}{2} = 6,17 \text{ atau } \frac{20.77+16.25}{6} = 6,17$$

- $$S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((1.41)^2 + (1.74)^2 + (1.37)^2 - (4.52)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{6.9 - 6.81}{2} = 0.04$$

- $$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,04}{3} \longrightarrow S_d = 0.115$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{S_d} = \frac{1,5}{0,115} = 13.04$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(13.04) > t_{0.01(2)} (9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada batang berbeda di stasiun 2 tidak sama dengan stasiun 3 dengan kata lain berbeda sangat nyata.

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Tangkai Eceng Gondok

Perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	Minggu	1	2			
1	1	3.26	3.6	6.86	3.43	4.52
	2	4.68	4.56	9.24	4.62	
	3	5.65	5.4	11.05	5.525	
2	1	5.28	5.84	11.12	5.56	6.92
	2	7.31	7.64	14.95	7.475	
	3	7.85	7.6	15.45	7.725	
3	1	4.3	4.01	8.31	4.155	5.42
	2	5.85	5.63	11.48	5.74	
	3	6.27	6.45	12.72	6.36	
total		50.45	50.73	101.18		
rata- rata		5.605	5.637			

Ket.pada titik sampel
1 = sebelah kanan aliran sungai

2 = sebelah kiri aliran sungai

$$FK = \frac{Y^2}{r \times n} = \frac{10237.4}{18} = 568.7$$

Ket. n = jumlah perlakuan
r = jumlah ulangan

$$JKT = \sum Y_{ij}^2 - FK = (3.26^2 + 4.68^2 + 5.65^2 + \dots + 6.45^2) - 568.7 = 33.24$$

$$JKK = \sum \frac{(\text{jumlah total kuadrat kelompok})}{n} - FK$$
$$= \frac{(50.45^2 + 50.73^2)}{9} - 568.7 = 0.05$$

$$JKP = \sum \frac{(\text{jumlah total kuadrat perlakuan})}{r} - FK$$
$$= \frac{(6.86^2 + 9.24^2 + 11.05^2 + \dots + 12.72^2)}{2} - 568.7 = 33$$

$$JKG = JKT - (JKK + JKP) = 33.24 - (0.05 + 33) = 0.19$$

Dan tabel analisis ragamnya (Anova) adalah sebagai berikut:

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
Ulangan/kelompok	1	0.05	0.05	0.012 ^{ns}	5.32	11.26
Perlakuan	8	33	4.125	171.88 ^{**}	3.44	6.03
Galat	8	0.19	0.024			
Total	17					

Karena F hitung > F 1% maka disimpulkan perlakuan yang dilakukan “ sangat berbeda nyata”

Perhitungan Standar Deviasi Grafik

$$Sd = \frac{n\sum y^2 - (\sum y)^2}{n(n-1)}$$

$$Sd_1 = 1.05$$

$$Sd_2 = 1.19$$

$$Sd_3 = 1.13$$

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Daun Eceng Gondok

perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	minggu	1	2			
1	1	3.75	3.9	7.65	3.825	5.13
	2	5.19	5.44	10.63	5.315	
	3	6.14	6.38	12.52	6.26	
2	1	5.25	6.15	11.4	5.7	7.132
	2	7.48	7.7	15.18	7.59	
	3	7.95	8.26	16.21	8.105	
3	1	4.76	4.4	9.16	4.58	6.047
	2	6.39	6.65	13.04	6.52	
	3	7.24	6.84	14.08	7.04	
total		54.15	55.72	109.87		
rata- rata		6.01667	6.19			

Ket. pada titik sampel

a = sebelah kanan aliran sungai

b = sebelah kiri aliran sungai

Uji T berpasangan Timbal (Pb) Pada Daun Eceng Gondok

Minggu	Ulangan	Stasiun		A - B = d
		1	2	
1		3.825	5.7	-1.875
2		5.315	7.59	-2.275
3		6.26	8.105	-1.84
	$\sum X = X_1$	15.4	21.4	-5.99
	$\bar{X} = \bar{X}_n$	5.13	7.13	-1.99

$$\bullet \bar{X}_n = \frac{5.13+7.13}{2} = 6,13 \text{ atau } \frac{15.4+21.4}{6} = 6,13$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-1.875)^2 + (-2.275)^2 + (-1.84)^2 - (-5.99)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{12.07 - 11.96}{2} = 0.058$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 \frac{0,058}{3} \longrightarrow S_d = 0.139$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{S_{\bar{d}}} = \frac{1,99}{0,139} = 14.31$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(14.31) > t_{0.01(2)}(9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada daun di stasiun 1 tidak sama dengan stasiun 2 dengan kata lain berbeda sangat nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	3	
1	3.825	4.58	-0.755
2	5.315	6.52	-1.205
3	6.26	7.04	-0.78
$\sum X = X_1$	15.4	18.14	-2.74
$\bar{X} = \bar{X}_n$	5.13	6.05	-0.913

$$\bar{X}_n = \frac{5.13+6.05}{2} = 5,59 \text{ atau } \frac{15,4+18,14}{6} = 5,59$$

$$S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-0.755)^2 + (-1.205)^2 + (-0.78)^2 - (-2.74)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{2.63 - 2.5}{2} = 0.06$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,06}{3} \rightarrow S_d = 0.141$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{S_d} = \frac{0,913}{0,141} = 6.475$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{0.05(2)}(4.303) < t_{hitung}(6.475) < t_{0.01(2)}(9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada daun di stasiun 1 tidak sama dengan stasiun 3 dengan kata lain berbeda nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	2	3	
1	5.7	4.58	1.12
2	7.59	6.52	1.07
3	8.105	7.04	1.06
$\sum X = X_1$	21.4	18.14	3.25
$\bar{X} = \bar{X}_n$	7.13	6.05	1.08

$$\bar{X}_n = \frac{7.13+6.05}{2} = 6,59 \text{ atau } \frac{21,4+18,14}{6} = 6,59$$

$$S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1}$$

$$\left(\frac{(1.12)^2 + (1.07)^2 + (1.06)^2 - (3.25)^2 / 3}{3 - 1} \right) = \frac{3.5229 - 3.5208}{2} = 0.002$$

$$s_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = s_d^2 = \frac{0,002}{3} \longrightarrow S_d = 0.0258$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{S_{\bar{d}}} = \frac{1,08}{0,0258} = 41.86$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(41.86) > t_{0.01(2)}(9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada daun di stasiun 2 tidak sama dengan stasiun 3 dengan kata lain berbeda sangat nyata.

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Daun Eceng Gondok

Perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	minggu	1	2			
1	1	3.75	3.9	7.65	3.825	5.13
	2	5.19	5.44	10.63	5.315	
	3	6.14	6.38	12.52	6.26	
2	1	5.25	6.15	11.4	5.7	7.132
	2	7.48	7.7	15.18	7.59	
	3	7.95	8.26	16.21	8.105	
3	1	4.76	4.4	9.16	4.58	6.047
	2	6.39	6.65	13.04	6.52	
	3	7.24	6.84	14.08	7.04	
total		54.15	55.72	109.87		
rata- rata		6.01667	6.19			

Ket.pada titik sampel
 1 = sebelah kanan aliran sungai
 2 = sebelah kiri aliran sungai

$$FK = \frac{Y^2}{r \times n} = \frac{12071.42}{18} = 670.63$$

Ket. n = jumlah perlakuan
 r = jumlah ulangan

$$JKT = \sum Y_{ij}^2 - FK = (3.75^2 + 5.19^2 + 6.14^2 + \dots + 6.84^2) - 670.63 = 31.91$$

$$JKK = \sum \frac{(\text{jumlah total kuadrat kelompok})}{n} - FK$$

$$= \frac{(54.15^2 + 55.72^2)}{9} - 670.63 = 0.14$$

$$JKP = \sum \frac{(\text{jumlah total kuadrat perlakuan})}{r} - FK$$



$$= \frac{(7.65^2 + 10.63^2 + 12.52^2 + \dots + 14.08^2)}{2} - 670.63 = 31.18$$

$$JKG = JKT - (JKK + JKP) = 31.91 - (0.14 + 31.18) = 0.59$$

Dan tabel analisis ragamnya (Anova) adalah sebagai berikut:

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
Ulangan/kelompok	1	0.14	0.14	1.89 ^{ns}	5.32	11.26
Perlakuan	8	31.18	3.89	52.56**	3.44	6.03
Galat	8	0.59	0.074			
Total	17					

Karena F hitung > F 1% maka disimpulkan perlakuan yang dilakukan “ sangat berbeda nyata”

Perhitungan Standar Deviasi Grafik

$$Sd = \frac{\sqrt{n\sum y^2 - (\sum y)^2}}{n(n-1)}$$

$$Sd_1 = 1.23$$

$$Sd_2 = 1.27$$

$$Sd_3 = 1.2$$

Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Sedimen

Perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	minggu	a	B			
1	1	9.12	8.02	17.14	8.57	6.725
	2	7.28	6.16	13.44	6.72	
	3	5.11	4.66	9.77	4.885	
2	1	13.28	14.49	27.77	13.885	10.3983
	2	10.35	9.8	20.15	10.075	
	3	7.14	7.33	14.47	7.235	
3	1	11.36	10.18	21.54	10.77	8.38167
	2	8.6	8.16	16.76	8.38	
	3	6.24	5.75	11.99	5.995	
total		78.48	74.55	153.03		
rata- rata		8.72	8.28333			

Ket. pada titik sampel

a = sebelah kanan aliran sungai

b = sebelah kiri aliran sungai

Uji T berpasangan Timbal (Pb) Pada sedimen

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	2	
1	8.57	13.885	-5.315
2	6.72	10.075	-3.355
3	4.885	7.235	-2.35
$\sum X = X_1$	20.175	31.195	-11.02
$\bar{X} = \bar{X}_n$	6.725	10.398	-3.67

$$\bullet \bar{X}_n = \frac{6.725+10.398}{2} = 8,56 \text{ atau } \frac{20.175+31.195}{6} = 8,56$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-5.315)^2 + (-3.355)^2 + (-2.35)^2 - (-11.02)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{45.02 - 40.48}{2} = 2.27$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = S_d^2 \frac{2,27}{3} \rightarrow S_d = 0.87$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{|\bar{A} - \bar{B}|}{s_{\bar{d}}} = \frac{3,67}{0,87} = 4.21$$

$$t_{0,05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(4.21) < t_{0,05(2)}(4.303) \rightarrow$ menerima H_0 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada sedimen di stasiun 1 tidak berbeda dengan stasiun 2 dengan kata lain tidak berbeda nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	1	3	
1	8.57	10.77	-2.2
2	6.72	8.38	-1.66
3	4.885	5.995	-1.11
$\sum X = X_1$	20.175	25.145	-4.97
$\bar{X} = \bar{X}_n$	6.725	8.38	-1.657

$$\bar{X}_n = \frac{6.725+8.38}{2} = 7.55 \text{ atau } \frac{20.175+25.145}{6} = 7.55$$

$$\bullet S_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((-2.2)^2 + (-1.66)^2 + (-1.11)^2 - (-4.97)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{8.827 - 8.23}{2} = 0.29$$

$$s_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,29}{3} \longrightarrow s_d = 0.31$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_d} = \frac{|\bar{A}-\bar{B}|}{s_d} = \frac{1,657}{0,31} = 5.34$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{0.05(2)} (4.303) < t_{hitung}(5.34) < t_{0.01(2)} (9.925) \rightarrow$ menerima H_1 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada sedimen di stasiun 1 tidak sama dengan stasiun 3 dengan kata lain berbeda nyata.

Minggu \ Ulangan	Stasiun		A - B = d
	2	3	
1	13.885	10.77	3.115
2	10.075	8.38	1.695
3	7.235	5.995	1.24
$\sum X = X_1$	31.195	25.145	6.05
$\bar{X} = \bar{X}_n$	10.398	8.38	2.017

$$\bar{X}_n = \frac{10.398+8.38}{2} = 9,4 \text{ atau } \frac{31.195+25.145}{6} = 9,4$$

$$s_d^2 = \frac{A - B}{n - 1} = \frac{((3.12)^2 + (1.7)^2 + (1.24)^2 - (6.05)^2 / 3)}{3 - 1} = \frac{14.11 - 12.20}{2} = 0.95$$

$$s_d^2 = \frac{Sd^2}{n} = S_d^2 = \frac{0,95}{3} \longrightarrow s_d = 0.56$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{s_d} = \frac{|\bar{A}-\bar{B}|}{s_d} = \frac{2,017}{0,56} = 3.6$$

$$t_{0.05(2)} = 4.303 \text{ dan } t_{0.01(2)} = 9.925$$

Karena $t_{hitung}(3.6) > t_{0.05(2)} (4.303) \rightarrow$ menerima H_0 . sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada sedimen di stasiun 2 tidak berbeda dengan stasiun 3 dengan kata lain tidak berbeda nyata.



Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Sedimen

Perlakuan		ulangan / kelompok		total	rata - rata per minggu	rata - rata per stasiun
stasiun	minggu	1	2			
1	1	9.12	8.02	17.14	8.57	6.725
	2	7.28	6.16	13.44	6.72	
	3	5.11	4.66	9.77	4.885	
2	1	13.28	14.49	27.77	13.885	10.3983
	2	10.35	9.8	20.15	10.075	
	3	7.14	7.33	14.47	7.235	
3	1	11.36	10.18	21.54	10.77	8.38167
	2	8.6	8.16	16.76	8.38	
	3	6.24	5.75	11.99	5.995	
total		78.48	74.55	153.03		
rata- rata		8.72	8.28333			

Ket.pada titik sampel

1 = sebelah kanan aliran sungai

2 = sebelah kiri aliran sungai

$$FK = \frac{Y^2}{r \times n} = \frac{23418.18}{18} = 1301.01$$

Ket. n = jumlah perlakuan
r = jumlah ulangan

$$JKT = \sum Y_{ij}^2 - FK = (9.12^2 + 7.28^2 + 5.11^2 + \dots + 5.75^2) - 1301.01 = 124.67$$

$$JKK = \frac{\sum (\text{jumlah total kuadrat kelompok})}{n} - FK$$

$$= \frac{(78.48^2 + 74.55^2)}{9} - 1301.01 = 0.86$$

$$JKP = \frac{\sum (\text{jumlah total kuadrat perlakuan})}{r} - FK$$

$$= \frac{(17.14^2 + 13.44^2 + 9.77^2 + \dots + 11.99^2)}{2} - 1301.01 = 121.53$$

$$JKG = JKT - (JKK + JKP) = 124.67 - (0.86 + 121.53) = 2.28$$

Dan tabel analisis ragamnya (Anova) adalah sebagai berikut:

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
Ulangan/kelompok	1	0.86	0.86	3.01 ^{ns}	5.32	11.26
Perlakuan	8	121.53	15.19	53.29**	3.44	6.03
Galat	8	2.28	0.285			
Total	17					

Karena F hitung > F 1% maka disimpulkan perlakuan yang dilakukan “ sangat berbeda nyata”

Perhitungan Standar Deviasi Grafik

$$Sd = \frac{n\sum y^2 - (\sum y)^2}{n(n-1)}$$

$$Sd_1 = 1.84$$

$$Sd_2 = 3.34$$

$$Sd_3 = 2.39$$

