

**PENGARUH LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DALAM LIMBAH CAIR
PT.EKAMAS FORTUNA PADA SUNGAI LESTI DENGAN
BIOINDIKATOR KANGKUNG (*Ipomea aquatica*)
DI KABUPATEN MALANG**

**LAPORAN SKRIPSI
MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

**OLEH :
IRFANTO
NIM. 0610810032**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2010**

**PENGARUH LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DALAM LIMBAH CAIR
PT.EKAMAS FORTUNA PADA SUNGAI LESTI DENGAN
BIOINDIKATOR KANGKUNG (*Ipomea aquatica*)
DI KABUPATEN MALANG**

**Oleh:
IRFANTO
NIM. 0610810032**

**Menyetujui,
Dosen Penguji I**

Prof.Ir.Yenny Risjani, DEA.,Ph.D
NIP.196105231987032003
Tanggal :

Dosen Pembimbing I

Dr.Ir.Endang Yuli Herawati, MS
NIP.195707041984032001
Tanggal :

Dosen Penguji II

Ir.Herwati Umi S, MS
NIP.195204021980032001
Tanggal :

Dosen Pembimbing II

Ir.Muhammad Musa, MS
NIP.195705071986021002
Tanggal :

**Mengetahui,
Ketua Jurusan MSP**

Dr. Ir. Happy Nursyam, MS
NIP. 1006003221986011001
Tanggal :

RINGKASAN

IRFANTO. Skripsi Tentang Pengaruh Pengaruh Logam Berat (Pb) Dalam Limbah Cair PT. Ekamas Fortuna Pada Sungai Lesti Dengan Bioindikator Kangkung (*Ipomoea aquatica*) di Kabupaten Malang, (dibawah bimbingan **Dr.Ir.Endang Yuli Herawati, MS** dan **Ir.Muhammad Musa, MS**).

Perkembangan industri di daerah Malang dan sekitarnya cukup pesat, akan selalu diikuti oleh pertambahan jumlah limbah, baik padat, cair maupun gas. Sebagai contoh pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang berada di Kecamatan Pagak Kabupaten Malang yang membuang limbah cairnya ke Sungai Lesti. Limbah cairnya mengandung berbagai jenis logam berat salah satunya logam timbal (Pb). Pencemaran logam berat timbal (Pb) merupakan masalah yang sangat serius untuk ditangani yaitu dengan cara fitoremediasi untuk mengurangi kandungan logam berat Pb yang ada di perairan sungai Lesti tersebut dengan tanaman kangkung yang biasanya juga dikonsumsi sebagai sayuran oleh masyarakat sekitar sungai Lesti.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa jauh tingkat pencemaran logam berat Pb di Sungai Lesti, serta mengetahui seberapa besar pengaruh pembuangan limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna terhadap kadar logam berat Pb di sungai Lesti. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrobiologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan serta di Laboratorium kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang mulai bulan Mei sampai Juli 2010.

Metode yang digunakan pada skripsi ini menggunakan metode deskriptif, sedangkan analisis data statistiknya menggunakan uji t.

Hasil dari penelitian ini diperoleh kadar logam berat Pb pada air berkisar 0,233 – 0,779 ppm melebihi ambang batas dari yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No.20 tahun 2001 untuk golongan III sebesar 0,03 ppm. Kadar logam berat Pb pada sedimen berkisar 4,66 – 14,49 mg/kg masih dalam keadaan alami karena menurut Diantariani dan Putra (2006), batas kandungan alamiah logam Pb di sedimen sebesar 20 mg/kg. Kadar logam berat Pb pada akar kangkung berkisar 0,50 – 1,64 mg/kg, pada batang kangkung berkisar 0,70 – 1,94 mg/kg, pada daun kangkung berkisar 0,96 – 2,10 mg/kg sedangkan berdasarkan Peraturan Kepala BPOM Republik Indonesia Nomor HK.00.06.1.52.4011 Tanggal 28 Oktober 2009 tentang ambang batas cemaran kadar logam timbal (Pb) pada buah dan sayuran sebesar 0,5 mg/kg sehingga disimpulkan bahwa akar, batang dan daun kangkung pada semua stasiun di Sungai Lesti berbahaya untuk dikonsumsi.

Sedangkan hasil dari analisis uji t kadar logam timbal (Pb) baik pada air maupun sedimen, serta kangkung (akar, batang dan daun) menunjukkan nilai t hitung > t tabel baik pada stasiun I dan stasiun II, stasiun I dan stasiun III, serta stasiun II dan stasiun III sehingga disimpulkan keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan kadar logam berat Pb di Sungai Lesti.

Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia air pada Sungai Lesti secara umum masih dalam keadaan normal dengan substrat lumpur, memiliki suhu air berkisar 26 – 30 °C, kecepatan arus berkisar 0,21 – 0,48 m/s, pH air 7 – 8 , pH sedimen berkisar 6,28 – 7,28, karbondioksida berkisar 9,98 – 15,98 mg/l, Orthophosphat berkisar 0,142 – 0,597 mg/l, phosphate sedimen berkisar 8,03 – 18,78 mg/l, nitrat pada air berkisar 0,553 – 2,671 mg/l, dan nilai nitrat pada sedimen berkisar 8,34 – 16,26 mg/l.

Kesimpulan dari penelitian ini kadar logam Pb pada sedimen di Sungai Lesti berkisar 4,66 – 14,49 mg/kg masih dalam keadaan alami karena menurut Diantariani dan Putra (2006), batas kandungan alamiah logam Pb di sedimen sebesar 20 mg/kg namun logam Pb pada perairan berkisar 0,233 – 0,779 ppm melebihi ambang batas dari yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No.20 tahun 2001 untuk golongan III sebesar 0,03 ppm. Keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna pada stasiun II memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan logam berat Pb di sungai Lesti melalui pengujian pada air, sedimen dan kangkung. Sedangkan untuk kangkung dari semua stasiun kadar Pb pada akar 0,50 – 1,64 mg/kg; batang 0,70 – 1,94 mg/kg dan daun 0,96 – 2,10 mg/kg dengan mengacu Peraturan Kepala BPOM Republik Indonesia Nomor HK.00.06.1.52.4011 Tanggal 28 Oktober 2009 tentang ambang batas cemaran kadar logam timbal (Pb) pada buah dan sayuran sebesar 0,5 mg/kg, sehingga disimpulkan bahwa akar, batang dan daun kangkung pada semua stasiun di Sungai Lesti berbahaya untuk dikonsumsi

Saran dari hasil penelitian ini untuk pihak pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna dalam pengelolaan limbah cairnya agar menerapkan bioremediasi dengan tanaman air yang kemudian diujicobakan kepada ikan dikolam sebelum dibuang ke sungai Lesti. Untuk pemerintah harus bekerja sama dengan masyarakat sekitar untuk melakukan pengawasan yang lebih ketat terhadap limbah yang dihasilkan. Selain itu, untuk masyarakat sekitar area pabrik agar tidak mengkonsumsi kangkung sebagai sayuran



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan hasil penelitian. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu kelancaran mulai persiapan pelaksanaan, penyusunan laporan dan ujian skripsi yaitu:

1. Fakultas Perikanan sebagai lembaga pendidikan yang telah menyediakan sarana penunjang penelitian baik alat maupun bahan.
2. Dr.Ir.Endang Yuli Herawati, MS selaku dosen Pembimbing I dan Ir.Muhammad Musa, MS selaku dosen Pembimbing II yang telah sabar memberikan arahan dan bimbingan selama proses penelitian dan penulisan laporan ini.
3. Prof.Ir.Yenny Risjani, DEA, Ph.D selaku dosen penguji I dan Ir.Herwati Umi S, MS selaku dosen penguji II yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan selama proses perbaikan laporan skripsi ini.
4. Dinda'07, Cendekia'07, Rendy'07, Ririn'07, Ambon'07, Mitha'06 dan Ferri '05 yang setia membantu dan menemani saya saat penelitian.

Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan informasi bagi semua pihak yang berminat dan memerlukannya.

Malang, 15 November 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR.	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan	4
1.4 Kegunaan	5
1.5 Hipotesis	5
1.6 Tempat dan Waktu	5
2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kangkung Air (<i>Ipomoea aquatic</i>)	6
2.2 Kegunaan Kangkung	7
2.3 Proses penyerapan unsur hara	8
2.4 Bioremediasi	11
2.5 Limbah cair industri	11
2.6 Industri Pulp dan Kertas	13
2.6.1 Bahan Baku	13
2.6.2 Proses Pembuatan Pulp dan Kertas	14
2.6.3 Pengolah Limbah Pulp dan Kertas	16
2.6.4 Limbah Pabrik Pulp dan Kertas	17
2.7 Pencemaran Logam Berat	18
2.8 Timbal (Pb)	19
2.8.1 Sumber Timbal (Pb)	19
2.8.2 Ciri-Ciri Timbal (Pb)	20
2.8.3 Pengaruh Timbal (Pb) di Perairan	20
2.9 Parameter Kualitas Air Pendukung	22
2.9.1 Parameter Fisika	22
2.9.1.1 Suhu	22
2.9.1.2 Substrat	22
2.9.2 Parameter Kimia	23

2.9.2.1 pH.....	23
2.9.2.2 Karbondioksida.....	24
2.9.2.3 Nitrat nitrogen.....	25
2.9.2.4 Orthophosphat.....	26
3 MATERI DAN METODE PENELITIAN	27
3.1 Materi Penelitian.....	27
3.1.1 Alat-alat yang digunakan	27
3.1.2 Bahan-bahan yang digunakan	28
3.2 Metode	28
3.2.2 Penetapan Stasiun Pengamatan.....	29
3.2.2 Teknik Pengambilan Sampel.....	30
3.2.3 Metode Analisa Contoh	30
4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian	32
4.2 Sungai Lesti.....	33
4.3 Deskripsi Stasiun Pengambilan Sampel.....	34
4.3.1 Stasiun I.....	34
4.3.2 Stasiun II	35
4.3.3 Stasiun III.....	36
4.4 Pabrik Kertas PT.Ekamas Fortuna	37
4.4.1 Sejarah berdirinya	37
4.4.2 Proses Produksi	38
4.4.2.1 Penyediaan Bahan Baku.....	38
4.4.2.2 Proses Pembuatan Kertas.....	39
4.4.3 Produk Yang Dihasilkan.....	40
4.4.4 Pengolahan Limbah Cair PT. Ekamas Fortuna.....	41
4.4.5 Pembuangan akhir limbah yang dihasilkan.....	46
4.5 Hasil Pengukuran Timbal (Pb) di Sungai Lesti.....	51
4.5.1 Timbal (Pb) pada Air.....	51
4.5.2 Timbal (Pb) pada Sedimen	53
4.5.3 Timbal (Pb) pada Akar kangkung.....	55
4.5.4 Timbal (Pb) pada Batang kangkung.....	57
4.5.5 Timbal (Pb) pada Daun kangkung.....	59
4.6 Hasil Pengukuran Kualitas air Sungai Lesti.....	63
4.6.2 Parameter fisika (Suhu, Substrat).....	63
4.6.2 Parameter kimia (pH Air, pH Substrat, Karbondioksida, Phosphat Air, Phosphat Sedimen, Nitrat Air, Nitrat Sedimen).....	64
5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Cotoh Jenis Limbah Cair Pada Indutri.....	12
2. Metode Pengukuran Fisika dan Kimia Air.....	31
3. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada air.....	51
4. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada sedimen.....	53
5. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada akar kangkung.....	55
6. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada batang kangkung.....	57
7. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada daun kangkung.....	60
8. Data Hasil Pengukuran Suhu Air Sungai Selama Penelitian.....	63
9. Data Hasil Pengukuran pH air Selama Penelitian.....	64
10. Data Hasil Pengukuran pH sedimen Sungai selama penelitian.....	65
11. Data Hasil Pengukuran Karbondioksida pada Air Sungai Selama Penelitian	66
12. Data Hasil Pengukuran Orthophospat Air Sungai Selama Penelitian.....	67
13. Data Hasil Pengukuran Phospat sedimen selama penelitian.....	68
14. Data Hasil Pengukuran Nitrat Air Sungai Selama Penelitian.....	69
15. Data Hasil Pengukuran Nitrat Sedimen Sungai Selama Penelitian.....	70



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kangkung Air (<i>Ipomoea aquatic</i>).....	6
2. Masakan kangkung.....	7
3. Proses penyerapan air dan unsur hara.....	9
4. Skema distribusi logam Pb dalam perairan dangkal (Odum, 2000).....	21
5. Siklus karbon.....	24
6. Siklus nitrogen.....	25
7. Siklus fosfor.....	26
8. Stasiun I sebelum buangan limbah pabrik PT.Ekamas Fortuna.....	34
9. Stasiun II tepat dibelakang areal pabrik PT.Ekamas Fortuna.....	35
10. Stasiun III setelah buangan limbah pabrik PT.Ekamas Fortuna.....	36
11. Gerbang utama depan pabrik.....	37
12. Macam-macam produk yang dihasilkan.....	40
13. Limbah Cair Pada bak pencampuran.....	42
14. Tangki aerasi Saat Diberi Aerasi.....	44
15. Outlet dalam pabrik.....	45
16. Saluran utama pembuangan air limbah.....	48
17. Karakteristik air limbah.....	48
18. Air limbah masuk sungai Lesti.....	48
19. Air limbah mencemari sungai Lesti.....	48
20. Pintu saluran utama dengan saluran parit.....	49
21. Air limbah pada saluran parit - parit sawah.....	49
22. Air limbah masuk petak sawah.....	49
23. Air limbah (<i>sludge</i>) mencemari sawah.....	49
24. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar gamping oleh masyarakat	50
25. Pemanfaatan abu batubara sebagai bahan baku batako oleh pihak pabrik...	50
26. Grafik kadar logam Pb dalam air pada setiap stasiun (ppm).....	52
27. Grafik kadar logam Pb dalam substrat pada setiap stasiun (mg/kg).....	54
28. Grafik kadar logam Pb dalam akar kangkung pada setiap stasiun (mg/kg).	56
29. Grafik kadar logam Pb dalam batang kangkung pada setiap stasiun (mg/kg)	59
30. Grafik kadar logam Pb dalam daun kangkung pada setiap stasiun (mg/kg).	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Lokasi stasiun Pengambilan Sampel Di Sungai Lesti.....	76
2 Peta Desa Gampingan.....	77
3 Peta Sungai Lesti Merupakan Bagian DAS Hulu Sungai Brantas.....	78
4 Peta Topografi DAS Hulu Sungai Brantas.....	79
5. Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Air.....	80
6 Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Sedimen.....	83
7. Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Akar.....	86
8. Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Batang	89
9. Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Daun.....	92



PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Malang (2009) menyebutkan jumlah industri baik skala kecil, menengah maupun besar dari mulai tahun 2007 sebesar 1.331 unit, tahun 2008 sebesar 1.407 unit dan tahun 2009 sebesar 1.475 unit. Begitu juga Data Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang (2009) menyebutkan prosentase perkembangan industri dari mulai tahun 2007 sebesar 19,65%, tahun 2008 sebesar 20,12% dan tahun 2009 sebesar 20,23 %. Dari kedua data diatas dapat disimpulkan perkembangan industri di daerah Malang dan sekitarnya dari tahun ke tahun meningkat. Peningkatan jumlah industri ini akan selalu diikuti oleh pertambahan jumlah limbah, baik berupa limbah padat, cair maupun gas. Limbah tersebut mengandung bahan kimia yang beracun dan berbahaya (B3). Limbah-limbah tersebut khususnya pada limbah cair akhirnya akan dibuang ke sungai juga. Sebagai contoh salah satu pabrik yang membuang limbah cairnya ke sungai yaitu pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang berada di Kecamatan Pagak Kabupaten Malang.

Lokasi penelitian dilaksanakan di Sungai Lesti karena sungai ini mengalami perubahan fungsi tata guna lahan menjadi daerah pertanian pada sempadan kanan maupun kiri sungai, aktivitas pertanian dikelola sendiri oleh petani di sekitar sungai. Selain itu Sungai Lesti juga dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan akhir limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna. Menurut Hardiani dan Sugesty (2009), karakteristik limbah cair (*sludge*) pabrik kertas berdasarkan hasil evaluasi yang

mengacu kepada peraturan Kep-04/Bapedal/09/1995 menunjukkan bahwa kadar seluruh logam berat dalam limbah cair IPAL meliputi: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Co, Pb, Hg, Mo, Ni, Sn, Se, Ag dan Zn.

Dalam penelitian ini dipilih logam berat Pb karena faktor ketersediaan terutama yang bersumber dari limbah pewarna, limbah korosif dan limbah sisa pembakaran dari pabrik yang masuk ke perairan. Menurut Fardiaz (1992), sumber timbal selain dari pembakaran bahan bakar, juga dari pewarna karena timbal memiliki kelarutan dalam air yang rendah untuk itu digunakan sebagai bahan baku pewarna cat, begitu juga dapat digunakan sebagai pelindung (anti karat). Adapun logam Pb memiliki sifat-sifat lebih yang tidak dimiliki oleh logam lain, diantaranya:

1. Titik cairnya rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair maka hanya membutuhkan teknik yang sederhana dan murah.
2. Timbal merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah ke berbagai bentuk.
3. Sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab.
4. Timbal dapat membentuk ikatan (*alloy*) dengan logam lainnya, dan ikatan tersebut mempunyai sifat yang berbeda dengan timbal yang murni.
5. Densitas timbal lebih tinggi dibandingkan logam lainnya, kecuali bila dibandingkan dengan emas dan merkuri.

Sedangkan kekurangan logam Pb ini antara lain:

1. Sulit didegradasi sehingga keberadaanya secara alami sulit terurai (dihilangkan).

2. Mudah terakumulasi dalam organisme termasuk hewan, tumbuhan dan manusia yang pada ujung-ujungnya akan membahayakan kesehatan manusia itu sendiri.

Untuk itu pencemaran logam berat timbal (Pb) merupakan masalah yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Ada beberapa jenis tanaman yang terdapat di sungai Lesti diantaranya rumput-rumputan, enceng gondok dan kangkung. Adapun enceng gondok dan kangkung kedua tanaman ini dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam berat yang ada di perairan sungai Lesti tersebut dimana proses seperti ini dinamakan fitoremediasi.

Tanaman yang paling banyak dijumpai diberbagai sudut sungai Lesti adalah enceng gondok begitu pula yang paling efektif dalam penyerapan logam berat adalah enceng gondok karena sifat-sifatnya yang 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 berkembangbiak, serta mudah beradaptasi. Sedangkan kangkung tanaman terbanyak kedua yang banyak dijumpai memiliki perbedaan dengan enceng gondok karena kangkung selalu tumbuh dipinggiran sungai karena membutuhkan substrat tanah untuk media pertumbuhan dan perkembangbiakannya sehingga habitat kangkung selalu pada kondisi air yang berair yang sangat dangkal.

Dalam penelitian ini dipilih kangkung karena kangkung yang ada di sungai Lesti diperkirakan sudah tercemar logam berat Pb dan kangkung yang diperkirakan sudah tercemar itu biasa dikonsumsi sebagai sayuran oleh masyarakat sekitar sungai Lesti,

tentunya yang kondisinya bagus dikonsumsi sebagai sayuran sedangkan yang kondisinya kurang bagus sebagai pakan ternak. Menurut Charlena (2004), mengungkapkan bahwa akumulasi logam berat timbal (Pb) pada tubuh manusia yang terus - menerus dapat mengakibatkan anemia, kemandulan, penyakit ginjal, kerusakan syaraf dan kematian.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Sejauh mana tingkat pencemaran dan pengaruh pembuangan limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna terhadap kadar logam berat Pb di Sungai Lesti?
2. Sejauh mana tingkat kontaminasi logam berat Pb pada kangkung (*Ipomoea aquatica*) di sungai Lesti?

1.3 Tujuan.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui sejauh mana tingkat pencemaran dan pengaruh pembuangan limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna terhadap kadar logam berat Pb di Sungai Lesti.
2. Untuk mengetahui sejauh mana tingkat kontaminasi logam berat Pb pada kangkung (*Ipomoea aquatica*) di sungai Lesti.

1.4 Kegunaan

Adapun kegunaan dari penelitian ini adalah untuk memperluas wawasan dan keterampilan mahasiswa dalam melakukan kegiatan penelitian bioremediasi dengan menggunakan tanaman kangkung (*Ipomea aquatica*), dengan bekal yang telah diperoleh dari bangku kuliah. Dengan harapan bahwa hasil dari penelitian ini dapat memberi informasi kepada masyarakat bahwa kangkung memiliki potensi dalam menyerap limbah timbal (Pb) pada sungai di daerah sekitar area pabrik kertas sehingga berbahaya bila dikonsumsi dan diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat sebagai suatu ilmu pengetahuan baru yang selanjutnya dapat dikembangkan dan dilakukan penelitian lebih lanjut.

1.5 Hipotesis

- Diduga terjadi pencemaran dan ada pengaruh pembuangan limbah cair pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna terhadap kadar logam berat Pb di Sungai Lesti.
- Diduga terjadi kontaminasi logam berat Pb pada kangkung (*Ipomoea aquatica*) di sungai Lesti.

1.6 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan serta di Laboratorium kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang mulai bulan Mei sampai Juli 2010.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kangkung Air (*Ipomoea aquatic*)



Gambar 1. Kangkung Air (*Ipomoea aquatic*)

Deskripsi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatic*) ini bertipe tumbuh merambat sampai tegak, jumlah cabang 9, panjang cabang 236 cm, umur panen 30 – 35 hari, bentuk batang silindris berongga, diameter batang 0,34 - 1 cm, panjang ruas 5 - 10 cm, warna batang hijau muda, bentuk daun segitiga lebar, lebar daun 5,5 - 7 cm, panjang daun 9 - 10 cm, panjang tangkai daun 7 – 12 cm, tepi daun rata / lurus, bentuk ujung daun runcing, jumlah daun percabangan 25 – 35, tekstur daun berserat halus, diameter bunga 4 – 4,5 cm, bentuk bunga terompet, warna bunga putih, warna mahkota bunga putih, warna benang sari putih, jumlah benang sari, setelah dimasak daun maupun batang lunak, renyah, tidak berlendir dan enak, beradaptasi dengan lahan basah tergenang air, kolam ikan dan aliran sungai yang dangkal dan tidak deras, produksi 14 - 16 ton / ha stek pucuk. (Sarjana *et al.*, 2008)

Klasifikasi kangkung air (*Ipomoea aquatica*) menurut Lumbantobing (2006),

adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Super Divisi : Spermatophyta

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Sub Kelas : Asteridae

Ordo : Solanales

Famili : Convolvulaceae

Genus : *Ipomoea*

Spesies : *Ipomoea aquatica* Forsk

2.2 Kegunaan Kangkung



Gambar 2. Masakan kangkung

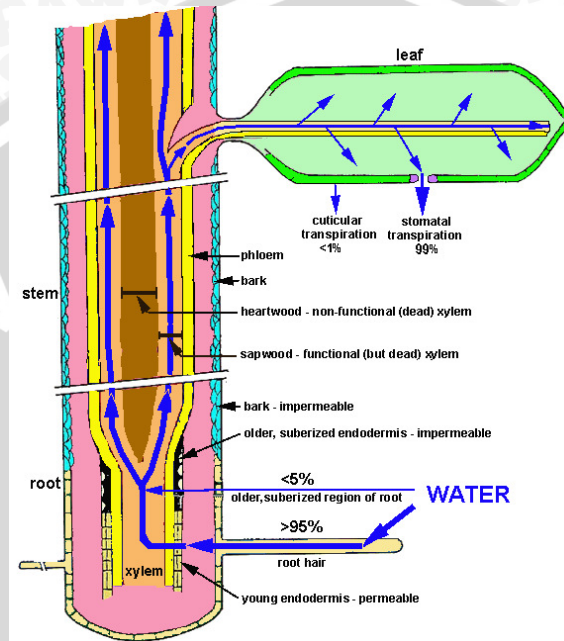
Menurut Rukmana (1994), bagian tanaman kangkung air (*Ipomea aquatica*) yang digunakan masyarakat adalah daun, batang muda dan pucuk – pucuknya sebagai bahan sayur mayur. Demikian juga menurut Sunarjono (1998), akar kangkung dapat digunakan sebagai obat wasir (*haemorrhoid*).

Menurut Anggara (2009), Salah satu tanaman yang banyak dimanfaatkan oleh orang Indonesia untuk keperluan sayuran adalah tanaman kangkung darat. Beberapa orang yang telah mengkonsumsi sayuran kangkung darat tersebut mengaku merasakan kantuk. Berdasarkan literatur, dalam 100 gram tanaman kangkung mengandung 458,00 gram Kalium dan 49,00 gram Natrium. Dimana Kalium dan Natrium ini merupakan persenyawaan garam bromida. Senyawa-senyawa ini bekerja sebagai obat tidur berdasarkan sifatnya yang dapat menekan susunan saraf pusat. Satu lagi khasiat kangkung air yang dipercaya masyarakat dapat menurunkan ketegangan dan menginduksi ketenangan.

2.3 Proses penyerapan unsur hara

Menurut Palapa (2009), tumbuhan mendapatkan nutrisi untuk kebutuhan pertumbuhan dari lingkungan sekitar dengan cara penyerapan oleh akar. Proses penyerapan nutrisi dan mineral ke dalam tumbuhan melalui mekanisme transpor aktif yang terjadi antar sel, dimana nutrisi diserap dalam bentuk unsur atau senyawa. Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Dengan demikian melalui mekanisme yang umum terjadi pada tumbuhan, memungkinkan logam berat untuk diserap oleh tumbuhan. Beberapa faktor yang mempengaruhi permeabilitas sel dalam penyerapan. Membran-membran tumbuhan memiliki resistensi yang berbeda terhadap difusi zat-zat yang melintasinya. Selanjutnya dikatakan bahwa tiap-tiap sel tumbuhan mempunyai sifat permeabilitas yang berbeda dan tidak ada yang sama.

Permeabilitas suatu membran protoplasmik untuk suatu zat tertentu bersifat tetap. Perubahan-perubahan lingkungan baik secara alami maupun secara buatan dapat mempengaruhi permeabilitas sel-sel tumbuhan. .(lihat Gambar 3 berikut)



Gambar 3. Proses penyerapan air dan unsur hara

Menurut Dirjen Tata Perkotaan dan Tata perdesaan (2003), proses dalam sistem penyerapan bahan pencemar oleh tanaman air berlangsung secara alami dengan enam tahap secara serial yang dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan atau pencemar yang ada disekitarnya:

1. *Phytoaccumulation (phytoextraction)* yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi disekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*
2. *Rhizofiltration* (rhizo = akar) adalah proses adsorbs atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar. Proses ini telah dibuktikan

dengan percobaan menanam bunga matahari pada kolam yang mengandung zat radioaktif di Chernobyl Ukraina.

3. *Phytostabilization* yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.
4. *Rhizodegradation* disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation*, atau *planted-assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan misalnya ragi, fungi dan bakteri.
5. *Phytodegradation (phytotransformation)* yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk mengurai zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau diluar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.
6. *Phytovolatilization* yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai 1000 liter per hari untuk setiap batang.

2.4 Bioremediasi

Menurut Palapa (2009), Teknologi bioremediasi adalah salah satu teknik yang digunakan untuk menanggulangi pencemaran dengan memanfaatkan makhluk hidup. Bioremediasi dengan menggunakan tumbuhan dikenal dengan fitoremediasi. Untuk mencapai fitoremediasi yang efisien dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu menggunakan tumbuhan yang hiperakumulator yang sesuai, dan teknik budidaya serta manipulasi partumbuhan yang tepat. Dengan usaha memanipulasi genetika serta agronomi, biomassa tumbuhan hiperakumulator dapat ditingkatkan, demikian pula tumbuhan yang menghasilkan biomassa banyak dapat ditingkatkan daya akumulasi logamnya dengan memanipulasi agronomi. Tumbuhan air yang digunakan sebagai agen bioremediasi akan mengakumulasi logam di dalam tubuhnya. Kemampuan tumbuhan untuk mengakumulasi bahan pencemar berbeda sesuai dengan jenis dan sifat logam yang akan diserap (*absorpsi*). Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasanya dalam kadar yang luar biasa tinggi.

2.5 Limbah Cair Industri

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Sedangkan baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaanya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan.

Sedangkan Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 1998 limbah cair adalah limbah dalam bentuk cair yang dihasilkan oleh kegiatan Kawasan Industri yang dibuang ke lingkungan hidup dan diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan hidup. Sedangkan Baku Mutu Limbah Cair Industri adalah batas maksimum limbah cair yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan hidup dari suatu Industri. Mutu Limbah Cair adalah keadaan limbah cair yang dinyatakan dengan debit, kadar dan beban pencemar itu sendiri. Adapun berbagai jenis industri tertentu menghasilkan jenis limbah yang tertentu pula seperti lihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Cotoh Jenis Limbah Cair Pada Industri

Jenis industri	Jenis limbah
Farmasi	BOD, SS, vitamin
Roti	BOD, lemak, gula
Gula	BOD, COD, SS, TDS, ammonia, panas
Bir	BOD, nitrogen, pati, alcohol
Pengolahan susu	BOD, COD, TDS, pH, sulfide
Makanan dalam kaleng	BOD, SS, koloid, pH, minyak, klorida
Semen	TSS, SS, pH, panas
Plastik dan bahan sintesis	BOD, COD, SS, logam-logam
Detergen	BOD, COD, SS, minyak dan lemak,
Pulp dan kertas	BOD, COD, SS, TDS, logam-logam, zat
Kulit	BOD, COD, total solid, sulfide, krom
Tekstil	BOD, COD, SS, zat warna, detergen,

2.6 Industri Pulp dan Kertas

2.6.1 Bahan Baku

Menurut Cahyono (2007), kayu sebagai bahan baku dalam industri kertas mengandung beberapa komponen antara lain :

1. selulosa

Selulosa merupakan komponen yang paling dikehendaki dalam pembuatan kertas karena bersifat panjang dan kuat. Dalam kayu mengandung sekitar 50 % komponen selulosa.

2. hemiselulosa

Hemiselulosa lebih mudah larut dalam air dan biasanya dihilangkan dalam proses dalam proses pembuatan kertas

3. lignin

Lignin berfungsi merekatkan serat – serat selulosa sehingga menjadi kaku. Pada proses *pulping* secara kimia dan proses pemutihan akan menghilangkan komponen lignin tanpa mengurangi serat selulosa. Komponen lignin dalam kayu adalah sekitar 30 %.

4. bahan ekstraktif

Komponen ini meliputi hormon tumbuhan, resin, asam lemak dan unsur lain. Komponen ini sangat beracun bagi kehidupan perairan dan mencapai jumlah toksik akut dalam limbah industri kertas. Jumlah komponen hemiselulosa dan hidrokarbon dalam kayu adalah sekitar 20 %.

2.6.2 Proses Pembuatan Pulp dan Kertas

Menurut Cahyono (2007), proses produksi kertas terdiri dari beberapa tahap yang pada intinya adalah sebagai berikut :

1. Pembuburan kayu (*pulping*)

Proses pembuatan pulp (*pulping*) pada prinsipnya terbagi atas :

a. Proses Kimia

Proses pembuatan pulp secara kimia terdiri dari dua jenis proses yaitu :

- Proses Sulfat (*kraft*)

Proses ini merupakan proses pembuatan pulp yang dominan di dunia dengan menghasilkan kekuatan yang tinggi, serat panjang, dan kandungan lignin dalam pulp sangat rendah. Proses ini dilakukan dengan memasak potongan kayu dalam sodium hidroksida / soda kaustik. Dengan proses ini lignin dan resin kayu akan dilepaskan dari serat selulosa pulp kemudian dicuci dan diputihkan. Pada proses ini umumnya dilakukan dengan proses tertutup sehingga 95 – 98 % bahan kimia yang digunakan dapat digunakan kembali.

- Proses Sulfit

Proses ini menggunakan peralatan yang serupa dengan proses *kraft* tetapi menggunakan bahan kimia yang berbeda. Karakteristik pulp yang dihasilkan adalah kuat, lembut dan lebih terang warnanya daripada proses *kraft* sehingga dapat mengurangi tahap pemutih. Bahan kimia yang digunakan adalah asam sulfat atau hydrogen sulfit untuk memasak bahan baku sehingga dihasilkan asam sulfit atau pulp bisulfit. Umumnya rata – rata bahan kimia tidak setinggi proses *kraft*.

b. Proses Mekanik

Proses pembuatan pulp secara kimia terdiri dari dua jenis proses yaitu :

- Penggilingan kayu

Proses ini merupakan proses yang paling dasar dari proses *pulping* dan penggilingan kayu atau potongan kayu yang bertujuan untuk memisahkan serat. Kualitas pulp pada proses ini rendah karena masih mengandung lignin sehingga kertas yang dihasilkan mudah robek dan agak kusam. Akibatnya kertas tersebut banyak digunakan untuk kertas koran dan kertas yang memerlukan sedikit kekuatan sobek.

- Proses *thermomechanical* atau *chemo-thermomechanical*

Dua variasi proses mekanik tersebut digunakan secara luas di industri pulp untuk mengurangi konsumsi energi. Pada proses *thermomechanical* hanya digunakan kayu lunak yang direbus sebelum digiling. Sedangkan pada proses *chemothermomechanical* potongan kayu direndam dengan bahan kimia berbasis sulfur untuk mengekstrak resin dan lignin.

2. Pencucian (*washing*)

Hasil pemasakan merupakan serat yang masih berwarna coklat dan mengandung sisa cairan pemasak. Serat ini masih mengandung serat – serat yang tidak dikehendaki. Proses pencucian pulp dilakukan untuk menghilangkan materi yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi dosis zat pemutih. Hasil samping dari proses ini berupa cairan, debu dan lignin. Setelah dicuci pulp dihilangkan lignin yang tersisa menggunakan oksigen dalam larutan putih sehingga menghasilkan bubur

kayu yang lebih putih. Proses ini akan mengurangi jumlah klorin yang dibutuhkan dalam proses pemutihan

3. Pemutihan (*bleaching*)

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan lignin tanpa merusak selulosa.

4. Pembentukan kertas

Pulp yang dihasilkan dari tahap sebelumnya selanjutnya dilakukan penggilingan, pengempaan (*pressing*) untuk mengurangi kadar air dan diikuti dengan pengeringan dengan menggunakan uap. Untuk mendapatkan permukaan yang halus pada kertas cetak dilakukan proses *calendering* sesudah pengeringan, sedangkan untuk membuat permukaan yang mengkilat dan berwarna, sesudah *calendering* dilakukan proses pelapisan (*coating*) untuk produk kertas cetak.

2.6.3 Pengolahan Limbah Pulp dan Kertas

Menurut Cahyono (2007), Pengolahan limbah cair pada industri pulp dan kertas terdiri atas tahap netralisasi, pengolahan primer, pengolahan sekunder dan tahap pengembangan. Sebelum masuk ke tempat pengendapan primer, air limbah masuk dalam tempat penampungan dan netralisasi. Pada tahap ini digunakan saringan untuk menghilangkan benda – benda besar yang masuk ke air limbah. Pengendapan primer biasanya bekerja atas dasar gaya berat. Oleh karenanya memerlukan waktu tinggal sampai 24 jam. Untuk meningkatkan proses pengendapan dapat digunakan bahan flokulasi dan koagulasi di samping mengurangi bahan yang membutuhkan oksigen. Pengolahan secara biologis dapat mengurangi kadar racun dan meningkatkan kualitas air buangan (bau, warna, dan potensi yang mengganggu badan air). Apabila terdapat

lahan yang memadai dapat digunakan laguna fakultatif dan laguna aerasi. Laguna aerasi akan mengurangi 80 % BOD dengan waktu tinggal 10 hari. Apabila tidak terdapat lahan yang memadai maka proses lumpur aktif, parit oksidasi dan *trickling filter* dapat digunakan dengan hasil kualitas yang sama tetapi membutuhkan biaya operasional yang tinggi. Tahap pengembangan dilakukan dengan kapasitas yang lebih besar, melalui pengolahan fisik dan kimia untuk melindungi badan air penerima

2.6.4 Limbah Pabrik Pulp dan Kertas

Menurut Cahyono (2007), limbah proses pembuatan kertas yang berpotensi mencemari lingkungan tersebut dibagi menjadi 4 kelompok yaitu :

a. limbah cair, yang terdiri dari :

- padatan tersuspensi yang mengandung partikel kayu, serat dan pigmen,
- senyawa organik koloid terlarut seperti hemiselulosa, gula, alkohol, lignin, terpening, 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.

b. Partikulat yang terdiri dari :

- abu dari pembakaran kayu bakar dan sumber energi lain
- partikulat zat kimia terutama yang mengandung natrium dan kalsium.

c. Gas yang terdiri dari :

- gas sulfur yang berbau busuk seperti H_2S yang dilepaskan dari berbagai tahap dalam proses *kraft pulping* dan proses pemulihan bahan kimia
- oksida sulfur dari pembakaran bahan bakar
- uap yang mengganggu jarak pandangan

d. Limbah padat yang terdiri dari :

- *sludge* dari pengolahan limbah primer dan sekunder
- limbah dari potongan kayu.

2.7 Pencemaran Logam Berat

Menurut Sudarwin (2008), pencemaran merupakan keadaan yang berubah menjadi lebih buruk, keadaan yang berubah karena akibat masuknya bahan - bahan pencemar. Bahan pencemar umumnya mempunyai sifat toksik (racun) yang berbahaya bagi organisme hidup. Toksisitas atau daya racun dari polutan itulah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran. 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. Risiko apabila mengkonsumsi pakan mengandung bahan toksik setiap harinya adalah akumulasi bahan toksik tersebut sehingga konsentrasi dalam tubuh hewan lebih tinggi dari pada konsentrasi yang

terkandung dalam pakan yang dikonsumsi. Bila seekor hewan mengandung bahan toksik dikonsumsi hewan lainnya maka hewan kedua memiliki konsentrasi bahan toksik lebih tinggi dari hewan pertama, demikian juga hewan ketiga yang memakan hewan kedua, rangkaian proses tersebut disebut rantai makanan. Bahan toksik yang terkandung kemungkinan berupa logam berat. Logam berat yang sering menimbulkan kasus keracunan adalah tembaga (Cu), timbal (Pb), dan merkuri (Hg).

2.8 Timbal (Pb)

2.8.1 Sumber Timbal (Pb)

Menurut Sudarmaji *et al.*, (2006), Kadar Pb yang secara alami dapat ditemukan dalam bebatuan sekitar 13 mg/kg. Khusus Pb yang tercampur dengan batu fosfat dan terdapat didalam batu pasir (*sand stone*) kadarnya lebih besar yaitu 100 mg/kg.

Pb merupakan salah satu logam berat yang digolongkan pada zat pencemar beracun tingkat menengah karena menyebabkan keracunan kronis pada manusia. Tanah yang diolah secara anorganik menggunakan pestisida dapat mengandung komponen Pb arsenat yang bersifat stabil. Konsentrasi Pb di dalam tanah rata-rata adalah 16 ppm, tetapi pada daerah-daerah tertentu dapat mencapai beberapa ribu ppm. Konsentrasi Pb di udara lebih rendah dibandingkan dengan di tanah karena nilai tekanan uapnya rendah. Konsentrasi Pb di udara, di daerah perkotaan mencapai 5 sampai 50 kali daripada di daerah pedesaan. Pencemaran Pb terbesar berasal dari hasil pembakaran bensin yang menghasilkan komponen-komponen Pb terutama $PbBrCl$ dan $PbBrCl \cdot 2PbO$. Pencemaran Pb di air dapat berasal dari komponen-

komponen Pb di udara yang terlarut. ataupun tidak larut di dalam air seperti PbCO_3 . Penggunaan lain Pb adalah untuk produk – produk logam seperti amunisi, pipa, pelapis kabel, pewarna dan lain-lain. Pb juga digunakan sebagai bahan pelapis keramik (*glaze*) dan juga produk-produk pestisida (Siswanto, 2009).

2.8.2 Ciri-Ciri Timbal (Pb)

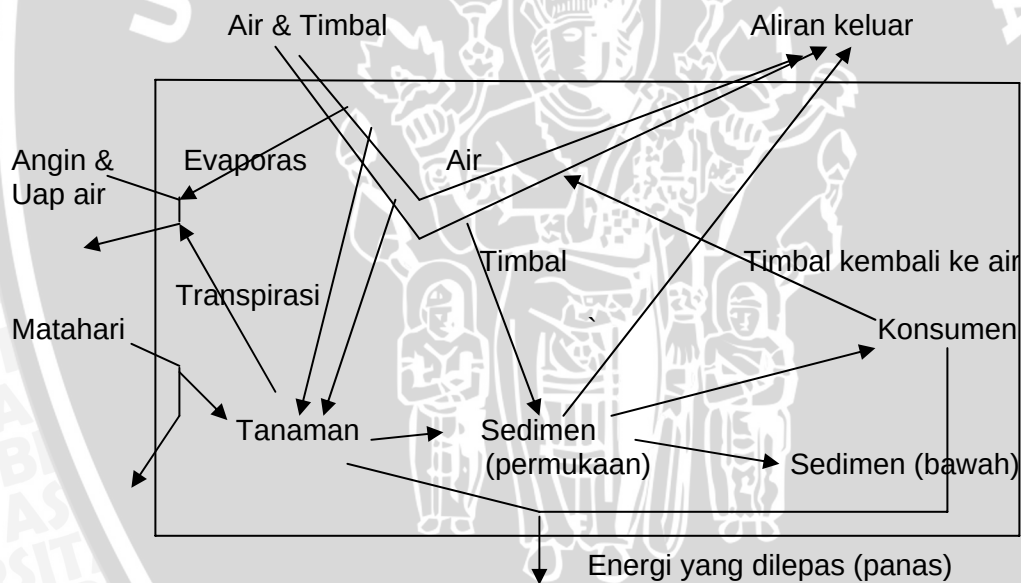
Menurut Fardiaz (1992), timbal banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifat-sifatnya, yaitu sebagai berikut:

- titik cairnya rendah sehingga jika akan digunakan dalam bentuk cair maka hanya membutuhkan teknik yang sederhana dan murah
- timbal merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah ke berbagai bentuk
- sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab
- timbal dapat membentuk ikatan (*alloy*) dengan logam lainnya, dan *alloy* yang terbentuk mempunyai sifat yang berbeda dengan timbal yang murni
- densitas timbal lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya, kecuali bila dibanding dengan emas dan merkuri.

2.8.3 Pengaruh Timbal (Pb) di Perairan

Salah satu logam berat yang beracun dan berbahaya menurut Palar (1994), yang banyak ditemukan sebagai pencemar dan cenderung mengganggu kelangsungan hidup organisme perairan yang ada adalah logam timbal (Pb). Adanya persenyawaan timbal yang masuk ke dalam ekosistem menjadi sumber pencemaran dan dapat berpengaruh

terhadap biota perairan sebagai contoh dapat mematikan ikan terutama pada fase larva (juvenil) karena toksisitasnya tinggi. Organisme perairan khususnya ikan yang mengalami keracunan logam berat akan mengalami gangguan pada proses pernafasan dan metabolisme tubuhnya, hal ini terjadi karena bereaksinya logam berat dengan fraksi dari lendir insang sehingga insang diselimuti oleh gumpalan lendir dari logam berat yang mengakibatkan proses pernafasan dan metabolisme tidak berfungsi sebagaimana mestinya. salah satu jaringan tubuh organisme yang cepat terakumulasi logam berat adalah jaringan insang, akibatnya ikan akan mati lemas karena terganggunya proses pertukaran ion-ion dan gas-gas melalui insang. (lihat Gambar 4. berikut)



Gambar 4. Skema distribusi logam Pb dalam perairan dangkal

2.9 Parameter Kualitas Air Pendukung

2.9.1 Parameter Fisika

2.9.1.1 Suhu

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Dalam setiap penelitian pada ekosistem air, pengukuran temperatur air merupakan hal yang mutlak dilakukan. Hal ini disebabkan karena kelarutan berbagai jenis gas di dalam air serta semua aktivitas biologis - fisiologis di dalam air sangat dipengaruhi oleh temperatur. (Effendi, 2003).

Menurut Salisbury dan Ross (1985), 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.

2.9.1.2 Substrat

Menurut Handayani *et al.*, (1995), substrat lumpur ditemukan di daerah yang berarus lambat. Sedangkan substrat pasir umumnya ditemukan di daerah peralihan antara arus deras dan arus lambat. Menurut 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 besar (“pebble”) : 16 – 64 mm

- d. Kerikil kecil (“gravel”) : 2 – 16 mm
- e. Pasir (“sand”) : 0,06 – 2 mm
- f. Lumpur (“silt”) : 0,004 – 0,06 mm
- g. Tanah liat (“clay”) : < 0,004 mm

Menurut Davies dan Alloway (1990), jenis-jenis tanah dan kandungan Pb dan Cd di dalamnya: untuk jenis liat memiliki kadar Pb 20 – 23 ppm, kadar Cd 0,017 – 11,00 ppm; untuk jenis pasir memiliki kadar Pb 10 – 12 ppm, kadar Cd 0,019 – 0,40 ppm. Menurut Kohar *et al.*, (2005), kangkung termasuk salah satu tanaman yang mudah menyerap logam berat dari media tumbuhnya.

2.9.2 Parameter Kimia

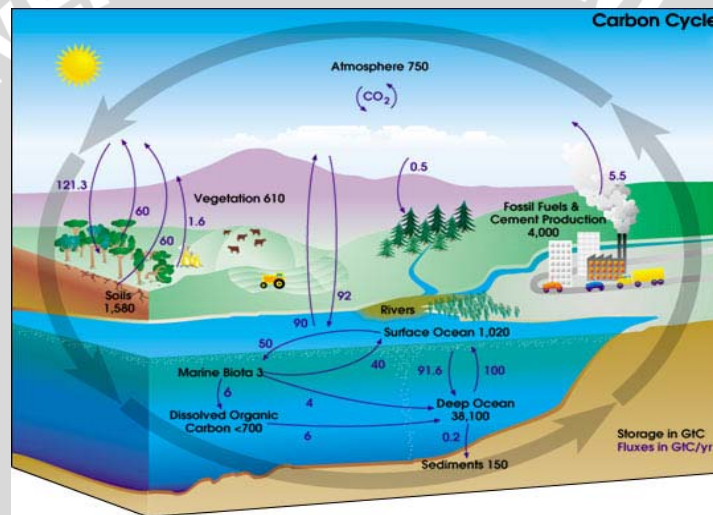
2.9.2.1 pH Air

Nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas suatu senyawa kimia, toksisitas logam berat 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. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH 7 - 8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan. Toksisitas logam memperlihatkan peningkatan pada pH rendah (Effendi, 2003). Menurut Sudarwin (2008), banyak tanaman air yang dapat bertahan hidup dengan pH berkisar antara 6,5 – 7,4. Tetapi tidak semua tanaman air hidup pada kisaran itu melainkan tergantung dari jenis tanaman air tersebut.

2.9.2.2 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 maupun hasil respirasi organisme (Arfiati, 2001).

Menurut Effendi (2003), Nilai pH berkaitan erat dengan karbondioksida dan alikalinitas sedangkan nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas logam berat.



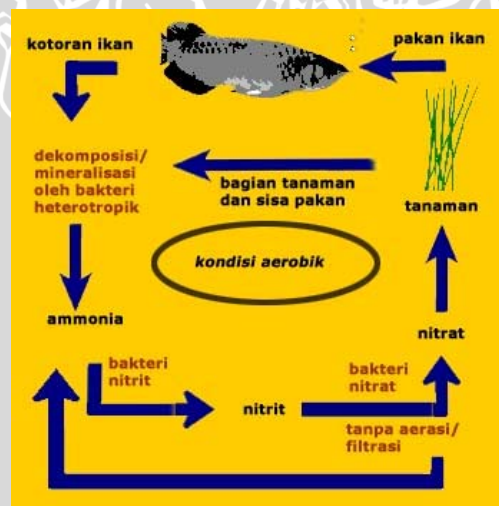
Gambar 5. siklus karbon

Keberadaan karbondioksida berpengaruh terhadap organisme perairan Menurut Hariyadi *et al.*, (1992) kandungan CO_2 sebesar 10 mg/L atau lebih masih dapat ditolerir oleh ikan. Kebanyakan spesies dari biota akuatik masih dapat hidup pada perairan yang memiliki kandungan CO_2 bebas 60 mg/L. Menurut Sari (2009) dalam penelitiannya, penambahan kangkung air ke dalam media yang berisi air limbah, CO_2 yang terlarut dalam air limbah dimanfaatkan oleh tanaman air untuk fotosintesis sehingga CO_2 yang terlarut akan menjadi lebih sedikit.

2.9.2.3 Nitrat nitrogen

Nitrat merupakan hasil dari reaksi biologi yaitu nitrogen organik. Limbah industri dan domestik yang mengandung nitrat akan menjadi polusi untuk permukaan air. Nitrat merupakan elemen esensial atau sebagai nutrient dalam proses eutrofikasi, pada perairan alami mineral nitrat hanya sedikit. Penambahan nitrat pada perairan berasal dari pupuk yang tercuci dari tanah pertanian. Residu dari limbah peternakan mengandung nitrogen organik dan apabila teroksidasi juga akan menjadi nitrat. Bahan ini dapat digunakan sebagai aseptor oleh beberapa mikroba (Arfiati, 2001).

Menurut Doelman (1986), mineralisasi N organik dan proses nitrifikasi di dalam tanah akan terhambat dengan kandungan logam berat 100 – 500 mg/kg Pb, 10 – 100 mg/kg Cd, 1 – 10 mg/kg Hg.

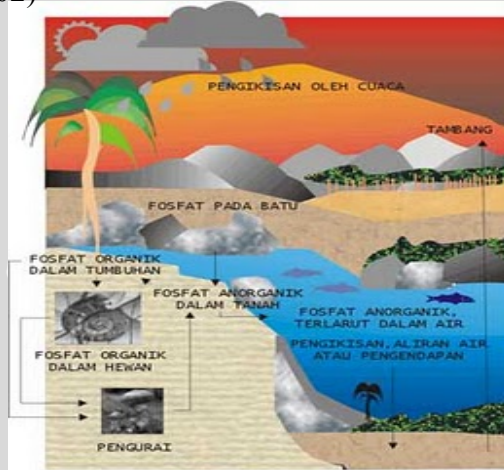


Gambar 6. Siklus Nitrogen

Menurut Multiply dalam Sari (2009) dalam penelitiannya bahwa senyawa nitrat dengan kadar 50 mg/l diserap oleh tanaman air setelah 23 hari. Sedangkan dengan kadar yang 100 mg/l dapat diserap seluruhnya setelah 35 hari.

2.9.2.4 Orthofosfat

Orthofosfat 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)



Gambar 7. siklus fosfor

Sumber alami fosfor di perairan adalah pelapukan batuan mineral. Selain itu fosfor juga berasal dari dekomposisi bahan organik. Sumber antropogenik adalah limbah industri dan domestik yakni fosfor yang berasal dari detergen. Limbah dari daerah pertanian yang menggunakan pupuk juga memberikan kontribusi yang besar bagi keberadaan fosfor (Effendi, 2003). Menurut Arfiati (2001) dalam Sari (2009) dalam penelitiannya, kebutuhan fosfat untuk pertumbuhan fitoplankton secara optimal berbeda-beda setiap jenisnya, konsentrasi terendah yang dibutuhkan untuk pertumbuhan yang optimal bagi fitoplankton berkisar antara 0,018 – 0,09 mg/l.

3. MATERI DAN METODE PENELITIAN

3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah Pengukuran kandungan logam berat timbal (Pb) pada kangkung (*Ipomoea aquatic*) di Sungai Lesti Kecamatan Pagak Kabupaten Malang.

3.1.1 Alat-alat yang digunakan

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat-alat untuk pengambilan sampel di lapang, penanganan sampel di laboratorium, analisis logam berat Pb dan alat-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 penanganan sampel di laboratorium meliputi bak untuk tempat sampel, timbangan elektrik, seperangkat alat potong, botol sampel untuk cacahan kangkung, nampan.
- 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, statif, 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 tetes, pipet volume, bola hisap, spatula, pipa paralon, freezer, labu penyuling, labu ukur

3.1.2 Bahan-bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan meliputi bahan penelitian (sampel) dan bahan untuk analisis logam berat Pb.

- 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 ini menggunakan metode deskriptif. Metode deskriptif menurut Suryabrata (1987) yaitu mengadakan kegiatan pengumpulan data, analisis dan interpretasi data yang bertujuan untuk membuat deskripsi mengenai kejadian yang terjadi pada saat penelitian.

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

1. Data primer

Menurut Suryabrata (1988) data primer adalah data yang secara langsung dikumpulkan oleh peneliti dari sumber pertamanya. Data primer dalam penelitian ini berupa data kualitas air dan kandungan logam berat Pb pada air, sedimen, dan kangkung.

2. Data sekunder

Menurut Marzuki (1977) Data sekunder adalah data yang bukan diusahakan sendiri pengumpulannya oleh peneliti,. Data sekunder dalam penelitian ini berupa laporan instansi terkait, jurnal serta kepustakaan lain yang menunjang dalam penelitian ini.

Sedangkan analisis data statistik beserta intepretasinya menggunakan uji t

3.2.1 Penetapan Stasiun Pengamatan

Penetapan stasiun (lihat pada lampiran 1) pengamatan ditentukan berdasarkan tata guna lahan di sekitar sungai Lesti (lihat pada lampiran 4). Lokasi pengamatan dibagi menjadi tiga stasiun, 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.
- Stasiun kedua, stasiun ini terletak di Desa Gampingan sendiri yang merupakan kawasan pabrik dan sedikit lahan untuk pertanian .
- Stasiun ketiga, stasiun ini terletak di Desa Gampingan bagian utara yang banyak ditumbuhi berbagai jenis makrofita dan sedikit lahan pertanian. Stasiun ini merupakan muara dari sungai Lesti yang bertemu dengan sungai Brantas.

i. Teknik Pengambilan Sampel

Dalam penelitian ini pengambilan sampel kangkung 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 hal ini dilakukan untuk mengukur penutupan kangkung dalam suatu lokasi. Pengambilan sampel kangkung sendiri diambil secara acak yang mewakili masing-masing pojok dan tengah transek. 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 kangkung 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 substrat yang akan diukur kadar logam Pb-nya diperlakukan sama.

ii. Metode Analisa Contoh

Analisa kualitas air dilakukan dengan berpedoman pada APHA (1998). 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

N o	Parameter	Satuan / unit	Alat* / Metode**	Tempat pengukuran
1	Fisika • Suhu • Arus	$^{\circ}\text{C}$ cm / detik	Thermometer* Konvensional**	lapang lapang
2	Kimia • pH • Nitrat-nitrogen • Orthophosphat • Karbondioksida • Logam berat Pb (daun, batang, akar, dan air)	- mg / l mg / l mg / l mg / l	pH paper* Spektrofotometer* Spektrofotometer* Titirasi** AAS*	lapang laboratorium laboratorium laboratorium laboratorium
3	Biologi • Kepadatan kangkung	Individu/m ²	Transek kuadrat**	Lapang
4	Substrat • Tekstur • pH • Nitrat-nitrogen • Orthophosphat • Logam berat	- - mg/l mg/l mg/l	Segitiga tekstur tanah** pH meter* AAS* AAS* AAS*	laboratorium laboratorium laboratorium laboratorium laboratorium

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Kecamatan Pagak terletak di Kabupaten Malang. Menurut Profil monografi Kecamatan Pagak (2009), memiliki curah hujan 2670 mm/tahun dan terletak pada ketinggian 360 meter di atas permukaan laut dengan suhu 25 - 33 °C, mempunyai luas wilayah 9008 ha terdiri dari daratan yang datar seluas 3964 ha, daratan perbukitan bebatuan seluas 4865 ha, daratan daerah aliran sungai seluas 181 ha. Bentuk morfologi wilayah 35% datar sampai berombak, 60% berombak sampai berbukit, 5% berbukit sampai bergunung. Perbukitan di daerah pagak merupakan kawasan yang didorninasi oleh bebatuan kapur.

Adapun batas wilayah Kecamatan Pagak adalah sebagai berikut sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Kepanjen dan Kecamatan Sumber Pucung, sebelah Barat berbatasan Kecamatan Kalipare dan kecamatan Donomulyo, sebelah Selatan berbatasan Samudera Hindia, sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Bantur dan Kecamatan Pagelaran. Sungai Lesti yang membatasi Kecamatan Pagak dengan Kecamatan Pagelaran. Potensi penduduknya meliputi kegiatan di bidang perikanan, pertanian, kehutanan, industri kecil dan industri besar. Adapaun potensi dibidang perikanan yaitu budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada karamba-karamba jaring sekat di Sungai Brantas, dibidang Pertanian yaitu padi dan tebu, dibidang kehutanan yaitu 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.

4.2 Sungai Lesti

Sungai Lesti merupakan bagian atau sub DAS dari sungai Brantas (lihat lampiran 3) yang terdapat di bagian hulu dan merupakan Sub DAS prioritas, titik pertemuan sungai Lesti dan sungai Brantas terletak di Desa Gampingan Kecamatan Pagak Kabupaten Malang tepatnya pada area waduk Sengguruh. Sumber air utama sungai Lesti ini berasal dari gunung Semeru, Luas seluruh Sub DAS Lesti adalah 58.384 ha, terbagi Sub-sub DAS yaitu bagian Lesti Hulu sebesar 28.790 ha, bagian Genteng sebesar 11.551 ha dan bagian Lesti Hilir sebesar 18.043 ha.

Sungai Lesti telah mengalami perubahan fungsi tata guna lahan menjadi daerah pertanian dan hortikultura baik pada sempadan kanan maupun sempadan kiri aliran sungai. Aktivitas pertanian dan hortikultura seperti penanaman padi, jagung, cabe, serta kacang – kacangan dikelola sendiri oleh petani yang beraktivitas di sekitar aliran sungai Lesti. Sistem pengairan sawah di sepanjang aliran sungai lokasi penelitian pada umumnya memanfaatkan curah hujan. Selain itu Sungai Lesti juga berubah fungsi menjadi daerah pembuangan limbah cair yang dilakukan oleh pihak pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna.

Debit air dari Sub DAS Sungai Lesti ini menjadi masukan yang penting bagi DAS Brantas di mana DAS Brantas juga berperan penting dalam sumber irigasi bagi pertanian, perikanan dan juga dalam pembangkit listrik tenaga air terutama pada Waduk Sengguruh.

4.3 Deskripsi Stasiun Pengambilan Sampel

4.3.1 Stasiun I

Stasiun ini mewakili sebelah timur dari Desa Gampingan (lihat lampiran 2), terdapat pemukiman dan banyak areal pertanian serta ada juga industri pembuatan kapur di sempadan kiri aliran sungai yang berjarak ± 100 meter dari bibir sungai. Pada stasiun ini adalah $\pm 25\%$ pada sempadan kanan (sebelah utara) dan sempadan kiri (sebelah selatan) aliran sungai berupa sawah yang ditanami padi, Selain itu pada stasiun ini banyak dijumpai beberapa jenis tanaman yang paling dominan yaitu enceng gondok, kangkung, dan kayu apuh. Lebar sungai ± 33 meter dengan kedalaman $\pm 3,5$ meter pada titik tengah. Sempadan kanan (sebelah utara) memiliki lebar lebih dari ± 15 meter, sedangkan untuk sempadan kiri (sebelah selatan) ± 20 meter. Tipe aliran adalah sedang dan air sedikit keruh bersubstrat liat berpasir. Kondisi stasiun I dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Stasiun I sebelum buangan limbah pabrik PT.Ekamas Fortuna

4.3.2 Stasiun II

Stasiun ini mewakili titik tengah dari Desa Gampingan (lihat lampiran 2), terdapat pemukiman dan banyak areal pertanian serta ada juga industri kertas PT. Ekamas Fortuna yang membuang limbah cairnya ke sungai terletak di sempadan kiri (sebelah barat) aliran sungai yang berjarak ± 50 meter dari bibir sungai. Pada stasiun ini adalah $\pm 20\%$ pada sempadan kanan (sebelah timur) dan sempadan kiri (sebelah barat) aliran sungai berupa sawah yang ditanami padi, Selain itu pada stasiun ini banyak dijumpai beberapa jenis tanaman yang paling dominan yaitu enceng gondok, dan kangkung. Lebar sungai ± 30 meter dengan kedalaman $\pm 3,5$ meter pada titik tengah. Sempadan kanan (sebelah timur) memiliki lebar lebih dari ± 30 meter, sedangkan untuk sempadan kiri (sebelah barat) ± 20 meter. Tipe aliran adalah sedang dan air sedikit keruh bersubstrat liat berpasir. Kondisi stasiun II dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Stasiun II tepat dibelakang areal pabrik PT.Ekamas Fortuna

4.3.3 Stasiun III

Stasiun ini berada dibagian utara dari Desa Gampingan (lihat lampiran 2), daerah ini merupakan muara sungai Lesti yang masuk ke sungai Brantas. Pada stasiun ini adalah $\pm 30 \%$ pada sempadan kanan (sebelah timur) dan sempadan kiri (sebelah barat) sungai banyak dijumpai beberapa jenis tanaman yang paling dominan yaitu enceng gondok, dan kangkung. Lebar sungai ± 35 meter dengan kedalaman ± 3 meter pada titik tengah. Sempadan kanan (sebelah timur) memiliki lebar lebih dari ± 20 meter, sedangkan untuk sempadan kiri (sebelah barat) ± 10 meter. Tipe aliran adalah sedang dan air sedikit keruh bersubstrat liat berpasir. Kondisi stasiun III dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Stasiun III setelah buangan limbah pabrik PT.Ekamas Fortuna

4.4 Pabrik Kertas PT.Ekamas Fortuna

4.4.1 Sejarah berdirinya



Gambar 11. Gerbang utama depan pabrik

Pabrik kertas PT.Ekamas Fortuna merupakan anak cabang dari pabrik kertas PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia Tbk berlokasi di Desa Gampingan Kecamatan Pagak Malang Jawa timur yang 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 salah satu karyawan pabrik (2010)*, 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

* komunikasi pribadi

pemindahan kepemilikan dari pihak Tommy Soeharto ke pihak Bakrie sampai sekarang. Dari pemindahan kepemilikan itu berubah juga 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 dipabrik yang lama berstatus sebagai karyawan PT.Ekamas Fortuna. Hal ini dilakukan oleh kedua belah pihak masing-masing manajemen pada saat proses transisi kepemilikan untuk memberi kebebasan karyawan memilih pekerjaan yang diinginkan ikut PT. Ayu Wangi atau ikut 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.

4.4.2 Proses Produksi

4.4.2.1 Penyediaan Bahan Baku

PT. Ekamas Fortuna dikenal sebagai salah satu basis 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 salah satu karyawan bagian produksi (2010)*, menjelaskan bahwa bahan bakunya kertas bekas pabrik daur ulang kertas ini diperoleh dari pelanggan lokal

* komunikasi pribadi

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 (*afval*). 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.

4.4.2.2 Proses Pembuatan Kertas

Berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu karyawan bagian produksi (2010)*, 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.

* komunikasi pribadi

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.

4.4.3 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 Tube, Medium Liner, Core Board. Berikut gambar 12 dari masing-masing produk diatas:



Kraft Liner



Core Tube



Medium Liner



Core Board

Gambar 12. Macam-macam produk yang dihasilkan

4.4.4 Pengolahan Limbah Cair PT. Ekamas Fortuna

Berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu karyawan bagian teknis pengolahan limbah (2010)*, Pengolahan limbah cair di PT Ekamas Fortuna secara umum terdiri dari :

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

1. 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.

* komunikasi pribadi

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 dalam jumlah yang sesuai sehingga dapat diperoleh limbah cair dengan sifat netral atau mendekati netral.



Gambar 13. 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.



Gambar 14. Tangki aerasi Saat Diberi Aerasi

Pada tangki aerasi terdapat penambahan lumpur aktif yang merupakan pengolahan secara biologi. 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.

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 15. 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.

4.4.5 Pembuangan akhir limbah yang dihasilkan

Berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu karyawan bagian teknis pengolahan limbah (2010), 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 Gambar 16 dan 17). 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 (lihat pada Gambar 19). Limbah sludge yang berada pada tepian sungai akan menempel dan menutupi tanaman air terutama enceng gondok dan kangkung, sehingga akan mengganggu baik proses fotosintesis dan respirasinya tanaman itu sendiri (lihat pada Gambar 18).

Pada saluran utama pembuangan limbah sludge pabrik ada pintu saluran yang menghubungkan ke parit – parit sawah dengan debit limbah yang relatif kecil (lihat pada Gambar 20), pada saluran ini berperan sebagai saluran irigasi yang akan mengairi beberapa petak sawah di sekitar areal pabrik (lihat pada Gambar 21). Limbah sludge yang masuk petak sawah dan mencemarinya jika dalam keadaan kekurangan air maka sludge akan menutupi pori – pori tanah (lihat pada Gambar 22 dan 23).



Gambar 16. Saluran utama pembuangan air limbah



Gambar 17. Karakteristik air limbah



Gambar 18. Air limbah mencemari sungai Lesti



Gambar 19. Muara saluran limbah masuk sungai Lesti



Gambar 20. Limbah keluar dari saluran utama menuju parit

Gambar 21. Air limbah pada saluran parit



Gambar 22. Air limbah (*sludge*) mencemari sawah

Gambar 23. Air limbah masuk petak sawah

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. (lihat gambar 24 dan 25)



Gambar 24. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar gamping oleh masyarakat



Gambar 25. Pemanfaatan abu batubara sebagai bahan baku batako oleh pihak pabrik

4.5 Hasil Pengukuran Timbal (Pb) di Sungai Lesti

4.5.1 Timbal (Pb) pada Air

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 3. berikut:

Tabel 3. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada air

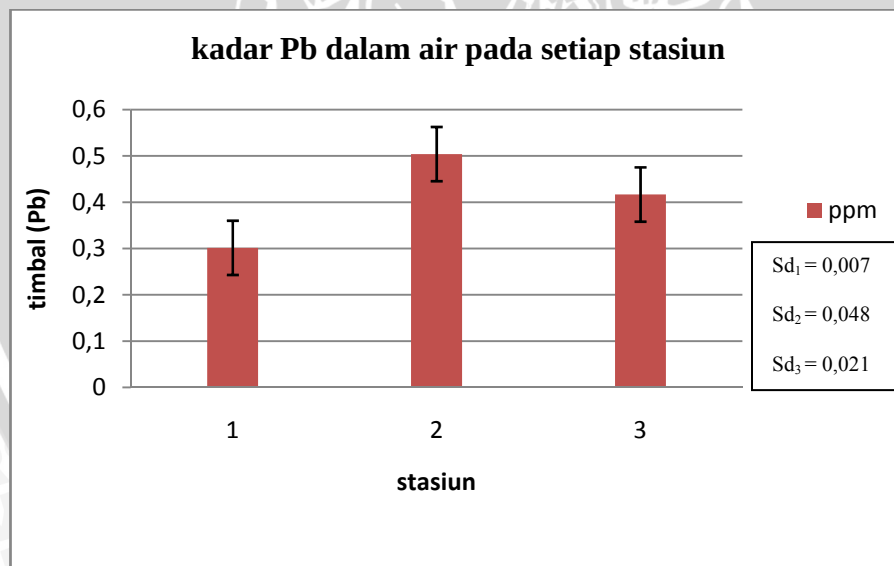
Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1 (ppm)	2 (ppm)
1	1	0,483	0,302
	2	0,372	0,233
	3	0,233	0,186
2	1	0,698	0,779
	2	0,436	0,512
	3	0,285	0,314
3	1	0,605	0,529
	2	0,401	0,424
	3	0,279	0,262

Berdasarkan data Tabel 3 diatas, diperoleh nilai kadar logam berat Pb pada air berkisar 0,233 – 0,779 ppm. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria baku mutu air golongan III untuk Pb air nilai kadar maksimum sebesar 0,03 ppm sehingga disimpulkan bahwa kadar logam Pb pada air di Sungai Lesti melebihi ambang batas dari yang sudah ditetapkan.

Dari data Tabel 3 diatas nilai terendah di stasiun I minggu 2 ulangan 2 dan minggu 3 ulangan 1, sedangkan nilai tertinggi di stasiun II minggu 1 pada ulangan 2. Dari data diatas pula dalam setiap pengukuran selama tiga minggu berturut-turut terjadi penurunan kandungan logamnya, hal ini dikarenakan adanya peningkatan

debit air sungai setiap kali pengambilan sampel sehingga menurunkan kadar konsentrasi logam Pb dalam air. Kemudian dari data tabel 3 diatas dilakukan analisis uji t.

Berdasarkan hasil uji t pada (lihat Lampiran 5) diketahui bahwa kadar logam Pb pada stasiun I sangat berbeda nyata dengan stasiun II, kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun III begitu juga kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun III. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun II yang membuang limbah cairnya ke perairan sungai Lesti memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kadar logam Pb di perairan sungai Lesti lihat grafik pada Gambar 22.



Gambar 22. Grafik kadar logam Pb dalam air pada setiap stasiun (ppm).

Dari grafik gambar 22 terlihat adanya penurunan kadar logam Pb dari stasiun II ke stasiun III, hal ini terjadi karena disepanjang antara stasiun II dan III terdapat

banyak tanaman air baik kangkung maupun enceng gondok sehingga dimungkinkan proses bioremediasi terjadi disepanjang aliran sungai diantara kedua stasiun ini. Menurut Kohar *et al.*, (2005), kangkung termasuk salah satu tanaman yang mudah menyerap logam berat dari media tumbuhnya.

4.5.2 Timbal (Pb) pada Sedimen

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 4. berikut:

Tabel 4. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada sedimen

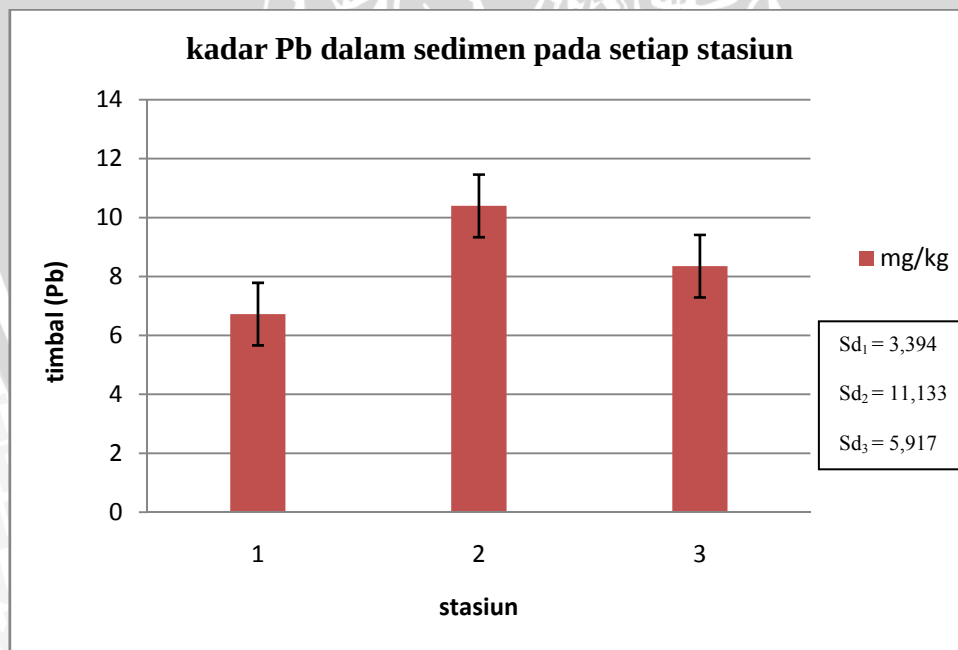
Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/kg)	2(mg/kg)
1	1	9,12	8,02
	2	7,28	6,16
	3	5,11	4,66
2	1	13,28	14,49
	2	10,35	9,80
	3	7,14	7,33
3	1	11,36	10,18
	2	8,60	8,16
	3	6,24	5,57

Berdasarkan data Tabel 4 diatas, diperoleh nilai kadar logam berat Pb pada sedimen berkisar 4,66 – 14,49 mg/kg. Menurut Diantariani dan Putra (2006), batas kandungan alamiah logam Pb di sedimen sebesar 20 mg/kg sehingga disimpulkan bahwa kadar logam Pb pada sedimen di Sungai Lesti masih dalam keadaan alami.

Dari data Tabel 4 diatas nilai terendah pada stasiun I minggu 3 pada ulangan 2, sedangkan nilai tertinggi di stasiun II minggu 1 pada ulangan 2. Dari data diatas pula dalam setiap pengukuran selama tiga minggu berturut-turut terjadi penurunan

kandungan logamnya, hal ini dikarenakan adanya peningkatan debit air sungai setiap kali pengambilan sampel sehingga menurunkan kadar konsentrasi logam Pb dalam sedimen. Kemudian dari data tabel 4 diatas dilakukan analisis uji t.

Berdasarkan hasil uji t (lihat Lampiran 6) diketahui bahwa kadar logam Pb pada stasiun I berbeda nyata dengan dengan stasiun II, begitu juga kadar logam Pb pada stasiun II berbeda nyata dengan stasiun III, sedangkan kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun III. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun II yang membuang limbah cairnya ke perairan sungai Lesti memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kadar logam Pb pada sedimen di sungai Lesti lihat grafik pada Gambar 23.



Gambar 23. Grafik kadar logam Pb dalam sedimen pada setiap stasiun (mg/kg).

Dari grafik Gambar 23 terlihat adanya penurunan kadar logam Pb dari stasiun II ke stasiun III, hal ini terjadi karena disepanjang antara stasiun II dan III terdapat banyak tanaman air baik kangkung maupun enceng gondok sehingga dimungkinkan proses bioremediasi terjadi disepanjang aliran sungai diantara kedua stasiun ini.

Menurut Kohar *et al.*, (2005), kangkung termasuk salah satu tanaman yang mudah menyerap logam berat dari media tumbuhnya.

4.5.3 Timbal (Pb) pada Akar kangkung

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 5. berikut:

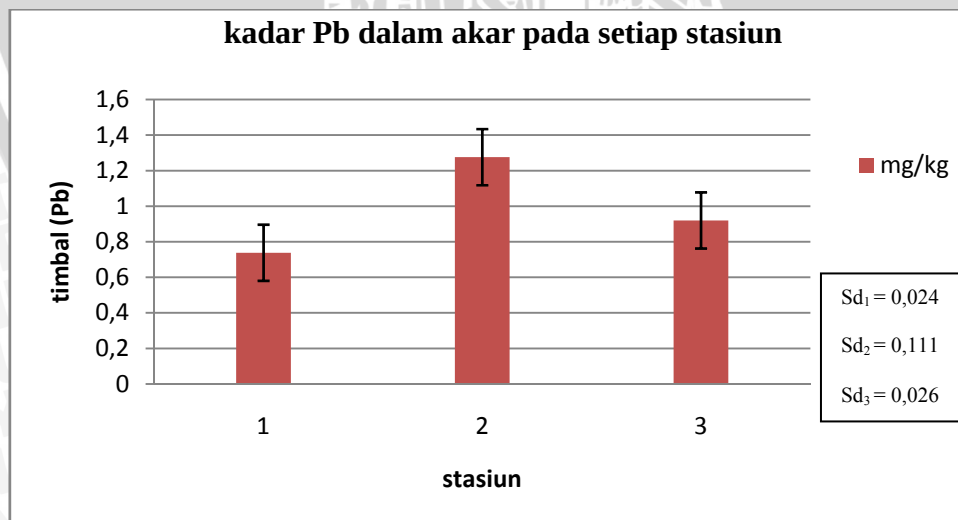
Tabel 5. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada akar kangkung

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/kg)	2 (mg/kg)
1	1	0,66	0,50
	2	0,83	0,65
	3	0,97	0,82
2	1	0,87	0,94
	2	1,30	1,44
	3	1,47	1,64
3	1	0,69	0,78
	2	0,95	1,15
	3	1,00	0,95

Berdasarkan data Tabel 5 diatas, diperoleh nilai kadar logam berat Pb pada akar kangkung berkisar 0,50 – 1,64 mg/kg. Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat Dan Makanan Republik Indonesia Nomor HK.00.06.1.52.4011 Tanggal 28 Oktober 2009 tentang ambang batas cemaran kadar logam timbal (Pb) pada buah – buahan dan sayuran sebesar 0,5 mg/kg sehingga disimpulkan bahwa akar kangkung pada semua stasiun di Sungai Lesti berbahaya untuk dikonsumsi.

Dari data Tabel 5 diatas nilai terendah di stasiun I minggu 1 pada ulangan 2, sedangkan nilai tertinggi di stasiun II minggu 3 pada ulangan 2. Dari data diatas pula dalam setiap pengukuran selama tiga minggu berturut-turut cenderung kandungan logamnya mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan adanya penyerapan logam Pb secara terus – menerus dari waktu ke waktu sehingga terjadi akumulasi logam Pb pada organ tanaman salah satunya dalam akar. Kemudian dari data tabel 5 diatas pula dilakukan analisis uji t.

Berdasarkan hasil uji t (lihat Lampiran 7) diketahui bahwa kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun II, kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun III, begitu juga kadar logam Pb pada stasiun II berbeda sangat nyata dengan stasiun III. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun II yang membuang limbah cairnya ke perairan sungai Lesti memberikan dampak yang signifikan lihat grafik Gambar 24.



Gambar 24. Grafik kadar logam Pb dalam akar kangkung pada setiap stasiun (mg/kg).

Dari grafik Gambar 24 terlihat adanya penurunan kadar logam Pb dari stasiun II ke stasiun III, hal ini terjadi karena disepanjang antara stasiun II dan III terdapat banyak tanaman air baik kangkung maupun enceng gondok yang dimungkinkan terjadi proses bioremediasi disepanjang aliran sungai diantara kedua stasiun ini sehingga ketersediaan logam berat Pb sudah berkurang dan mengakibatkan penyerapan logam Pb di stasiun III tidak maksimal karena adanya faktor keterbatasan ketersediaan logam berat yang ada . Menurut Suprobawati (2004), syarat-syarat tumbuhan air untuk menyerap logam berat adalah : 1) Mempunyai pertumbuhan yang cepat, dan 2) Mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menyerap logam berat.

4.5.4 Timbal (Pb) pada Batang kangkung

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 6. berikut:

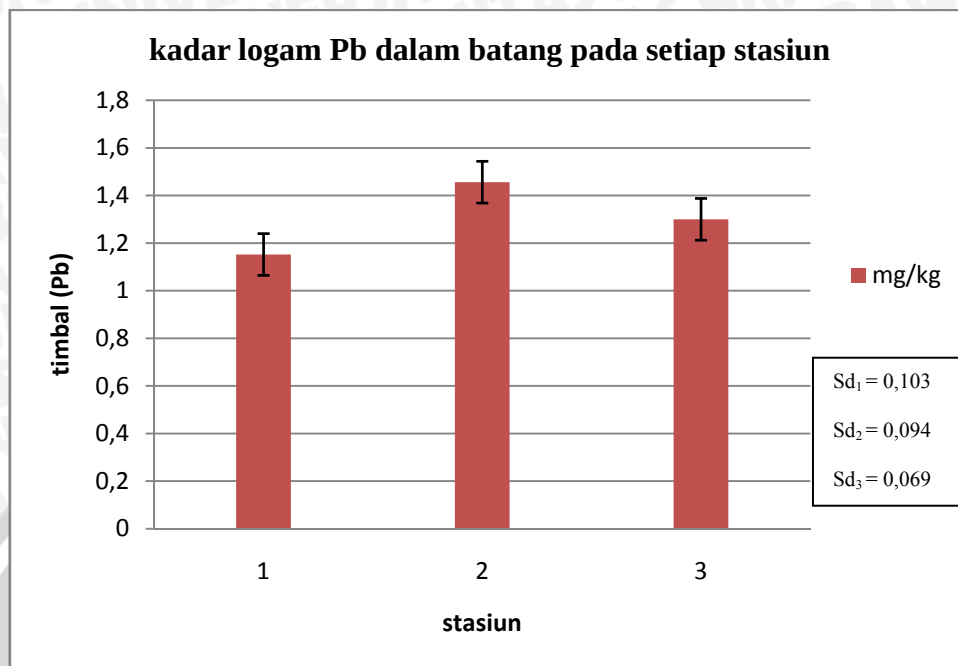
Tabel 6. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada batang kangkung

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/kg)	2(mg/kg)
1	1	0,95	0,70
	2	1,05	1,27
	3	1,53	1,41
2	1	1,26	1,15
	2	1,40	1,33
	3	1,94	1,66
3	1	1,04	1,11
	2	1,19	1,28
	3	1,67	1,51

Berdasarkan data Tabel 6 diatas, diperoleh nilai kadar logam berat Pb pada batang berkisar 0,70 – 1,94 mg/kg. Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat Dan Makanan Republik Indonesia Nomor HK.00.06.1.52.4011 Tanggal 28 Oktober 2009 tentang ambang batas cemaran kadar logam timbal (Pb) pada buah – buahan dan sayuran sebesar 0,5 mg/kg sehingga disimpulkan bahwa batang kangkung pada semua stasiun di Sungai Lesti berbahaya untuk dikonsumsi.

Dari Tabel 6 diatas diketahui nilai terendah di stasiun I minggu 1 pada ulangan 2 sedangkan nilai tertinggi di stasiun II minggu 3 pada ulangan 1. Dari data diatas pula dalam setiap pengukuran selama tiga minggu berturut-turut cenderung kandungan logamnya mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan adanya penyerapan logam Pb secara terus – menerus dari waktu ke waktu sehingga terjadi akumulasi logam Pb pada organ tanaman salah satunya dalam batang. Kemudian dari data Tabel 6 diatas dilakukan analisis uji t.

Berdasarkan hasil uji t (lihat Lampiran 8) diketahui bahwa kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun II, kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun III, begitu juga kadar logam Pb pada stasiun II berbeda sangat nyata dengan stasiun III. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun II yang membuang limbah cairnya ke perairan sungai Lesti memberikan dampak yang signifikan lihat grafik pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik kadar logam Pb dalam batang pada setiap stasiun (mg/kg)

Dari grafik Gambar 25 terlihat adanya penurunan kadar logam Pb dari stasiun II ke stasiun III, hal ini terjadi karena disepanjang antara stasiun II dan III terdapat banyak tanaman air baik kangkung maupun enceng gondok yang dimungkinkan terjadi proses bioremediasi disepanjang aliran sungai diantara kedua stasiun ini sehingga ketersediaan logam berat Pb sudah berkurang dan mengakibatkan penyerapan logam Pb di stasiun III tidak maksimal karena adanya faktor keterbatasan ketersediaan logam berat yang ada. Menurut Suprobawati (2004), syarat-syarat tumbuhan air untuk menyerap logam berat adalah : 1) Mempunyai pertumbuhan yang cepat, dan 2) Mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menyerap logam berat.

4.5.5 Timbal (Pb) pada Daun kangkung

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 7. berikut

Tabel 7. Hasil Pengukuran timbal (Pb) pada daun kangkung

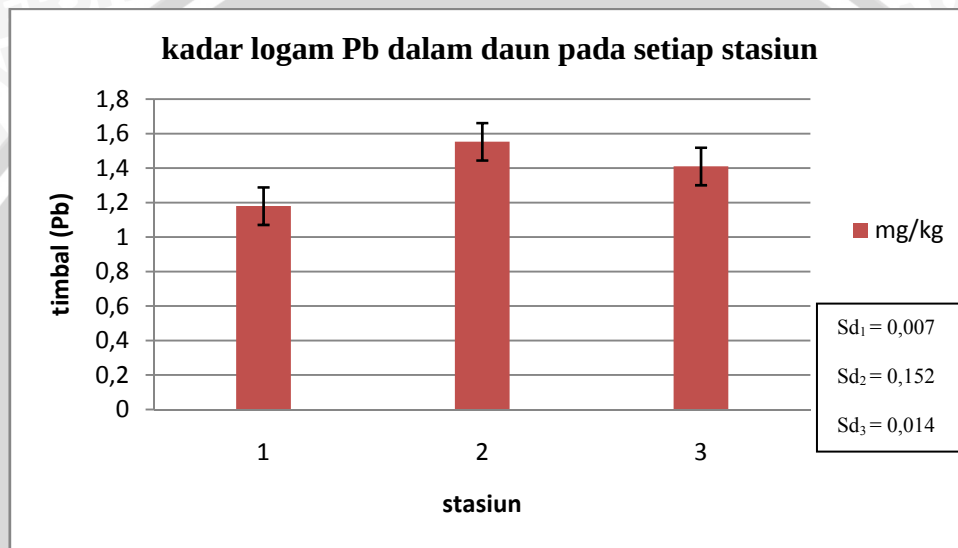
Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/kg)	2(mg/kg)
1	1	1,20	0,96
	2	1,19	1,28
	3	1,15	1,30
2	1	1,27	1,50
	2	1,70	1,85
	3	1,90	2,10
3	1	1,40	1,16
	2	1,50	1,35
	3	1,65	1,40

Berdasarkan data Tabel 7 diatas, diperoleh nilai kadar logam berat Pb pada daun berkisar 0,96 – 2,10 mg/kg. Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat Dan Makanan Republik Indonesia Nomor HK.00.06.1.52.4011 Tanggal 28 Oktober 2009 tentang ambang batas cemaran kadar logam timbal (Pb) pada buah – buahan dan sayuran sebesar 0,5 mg/kg sehingga disimpulkan bahwa daun kangkung pada semua stasiun di Sungai Lesti berbahaya untuk dikonsumsi.

Dari Tabel 7 diatas diketahui nilai terendah di stasiun I minggu 1 pada ulangan 2 sedangkan nilai tertinggi di stasiun II minggu 3 pada ulangan 2. Dari data diatas pula dalam setiap pengukuran selama tiga minggu berturut-turut cenderung kandungan logamnya mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan adanya penyerapan logam Pb secara terus – menerus dari waktu ke waktu sehingga terjadi akumulasi logam Pb pada organ tanaman salah satunya dalam batang. Kemudian dari data Tabel 7 diatas dilakukan analisis uji t.

Berdasarkan hasil uji t (lihat Lampiran 9) diketahui bahwa kadar logam Pb pada stasiun I berbeda sangat nyata dengan stasiun II, kadar logam Pb pada stasiun I

berbeda sangat nyata dengan stasiun III, begitu juga kadar logam Pb pada stasiun II berbeda sangat nyata dengan stasiun III. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun II yang membuang limbah cairnya ke perairan sungai Lesti memberikan dampak yang signifikan lihat grafik pada Gambar 26.



Gambar 26. Grafik kadar logam Pb dalam daun pada setiap stasiun (mg/kg).

Dari grafik Gambar 26 terlihat adanya penurunan kadar logam Pb dari stasiun II ke stasiun III, hal ini terjadi karena disepanjang antara stasiun II dan III terdapat banyak tanaman air baik kangkung maupun enceng gondok yang dimungkinkan terjadi proses bioremediasi disepanjang aliran sungai diantara kedua stasiun ini sehingga ketersediaan logam berat Pb sudah berkurang dan mengakibatkan penyerapan logam Pb di stasiun III tidak maksimal karena adanya faktor keterbatasan ketersediaan logam berat yang ada. Menurut Suprobowati (2004), syarat-syarat tumbuhan air untuk menyerap logam berat adalah : 1) Mempunyai pertumbuhan yang cepat, dan 2) Mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menyerap logam berat.

Berdasarkan hasil data pengukuran logam berat timbal (Pb) baik dari stasiun I, II dan III pada kangkung air (*Ipomea aquatica*) sebagai bioindikator yang meliputi akar, batang, dan daun. Kadar nilai Pb dari semua bagian organ kangkung tersebut nilai tertinggi pada stasiun II sehingga disimpulkan bahwa keberadaan Pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna yang terletak pada stasiun II memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap keberadaan kadar logam timbal (Pb) di sungai Lesti. Keberadaan limbah cair yang mengandung logam berat ini sesuai menurut Cahyono (2007), bahwa limbah perusahaan kertas memiliki nilai BOD, COD dan kandungan logam berat yang sangat tinggi sehingga apabila dibuang ke perairan akan mengakibatkan degradasi kualitas air yang ditandai dengan matinya ikan dan biota air lainnya.

Sedangkan menurut Siswanto (2009), bentuk-bentuk kimiawi Pb merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat-sifat Pb di dalam organ tanaman. Konsentrasi Pb dalam media tanam juga sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Beberapa spesies tanaman dapat tumbuh atau bertahan hidup dalam media yang mengandung komponen Pb dengan konsentrasi Pb yang berbeda-beda. Pengaruh cekaman (*stress*) pada proses fisiologi tanaman memang tidak selalu sama. Cekaman fisiologi pada tanaman dapat bersifat berhubungan dengan tempat (*spatial*) atau juga berhubungan dengan waktu (*temporal*). Adanya cekaman yang dialami oleh tanaman akibat semakin meningkatnya konsentrasi polutan pada media pertumbuhan menimbulkan respon fisiologi yang adaptif. Kadar Pb dalam tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah jangka waktu tanaman kontak dengan Pb, jumlah Pb dalam media, morfologi dan fisiologi tanaman serta umur tanaman.

4.6 Hasil Pengukuran Kualitas air Sungai Lesti

Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia yang berupa nir kualitas air dan kualitas air selama pengambilan sampel di Sungai Lesti antara lain:

4.6.1 Parameter fisika

1. Suhu Air Sungai

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 8. berikut:

Tabel 8. Data Hasil Pengukuran Suhu Air Sungai Selama Penelitian

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(⁰ C)	2(⁰ C)
1	1	26	28
	2	27	27
	3	28	28
2	1	27	27
	2	28	30
	3	29	28
3	1	30	29
	2	29	30
	3	30	29

Berdasarkan data Tabel 8 diatas, diperoleh nilai suhu pada air sungai berkisar 26 – 30 ⁰C. Hal ini sesuai dengan pendapat Effendi (2003), kisaran suhu optimum bagi organisme di perairan adalah 20-30⁰ C. Sehingga disimpulkan bahwa suhu air di Sungai Lesti masih dalam keadaan normal. Selain itu menurut Salisbury dan Ross (1985), 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.

2. Substrat Dasar Sungai Lesti

Tipe substrat pada Sungai Lesti selama penelitian merupakan tipe substrat berlumpur. Hal ini sesuai menurut Handayani *et al.*, (2001), substrat batuan umumnya ditemukan hampir di daerah berarus deras, sebaliknya substrat lumpur ditemukan di daerah yang berarus sedang. Menurut Davies dan Alloway (1990), jenis-jenis tanah dan kandungan Pb dan Cd di dalamnya: untuk jenis liat memiliki kadar Pb 20 – 23 ppm, kadar Cd 0,017 – 11,00 ppm; untuk jenis pasir memiliki kadar Pb 10 – 12 ppm, kadar Cd 0,019 – 0,40 ppm.

4.6.2 Parameter kimia

1. pH Air Sungai

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Data Hasil Pengukuran pH air Selama Penelitian

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1	2
1	1	8	8
	2	7	7
	3	7	7
2	1	7	7
	2	7	7
	3	7	7
3	1	8	8
	2	7	7
	3	7	7

Dari Tabel 9 diatas diperoleh nilai pH pada air sungai berkisar 7 - 8 . Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria baku mutu air golongan III untuk pH air pada

6 – 9. Sehingga dapat disimpulkan pH air sungai Lesti selama pengukuran masih dalam keadaan normal. Menurut Sudarwin (2008), banyak tanaman air yang dapat bertahan hidup dengan pH berkisar antara 6,5 – 7,4. Tetapi tidak semua tanaman air hidup pada kisaran itu melainkan tergantung dari jenis tanaman air tersebut.

2. pH Sedimen Sungai

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 10

Tabel 10. Data Hasil Pengukuran pH sedimen Sungai selama penelitian

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1	2
1	1	6,41	6,34
	2	6,73	6,81
	3	6,56	6,61
2	1	6,28	6,42
	2	6,32	6,48
	3	6,38	6,52
3	1	6,62	7,26
	2	7,28	6,70
	3	7,01	6,94

Dari tabel 10 diatas diperoleh nilai pH pada sedimen sungai berkisar 6,28 – 7,28 . Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria baku mutu golongan III untuk pH berkisar 6 – 9. Menurut Sudarwin (2008), banyak tanaman air yang dapat bertahan hidup dengan pH berkisar antara 6,5 – 7,4. Menurut Verloo (1993), pH larutan berpengaruh langsung terhadap kelarutan unsur logam berat, kenaikan pH menyebabkan logam berat mengendap.

3.Karbondioksida pada Air Sungai

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Data Hasil Pengukuran Karbondioksida pada Air Sungai

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/l)	2(mg/l)
1	1	9,98	7,98
	2	11,98	9,98
	3	9,98	9,98
2	1	9,98	11,98
	2	11,98	13,98
	3	11,98	13,98
3	1	11,98	13,98
	2	15,98	13,98
	3	15,98	15,98

Dari Tabel 11 diatas diperoleh nilai karbondioksida pada air sungai berkisar 9,98 – 15,98 mg/l. Menurut Hariyadi *et al.*, (1992) kandungan CO₂ sebesar 10 mg/L atau lebih masih dapat ditolerir oleh ikan bila oksigen di perairan juga cukup tinggi. Sehingga disimpulkan kadar CO₂ dalam air sungai Lesti masih aman untuk semua biota yang hidup di dalamnya. Menurut Sari (2009) dalam penelitiannya, penambahan kangkung air ke dalam media yang berisi air limbah, CO₂ yang terlarut dalam air limbah dimanfaatkan oleh tanaman air untuk fotosintesis sehingga CO₂ yang terlarut akan menjadi lebih sedikit.

4. Orthophosphat Air Sungai

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Data Hasil Pengukuran Orthophosphat Air Sungai Selama Penelitian

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/l)	2(mg/l)
1	1	0,167	0,515
	2	0,142	0,313
	3	0,175	0,207
2	1	0,216	0,597
	2	0,211	0,284
	3	0,194	0,309
3	1	0,564	0,171
	2	0,197	0,185
	3	0,256	0,205

Berdasarkan data Tabel 12 diatas, diperoleh nilai Orthophosphat pada air sungai berkisar 0,142 – 0,597 mg/l. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria baku mutu air golongan III untuk fosfat air nilai kadar maksimum sebesar 1 mg/l. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar fosfat air di Sungai Lesti masih dalam keadaan normal. Menurut Arfiati (2001) dalam Sari (2009) dalam penelitiannya, kebutuhan fosfat untuk pertumbuhan fitoplankton secara optimal berbeda-beda setiap jenisnya, konsentrasi terendah yang dibutuhkan untuk pertumbuhan yang optimal bagi fitoplankton berkisar antara 0,018 – 0,09 mg/l.

5. Phospat sedimen Sungai

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 13, diperoleh nilai phospat pada sedimen sungai berkisar 8,03 – 18,78 mg/l.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 Tentang Status Trofik Danau dan Waduk menyebutkan kadar rata-rata total P bernilai $< 10 \mu\text{g/l}$ berstatus oligitrof, $< 30 \mu\text{g/l}$ berstatus mesotrof, $< 100 \mu\text{g/l}$ berstatus eutrof dan $> 100 \mu\text{g/l}$ berstatus hipereutrof . Sehingga disimpulkan kandungan phosphat dalam sedimen sungai Lesti dalam keadaan hipereutrof.

Tabel 13. Data Hasil Pengukuran Phospat sedimen selama penelitian

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/l)	2(mg/l)
1	1	18,78	16,92
	2	13,63	12,96
	3	9,63	10,84
2	1	12,26	10,79
	2	10,69	10,95
	3	8,30	8,03
3	1	18,65	18,78
	2	14,64	13,63
	3	11,38	11,27

Menurut Subarijanti (2002), beberapa bentuk senyawa fosfat yang terlarut dalam media hanya dapat diserap oleh organisme nabati baik makrofita maupun mikrofita. Menurut Sari (2009) dalam penelitiannya, besarnya penyerapan fosfat dari media limbah cair PT.SASA INTI pada perlakuan kerapatan kangkung air 25 % sebesar 0,777 mg/l.

6. Nitrat air Sungai

Berdasarkan hasil pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 14. diperoleh nilai nitrat pada air sungai berkisar 0,553 – 2,671 mg/l. Menurut Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan

Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria baku mutu air golongan III untuk nitrat air nilai kadar maksimum sebesar 20 mg/l. Sehingga disimpulkan bahwa nitrat air di Sungai Lesti masih dalam keadaan normal. Menurut Doelman (1986), mineralisasi N organik dan proses nitrifikasi di dalam tanah akan terhambat dengan kandungan logam berat 100 – 500 mg/kg Pb, 10 – 100 mg/kg Cd, 1 – 10 mg/kg Hg

Tabel 14. Data Hasil Pengukuran Nitrat Air Sungai Selama Penelitian

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/l)	2(mg/l)
1	1	1,299	1,467
	2	0,553	1,029
	3	1,187	1,346
2	1	1,066	1,533
	2	0,889	0,908
	3	1,495	1,766
3	1	1,719	1,626
	2	2,671	1,215
	3	1,915	1,514

Menurut Sari (2009) dalam penelitiannya, besarnya penyerapan nitrat dari media limbah cair PT.SASA INTI pada perlakuan kerapatan kangkung air 25 % selama 3 minggu sebesar 8,961 mg/l.

7.Nitrat pada sedimen Sungai

Berdasarkan hasil pengukuran selama penelitian diperoleh data yang seperti disajikan pada Tabel 15. nilai nitrat pada sedimen sungai berkisar 8,34 – 16,26 mg/l. Menurut Doelman (1986), mineralisasi N organik dan proses nitrifikasi di dalam tanah akan terhambat dengan kandungan logam berat 100 – 500 mg/kg Pb, 10 – 100 mg/kg Cd, 1 – 10 mg/kg Hg

Tabel 15. Data Hasil Pengukuran Nitrat Sedimen Sungai Selama Penelitian

Perlakuan		Ulangan / Kelompok	
Stasiun	Minggu	1(mg/l)	2(mg/l)
1	1	13,53	12,51
	2	10,26	9,09
	3	8,71	8,34
2	1	16,26	15,72
	2	12,59	11,28
	3	10,14	9,65
3	1	14,01	14,64
	2	9,62	10,81
	3	8,62	9,26

Menurut Multiply (2008) dalam Sari (2009) dalam penelitiannya bahwa senyawa nitrat dengan kadar 50 mg/l diserap oleh tanaman air setelah 23 hari. Sedangkan dengan kadar yang 100 mg/l dapat diserap seluruhnya setelah 35 hari.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kadar logam Pb pada sedimen di Sungai Lesti berkisar 4,66 – 14,49 mg/kg masih dalam keadaan alami karena menurut Diantariani dan Putra (2006), batas kandungan alamiah logam Pb di sedimen sebesar 20 mg/kg namun logam Pb pada perairan berkisar 0,233 – 0,779 ppm melebihi ambang batas dari yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No.20 tahun 2001 untuk golongan III sebesar 0,03 ppm. Keberadaan pabrik kertas PT.Ekamas Fortuna memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan logam berat Pb di sungai Lesti melalui pengujian pada air, sedimen dan kangkung.
2. Dari semua stasiun kadar Pb pada akar 0,50 – 1,64 mg/kg; batang 0,70 – 1,94 mg/kg dan daun 0,96 – 2,10 mg/kg dengan mengacu Peraturan Kepala BPOM Republik Indonesia Nomor HK.00.06.1.52.4011 Tanggal 28 Oktober 2009 tentang ambang batas cemaran kadar logam timbal (Pb) pada buah dan sayuran sebesar 0,5 mg/kg sehingga disimpulkan bahwa akar, batang dan daun kangkung pada semua stasiun di Sungai Lesti berbahaya untuk dikonsumsi.

5.2 Saran

Saran dari hasil penelitian ini untuk pihak pabrik kertas PT. Ekamas Fortuna dalam pengelolaan limbah cairnya agar menerapkan bioremediasi dengan tanaman air yang kemudian diujicobakan kepada ikan dikolam sebelum dibuang ke sungai Lesti. Untuk pemerintah harus bekerja sama dengan masyarakat sekitar untuk melakukan pengawasan yang lebih ketat terhadap limbah yang dihasilkan. Selain itu, untuk masyarakat sekitar area pabrik agar tidak mengkonsumsi kangkung sebagai sayuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, R. .2009. **Pengaruh Ekstrak Kangkung Darat (Ipomea reptans Poir.) Terhadap Efek Sedasi Pada Mencit BALB / C.** Laporan SKRIPSI Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro Semarang
- APHA .1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition.** American Public Health Association, Washington DC.
- Arfiati, D .2001. **Diklat Limnologi Sub Bahasan Kimia Air.** Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya Malang
- Badan Statistik Nasional . 2009. **Pergeseran Struktur Ekonomi.** BPS. Kabupten Malang
- Barus, T . A . 2002. **Pengantar Limnologi.** Jurusan Biologi FMIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Cahyono, R. 2007. **Dampak Limbah Cair Pabrik Kertas PT. Basuki Rachmat Banyuwangi Terhadap Kesehatan Masyarakat.** Thesis. Universitas Diponegoro Semarang
- Charlena .2004. **Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Sayuran.** Makalah. Program Pascasarjana / S3 / IPB. Bogor
- Davies, B. E and Alloway, B. J.1990.**Soil and behavior of metal.**p.100-121.In Heavy metal in soil 2nd. Blackie Glasgow and London Halstead Press.John wiley and Sons Inc.New York
- Diantariani, P dan K. G. D. Putra .2006. **Penentuan Kandungan Logam Pb dan Cr Pada Air dan Sedimen Di Sungai Ao Desa Samsam Kabupaten Tabanan.** Ecotrophic Volume 1 No.2 ISSN 1907-5626
- Dinas Perindustrian, Perdagangan, dan Pasar .2009.**Perkembangan Jumlah Industri.** DISPERINDAG Kabupaten Malang.
- Direktur Jendral Pengawas Obat dan Makanan .1989. **KEP No.03725/SK/B/VII/89 Tentang Batas Maksimal Cemaran Logam Dalam Makanan.** Dalam: Kohar, I., P.H. Hardjo dan I.I Lika .2005. **Studi Kandungan Logam Pb Dalam Tanaman Kangkung Umur 3 dan 6 Minggu Yang Ditanam Di Media Yang Mengandung Pb.** Makara Sains, Vol.9 No.2 :56-59

Direktur Jendral Tata Perkotaan dan Tata Perdesaan .2003. **Fitoremediasi, Upaya Mengelola Air Limbah Dengan Media Tanaman**. Direktorat Perkotaan dan Perdesaan Wilayah Barat.Jakarta

Doelman,P.1986. **Resistance of soil microbial communities to heavy metals**.p.369-398. In FEMS symposium no.33 microbial communities in soil Copenhagen, August 4-8-1985. Elsevier Applied science publisher Ltd London,UK.

Effendi .2003. **Telaah Kualitas Air**. Penerbit Kanisius.Yogyakarta

Fardiaz .1992. **Polusi Air dan Udara**. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi IPB. Bogor. 190 hal

Hardiani, H dan S. Sugesty .2009. **Pemanfaatan Limbah Sludge Indsutri Kertas Sigaret Untuk Bahan Baku Beton**. . Bio Sains Vol 44 No.2:86-98

Hariyadi, S., Suryadiputra, I. N. R., Widigdo .1992. **Metode Analisa Kualitas Air**. Fakultas Perikanan Institut Pertanian Bogor.Bogor

Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 1998. **Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 1998 Tentang : Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kawasan Industri**. Sekretariat Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Jakarta

————— 2001. **Peraturan Pemerintah Nomor 8 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencedmaran Air**. Sekretariat Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Jakarta

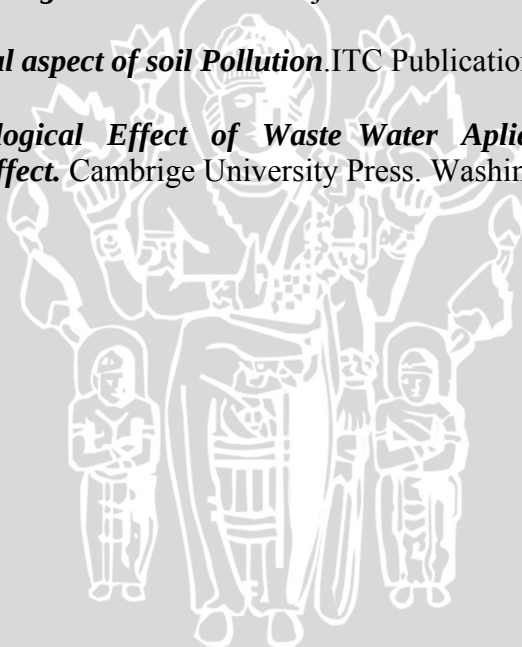
————— . 2009. **Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 Tentang Status Trofik Danau dan atau Waduk**. Sekretariat Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Jakarta

Kurnia, D.H., A.Z.Annahru dan M.H Affandy. 2009. **Monografi Kecamatan Pagak**. Kecamatan Pagak Kabupaten Malang.

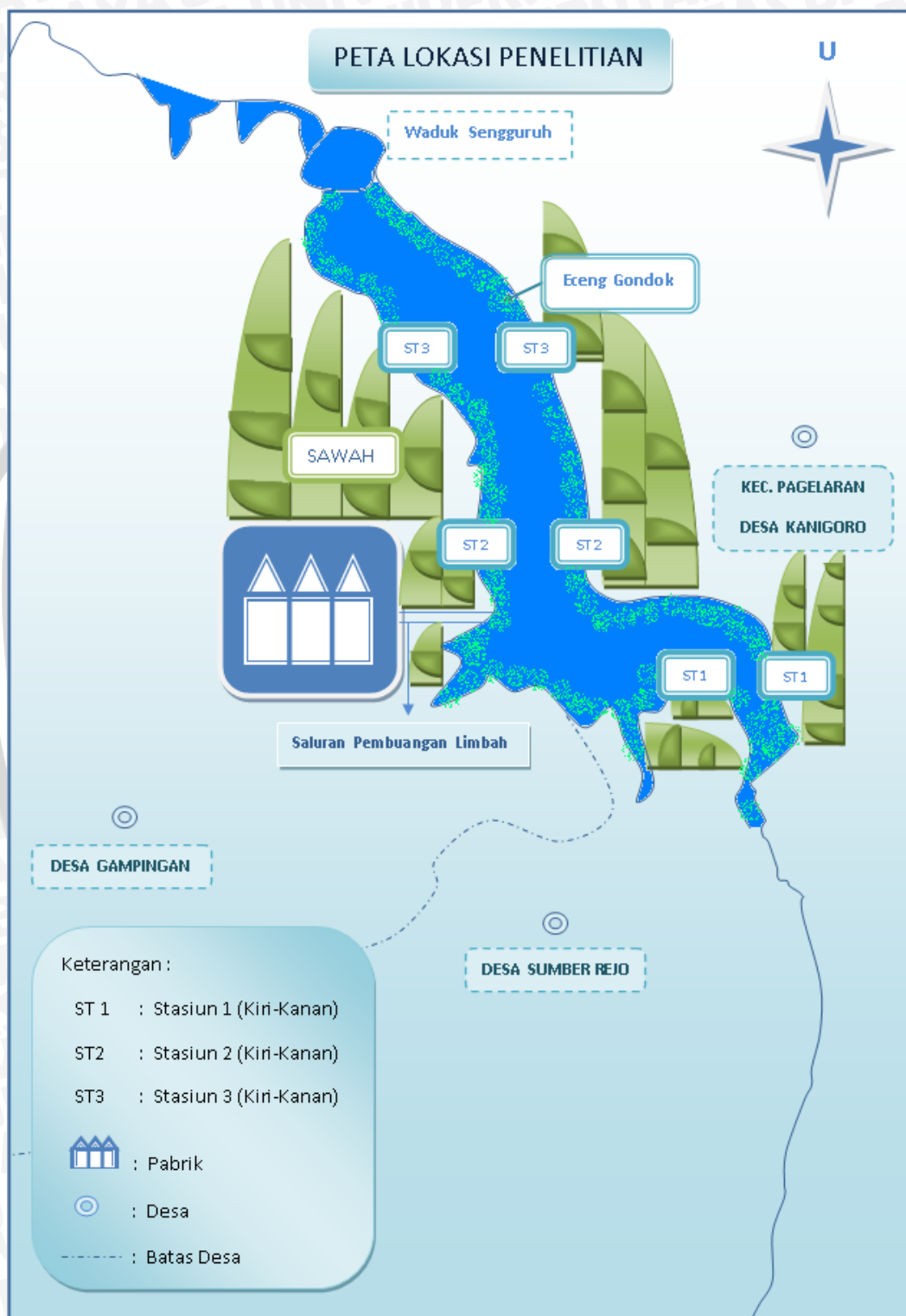
Lumbantobing, H. 2006. **Efek Ekstrak Etanol Kangkung Air (Ipomea aquatica) Terhadap Lamanya Tidur (Sleeping Time) Mencit Jantan Dibandingkan Dengan Fenobarbital**. Thesis. Universitas Sumatera Utara. Medan

- Marzuki .1977. **Metodologi Riset**. Fakultas Ekonomi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Odum, E. P .1993. **Dasar – dasar Ekologi. Edisi Ketiga**. Alih Bahasa: Simangun, T. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Palapa, T. M .2009.**Bioremediasi Merkuri (Hg) Dengan Tumbuhan Air Sebagai Salah satu Alternatif Penanggulangan Limbah Tambang Emas Rakyat**. AGRITEK VOL 17.NO.5 ISSN 0852-5426
- Palar, H .1994. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Rukmana .1994. **Bertanam Kangkung**. Cetakan 09 Tahun 2005. Penerbit Kanisius. Yogyakarta:11-40
- Handayani S T, B. Suharto dan Marsoedi .2001. **Penentuan Status Kualitas Perairan Sungai Brantas Hulu Dengan Biomonitoring Makrozoobentos Tinjauan Dari Pencemaran Bahan Organik**. Biosain, Volume. 1 Nomor. 1
- Salisbury, F. B dan Rose C.W., 1985. **Plant Physiology**. Wadsworth Publishing Company, California
- Sari, A.N.2009.**Pengaruh kerapatan kangkung (Ipomoea aquatic) terhadap Penyerapan nitrat dan fosfat pada limbah cair PT.SASA INTI kecamatan Gending kabupaten Probolinggo**.Skripsi.FPIK.Univesitas Brawijaya:tidak diterbitkan
- Sarjana A, U. Fauzi, A. Zain, L. M Rais, Parman, S. Kusumo .2008. **Kangkung Air Varietas Gomong**. Berita Resmi PVT. Nusa Tenggara Barat
- Siswanto, D. 2009. **Respon Kayu Apuh (Pistia stratiotes L.), Jagung (Zea mays L.) dan Kacang Tolo (Vigna sinensis L.) Terhadap Pencemar Timbal (Pb)**.Skripsi. Jurusan Biologi.Fakultas MIPAUniversitas Brawijaya Malang
- Subarijanti, H. U .2002. **Unsur Karbon, Nitrogen dan Fosfor Sebagai Kunci Eutrofikasi**. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya Malang
- Sudarmaji, J. Mukono, Corie . 2006. **Toksikologi Logam Berat B3 Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan**. Jurnal Kesehatan Lingkungan Vol. 2, No. 2 ,:129 -142

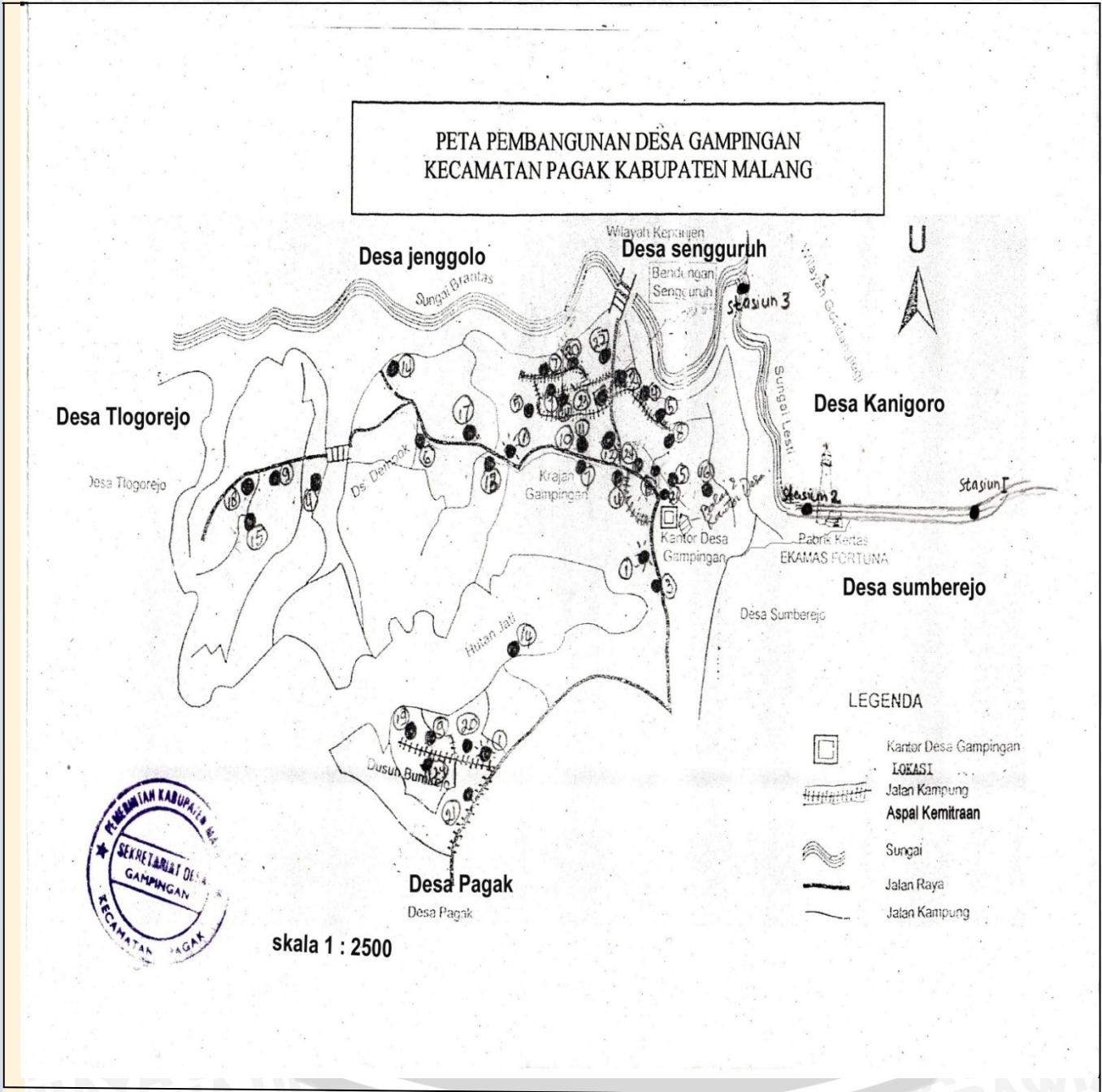
- Sudaryanti .1997. ***Prosiding Pelatihan Strategi Pemantauan Kualitas Air Sungai Secara Biologis***. Buku II. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang
- Sudarwin .2008. ***Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang***. Thesis. Universitas Diponegoro. Semarang
- Sunarjono .1998. ***Bertanam 30 Jenis Sayur***. Penerbit Penebar Swadaya. Jakarta: 1-10
- Supobowati.2004. ***Pecemaran Pb, Cd, Dan Cu Dalam Kagkung, Bayam, Dan Air Terhadap Pecemaran Dalam Rambut Di Kotamadya Bogor***. FMIPA. IPB.Bogor
- Suryabrata .1987. ***Metodologi Penelitian***. CV Rajawali. Jakarta. 127 hal
- Verloo,M.1993.***Chemical aspect of soil Pollution***.ITC Publications series no.4:17-46
- Welch, E. B .1980. ***Ecological Effect of Waste Water Aplied Limnology and Pollutant Effect***. Cambrige University Press. Washington, U



Lampiran 1. Lokasi stasiun Pengambilan Sampel Di Sungai Lesti



Lampiran 2. Peta Desa Gampingan



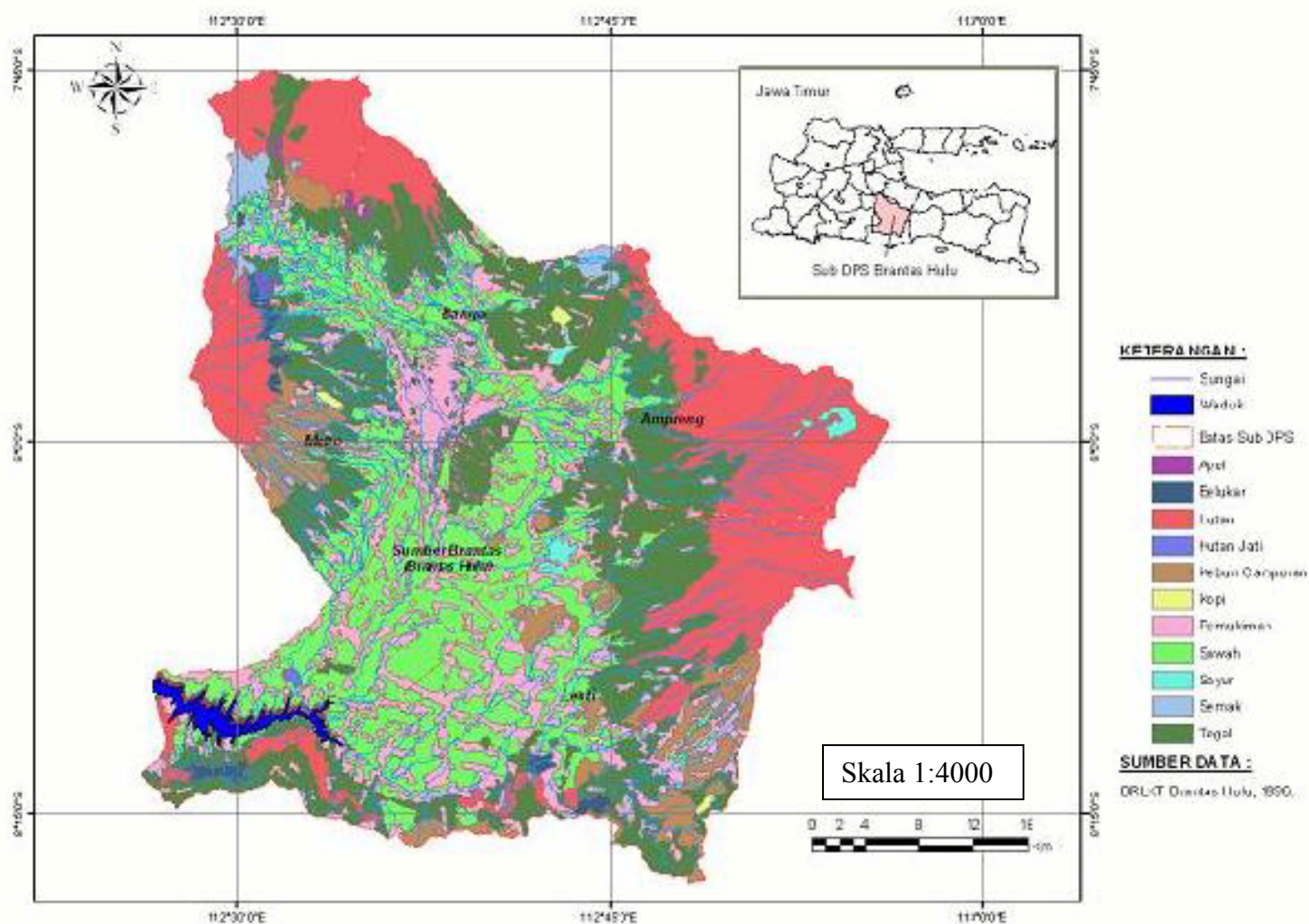
Lampiran 3. Peta Sungai Lesti Merupakan Bagian DAS Hulu Sungai Brantas



Sungai Lesti

Skala 1:10000

Lampiran 4. Peta Topografi DAS Hulu Sungai Brantas



Lampiran 5.

Tabel 16. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Air (ppm)

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Total	Rata-rata per minggu	Rata-rata per stasiun
Stasiun	Minggu	1	2			
I	1	0,483	0,302	0,785	0,3925	0,3015
	2	0,372	0,233	0,605	0,3025	
	3	0,233	0,186	0,419	0,2095	
II	1	0,698	0,779	1,477	0,7385	0,5040
	2	0,436	0,512	0,948	0,4740	
	3	0,285	0,314	0,599	0,2995	
III	1	0,605	0,529	1,134	0,5670	0,4167
	2	0,401	0,424	0,825	0,4125	
	3	0,279	0,262	0,541	0,2705	
Total		3,792	3,541	7,333		
Rata-rata		0,4213	0,3934			

Ket.pada titik sampel

1 = sebelah kanan aliran sungai

2 = sebelah kiri aliran sungai

Hipotesis : $H_0 : \bar{A} = \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} = \mu_d$ $H_1 : \bar{A} \neq \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} \neq 0$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St0-St1)}}$$

1. Uji t stasiun I dan stasiun II Timbal (Pb) pada Air (ppm) (lihat Tabel 16)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_2 = d$
	I	II	
1	0,3925	0,7385	-0,346
2	0,3025	0,4740	-0,171
3	0,2095	0,2995	-0,090
$\sum X = X_i$	0,9045	1,5120	-0,607
$\bar{X} = \bar{X}_i$	0,3015	0,5040	-0,2025

$$\bar{X} = \frac{0,3015 + 0,5040}{2} = 0,4027$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,346)^2 + (-0,171)^2 + (-0,090)^2\} - (-0,607)^2/3}{3-1} = \frac{0,157 - 0,122}{2} = 0,017$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,017}{3} = 0,005$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,2025}{0,005} = 40,5 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (40,5) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada air di stasiun I tidak sama dengan stasiun II dengan kata lain berbeda sangat nyata.

2. Uji t stasiun I dan stasiun III Timbal (Pb) pada Air (ppm) (lihat Tabel 16)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_3 = d$
	I	III	
1	0,3925	0,5670	-0,1745
2	0,3025	0,4125	-0,1100
3	0,2095	0,2705	-0,0610
$\sum X = X_i$	0,9045	1,2500	-0,3455
$\bar{X} = \frac{X_i}{n}$	0,3015	0,4167	-0,1152

$$\bar{X} = \frac{0,3015 + 0,4167}{2} = 0,3591$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,1745)^2 + (-0,11)^2 + (-0,061)^2\} - (-0,3455)^2/3}{3-1} = \frac{0,046 - 0,039}{2} = 0,003$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,003}{3} = 0,001$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,1152}{0,001} = 115,2 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (115,2) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga disimpulkan kadar logam berat Pb pada air di stasiun I tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

3. Uji t stasiun II dan stasiun III Timbal (Pb) pada Air (ppm) (lihat Tabel 16)

Minggu	Stasiun		$St_2 - St_3 = d$
	II	III	
1	0,7385	0,5670	0,1715
2	0,4740	0,4125	0,0615
3	0,2995	0,2705	0,0290
$\sum X = X_i$	1,5120	1,2500	0,2620
$\bar{X} = \frac{X_i}{n}$	0,5040	0,4167	0,0873

$$\bar{X} = \frac{0,5040 + 0,4167}{2} = 0,4603$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(0,1715)^2 + (0,0615)^2 + (0,029)^2\} - (0,262)^2/3}{3-1} = \frac{0,034 - 0,022}{2} = 0,012$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,012}{3} = 0,004$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{S}_{t1} - \bar{S}_{t2}|}{S_{(S_{t0} - S_{ti})}} = \frac{0,0873}{0,004} = 21,825 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (21,825) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada air di stasiun II tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

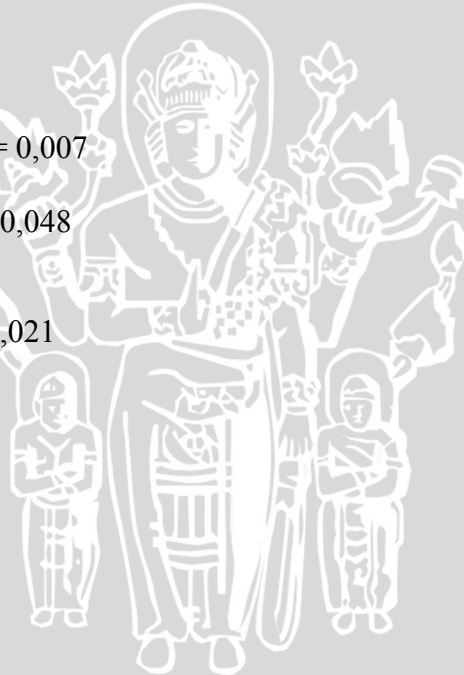
Perhitungan Standard devisiasi grafik

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

$$S_{d1} = \frac{\sqrt{3 (0,288)^2 - (0,9045)^2}}{3(3-1)} = 0,007$$

$$S_{d2} = \frac{\sqrt{3 (0,858)^2 - (1,512)^2}}{3(3-1)} = 0,048$$

$$S_{d3} = \frac{\sqrt{3 (0,564)^2 - (1,25)^2}}{3(3-1)} = 0,021$$



Lampiran 6.

Tabel 17. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Sedimen(mg/kg)

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Total	Rata-rata per minggu	Rata-rata per stasiun
Stasiun	Minggu	1	2			
I	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	
II	1	13,28	14,49	27,77	13,885	10,398
	2	10,35	9,80	20,15	10,075	
	3	7,14	7,33	14,47	7,235	
III	1	11,36	10,18	21,54	10,77	8,352
	2	8,60	8,16	16,76	8,38	
	3	6,24	5,57	11,81	5,905	
Total		78,48	74,37	152,85		
Rata-rata		8,72	8,26			

Ket.pada titik sampel

1 = sebelah kanan aliran sungai

2 = sebelah kiri aliran sungai

Hipotesis : $H_0 : \bar{A} = \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} = \mu_d$ $H_1 : \bar{A} \neq \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} \neq 0$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S(\bar{St}_1 - \bar{St}_2)}$$

1. Uji t stasiun I dan stasiun II Timbal (Pb) pada sedimen (mg/kg) (lihat Tabel 17)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_2 = d$
	I	II	
1	8,57	13,885	-5,315
2	6,72	10,075	-3,355
3	4,885	7,235	-2,35
$\sum X = X_i$	20,175	31,195	-11,02
$\bar{X} = X_i$	6,725	10,398	-3,673

$$\bar{X} = \frac{6,725 + 10,398}{2} = 8,5615$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-5,315)^2 + (-3,355)^2 + (-2,35)^2\} - (-11,02)^2/3}{3-1} = \frac{45,027 - 40,48}{2} = 2,273$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{2,273}{3} = 0,757$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S(S_{t0} - S_{t1})} = \frac{3,673}{0,757} = 4,852 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (4,852) > t_{0,01(2)} (4,303) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada sedimen di stasiun I tidak sama dengan stasiun II dengan kata lain berbeda nyata.

2. Uji t stasiun I dan stasiun III Timbal (Pb) pada sedimen (mg/kg) (lihat Tabel 17)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_3 = d$
	I	III	
1	8,57	10,77	-2,2
2	6,72	8,38	-1,66
3	4,885	5,905	-1,02
$\sum X = X_i$	20,175	25,055	-4,88
$\bar{X} = \bar{X}_i$	6,725	8,352	-1,627

$$\bar{X} = \frac{6,725 + 8,352}{2} = 7,538$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-2,2)^2 + (-1,66)^2 + (-1,02)^2\} - (-4,88)^2/3}{3-1} = \frac{8,636 - 7,938}{2} = 0,349$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,349}{3} = 0,116$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S(S_{t0} - S_{t1})} = \frac{1,627}{0,116} = 14,02 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (14,02) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada sedimen di stasiun I tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

3. Uji t stasiun II dan stasiun III Timbal (Pb) pada sedimen (mg/kg) (lihat Tabel 17)

Minggu	Stasiun		$St_2 - St_3 = d$
	II	III	
1	13,885	10,77	3,115
2	10,075	8,38	1,695
3	7,235	5,905	1,33
$\sum X = X_i$	31,195	25,055	6,14
$\bar{X} = \bar{X}_i$	10,398	8,352	2,046

$$\bar{X} = \frac{10,398 + 8,352}{2} = 9,375$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(3,115)^2 + (1,695)^2 + (1,33)^2\} - (6,14)^2/3}{3-1} = \frac{14,345 - 12,566}{2} = 0,889$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,889}{3} = 0,296$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{S}_{t1} - \bar{S}_{t2}|}{S_{(S_{t0} - S_{t1})}} = \frac{2,046}{0,296} = 6,91 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (6,91) > t_{0,05(2)} (4,303) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada sedimen di stasiun II tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda nyata.

Perhitungan Standard deviasi grafik

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

$$S_{d1} = \frac{\sqrt{3 (142,466) - (20,175)^2}}{3(3-1)} = 3,394$$

$$S_{d2} = \frac{\sqrt{3 (346,643) - (31,195)^2}}{3(3-1)} = 11,133$$

$$S_{d3} = \frac{\sqrt{3 (221,085) - (25,055)^2}}{3(3-1)} = 5,917$$

Lampiran 7.

Tabel 18. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Akar Kangkung (mg/kg)

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Total	Rata-rata per minggu	Rata-rata per stasiun
Stasiun	Minggu	1	2			
I	1	0,66	0,50	1,16	0,58	0,738
	2	0,83	0,65	1,48	0,74	
	3	0,97	0,82	1,79	0,895	
II	1	0,87	0,94	1,81	0,905	1,276
	2	1,30	1,44	2,74	1,37	
	3	1,47	1,64	3,11	1,555	
III	1	0,69	0,78	1,47	0,735	0,920
	2	0,95	1,15	2,10	1,050	
	3	1,00	0,95	1,95	0,975	
Total		8,74	8,87	17,61		
Rata-rata		0,971	0,985			

Ket.pada titik sampel

1 = sebelah kanan aliran sungai

2 = sebelah kiri aliran sungai

Hipotesis : $H_0 : \bar{A} = \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} = \mu_d$ $H_1 : \bar{A} \neq \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} \neq 0$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S(\bar{St}_0 - \bar{St}_1)}$$

1. Uji t stasiun I dan stasiun II Timbal (Pb) pada Akar kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 18)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_2 = d$
	I	II	
1	0,58	0,905	-0,325
2	0,74	1,37	-0,630
3	0,895	1,555	-0,660
$\sum X = \sum X_i$	2,215	3,83	-1,615
$\bar{X} = \bar{X}_i$	0,738	1,277	-0,539

$$\bar{X} = \frac{0,738 + 1,277}{2} = 1,0075$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,325)^2 + (-0,63)^2 + (-0,66)^2\} - (-1,615)^2/3}{3-1} = \frac{0,938 - 0,869}{2} = 0,034$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,034}{3} = 0,011$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,539}{0,011} = 49,00 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (49,00) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada akar di stasiun I tidak sama dengan stasiun II dengan kata lain berbeda sangat nyata.

2. Uji t stasiun I dan stasiun III Timbal (Pb) pada Akar kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 18)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_3 = d$
	I	III	
1	0,58	0,735	-0,155
2	0,74	1,050	-0,310
3	0,895	0,975	-0,080
$\sum X = \sum X_i$	2,215	2,76	-0,545
$\bar{X} = \bar{X}_i$	0,738	0,920	-0,182

$$\bar{X} = \frac{0,738 + 0,920}{2} = 0,829$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,155)^2 + (-0,31)^2 + (-0,08)^2\} - (-0,545)^2/3}{3-1} = \frac{0,126 - 0,099}{2} = 0,013$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,013}{3} = 0,004$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,182}{0,004} = 45,50 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (45,50) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada akar di stasiun I tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

3. Uji t stasiun II dan stasiun III Timbal (Pb) pada Akar kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 18)

Minggu	Stasiun		$St_2 - St_3 = d$
	II	III	
1	0,905	0,735	0,170
2	1,37	1,050	0,320
3	1,555	0,975	0,580
$\sum X = \sum X_i$	3,83	2,76	1,070
$\bar{X} = \bar{X}_i$	1,277	0,920	0,357

$$\bar{X} = \frac{1,277 + 0,920}{2} = 1,098$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(0,17)^2 + (0,32)^2 + (0,58)^2\} - (1,07)^2/3}{3-1} = \frac{0,467 - 0,382}{2} = 0,042$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,042}{3} = 0,014$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{S}_{t1} - \bar{S}_{t2}|}{S(S_{t0} - S_{t1})} = \frac{0,357}{0,014} = 25,50 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (25,50) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada akar di stasiun II tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

Perhitungan Standard devisiasi grafik

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

$$S_{d1} = \frac{\sqrt{3(1,684) - (2,215)^2}}{3(3-1)} = 0,024$$

$$S_{d2} = \frac{\sqrt{3(5,113) - (3,83)^2}}{3(3-1)} = 0,111$$

$$S_{d3} = \frac{\sqrt{3(2,592) - (2,76)^2}}{3(3-1)} = 0,026$$



Lampiran 8.

Tabel 19. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Batang Kangkung (mg/kg)

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Total	Rata-rata per minggu	Rata-rata per stasiun
Stasiun	Minggu	1	2			
I	1	0,95	0,70	1,65	0,825	1,152
	2	1,05	1,27	2,32	1,16	
	3	1,53	1,41	2,94	1,47	
II	1	1,26	1,15	2,41	1,205	1,456
	2	1,40	1,33	2,73	1,365	
	3	1,94	1,66	3,60	1,80	
III	1	1,04	1,11	2,15	1,075	1,300
	2	1,19	1,28	2,47	1,235	
	3	1,67	1,51	3,18	1,590	
Total		12,03	11,42	23,45		
Rata-rata		1,3367	1,268			

Ket.pada titik sampel

1 = sebelah kanan aliran sungai

2 = sebelah kiri aliran sungai

Hipotesis : $H_0 : \bar{A} = \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} = \mu_d$

$H_1 : \bar{A} \neq \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} \neq 0$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St0-St1)}}$$

1. Uji t stasiun I dan stasiun II Timbal (Pb) pada batang kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 19)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_2 = d$
	I	II	
1	0,825	1,205	-0,38
2	1,16	1,365	-0,205
3	1,47	1,80	-0,33
$\sum X = \underline{X_i}$	3,455	4,37	-0,915
$\bar{X} = \underline{X_i}$	1,152	1,457	-0,305

$$\bar{X} = \frac{1,152 + 1,457}{2} = 1,304$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,38)^2 + (-0,205)^2 + (-0,33)^2\} - (-0,915)^2/3}{3-1} = \frac{0,295 - 0,279}{2} = 0,008$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,008}{3} = 0,0026$$

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,305}{0,0026} = 117,30 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{\text{hitung}} (117,30) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada batang di stasiun I tidak sama dengan stasiun II dengan kata lain berbeda sangat nyata.

2. Uji t stasiun I dan stasiun III Timbal (Pb) pada batang kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 19)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_3 = d$
	I	III	
1	0,825	1,075	-0,25
2	1,16	1,235	-0,075
3	1,47	1,590	-0,12
$\sum X = X_i$	3,455	3,9	-0,445
$\bar{X} = \frac{X_i}{n}$	1,152	1,3	-0,148

$$\bar{X} = \frac{1,152 + 1,3}{2} = 1,226$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,25)^2 + (-0,075)^2 + (-0,12)^2\} - (-0,445)^2/3}{3-1} = \frac{0,082 - 0,066}{2} = 0,008$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,008}{3} = 0,0026$$

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,148}{0,0026} = 56,92 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{\text{hitung}} (56,92) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada batang di stasiun I tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

3. Uji t stasiun II dan stasiun III Timbal (Pb) pada batang kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 19)

Minggu	Stasiun		$St_2 - St_3 = d$
	II	III	
1	1,205	1,075	0,130
2	1,365	1,235	0,130
3	1,80	1,590	0,210
$\sum X = X_i$	4,37	3,9	0,470
$\bar{X} = \frac{X_i}{n}$	1,457	1,3	0,157

$$\bar{X} = \frac{1,457 + 1,3}{2} = 1,378$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(0,13)^2 + (0,13)^2 + (0,21)^2\} - (0,47)^2/3}{3-1} = \frac{0,078 - 0,074}{2} = 0,002$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,002}{3} = 0,0006$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{S}_{t1} - \bar{S}_{t2}|}{S_{(S_{t0} - S_{t1})}} = \frac{0,157}{0,0006} = 261,67 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung} (261,67) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada batang di stasiun II tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

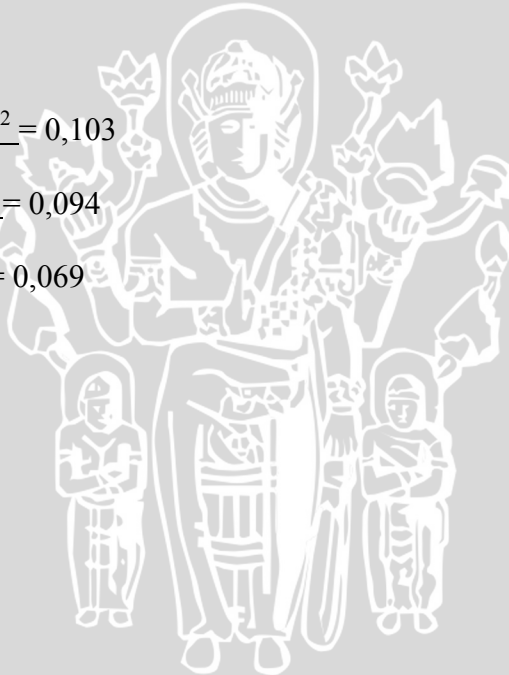
Perhitungan Standard devisiasi grafik

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

$$S_{d1} = \frac{\sqrt{3(4,185) - (3,455)^2}}{3(3-1)} = 0,103$$

$$S_{d2} = \frac{\sqrt{3(6,555) - (4,37)^2}}{3(3-1)} = 0,094$$

$$S_{d3} = \frac{\sqrt{3(5,208) - (3,9)^2}}{3(3-1)} = 0,069$$



Lampiran 9

Tabel 20. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Timbal (Pb) Pada Daun Kangkung (mg/kg)

Perlakuan		Ulangan / Kelompok		Total	Rata-rata per minggu	Rata-rata per stasiun
Stasiun	Minggu	1	2			
I	1	1,20	0,96	2,16	1,08	1,180
	2	1,19	1,28	2,47	1,235	
	3	1,15	1,30	2,45	1,225	
II	1	1,27	1,50	2,77	1,385	1,553
	2	1,70	1,85	3,55	1,275	
	3	1,90	2,10	4,00	2,00	
III	1	1,40	1,16	2,56	1,28	1,410
	2	1,50	1,35	2,85	1,425	
	3	1,65	1,40	3,05	1,525	
Total		12,96	12,90	25,86		
Rata-rata		1,44	1,43			

Ket.pada titik sampel

1 = sebelah kanan aliran sungai

2 = sebelah kiri aliran sungai

Hipotesis : $H_0 : \bar{A} = \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} = \mu_d$

$H_1 : \bar{A} \neq \bar{B}$ atau $\bar{A} - \bar{B} \neq 0$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S(\bar{St}_1 - \bar{St}_2)}$$

1. Uji t stasiun I dan stasiun II Timbal (Pb) pada daun kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 20)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_2 = d$
	I	II	
1	1,08	1,385	-0,305
2	1,235	1,275	-0,04
3	1,225	2,00	-0,775
$\sum X = X_i$	3,54	4,66	-1,120
$\bar{X} = \frac{X_i}{n}$	1,18	1,553	-0,373

$$\bar{X} = \frac{1,18 + 1,553}{2} = 1,3665$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,305)^2 + (-0,04)^2 + (-0,775)^2\} - (-1,120)^2/3}{3-1} = \frac{0,695 - 0,418}{2} = 0,138$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,138}{3} = 0,046$$

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,373}{0,046} = 8,1 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{\text{hitung}} (8,1) > t_{0,05(2)} (4,303) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada daun di stasiun I tidak sama dengan stasiun II dengan kata lain berbeda nyata.

2. Uji t stasiun I dan stasiun III Timbal (Pb) pada daun kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 20)

Minggu	Stasiun		$St_1 - St_3 = d$
	I	III	
1	1,08	1,28	-0,2
2	1,235	1,425	-0,19
3	1,225	1,525	-0,3
$\sum X = X_i$	3,54	4,23	-0,69
$\bar{X} = \bar{X}_i$	1,18	1,41	-0,23

$$\bar{X} = \frac{1,18 + 1,41}{2} = 1,295$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(-0,2)^2 + (-0,19)^2 + (-0,3)^2\} - (-0,69)^2/3}{3-1} = \frac{0,166 - 0,159}{2} = 0,007$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,007}{3} = 0,0023$$

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{St}_1 - \bar{St}_2|}{S_{(St_0 - St_1)}} = \frac{0,23}{0,0023} = 100,00 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{\text{hitung}} (100,00) > t_{0,01(2)} (9,925) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada daun di stasiun I tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda sangat nyata.

3. Uji t stasiun II dan stasiun III Timbal (Pb) pada daun kangkung (mg/kg) (lihat Tabel 20)

Minggu	Stasiun		$St_2 - St_3 = d$
	II	III	
1	1,385	1,28	0,105
2	1,275	1,425	-0,150
3	2,00	1,525	0,475
$\sum X = X_i$	4,66	4,23	0,430
$\bar{X} = \bar{X}_i$	1,553	1,41	0,143

$$\bar{X} = \frac{1,553 + 1,41}{2} = 1,481$$

$$S_d^2 = \frac{JK(A-B)}{n-1} = \frac{\{(0,105)^2 + (0,15)^2 + (0,475)^2\} - (0,43)^2/3}{3-1} = \frac{0,259 - 0,062}{2} = 0,098$$

$$S_d^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0,098}{3} = 0,033$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{S_d} \text{ atau } \frac{|\bar{S}_{t1} - \bar{S}_{t2}|}{S(S_{t0} - S_{t1})} = \frac{0,143}{0,033} = 4,33 \rightarrow t_{0,05(2)} = 4,303 \text{ dan } t_{0,01(2)} = 9,925$$

Karena $t_{hitung}(4,33) > t_{0,05(2)}(4,303) \rightarrow$ menerima H_1 , sehingga kadar logam berat Pb pada daun di stasiun II tidak sama dengan stasiun III dengan kata lain berbeda nyata.

Perhitungan Standard deviasiasi grafik

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

$$S_{d1} = \frac{\sqrt{3(4,191) - (3,54)^2}}{3(3-1)} = 0,007$$

$$S_{d2} = \frac{\sqrt{3(7,543) - (4,66)^2}}{3(3-1)} = 0,152$$

$$S_{d3} = \frac{\sqrt{3(5,993) - (4,23)^2}}{3(3-1)} = 0,014$$

