

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS ENCENG GONDOK TERHADAP PENURUNAN KADAR LOGAM TEMBAGA (Cu) DALAM LIMBAH PENAMBANGAN EMAS DENGAN METODE FITOFILTRASI



Disusun Oleh :

Nur Hafyah HS (4512044036)

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

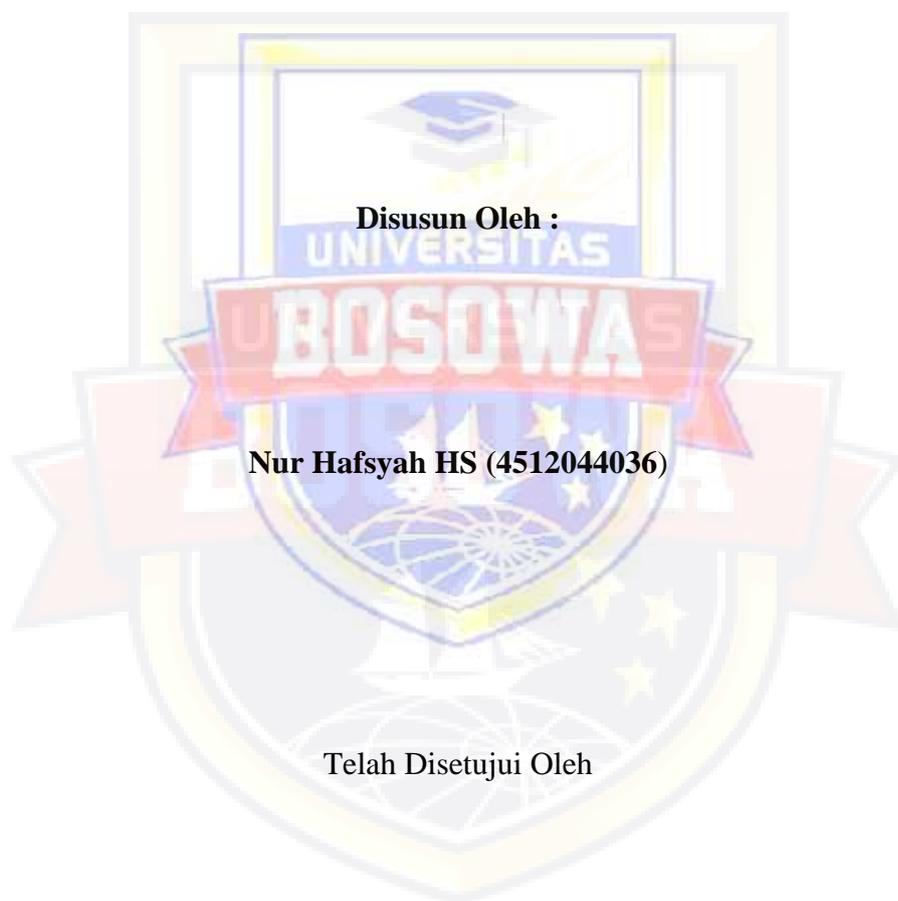
UNIVERSITAS BOSOWA

MAKASSAR

2017

HALAMAN PERSETUJUAN

EFEKTIVITAS ENCENG GONDOK TERHADAP PENURUNAN KADAR LOGAM TEMBAGA (Cu) DALAM LIMBAH PENAMBANGAN EMAS DENGAN METODE FITOFILTRASI



Disusun Oleh :

UNIVERSITAS

BOSWAS

Nur Hafsyah HS (4512044036)

Telah Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Ridwan .ST., M.Si)
NIDN : 09-1012-7101

(Tri Pratiwi Handayani, S.Kom., M.Eng., M.Phill)
NIDN : 09-040589-02

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEKTIVITAS ENCENG GONDOK TERHADAP
PENURUNAN KADAR TEMBAGA DALAM LIMBAH
PENAMBANGAN EMAS DENGAN METODE FITOFILTRASI**

Disusun oleh :

Nur Hafsyah HS (4512044036)

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 03 Maret 2017 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Pembimbing I

Pembimbing II

(Ridwan, ST., M.Si)
NIDN : 09-1012-7101

(Tri Pratiwi Handayani, S.Kom., M.Eng., M.Phill)
NIDN : 09-040589-02

Penguji I

Penguji II

(Dr.A.Zulfikar Syaiful, ST., MT)
NIDN : 09-1802-6902

(Al Gazali, ST., MT)
NIDN : 09-0506-7302

Ketua Program Studi Teknik Kimia

(Hermawati, S.Si, M.Eng)
NIDN : 00-2407-7101

LEMBAR PENGESAHAN

Mahasiswa Fakultas Teknik jurusan Teknik Kimia Universitas Bosowa Makassar yang tersebut di bawah ini :

Nama / Nim : **Nur Hafsyah HS / (4512044036)**

Judul Tugas Akhir : **EFEKTIVITAS ENCENG GONDOK TERHADAP
PENURUNAN KADAR TEMBAGA DALAM
LIMBAH PENAMBANGAN EMAS DENGAN
METODE FITOFILTRASI**

Telah diperiksa dan dinyatakan memenuhi syarat untuk mengikuti Ujian Seminar Tugas Akhir.

Pembimbing I

Pembimbing II

(Ridwan, ST., M.Si)
NIDN : 09-1012-7101

(Tri Pratiwi Handayani, S.Kom., M.Eng., M.Phill)
NIDN : 09-040589-02

MENGETAHUI

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Jurusan Teknik Kimia

(Dr.Hamsina, S.T, M.Si)
NIDN : 09-2406-7601

(Hermawati, S.Si, M.Eng)
NIDN : 00-2407-7101

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya lah sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi ini. Tugas ini merupakan salah satu syarat penyelesaian studi S-1 dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Kimia di Universitas Bosowa Makassar.

Tugas akhir skripsi ini berjudul “*Efektivitas Enceng Gondok terhadap Penurunan Kadar Logam Cu dalam Limbah Penambangan Emas dengan Metode Fitofiltrasi*”.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta yang telah memberikan bantuan moril dan materil serta do'a tulus.
2. Ibu Dr. Hamsina, ST., M.Si selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.
3. Ibu Hermawati S.Si, M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Universitas Bosowa Makassar.
4. Bapak Ridwan, ST., M.Si dan Ibu Tri Pratiwi Handayani, S. Kom, M.Eng, M.Phill selaku Dosen Pembimbing.
5. Segenap Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar
6. Seluruh staff dan karyawan PT Kasongan Bumi Kencana atas bantuannya dalam menyiapkan sarana dan prasarana serta mendampingi penelitian ini.
7. Seluruh pihak yang telah membantu secara langsung atau tidak langsung selama proses penyusunan hingga penyelesaian Tugas akhir skripsi ini.

Dalam penyusunan tugas ini, penyusun menyadari bahwa masih banyak keterbatasan didalamnya. Oleh karena itu kami menerima saran yang membangun dari para pembaca. Semoga tugas ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, April 2017

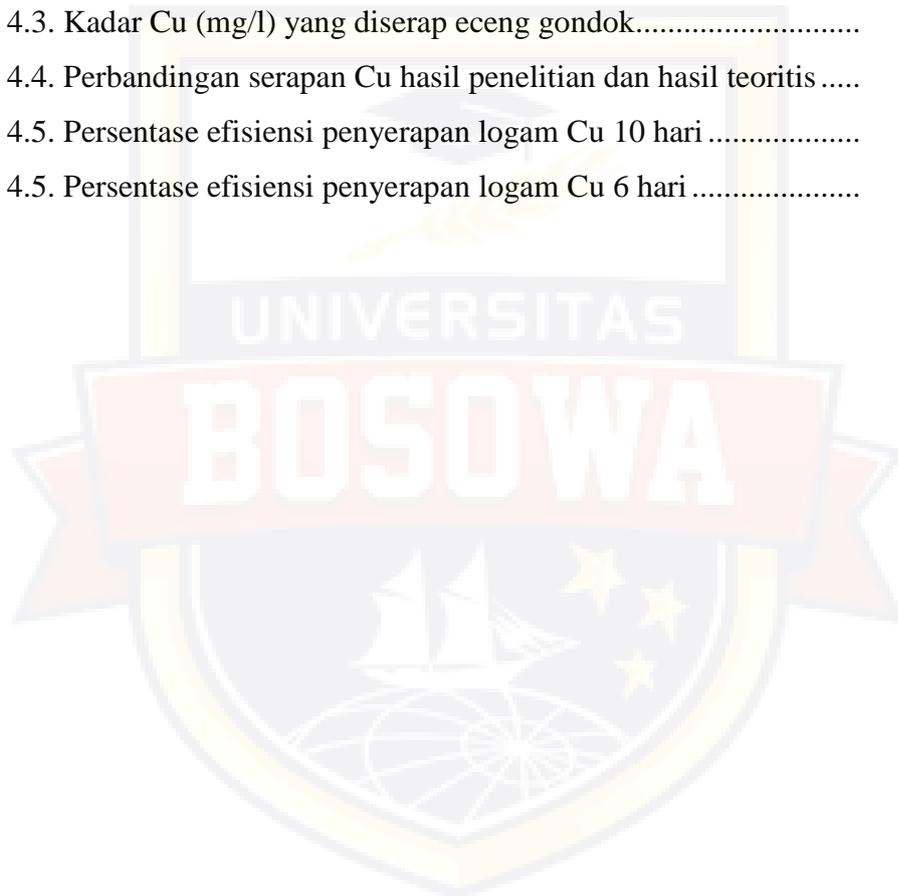
Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
INTISARI.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	30
BAB V PENUTUP.....	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	46

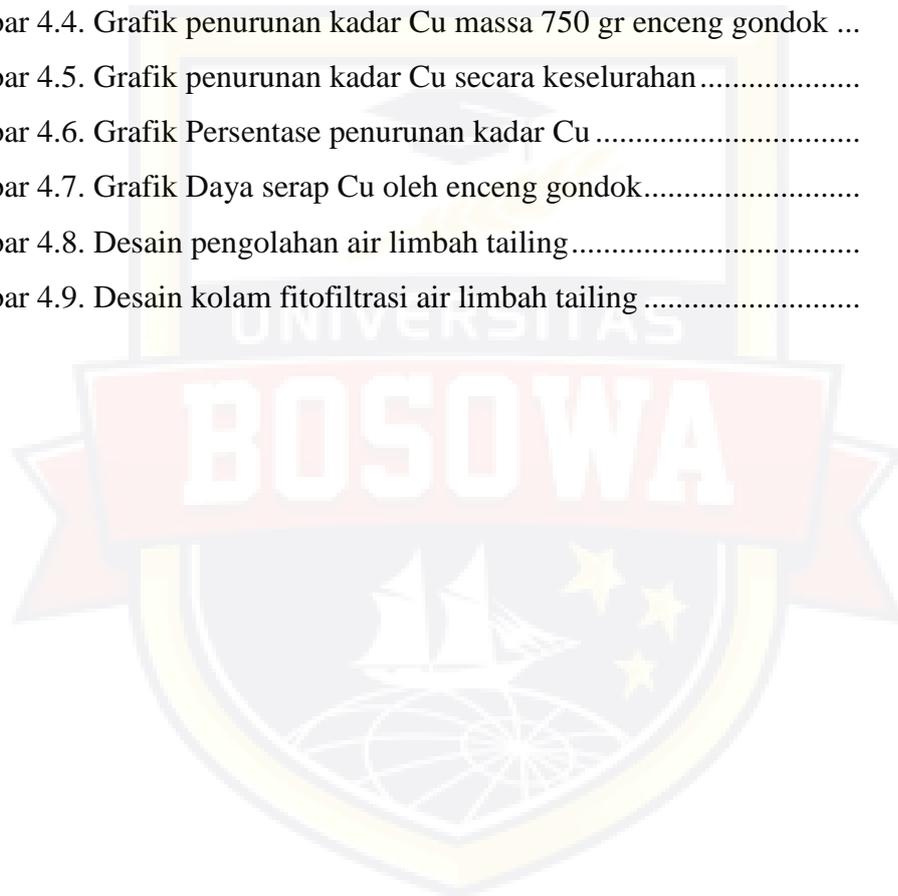
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Keaslian penelitian.....	14
Tabel 2.2. Sinar yang diserap & kompleksnya dari sinar tampak.....	25
Tabel 3.1. Jadwal penelitian.....	29
Tabel 4.1. Massa Eceng gondok	30
Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Kadar Tembaga (Uji Pendahuluan).....	31
Tabel 4.3. Kadar Cu (mg/l) yang diserap eceng gondok.....	32
Tabel 4.4. Perbandingan serapan Cu hasil penelitian dan hasil teoritis.....	37
Tabel 4.5. Persentase efisiensi penyerapan logam Cu 10 hari.....	39
Tabel 4.5. Persentase efisiensi penyerapan logam Cu 6 hari	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Baku Mutu Limbah Cair	2
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 4.1. Grafik massa enceng gondok awal dan akhir penelitian	30
Gambar 4.2. Grafik penurunan kadar Cu massa 300 gr enceng gondok ...	32
Gambar 4.3. Grafik penurunan kadar Cu massa 500 gr enceng gondok ...	32
Gambar 4.4. Grafik penurunan kadar Cu massa 750 gr enceng gondok ...	33
Gambar 4.5. Grafik penurunan kadar Cu secara keseluruhan.....	33
Gambar 4.6. Grafik Persentase penurunan kadar Cu	34
Gambar 4.7. Grafik Daya serap Cu oleh enceng gondok.....	36
Gambar 4.8. Desain pengolahan air limbah tailing.....	38
Gambar 4.9. Desain kolam fitofiltrasi air limbah tailing	39



INTISARI

Area pertambangan emas PT KBK berlokasi dekat dengan pemukiman warga, maka seharusnya lingkungan sekitar area tersebut bebas dari pencemaran. Khususnya pencemaran kualitas air bersih yang digunakan warga untuk aktifitas sehari-hari. Pencemaran air yang paling dominan di area sekitar tambang adalah pencemaran logam berat yaitu logam Tembaga (Cu). Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari tumbuhan Enceng Gondok dalam mengadsorpsi dan menurunkan kadar logam Cu sebagai limbah hasil pengolahan emas. Logam Cu merupakan bahan pencemar yang akan menimbulkan gangguan pada biota kehidupan air maupun manusia itu sendiri apabila dibuang pada perairan bebas. Untuk mengurangi kadar logam Cu sebagai hasil dari aktifitas penambangan emas sebelum di buang ke badan air, maka digunakan tumbuhan bioakumulator dengan metode Fitofiltrasi. Fitofiltrasi merupakan pemanfaatan tumbuhan untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi polutan baik secara *in-situ* (langsung pada kolam tercemar) maupun *ex-situ* (menggunakan kolam buatan atau reaktor). Pada penelitian ini, digunakan Enceng gondok (*Eihchornia Crassipes*) sebagai tumbuhan bioakumulator untuk menurunkan kadar logam Cu karena tumbuhan tersebut mempunyai kemampuan untuk menyerap logam-logam berat termasuk logam Cu. Penelitian ini dilakukan berdasarkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua variable yaitu waktu detensi dan massa enceng gondok. Air limbah yang sebelumnya telah dibersihkan dan diaklimatisasi selama 7 hari kemudian ditambahkan Enceng gondok (pada masing-masing wadah yang berbeda) dengan variasi berat 350 gr, 500 gr dan 750 gr. Dilanjutkan dengan pengamatan pada hari ke 0, 2, 4, 6, 8, dan hari ke-10. Hasilnya dianalisa dengan menggunakan AAS (Spektrofotometer Serapan Atom). Dari hasil tersebut, diperoleh persentase penyerapan hingga 95,02% dengan konsentrasi akhir sebesar 0,150 mg/l Cu pada massa 750 gr dan waktu tinggal (detensi) selama 10 hari.

Kata Kunci : *Enceng gondok, limbah Logam Cu, Fitofiltrasi, bioakumulator*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dunia semakin lama semakin tercemar oleh limbah yang semakin lama membuat keadaan lingkungan seperti air, udara dan tanah ikut tercemar. Meskipun alam dapat memiliki kemampuan alami jika terjadi pencemaran dan dapat kembali seperti semula, tetapi jika terus-menerus tercemar maka air, udara dan tanah dapat kehilangan fungsinya dan rusak. Oksigen yang terkandung dalam udara tidak lagi bersih, air menjadi keruh dan tanah tidak menjadi subur lagi (Anonim, 2001).

Eksplorasi pertambangan emas dan tembaga tidak hanya memperburuk kualitas sumber daya alam dan lingkungan hidup yang merugikan generasi masa kini tetapi juga kerugian bagi generasi yang akan datang. Oleh karena itu, pemerintah sebaiknya harus menanggapi dengan serius masalah pembuangan limbah pertambangan ini. Limbah-limbah pertambangan jika dikelola dan diolah dengan baik akan mengurangi masalah pencemaran lingkungan. Dengan menggunakan metode pengolahan limbah yang tepat, selain terjadinya pencemaran lingkungan dapat dicegah, juga dapat diperoleh nilai tambah yang tinggi, karena limbah-limbah tersebut didalamnya masih terkandung komponen-komponen berharga seperti Al, dan Fe yang masih memiliki nilai ekonomi.

Masalah pencemaran lingkungan khususnya masalah pencemaran air akibat industri pabrik di Indonesia telah menunjukkan gejala yang cukup serius. Pada penelitian ini, penulis melakukan riset terhadap salah satu dampak dari pertambangan di daerah Kalimantan tengah yaitu pada PT Kasongan Bumi Kencana. Setiap tahunnya PT KBK dapat menghasilkan 1.000.000 ton Emas dengan 60% logam lain sebagai produk sampingannya. Produk sampingan ini diklasifikasikan sebagai limbah. Limbah tersebut berupa limbah cair yang mengandung logam-logam berat seperti logam Tembaga (Cu) yang akan ditampung pada kolam penampungan sebelum dibuang ke badan air.

Pada konsentrasi yang tinggi, tembaga dapat bersifat toksik bagi tumbuhan. Ion Cu dapat terikat pada sel-sel membran yang menyebabkan terhambatnya proses-proses transport melalui dinding sel tumbuhan. Selain itu, tembaga dalam jumlah yang berlebihan juga berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan kerusakan hati (Darmono, 1995) dan bersifat karsinogenik (Liestianty, 2014). Ambang batas normal kadar Tembaga dalam air adalah 2 mg/L atau 2 ppm. Oleh karena itu, limbah Logam Cu tersebut hendaknya ditangani dengan tepat.

BAKU MUTU AIR LIMBAH AIR LINDI			
No	Parameter	Konsentrasi Parameter Maksimum	
		Nilai	Satuan
Fisik			
1	Suhu	38°	°C
2	Zat padat terlarut	2000	mg/L
3	Zat padat tersuspensi	200	mg/L
Kimia			
1	pH	6-9	-
2	Besi terlarut (Fe)	5	mg/L
3	Mangan terlarut (Mn)	2	mg/L
4	Barium (Ba)	2	mg/L
5	Tembaga (Cu)	2	mg/L
6	Seng (Zn)	5	mg/L
7	Kromavalensi enam (Cr^{6+})	0,1	mg/L

Gambar 1.1. Baku Mutu Limbah Cair (Sumber: KepMenLH No. 09.9.12 Tahun 2014 Tentang baku Mutu pengelolaan limbah Tailing)

Tembaga (Cu) dilepaskan oleh pelapukan sebagai Cu^{2+} , dan diadsorpsi oleh tanaman. Alternatif penyisihan logam Cu yang mudah, murah, dan efektif, salah satu caranya adalah dengan fitofiltrasi menggunakan tumbuhan Enceng gondok. Fitofiltrasi adalah upaya penggunaan tumbuhan dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan baik secara *ex-situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor maupun *in-situ* (langsung di lapangan) pada perairan atau daerah yang terkontaminasi limbah (Foth: 1994 dalam Napitupulun; 2008).

Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan gulma di wilayah perairan yang hidup terapung pada air yang dalam. Enceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai

gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Enceng gondok berkembang biak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 710 hari (Darmawanti, 2014).

Dipilihnya tumbuhan enceng gondok karena berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya (lihat Tabel 2.1) tumbuhan ini memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Diharapkan pencemaran logam Cu pada tambang emas ini dapat dikurangi dengan cara fitofiltrasi menggunakan tumbuhan enceng gondok.

I.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kadar Cu dalam air limbah *Tailing* yang diserap oleh enceng gondok berdasarkan variasi massa dan waktu detensi.
2. Bagaimana menentukan efisiensi massa dan waktu detensi terhadap penurunan nilai Cu oleh tumbuhan enceng gondok pada air limbah *Tailing*.

I.3 Tujuan Penelitian

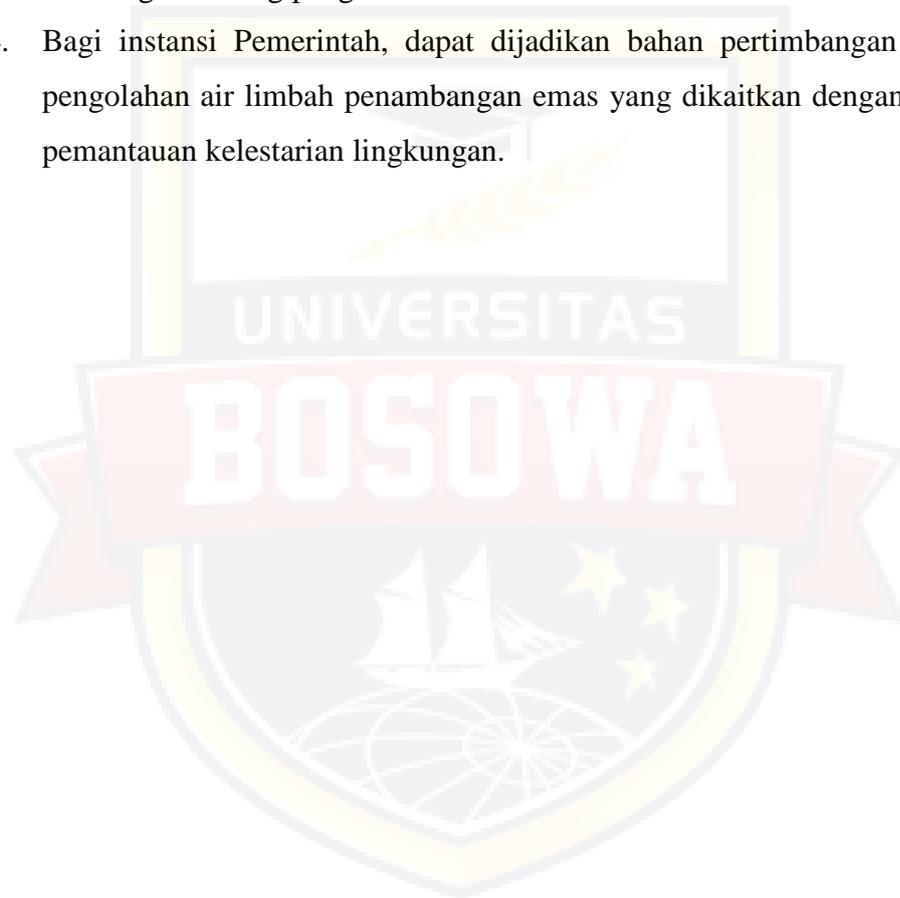
Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui kadar Cu dalam air limbah *Tailing* berdasarkan variasi massa dan waktu detensi penyerapan oleh enceng gondok.
2. Menentukan persentase efisiensi massa dan lama waktu detensi dalam penurunan kadar Cu oleh tumbuhan enceng gondok pada air limbah *Tailing*.

I.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat :

1. Memberikan informasi mengenai kadar logam Cu dan efisiensi penurunan kadar logam Cu oleh tumbuhan enceng gondok pada air kolam penampungan limbah.
2. Menjadi acuan bagi masyarakat untuk mengatasi pencemaran logam Cu pada sumber perairan di daerah sekitar penambangan emas.
3. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang pengolahan limbah.
4. Bagi instansi Pemerintah, dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam pengolahan air limbah penambangan emas yang dikaitkan dengan upaya pemantauan kelestarian lingkungan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Air Limbah

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 202 tahun 2004, air limbah usaha dan/atau kegiatan pertambangan bijih emas dan/atau tembaga adalah air yang berasal dari kegiatan penambangan bijih emas dan atau tembaga dan sisa dari kegiatan pengolahan bijih emas dan atau tembaga yang berwujud cair. Selanjutnya, berdasarkan peraturan pemerintah (PP) no. 101 Tahun 2014, Limbah difenisikan sebagai sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Ketika mencapai jumlah atau konsentrasi tertentu, limbah yang dibuang ke lingkungan dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Limbah dapat menimbulkan dampak negatif apabila jumlah atau konsentrasinya di lingkungan telah melebihi baku mutu. Limbah pertambangan berasal dari kegiatan pertambangan. Kandungan limbah ini terutama berupa material tambang, seperti logam atau batuan.

Pencemaran lingkungan adalah suatu keadaan yang terjadi karena perubahan kondisi tata lingkungan (tanah, udara dan air) yang tidak menguntungkan (merusak dan merugikan kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan) yang disebabkan oleh kehadiran benda-benda asing (seperti sampah, limbah industri, minyak, logam berbahaya, dsb.) sebagai akibat perbuatan manusia, sehingga mengakibatkan lingkungan tersebut tidak berfungsi seperti semula (Susilo, 2003). Kasus Teluk Buyat (Sulawesi Utara) dan Minamata (Jepang) adalah contoh kasus keracunan logam berat. Logam berat yang berasal dari limbah tailing perusahaan tambang serta limbah penambang tradisional merupakan sebagian besar sumber limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) yang mencemari lingkungan.

Pertambangan skala besar, *tailing* yang dihasilkan lebih banyak lagi. Pelaku tambang selalu mengincar bahan tambang yang tersimpan jauh di dalam tanah, karena jumlahnya lebih banyak dan memiliki kualitas lebih baik. Limbah tailing merupakan produk samping, reagen sisa, serta hasil pengolahan

pertambangan yang tidak diperlukan. *Tailing* hasil penambangan emas biasanya mengandung mineral inert (tidak aktif). Mineral tersebut antara lain: kwarsa, kalsit dan berbagai jenis aluminosilikat. *Tailing* hasil penambangan emas mengandung salah satu atau lebih bahan berbahaya beracun seperti Arsen (As), Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), Sianida (CN) dan lainnya. Sebagian logam-logam yang berada dalam *tailing* adalah logam berat yang masuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Untuk mencapai wilayah konsentrasi mineral di dalam tanah, perusahaan tambang melakukan penggalian dimulai dengan mengupas tanah bagian atas (*top soil*). *Top Soil* kemudian disimpan di suatu tempat agar bisa digunakan lagi untuk penghijauan setelah penambangan. Tahapan selanjutnya adalah menggali batuan yang mengandung mineral tertentu, untuk selanjutnya dibawa ke *processing plant* dan diolah. Pada saat pemrosesan inilah *tailing* dihasilkan. Sebagai limbah sisa batuan dalam tanah, *tailing* pasti memiliki kandungan logam lain ketika dibuang.

Pengolahan emas ini selain menguntungkan juga dapat memberikan beberapa efek negatif. Selain melakukan eksplorasi alam secara berlebihan, penambangan emas dan pengolahan emas akan menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Pencemaran logam berat karena pembuangan limbah padat (*tailing*) seharusnya tidak akan terjadi, seandainya limbah tersebut sebelum dibuang dilakukan pengolahan lebih dulu. Pengolahan limbah bertujuan untuk mengurangi hingga kadarnya seminimal mungkin bahkan jika mungkin menghilangkan sama sekali bahan-bahan beracun yang terdapat dalam limbah sebelum limbah tersebut dibuang. Walaupun peraturan dan tatacara pembuangan limbah beracun telah diatur oleh Pemerintah dalam hal ini Kementerian Lingkungan Hidup, tetapi dalam prakteknya dilapangan, masih banyak ditemukan terjadinya pencemaran akibat limbah industri. Terbatasnya tenaga pengawas disamping proses pengolahan limbah biasanya memerlukan biaya yang cukup besar (Anonim 2017 : Limbah Pertambangan).

Ditambah lagi sifatnya yang akumulatif di dalam tubuh manusia, dimana setelah logam berat ini masuk ke dalam tubuh manusia, biasanya melalui makanan yang tercemar logam berat. Logam berat ini tidak dapat dikeluarkan lagi oleh

tubuh sehingga makin lama jumlahnya akan semakin meningkat. Jika jumlahnya cukup besar, pengaruh negatifnya terhadap kesehatan mulai terlihat, biasanya logam-logam berat ini menumpuk di otak, syaraf, jantung, hati, ginjal yang dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan yang ditempatinya. Tersebar nya logam berat di tanah, perairan ataupun udara dapat melalui berbagai hal misalnya, pembuangan secara langsung limbah industri, baik limbah padat maupun limbah cair, tetapi dapat pula melalui udara karena banyak industri yang membakar begitu saja limbahnya dan membuang hasil pembakaran ke udara tanpa melalui pengolahan lebih dulu. Banyak orang beranggapan bahwa dengan cara membakar maka limbah beracun tersebut akan hilang, padahal sebenarnya kita hanya memindahkan dan menyebarkan limbah beracun tersebut keudara. Pencemaran dengan cara ini lebih berbahaya karena udara lebih dinamis sehingga dampak yang diakibatkannya juga akan lebih luas dan membersihkan udara jauh lebih sulit. Untuk menanggulangi pencemaran lingkungan di kawasan penambangan harus digunakan teknologi yang telah terbukti dan teruji, mudah dibuat dan tersedia secara lokal seluruh bahan baku dan material pembuatannya.

Dalam riset ini, logam berat tembaga kemungkinan dapat berasal dari limbah proses pemisahan biji emas atau dari tanah bahan tambangnya sendiri memang mengandung tembaga. Banyak alternatif yang dapat digunakan untuk mengolah limbah yang mengandung logam berat diantaranya ialah dengan teknologi *Phytofiltration*. Teknologi mengolah limbah dengan sistem *Phytofiltration*, menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan pencemar. Pada limbah padat atau cair yang akan diolah, ditanami dengan tanaman tertentu yang dapat menyerap, mengumpulkan, mendegradasi bahan-bahan pencemar tertentu yang terdapat di dalam limbah tersebut.

Salah satu teknologi klasik yang digunakan adalah menggunakan bioabsorber. Teknik ini salah satunya digunakan untuk konservasi sungai yang tercemar logam berat pasca revolusi industri di Inggris dan Eropa daratan. Teknik biosorpsi ini menggunakan tumbuhan air - enceng gondok untuk menyerap logam berat yang larut pada air. Logam berat tersebut diabsorpsi dan dikonversi menjadi *building block* sehingga tidak lagi membahayakan lingkungan. Namun

demikian proses biosorpsi sangat sulit untuk menghasilkan air yang bebas logam berat. Selain laju biosorpsi yang lambat, distribusi eceng gondok juga hanya mengapung dipermukaan sehingga menyulitkan pengolahan yang homogen. Hal ini bisa diantisipasi dengan desain embung yang luas namun dangkal atau dengan melibatkan proses pengolahan lanjut dengan pengolahan tambahan. Secara teknis dapat dilakukan dengan membuat embung/waduk kecil sebelum pembuangan akhir (sungai atau laut). Embung tersebut harus dijadikan sebagai muara buangan air limbah pertambangan rakyat sehingga terkonsentrasi pada satu tempat. Pada embung tersebut ditumbuhkan enceng gondok yang akan mengadsorpsi logam berat yang terlarut didalamnya. Tentu saja aspek teknis untuk desain detail mengenai waktu tinggal dan lain-lain mesti disesuaikan dengan keadaan sebenarnya di lapangan (Yani dkk, 2009).

II.2 Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Enceng gondok atau *Eichhornia crassipes* pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ilmuwan bernama Carl Friedrich Philipp von Martius. Dia adalah seorang ahli botani berkebangsaan Jerman, di mana pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon Brasil. Enceng gondok ditemukan tumbuh di kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat, danau, tempat penampungan air dan sungai. Tumbuhan ini hanya memiliki tinggi sekitar 0,4-0,8 meter dan tidak mempunyai batang, terkadang berakar dalam tanah (Anonim, 2017 : Eceng Gondok).

Bentuk daunnya tunggal dan berbentuk oval, sementara ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal dan tangkai menggebu, permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir kelopaknya berbentuk tabung. Biji enceng gondok berbentuk bulat dan berwarna hitam. Buahnya kotak beruang tiga dan berwarna hijau serta akarnya merupakan akar serabut. Kecepatan menyesuaikan diri membuat tanaman ini tumbuh dengan cepat. Selain dapat menyerap logam berat, enceng gondok dilaporkan juga mampu menyerap residu pestisida, contohnya residu 2,4-D dan paraquat. Akar dari tumbuhan enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mempunyai sifat biologis

sebagai penyaring air yang tercemar oleh berbagai bahan kimia buatan industri (Syahputra, 2005).

Enceng gondok sangat peka terhadap keadaan yang unsur haranya didalam air kurang mencukupi, tetapi responnya terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga besar. Proses regenerasi yang cepat dan toleransinya terhadap lingkungan yang cukup besar, menyebabkan enceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai pengendali pencemaran lingkungan. Tanaman ini biasanya dikenal dengan aktifitas eutrofikasi yang menjadi indikasi dari tercemarnya lahan perairan oleh deterjen dan sejenisnya. Pada awalnya pertumbuhannya yang cepat menjadi masalah lanjutan di lahan yang terkena eutrofikasi, misalnya terhalangnya oksigen dan cahaya matahari ke dalam perairan yang menimbulkan kematian berbagai organisme perairan, penurunan kualitas lingkungan perairan tersebut. Masalah ini ditambah dengan belum adanya solusi untuk memanfaatkan enceng gondok tersebut. Selain masalah eutrofikasi, enceng gondok juga sering mengganggu turbin dari pembangkit listrik tenaga air. Bahkan *blockade* akibat enceng gondok di daerah sungai dan kanal dapat menyebabkan banjir yang membahayakan warga sekitar. Bahaya-bahaya lain yang bisa ditimbulkan oleh tanaman ini misalnya evapotranspirasi di daerah yang kekurangan air, hambatan akses dalam sektor perikanan, pengurangan biodiversitas, serta merupakan tempat bersarang yang sangat baik untuk jentik nyamuk malaria, ensefalitis, dan filariasis.

Kemajuan penelitian di berbagai belahan bumi ini saat ini telah membuktikan bahwa tanaman jenis enceng gondok justru memiliki manfaat yang luar biasa besar, tidak hanya dalam sektor lingkungan, melainkan juga sektor kesehatan, energi, pertanian, peternakan, dan masih banyak lagi sektor lainnya. Kebermanfaatannya yang sangat besar merupakan sebuah potensi yang sangat baik bagi Indonesia.

Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan gulma yang memiliki kecepatan tumbuh dan berkembang biak yang tinggi, baik secara vegetatif maupun generatif. Spesies ini hidup terapung di wilayah perairan dalam. *Eichhornia crassipes* memiliki kemampuan untuk menyerap logam-logam berat

termasuk Cu dengan cara melakukan penyerapan melalui permukaan sel (Syahputra, 2005).

Tanaman yang mengapung bebas (*free floating*) memiliki potensi yang lebih besar sebagai akumulator logam berat di banding dengan tanaman yang tenggelam '*submerge*' dan sebagian tenggelam '*emerge*'. Tanaman seperti *Eichhornia*, *Pistisia*, *Lemna*, *Wolffia*, *Spirodela* dan paku air seperti *Azolla*, *Salvinia*, *Marsilea* menunjukkan kemampuan yang sangat besar untuk mengikat logam berat. *Salvinia minima* tercatat melakukan hiperakumulasi pada Cd setinggi 10,93 mg/kg jaringan kering atau 1,1% berat kering. Sedangkan Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki peranan penting diantara tanaman *free floating* karena efisiensinya dalam mengakumulasi berbagai logam berat dalam jumlah besar termasuk di dalamnya Pb, Cu, Cd, Fe, Hg, As, Se, Ag, Pt. Daun tanaman *free floating* mengandung konsentrasi logam berat yang tinggi dan merupakan hasil dari perpindahan aktif yang berasal dari sistem akar atau penyerapan langsung dari air. Pengikatan logam berat pada tanaman jenis ini terbatas pada dinding sel atau sebagai agregat dengan fosfat dan kalsium yang terikat pada dinding sel endoderma. Logam umumnya terikat pada pektin atau protein yang terdapat dalam dinding sel tanaman (Dhir, 2010).

Peneliti tanaman air menyebut enceng gondok sebagai tanaman air terburuk di dunia. Enceng gondok adalah tanaman air yang berasal dari Sungai Amazon, dan sekarang ini tersebar di seluruh dunia. Tanaman ini merupakan tanaman yang tumbuh dalam jangka waktu yang relatif pendek dan berlipat ganda dengan cepat dan membentuk deretan panjang dan memadati saluran – saluran air dan atau sungai. Enceng gondok memiliki kemampuan untuk bertahan hidup pada berbagai habitat. Tanaman ini dapat mentolerir suhu air hingga 34°C dan pH 5 – 7,5. Enceng gondok merupakan tanaman yang mengapung bebas dan mendapatkan nutrisi dari air melalui akarnya yang menjuntai. Enceng gondok berkembang biak melalui biji dan secara vegetatif melalui anakan yang membentuk rhizoma dan menghasilkan hamparan tanaman padat. Dalam sebuah penelitian, dua tanaman menghasilkan 1200 anakan dalam waktu 4 bulan. Dengan mekanisme seperti ini, enceng gondok dapat membentuk hamparan tanaman air

yang tidak dapat dilalui. Satu enceng gondok dapat menghasilkan 5000 biji dan burung air dapat memakan dan memindahkan bijinya ke lokasi baru. Benih dapat ditemukan pada sedimen lumpur yang terlihat pada saat surut (Hardyanti, 2009).

Enceng gondok dikenal memiliki akar yang tumbuh panjang pada badan air yang tercemar, danau eutrofik, dan mempunyai potensi besar untuk akumulasi logam berat. Walaupun enceng gondok merupakan tanaman pengganggu, spesies ini telah menjadi pilihan penting untuk fitoremediasi logam berat dari limbah karena kelebihanannya dibanding dengan jenis lainnya. Pemanfaatan enceng gondok untuk penjernihan air telah menunjukkan kesuksesannya. Tanaman ini menjanjikan, tetapi penggunaannya ini memiliki kelemahan. Karena enceng gondok dapat berkembang biak dengan sangat cepat, maka dibutuhkan area yang sangat luas yang kemudian menyebabkan permasalahan lainnya seperti pengurangan sinar matahari dan oksigen dalam air, mempersulit transportasi air, kerusakan pada kegiatan perikanan, mengganggu stasiun pengambilan air bersih, menghambat aliran sungai dan kanal, dan memperkenalkan bahaya kesehatan dari vektor penyakit.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Liao dan Chang (2004) pada sebuah lahan basah di selatan Taipei yang menjadi tempat pembuangan limbah domestik dan industri. Konsentrasi logam berat yang terakumulasi dalam jaringan *E. Crassipes* adalah $Zn > Ni > Cu > Pb > Cd$ pada tunas, dan $Cu > Zn > Ni > Pb > Cd$ pada akar. Akumulasi logam yang terdapat di dalam akar 3 hingga 15 kali lebih besar dibandingkan dengan akumulasi yang terdapat pada tunas. Akumulasi Cd 10 – 20 kali lebih besar pada akar dibanding tunas. Hal ini menjadi pertanda bahwa *E. crassipes* berpotensi tinggi untuk mengakumulasi Cd. *E. Crassipes* merupakan juga merupakan hiperakumulator Cu dan konsentrasi Cu pada akar berkisar 7 – 24 kali lebih tinggi daripada di tunas. Sedangkan konsentrasi Pb yang terakumulasi pada akar 4 – 16 kali lebih tinggi daripada yang terdapat pada tunas. Logam berat seperti Zn, Ni, Pb, dan Cd lebih efisien diabsorpsi oleh *E. Crassipes* dari air dibandingkan dari sedimen. *E. crassipes* mengabsorpsi logam berat terutama berasal dari akar dan hanya dipindahkan 6 – 25% pada tunas (Liao dan Chang (2004). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Vesk *et al* (1999) diketahui bahwa

seringkali akar *E. Crassipes* diselubungi oleh lapisan kemerahan atau kecoklatan. Lapisan ini mengandung lendir, partikulat seperti liat dan beraneka ragam mikroorganisme (termasuk bakteri, protozoa dan diatom). Adapun bagian-bagian tanaman enceng gondok yang berperan dalam penguraian air limbah adalah sebagai berikut :

a. Akar

Bagian akar enceng gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang berserabut, berfungsi sebagai pegangan atau jangkar tanaman. Peranan akar sebageian besar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tanaman dari dalam air. Pada ujung akar terdapat kantung akar yang mana di bawah sinar matahari kantung akar ini berwarna merah. Susunan akarnya dapat mengumpulkan lumpur atau partikel-partikel yang terlarut dalam air.

b. Daun

Daun tergolong dalam mikrofita yang terletak di atas permukaan air, yang didalamnya terdapat lapisan rongga udara yang berfungsi sebagai alat pengapung tanaman. Zat hijau daun (klorofil) enceng gondok terdapat dalam sel epidermis, di permukaan atas daun dipenuhi mulut daun (stomata) dan bulu daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang, dan daun selain sebagai alat penampungan juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan O_2 dari proses fotosintesis. Oksigen hasil dari fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan di malam hari dengan menggunakan CO_2 yang akan terlepas kedalam air.

c. Tangkai

Tangkai enceng gondok berbentuk bulat mengembung yang didalamnya penuh dengan udara yang berperan untuk mengapungkan tanaman di permukaan air. Lapisan terluar petiole adalah lapisan epidermis, kemudian di bagian bawahnya terdapat jaringan pengangkat (*xylem* dan *floem*). Rongga-rongga udara dibatasi oleh dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih.

d. Bunga

Enceng gondok berbunga dengan warna mahkota lembayung muda, berbunga majemuk dengan jumlah 6 – 35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal.

Sel-sel akar tanaman umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada medium sekitarnya yang biasanya bermuatan negatif. Penyerapan ini melibatkan energi, sebagai konsekuensi dan keberadaanya, kation memperlihatkan adanya kemampuan masuk kedalam sel secara pasif kedalam gradient elektrokimia, sedangkan anion harus diangkut secara aktif kedalam sel akar tanaman sesuai dengan keadaan gradient konsentrasi melawan gradient elektrokimia.

Bagian akar, tanaman biasa melakukan perubahan pH kemudian membentuk suatu zat khelat yang disebut fitosiderofor. Zat inilah yang kemudian mengikat logam kemudian dibawa ke dalam sel akar. Agar penyerapan logam meningkat, maka tumbuhan ini membentuk molekul rediktase di membrane akar. Sedangkan model transportasi di dalam tubuh tumbuhan adalah logam yang dibawa masuk ke sel akar kemudian ke jaringan pengangkut yaitu xylem dan floem, kebagian tumbuhan lain, sedangkan lokalisasi logam pada jaringan bertujuan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel, maka tanaman akan melakukan detoksifikasi, misalnya menimbun logam ke dalam organ tertentu seperti akar (Anonim, 2013).

Enceng gondok bahkan dinobatkan sebagai “ginjal dunia” untuk kemampuannya yang sangat luar biasa dalam berbagai aksi penyelamatan air bersih di berbagai belahan dunia dari berbagai pencemaran yang terjadi, baik pencemaran akibat kontaminasi senyawa inorganik, logam beracun, POPs (Persistent Organik Pollutants), senyawa organik yang berasal dari limbah peternakan, dan limbah-limbah jenis lainnya.

Yang perlu diperhatikan adalah kemampuan degradasi senyawa organik enceng gondok yang mencapai nilai 93%. Sebagai alternatif pengolahan air sederhana yang dapat diterapkan untuk menurunkan kadar logam berat dengan menggunakan proses fitofiltrasi sederhana. Proses ini salah satunya menggunakan tanaman enceng gondok yang dapat tumbuh dan berkembang biak pada air kotor. Tumbuhan ini dipilih karena dapat digunakan sebagai sarana penanganan limbah cair selain itu enceng gondok mempunyai kemampuan untuk menyerap logam-logam berat termasuk Fe dengan cara melakukan penyerapan melalui permukaan

sel akar, karena adanya proses adsorbs. Diduga jika dilakukan pengamatan lebih lanjut terhadap kelebatan/jumlah bulu akar/mm akan diketahui pengaruh limbah tersebut yang akan menentukan penyerapannya.

Perairan yang ditumbuhi enceng gondok memberikan pengkayaan CO₂, rumpun anakan memproduksi CO₂ sampai 39% lebih berat kering dibanding tanaman induk. Peningkatan CO₂ ini mengawali rata-rata bersih fotosintesis, sehingga akan meningkatkan kemampuan adsorbsi enceng gondok terhadap unsur logam pencemar.

Enceng gondok ini juga memiliki kemampuan sebagai bioakumulator yakni dapat menyerap anion atau kation yang terdapat di dalam air buangan serta dapat berkembang biak cukup cepat dan tahan hidup pada kondisi buruk. Adaptasi ini sangat dipengaruhi oleh waktu detensi yang tersedia bagi organisme untuk dapat memberikan respon terhadap perubahan lingkungan. Tanaman ini disebut juga *species* akumulator karena dapat menyerap dan mengakumulasi logam sampai pada tingkat yang mematikan untuk *species* yang tidak toleran. Proses penyerapan zat-zat yang terdapat dalam limbah ini dilakukan oleh ujung-ujung akar dengan jaringan meristem terjadi karena adanya gaya tarik-menarik oleh molekul-molekul air yang ada pada tumbuhan. Zat-zat yang telah diserap oleh akar akan masuk ke batang melalui pembuluh pengangkut (xilem), yang kemudian akan diteruskan ke akar.

Penelitian tentang pemanfaatan tanaman enceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan logam berat pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti dengan variabel yang berbeda-beda, antara lain :

Tabel 2.1 Keaslian Penelitian

No	Penelitian (th)	Judul	Desain Studi	Variable bebas dan terikat	Hasil
1.	Suwondo, Yu slim Fauziah, Syafrianti, dan Sri Wariyanti (2005)	Akumulasi Logam Cu dan Zn di Perairan Sungai Siak dengan menggunakan Bioakumulator Eceng gondok	Observasional	Variabel bebas: kandungan logam Cu dan Zn di air logam Variabel terikat: Cu dan Zn di akar, batang dan daun Eceng	Dari data dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kandungan logam Cu diperairan

				gondok Varibel pengganggu: Suhu, kecerahan, oksigen terlarut, nitrat, fosfat	Sungai Siak tergolong tinggi dengan kisaran nilai 0.14-0.27 mg/l, sedangkan kandungan logam Zn rendah dengan nilai <0.001 mg/l.
2.	Nurandani Hardyanti, Supami Setyowati Rahayu, (2007)	Fitoremediasi Fosfat dengan pemanfaatan Eceng Gondok (Studi Kasus pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry)	Observasional	Variabel bebas: - Konsentrasi P (200 mg/l, 250 mg/l, dan 300 mg/l) - Waktu Tinggal (1-5 Hari) Variabel terikat: Akumulasi P dalam akar, batang, daun tanaman	Fitoremediasi Fosfat dengan menggunakan tanaman eceng gondok dapat menyerap phospat (sebagai P Total) dalam limbah laundry dalam jumlah yang cukup banyak dalam waktu 5 hari
3.	Yani Santya Dewi dan Yosar Hanafi Gultom (2009)	Pemanfaatan <i>Algae Chlorella sp.</i> Dan Eceng gondok untuk menurunkan Tembaga (Cu) pada industri pelapisan Logam	Ekspreimen murni	- Volume limbah elektroplating - Waktu pengamatan 2,4, dan 6 hari - Berat <i>Algae Chlorella sp</i> dan Eceng gondok	Dari percobaan yang dilakukan antara <i>Algae Chlorella sp</i> dan Eceng gondok dengan berat (100, 150, 200, 250 dan 300 gr/l dimana dilakukan pengamatan pada hari ke-2, ke-4 dan ke-6 diperoleh hasil penyerapan logam Cu terbanyak oleh <i>Algae Chlorella sp</i> berat 300 gr/l yaitu sebesar 38,62%.
4.	Sri Haryanti, Nintya Setiari, Rini Budi Hastuti, Endah Dwi Hastuti, dan Yulita (2009)	Respon Fisiologi dan Anatomi Eceng Gondok (Mart Salm) di berbagai Perairan Tercemar	Ekspreimen murni	- Tempat limbah pengenceran Logam Obat, LIK) - Panjang akar - Jumlah anakan - Kecepatan transpirasi - Jumlah stomata	Respon anatomis tangkai dan daun eceng gondok tahan/beradap tasi pada perairan tercemar limbah

					Respon pertumbuhan akar ditunjukkan pada perairan tercemar limbah obat berbeda dengan pada kedua limbah lainnya.
--	--	--	--	--	--

(Sumber : Yully, 2011)

Pada penelitian ini, variable yang digunakan meliputi variabel tetap dan variabel berubah. Dimana variabel tetap adalah volume air limbah kolam tailing yang digunakan yaitu 1 liter dan untuk variabel berubahnya adalah waktu tinggal (detensi) yaitu 10 hari (0, 2, 4, 6, 8 dan 10) dengan berat eceng gondok masing-masing perlakuan 300 g, 500 g dan 750 g.

II.3 Fitofiltrasi

Salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan pencemaran logam berat adalah menggunakan tanaman (Setyaningsih, 2007). Pemanfaatan tanaman untuk menyerap logam berat disebut fitofiltrasi. Lengkapnya, fitofiltrasi adalah upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan, baik secara ex-situ (mengggunakan kolam buatan atau reaktor) maupun in-situ (langsung di lokasi tercemar).

Fitofiltrasi merupakan pemanfaatan tumbuhan, mikroorganisme untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi polutan, karena tanaman berperan menyerap logam dan mineral yang tinggi atau sebagai *fitoakumulator* dan *fitochelator*., Menurut Priyanto dan Prayitno (2007), penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, sebagai berikut.

1. Penyerapan oleh akar. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air

biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar.

2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya.
3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan. US EPA (1999, 2005) dan ITRC (2001) secara umum membuat klasifikasi proses sebagai berikut.

1. Fitostabilisasi (Phytostabilization)

Akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang biasa digunakan adalah berbagai jenis rumput, bunga matahari, dan kedelai.

2. Fitoekstraksi/Fitoakumulasi (Phytoextraction/Phytoaccumulation)

Akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan. Proses ini adalah cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tumbuhan yang dipakai adalah sejenis hiperakumulator misalnya pakis, bunga matahari, dan jagung.

3. Rizofiltrasi (Rhizofiltration)

Akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zona akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk bahan larutan sehingga untuk kompos tidak memerlukan proses rizofiltrasi. Tetapi untuk lindi yang terbentuk dalam proses pengomposan primer maka

rizofiltrasi sangat tepat diterapkan. Spesies tumbuhan yang fungsional adalah rumput air seperti Cattail dan eceng gondok.

4. Fitodegradasi/Fitotransformasi (Phytodegradation/Phytotransformation)

Organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatik. Zat organik fenol (mungkin terbentuk pada pengomposan daun ber kandungan lignin) adalah tepat menggunakan proses ini. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis rumput.

5. Rizodegradasi (Rhizodegradation/Enhanced Rhizosphere Biodegradation/Phyostimulation/Plant-Assisted Bioremediation/Degradation)

Polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat organik. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah berbagai jenis rumput.

6. Fitovolatilisasi (Phytovolatilization)

Penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Kontaminan zat-zat organik adalah tepat menggunakan proses ini. Spesies tumbuhan yang bisa digunakan adalah tumbuhan kapas dan pakis.

Menurut US Environmental Protection Agency (1998), metode fitofiltrasi mempunyai beberapa kelebihan, antara lain bisa dilakukan dengan teknologi in-situ, tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan, dapat diterima oleh masyarakat awam, modal proses relatif kecil, dan biaya yang dibutuhkan relatif kecil. Cara ini dapat menurunkan biaya pembersihan lingkungan menjadi sekitar 2-6 US\$ per seribu galon air. Metode fitofiltrasi paling sedikit sepuluh kali lebih murah daripada metode pengangkatan dan pengangkutan limbah berbahaya ke tempat pembuangan dan menjadikannya konsentrat padat (Miller, 1996). Akan tetapi, US Environmental Protection Agency (1998) menambahkan, metode

fitofiltrasi juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu proses pembersihan yang diperlukan relatif lama, logam yang terakumulasi pada tanaman dapat memasuki rantai makanan apabila tanaman tersebut termakan oleh makhluk hidup, keefektifannya dipengaruhi musim, serta tingginya kemungkinan serangan hama dan penyakit tanaman, dan apabila konsentrasi kontaminan tinggi dapat menyebabkan fitotoksik dan menghambat pertumbuhan tanaman. Tanaman memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Beberapa tanaman mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya sehingga bersifat hiperakumulator (Juhaeti dkk., 2005). Beberapa tumbuhan air yang sering digunakan dalam pengolahan air limbah adalah enceng gondok, kangkung air, dan kayu apu. Ketiga tumbuhan air ini banyak terdapat di perairan air tawar dan pada beberapa penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa ketiganya memiliki kemampuan yang cukup baik dalam pengolahan air limbah.

II.4 Tembaga

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083 °C, titik didih 2310 °C, jari-jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu²⁺ 0,96 Å. Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Tembaga bersifat racun bagi makhluk hidup. Isoterm adsorpsi merupakan suatu keadaan kesetimbangan yaitu tidak ada lagi perubahan konsentrasi adsorbat baik di fase terserap maupun pada fase gas atau cair. Isoterm adsorpsi biasanya digambarkan dalam bentuk kurva berupa plot distribusi kesetimbangan adsorbat antara fase padat dengan fase gas atau cair pada suhu konstan. Isoterm adsorpsi merupakan hal yang mendasar dalam penentuan kapasitas dan afinitas adsorpsi suatu adsorbat pada permukaan adsorben (Napitupulun, 2008).

Lambangnyanya berasal dari bahasa Latin *Cuprum*. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dicampurkan dengan timah untuk membuat

perunggu. Ion Tembaga(II) dapat berlarut ke dalam air, di mana fungsi mereka dalam konsentrasi tinggi adalah sebagai agen anti bakteri, fungisi, dan bahan tambahan kayu. Dalam konsentrasi tinggi maka tembaga akan bersifat racun, tetapi dalam jumlah sedikit tembaga merupakan nutrien yang penting bagi kehidupan manusia dan tanaman tingkat rendah (Anonim, 2015 : Tembaga).

Tembaga tidak bereaksi dengan air, namun ia bereaksi perlahan dengan oksigen dari udara membentuk lapisan coklat-hitam tembaga oksida. Berbeda dengan oksidasi besi oleh udara, lapisan oksida ini kemudian menghentikan korosi berlanjut. Kebanyakan tembaga ditambang atau diekstraksi dalam bentuk tembaga sulfida dari tambang terbuka atau deposit.

Pencemaran logam berat meningkat sejalan dengan perkembangan industri. Pencemaran logam berat di lingkungan dikarenakan tingkat keracunannya yang sangat tinggi dalam seluruh aspek kehidupan makhluk hidup. Pada konsentrasi yang sedemikian rendah saja efek ion logam berat dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan. Logam berat dapat mengganggu kehidupan biota dalam lingkungan dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia.

Logam Cu dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, apakah itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga yang masuk ke dalam strata lingkungan dapat datang dari bermacam - macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam Cu ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran sertamobilitas bahan-bahan bakar.

Logam Cu yang masuk ke dalam tatanan lingkungan perairan dapat terjadi secara alamiah maupun sebagai efek samping dari kegiatan manusia. Secara alamiah Cu masuk ke dalam perairan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan ataupun dari atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Sedangkan dari aktifitas manusia seperti kegiatan industri, pertambangan Cu, maupun industri galangan kapal beserta kegiatan di pelabuhan merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan Cu dalam perairan (Palar, 1994). Logam Cu termasuk logam berat essential, jadi meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan

manusia dalam jumlah yang kecil. Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Palar, 1994).

Connel dan Miller (1995) menyatakan bahwa Cu merupakan logam esensial yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan organisme sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat. Selanjutnya oleh Palar (1994) dinyatakan bahwa biota perairan sangat peka terhadap kelebihan Cu dalam perairan sebagai tempat hidupnya. Konsentrasi Cu terlarut yang mencapai 0,01 ppm akan menyebabkan kematian bagi fitoplankton. Dalam tenggang waktu 96 jam biota yang tergolong dalam Mollusca akan mengalami kematian bila Cu yang terlarut dalam badan air berada pada kisaran 0,16 sampai 0,5 ppm. Tembaga adalah logam yang secara jelas mengalami proses akumulasi dalam tubuh hewan seiring dengan pertambahan umurnya, dan ginjal merupakan bagian tubuh ikan yang paling banyak terdapat akumulasi Tembaga. Paparan Tembaga dalam waktu yang lama pada manusia akan menyebabkan terjadinya akumulasi bahan-bahan kimia dalam tubuh manusia yang dalam periode waktu tertentu akan menyebabkan munculnya efek yang merugikan kesehatan penduduk.

Gejala yang timbul pada manusia yang keracunan Cu akut adalah : mual, muntah, sakit perut, hemolisis, nefrosis, kejang, dan akhirnya mati. Pada keracunan kronis, Cu tertimbun dalam hati dan menyebabkan hemolisis. Hemolisis terjadi karena tertimbunnya H_2O_2 dalam sel darah merah sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel yang mengakibatkan sel menjadi pecah. Defisiensi suhu dapat menyebabkan anemia dan pertumbuhan terhambat (Darmono, 2005).

Tembaga bisa ditemukan dalam berbagai jenis makanan, dalam air minum, dan di udara. Karena itu, manusia menyerap sejumlah tembaga saat makan, minum, dan bernapas. Tembaga merupakan elemen yang penting bagi kesehatan manusia. Namun, jumlah asupan terlalu besar akan menyebabkan masalah kesehatan. Konsentrasi tembaga di udara biasanya cukup rendah, sehingga paparan melalui pernapasan bisa diabaikan. Tetapi orang-orang yang tinggal di dekat smelter atau pabrik pengolahan tembaga akan mengalami eksposur lebih

tinggi. Eksposur tembaga jangka panjang dapat menyebabkan iritasi pada hidung, mulut, mata, serta menyebabkan sakit kepala, sakit perut, pusing, muntah, dan diare. Asupan ekstra tinggi akan menyebabkan kerusakan hati, ginjal, dan bahkan kematian.

Terdapat penelitian yang menunjukkan adanya hubungan antara paparan jangka panjang konsentrasi tinggi tembaga dan penurunan kecerdasan pada anak. Paparan pada asap dan debu tembaga bisa menyebabkan demam asap logam yang diiringi perubahan atrofi pada membran mukosa. Keracunan tembaga kronis bisa memicu penyakit Wilson yang ditandai dengan sirosis hati, kerusakan otak, demyelization, penyakit ginjal, dan timbunan tembaga di kornea. Ketika di tanah, tembaga akan terikat pada bahan organik dan mineral. Tembaga tidak rusak di lingkungan dan karena itu dapat terakumulasi pada tanaman dan hewan ketika berada di tanah. Pada tanah dengan kandungan tembaga amat tinggi, hanya sejumlah kecil tanaman yang bisa bertahan hidup.

Itu sebab, tidak terdapat banyak keanekaragaman tumbuhan dekat pabrik atau pembuangan limbah tembaga. Tembaga juga dapat mengganggu aktivitas dalam tanah karena berpengaruh negatif pada aktivitas mikroorganisme dan cacing tanah. Ketika tanah peternakan tercemar tembaga, hewan ternak akan mengasap konsentrasi tinggi tembaga yang bisa merusak kesehatan ternak.

Bagi manusia, fungsi air sangat vital. Manusia membutuhkan air untuk konsumsi rumah tangga di antaranya untuk minum, masak cuci, dan mandi. Di samping peranannya yang penting, air sering tercemar oleh komponen-komponen anorganik, di antaranya berbagai logam berat yang berbahaya. Ditinjau dari segi potensi pencemaran lingkungan, logam berat dapat dibedakan atas tiga golongan: (1) logam berat yang bersifat racun kritis, yaitu Na, K, Mg, Ca, Fe, S, C, P, Cl, Br, Li, Rb, Sr, Al dan Si. (2) logam berat beracun tetapi jarang ditemukan seperti, Ti, Zr, W, N, Ta, Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru, dan Ba. (3) logam berat sangat beracun dan relatif sering ditemukan seperti, Be, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sc, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Pb, Sb dan Bi (Surtiningsih, 1999).

Tembaga (Cu) merupakan logam berat esensial bagi tanaman dan dapat dijumpai pada perairan alami (Darmono, 1995). Tembaga dan berbagai logam

berat lainnya juga dapat ditemui di kerak bumi dan muncul ke permukaan karena adanya aktifitas gunung api. Tembaga berguna untuk pertumbuhan jaringan tanaman terutama daun sebagai tempat terjadinya fotosintesis. Pada umumnya kadar tembaga dalam jaringan tanaman berkisar 5-25 ppm. Namun, pada konsentrasi yang tinggi, tembaga dapat bersifat toksik bagi tumbuhan (Liestianty dkk., 2014). Ion Cu dapat terikat pada sel-sel membran yang menyebabkan terhambatnya proses-proses transport melalui dinding sel tumbuhan. Selain itu, tembaga dalam jumlah yang berlebihan juga berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan kerusakan hati (Darmono, 1995) dan bersifat karsinogenik (Liestianty dkk., 2014). Ambang batas normal kadar tembaga dalam air adalah 2 mg/L atau 2 ppm. Sumber pencemaran tembaga yang berasal dari industri antara lain limbah industri soda kostik/khlor, pelapisan logam, cat, dan pestisida. Sementara itu, Lutfi (2009) menambahkan, sumber pencemaran tembaga juga berasal dari limbah penambangan dan pencucian mineral.

II.5 Analisis dengan Metode Spektrofotometri

Spektroskopi yaitu pengukuran intensitas absorbansi dalam daerah spektra tertentu, dapat digunakan secara luas, terutama jika suatu zat dalam campuran reaksi mempunyai absorbansi khas yang kuat dalam daerah spektrum yang dapat dicapai dengan mudah (Atkins, 1996).

Pengukuran absorbansi atau transmitansi dalam spektrofotometri inframerah dan daerah tampak digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif spesies kimia. Absorbansi spesies ini berlangsung dalam dua tahap, yang pertama yaitu $M + h\nu = M^*$, merupakan eksitasi spesies akibat absorpsi foton ($h\nu$) dengan waktu hidup terbatas ($10^{-8} - 10^{-9}$ detik). Tahap kedua adalah relaksasi dengan berubahnya M^* menjadi spesies baru dengan reaksi fitokimia (Khopkar, 2002). Sinar ultraviolet dan sinar tampak memberikan energi yang cukup untuk terjadinya transisi elektronik. Dengan demikian spektra ultraviolet dan spektra tampak dikatakan sebagai spektra elektronik. Keadaan energi yang paling rendah disebut dengan keadaan dasar (*ground state*). Transisi-transisi elektronik akan meningkatkan energi molekuler dari keadaan dasar ke satu atau lebih tingkat

energi tereksitasi. Puncak absorbansi (ϵ_{maks}) dapat dihubungkan dengan jenis ikatan-ikatan yang ada dalam spesies. Spektroskopi absorpsi berguna untuk mengkarakterisasikan gugus fungsi dalam suatu molekul dan untuk analisis kuantitatif (Khopkar,2002).

Ada tiga macam proses penyerapan energi ultraviolet dan sinar tampak yaitu : (1) penyerapan oleh transisi elektron dan elektron anti ikatan, (2) penyerapan oleh transisi elektron d dan f pada molekul tertentu, (3) penyerapan oleh perpindahan muatan.

Ekstraksi pelarut menyangkut distribusi suatu zat terlarut (Solut) diantara dua fase cair yang tidak saling bercampur. Secara umum ekstraksi ialah proses penarikan suatu zat terlarut dari larutannya didalam air oleh suatu pelarut dari larutannya yang tidak dapat bercampur dengan air. Tujuan ekstraksi ialah memisahkan suatu komponen dan campurannya dengan menggunakan pelarut. Ekstraksi cair-cair ditentukan oleh distribusi Nerst atau hukum partisi yang menyatakan “pada konsentrasi dan tekanan yang konstan, analit akan terdistribusi dalam proporsi yang selalu sama diantara dua pelarut yang tidak saling bercampur”. Perbandingan konsentrasi pada keadaan seimbang dalam dua fasa disebut dengan koefisien distribusi atau koefisien partisi.

Reaksi asosiasi ion dalam proses ekstraksi pelarut berdasarkan pada interaksi elektrostatis antara komponen penyusunnya dan sifat hidrofobik kompleks asosiasi ion. Semakin besar gaya elektrostatis antara komponen-komponen penyusun kompleks asosiasi ion semakin dekat jaraknya dan kompleks asosiasi ion yang terbentuk semakin kuat. Kompleks asosiasi ion cukup stabil dalam pelarut kurang polar. Jika berada dalam pelarut polar seperti air, komponen penyusun dari kompleks pasangan ion berada dalam bentuk ionik dan ion lawan dan hal itu tidak dapat dideteksi sebagai satu kasatuan. Kompleks pasangan ion akan terjadi apabila senyawa ionik dan ion lawan berada dalam pelarut organik dengan adanya gaya elektrostatis.

Tabel 2.2 Sinar yang diserap dan Kompleksnya dari Sinar Tampak.

Panjang Gelombang Sinar yang diserap (Å)	Bilangan Gelombang Sinar yang diserap (cm⁻¹)	Warna yang diserap	Warna yang diteruskan (Warna Komplementer)
4.000 – 4.350	25.000 – 22.990	Ungu	Kuning kehijauan
4.350 – 4.800	22.990 – 20.830	Biru	Kuning
4.800 – 4.900	20.830 – 20.410	Biru kehijauan	Oranye
4.900 – 5.000	20.410 – 20.000	Hijau kebiruan	Merah
5.000 – 5.600	20.000 – 17.800	Hijau	Ungu tua (<i>purple</i>)
5.600 – 5.800	17.800 – 17.240	Hijau kekuningan	Ungu
5.800 – 5.950	17.240 – 16.810	Kuning	Biru
5.950 – 6.050	16.810 – 16.530	Oranye	Biru kehijauan
6.050 – 7.500	16.530 – 13.320	Merah	Hijau kebiruan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2017. Pengambilan Enceng gondok dari danau sekitar Sungai Kalanaman, Mirah, Palangkaraya. Sample sebagai media penelitian diambil pada 3 titik yang berbeda yaitu pada bagian inlet (titik 01), tengah (titik 02) dan outlet (titik 3) kolam *tailing*. Kemudian akan dilanjutkan pada proses aklimatisasi, fitofiltrasi, dan analisis di Laboratorium Lingkungan PT KBK.

III.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan

1. Ember plastik kapasitas 1 liter
2. Labu ukur 50 ml, 100 ml, 250 ml, dan 1000 ml
3. Pipet volumetrik 5 ml
4. Gelas ukur 50 ml dan 100 ml
5. Timbangan Analitik, sensitifitas 0,01 g
6. AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer)

Bahan yang digunakan

1. Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*)
2. Air limbah *Tailing* (air kolam penampungan limbah)
3. Asam Klorida 0.1 N
4. NaOH 0.1 N
5. Akuades

III.3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Berikut tahapan penelitian yang dilakukan :

1) Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah penyesuaian tumbuhan terhadap iklim atau suhu pada lingkungan yang baru dimasuki. Tanaman enceng gondok yang telah di ambil

lalu dibersihkan dari kotoran dan tanah yang ada pada akarnya, kemudian diaklimatisasi selama satu minggu. Aklimatisasi dilakukan dengan cara menanam enceng gondok pada air bersih selama satu minggu.

2) Penentuan Massa Enceng gondok awal

Setelah melakukan aklimatisasi selama satu minggu, selanjutnya dilakukan penimbangan massa enceng gondok awal yang akan digunakan untuk proses fitofiltrasi. Penentuan ini sebagai indikator untuk mengetahui penyerapan logam Cu menggunakan enceng gondok.

3) Pengukuran Kadar Cu awal

Setelah melakukan penimbangan awal massa enceng gondok kemudian dilanjutkan dengan pengukuran kadar Cu awal. Pengukuran dilakukan terhadap 3 titik sampling yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya untuk memilih 1 titik kritis yaitu titik yang tercemar logam dengan konsentrasi paling tinggi. Pengukuran kadar Cu awal pada air limbah Tailing dilakukan menggunakan instrumentasi AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

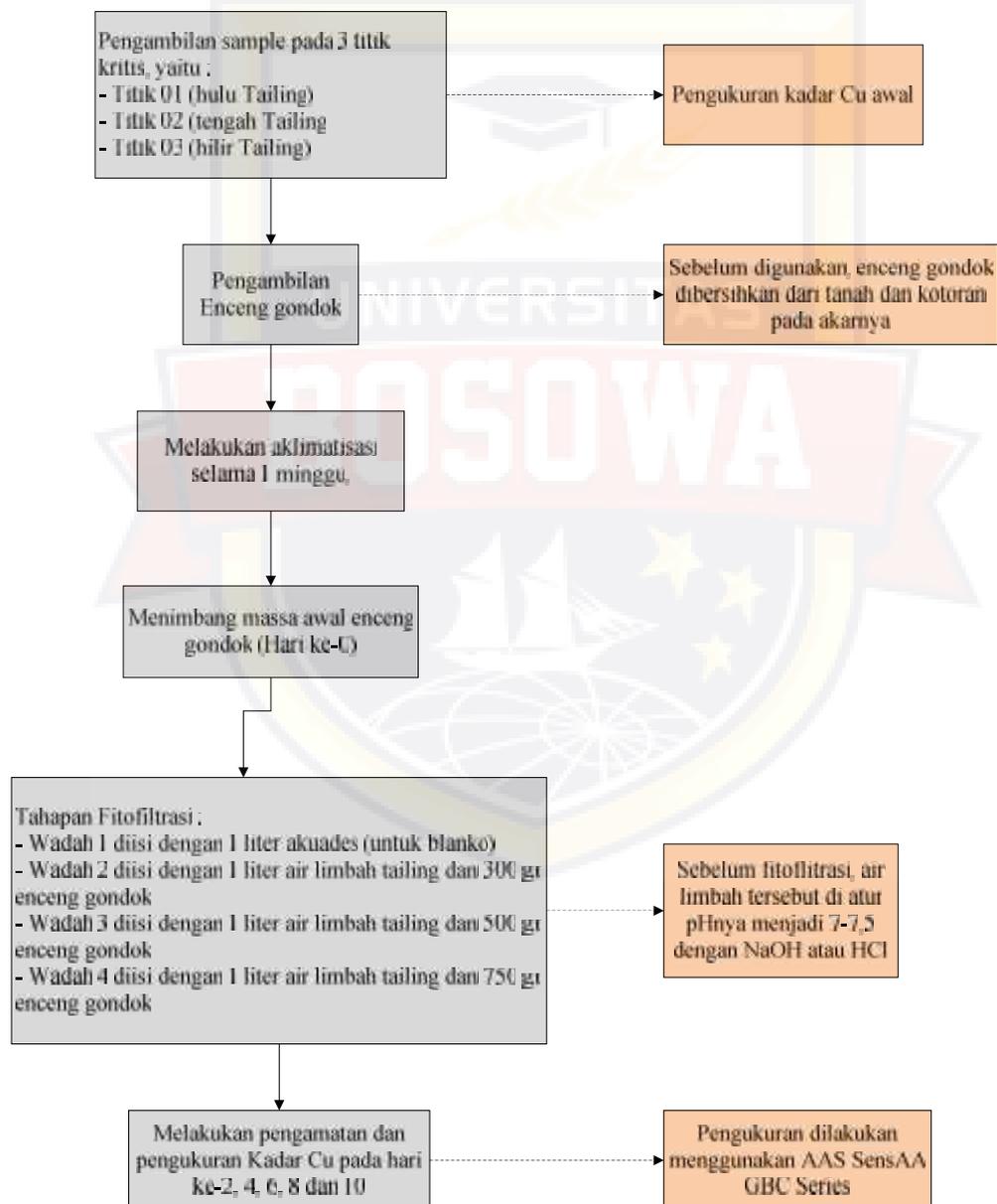
4) Proses Fitofiltrasi dan Pengukuran Penurunan Kadar

Setelah menentukan kadar Cu awal kemudian dilanjutkan ke proses fitofiltrasi dan pengukuran kadar Cu hasil dari fitofiltrasi tersebut. Adapun tahapan fitofiltrasi yaitu :

- a. Mengisi 4 wadah dengan rincian :
 - Wadah 1 diisi dengan 1 liter air limbah *Tailing* (sebagai blanko untuk kontrol)
 - Wadah 2 diisi dengan 1 liter air limbah *Tailing* dan 300 g enceng gondok
 - Wadah 3 diisi dengan 1 liter air limbah *Tailing* dan 500 g enceng gondok
 - Wadah 4 diisi dengan 1 liter air limbah *Tailing* dan 750 g enceng gondok
- b. Melakukan fitofiltrasi selama 10 hari

- c. Melakukan pengukuran penurunan kadar Cu selama masa fitofiltrasi di hari ke-0, 2, 4, 6,8, dan 10 menggunakan instrumentasi AAS
- 5) Setelah proses fitofiltrasi selama 10 hari, kemudian dilanjutkan dengan menimbang massa akhir enceng gondok.
- 6) Mengolah data hasil penelitian.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir penelitian metode fitofiltrasi logam Cu dengan Eceng gondok

III.4. Jadwal Penelitian

Aktifitas penelitian yang dilakukan meliputi persiapan, uji pendahuluan, penelitian utama, dan penyelesaian. Jadwal penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian Efektivitas Enceng Gondok terhadap Penurunan Kadar Logam Cu dalam Limbah Penambangan Emas dengan Metode Fitofiltrasi

No	Kegiatan	Bulan											
		Desember				Januari				Februari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Persiapan												
	a. Studi literatur	■	■										
	b. Penyusunan proposal			■	■								
	c. Seminar proposal					■							
2.	Penelitian Utama												
	a. Persiapan alat dan bahan						■						
	b. Pengambilan sampel Air Limbah <i>Tailing</i>						■						
	c. Uji Pendahuluan (Pemeriksaan kadar Cu)						■						
	d. Aktimalisasi Eceng gondok						■	■					
	e. Fitoremediasi dan Pengumpulan data								■	■			
	f. Pengolahan data										■	■	
3.	Penyelesaian												
	a. Pembuatan laporan											■	
	b. Seminar hasil (skripsi)												■

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

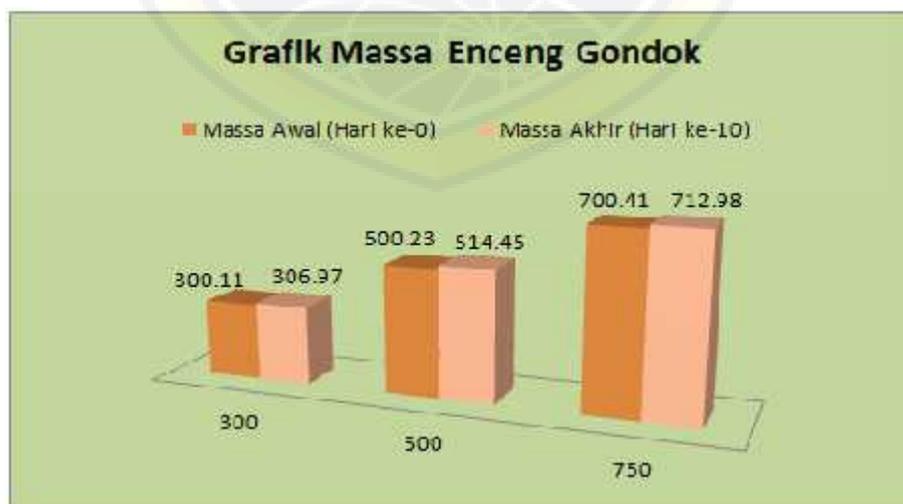
Dari penelitian yang dilakukan berdasarkan metodologi pada BAB sebelumnya, diperoleh hasil sebagai berikut :

1) Pengujian Massa Enceng Gondok

Hasil pengujian massa enceng gondok di awal penelitian dan di akhir penelitian dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 4.1. Massa Enceng Gondok selama penelitian

Variable Massa Enceng Gondok	Massa Eceng Gondok (g)			Persentase selisih (%)
	Awal (Hari ke-0)	Akhir (Hari ke-10)	Selisih	
300 g	300,11	306,97	6,86	2,29
500 g	500,23	514,45	14,22	2,84
750 g	700,41	712,98	12,57	1,79
Jumlah	1500,75	1534,40	33,65	6,92
Rata - rata	500,25	511,47	11,22	2,31



Gambar 4.1. Grafik massa enceng gondok awal dan akhir penelitian

Dari data diatas, dapat dilihat adanya penambahan massa enceng gondok massa di akhir penelitian. Sehingga dapat diasumsikan, adanya kandungan Cu di yang telah diserap oleh enceng gondok tidak mempengaruhi laju pertumbuhan enceng gondok tersebut tetapi Cu terserap di dalam tubuh enceng gondok sehingga mempengaruhi massanya.

2) Pengujian Penyerapan Cu oleh Enceng gondok

Setelah melakukan aklimatisasi sesuai metodologi penelitian, dilanjutkan dengan pengukuran kadar Cu awal yang akan digunakan sebagai sampel penelitian. Berikut data pengukuran tersebut :

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Kadar Tembaga (Uji Pendahuluan)

Pengulangan Pembacaan	Hasil Pengukuran Tembaga (mg/L)		
	Titik I (inlet)	Titik II (tengah)	Titik III (outlet)
1. Pembacaan 1	2,735	2,533	3,012
2. Pembacaan 2	2,718	2,503	3,012
3. Pembacaan 3	2,725	2,473	3,008
Jumlah	8,178	7,509	9,032
Rata - rata	2,726	2,503	3,011

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah air limbah *Tailing* memiliki kadar Tembaga yang sesuai dengan standar baku mutu air atau melebihi standar (*outspec*). Dari data pengukuran diatas, dapat dilihat hasil kadar Cu awal pada ketiga titik tersebut diperoleh ketiganya sangat melebihi standar baku mutu air limbah *Tailing* yaitu lebih dari 2 mg/l (KepMenLH dan KeHut No. 09.9.12 Tahun 2014). Dikarenakan titik kritis berada pada outlet kolam dengan kadar 3,011 mg/l maka titik tersebut yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini.

Setelah pengukuran kadar Cu awal dan pemilihan titik kritis sampel, maka dilanjutkan ke proses fitofiltrasi dan penagmatan penurunan kadar Cu selama 10 hari (hari ke-0, 2, 4, 6, 8 dan 10) diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.3. Kadar Tembaga (mg/L) yang diserap Enceng gondok terhadap variasi massa dan waktu detensi 10 hari

Waktu Detensi (hari) → Massa Eceng Gondok (g) ↓	0	2	4	6	8	10
300	3,041	3,032	2,614	2,109	1,524	0,908
500	3,033	2,819	2,317	1,724	1,234	0,498
750	3,002	2,521	1,934	1,510	0,996	0,150



Gambar 4.2. Grafik penurunan kadar Cu dengan massa 300 g enceng gondok



Gambar 4.3. Grafik penurunan kadar Cu dengan massa 500 g enceng gondok



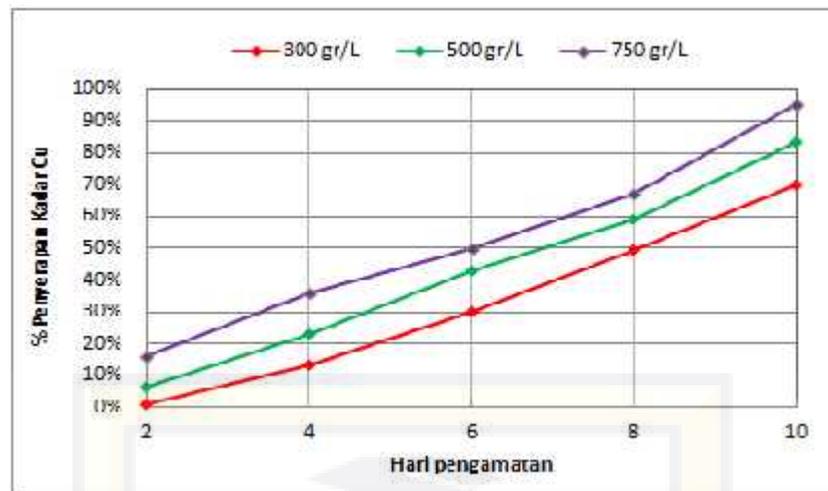
Gambar 4.4. Grafik penurunan kadar Cu dengan massa 750 g enceng gondok



Gambar 4.5. Grafik penurunan kadar Cu dengan 3 variasi massa dan waktu detensi 10 hari (secara keseluruhan)

3) Pengolahan Data Penyerapan Cu

Setelah pengumpulan data penelitian, maka diperoleh persentase penurunan kadar Cu dalam limbah tailing sebagai berikut :



Gambar 4.6. Grafik Persentase penurunan kadar Cu berdasarkan variasi massa dan waktu detensi 10 hari

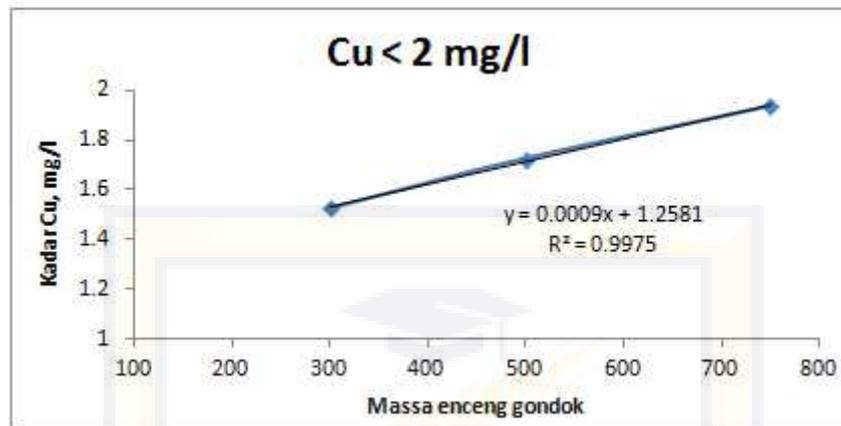
Berdasarkan data-data diatas, penelitian ini membuktikan bahwa tanaman enceng gondok efektif digunakan sebagai bioakumulator logam berat salah satunya adalah logam Cu. Dari variabel penelitian diatas membuktikan bahwa :

- Semakin besar massa enceng gondok maka daya serap yang dihasilkan pun semakin besar. Massa enceng gondok akhir bertambah dari massa awalnya. Hal ini disebabkan karena enceng gondok menyerap senyawa maupun logam yang ada didalam limbah melalui akarnya. Hal ini dijelaskan dalam penelitian sebelumnya oleh Syahputra (2005) yang menyatakan bahwa akar enceng gondok memiliki sifat biologis sebagai penyaring bahan kimia hasil industri, begitu pula menurut penelitian Liao dan Chang (2004) dan Dhir (2010) yang juga menyatakan kemampuan enceng gondok mengakumulasi logam melalui akar (dalam BAB II Tinjauan Pustaka : Enceng Gondok).
- Enceng gondok dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran air karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya (bioakumulator). Kemampuan enceng gondok ini karena pada akarnya terdapat *mikrobia rhizosfera* yang mengakumulasi logam berat. Menurut Surawiria (1993) bahwa *mikrobia rhizosfera* adalah bentuk simbiosis antara bakteri dengan jamur, yang mampu melakukan penguraian terhadap bahan

organik maupun anorganik yang terdapat dalam air serta menggunakannya sebagai sumber nutrisi. Disamping itu juga mampu mengubah Cu anorganik menjadi Cu organik yang kemudian akan diserap oleh akar enceng gondok dan digunakan sebagai kofaktor (*metalloenzim*) dari *enzim plastosianin* yang berguna dalam proses fotosintesis yaitu untuk merangsang pembelahan sel enceng gondok. Hal ini yang menyebabkan enceng gondok tumbuh subur meskipun jumlahnya melimpah karena adanya arus air. Enceng gondok ini merupakan tumbuhan *Emergent* yaitu tumbuhan yang akan mengapung jika terdapat arus dan akan menancapkan akarnya jika perairannya dangkal. Palar (1994) menyatakan bahwa logam Cu yang terakumulasi dalam tubuh enceng gondok baru akan mengakibatkan kematian apabila dosisnya melebihi 3,5 mg/l.

- Korelasi antara massa enceng gondok dengan hasil pengukuran kadar Cu selama fitofiltrasi 10 hari dapat dilihat pada Table 4.3. pada table tersebut dijelaskan bahwa selama pengamatan terjadi penurunan kadar Cu sekitar 10% setiap 2 hari pengamatan yang berbanding lurus dengan bertambahnya masa enceng gondok karena adanya penyerapan melalui akar enceng gondok.
- Selain korelasi terhadap banyaknya enceng gondok yang digunakan, juga terdapat korelasi dengan waktu tinggal (detensi) dari proses fitofiltrasi. Dapat dilihat pada table pengamatan hari ke-8 untuk massa enceng gondok 300 g telah memberikan penurunan sebesar 49% dari kadar Cu awalnya dan yang paling signifikan diperoleh pada hari ke-4 untuk massa enceng gondok 750 g sebesar 95% dari kadar Cu awalnya.
- Dari data-data tersebut, semakin lama waktu detensi dalam proses fitofiltrasi maka semakin banyak serapan yang dihasilkan oleh enceng gondok.

Dari penelitian ini, dapat dihitung daya serap enceng gondok menggunakan persamaan linear. Adapun grafik linearitas dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik Daya serap Cu oleh enceng gondok

Data tersebut diperoleh dari banyaknya serapan Cu < 2 mg/l yang dihasilkan enceng gondok selama 10 hari fitofiltrasi. Dari data tersebut dapat dirumuskan serapan Cu menggunakan persamaan linearitas, $y = ax + b$.

Dimana :

y = kadar Cu, mg/l

a = slope

x = massa enceng gondok

b = intercept

berdasarkan grafik diatas maka dapat dihitung serapan Cu secara teoritis, sebagai berikut :

$$300 \text{ gr enceng gondok} \rightarrow y = 0.0009 \times 300 + 1.2581 \\ = 1.5281$$

$$500 \text{ gr enceng gondok} \rightarrow y = 0.0009 \times 500 + 1.2581 \\ = 1.7081$$

$$750 \text{ gr enceng gondok} \rightarrow y = 0.0009 \times 750 + 1.2581 \\ = 1.9331$$

$$\text{Basis } 100 \text{ gr enceng gondok} \rightarrow y = 0.0009 \times 100 + 1.2581 \\ = 1.3481$$

Dan dapat dilihat pada tabel 4.4 perbandingan dari hasil penelitian dengan hasil teoritisnya.

Tabel 4.4 Perbandingan serapan Cu dari hasil penelitian terhadap hasil teoritis

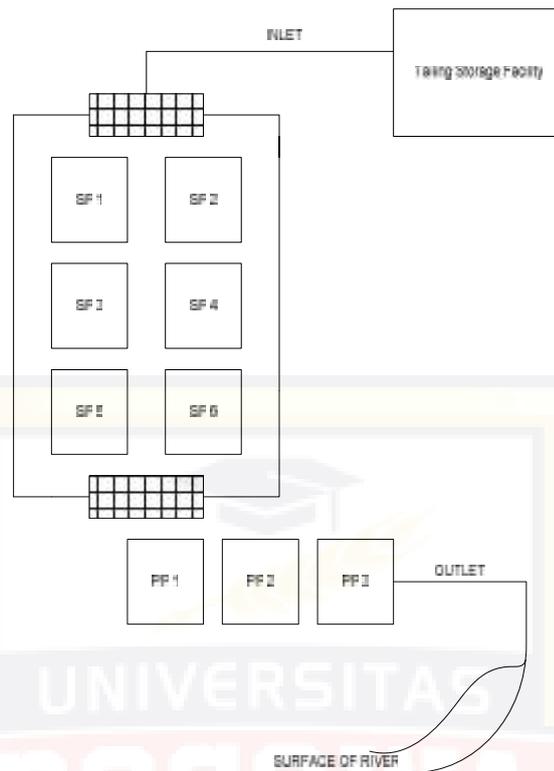
Massa Enceng gondok (gr)	Hasil Penelitian	Teoritis	Differensiasi (%)
300	1,524	1,528	-0,27%
500	1,724	1,708	0,92%
750	1,934	1,933	0,05%

Dengan demikian, dari rumus di atas dapat kita konversikan massa enceng gondok terhadap daya serap Cu dengan rasio perbandingan 100 : 1,3481 yang berarti dalam 100 g enceng gondok mampu menyerap 1,3481 mg/l Cu.

4) Rekomendasi Analisis Fitofiltrasi

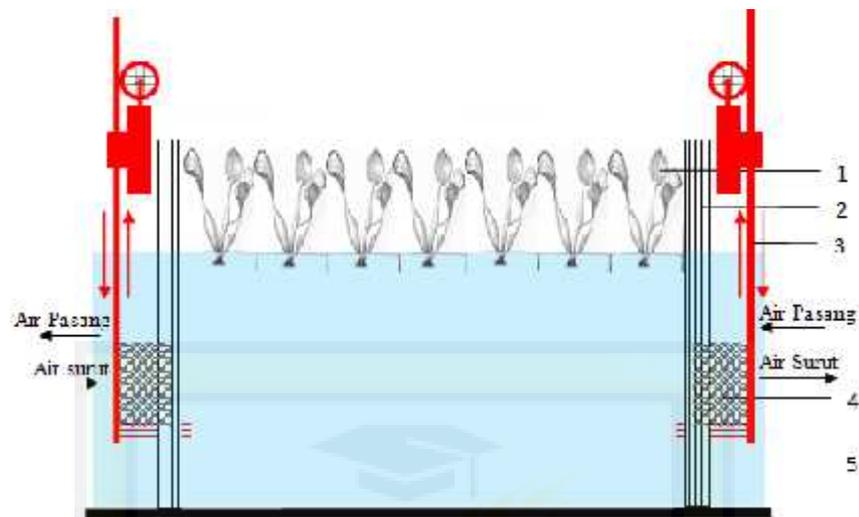
Metode fitofiltrasi sebagai salah satu metode yang efektif dalam mengakumulasi logam pencemar, juga dapat memberikan dampak negatif jika tidak dilakukan secara benar (US Environmental Protection Agency (1998).

Konsep desain tailing sebelum pembuangan ke badan air pada lokasi sumber limbah yakni terdiri dari beberapa kolam penampung. Desain pengolahan air limbah tailing dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Desain pengolahan air limbah tailing

Menindaklanjuti penelitian ini perihal dampak negatif yang mungkin terjadi akibat fitofiltrasi, hendaknya diaplikasikan pada kolam PP 3 yaitu kolam terakhir sebelum air limbah di buang ke permukaan air sungai (badan air). Air limbah tailing dari aliran outlet sebelum dibuang ke badan air sungai yang ditampung pada kolam PP 3 yang telah dipasangkan filter penyaring limbah padat pada kedua ujung kolam. Kedua filter pada ujung kolam juga berfungsi sebagai penahan tanaman enceng gondok agar tidak keluar dari kolam. Diantara filter tersebut, ditebar tanaman enceng gondok dengan rasio perbandingan massa enceng gondok dan banyaknya limbah yang akan dibuang serta perhitungan waktu tinggalnya. Kolam tersebut dikeruk secara rutin untuk menghilangkan padatan pada dasar kolam akibat pendangkalan oleh tanaman enceng gondok. Desain kolam rekomendasi fitofiltrasi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Desain kolam fitofiltrasi Air Limbah tailing

Keterangan :

1. Enceng gondok
2. Filter sampah dan penahan enceng gondok (jarak sela : 2 cm)
3. Alat pengangkut sampah pada filter
4. Sampah padat
5. Air limbah Tailing

5) Perbandingan Penelitian

Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian yang mempunyai metode yang sama diambil dari Tugas Akhir Yani Santya Dewi (sumber : Tugas Akhir Yani Santya dewi dkk, 2009) dijelaskan pada Table 4.4 dan Table 4.5.

Tabel 4.5. Persentase efisiensi penyerapan logam Cu dengan variasi massa dan waktu detensi selama 10 hari

volume Limbah (l)	Massa Enceng Gondok (kg)	Waktu Tinggal (hari)				
		2	4	6	8	10
1	300	0,70%	10,18%	29,96%	49,39%	59,84%
	500	6,38%	20,05%	42,74%	59,02%	83,46%
	750	16,27%	35,77%	40,85%	66,92%	95,02%

Tabel 4.6. Persentase efisiensi penyerapan Logam Cu dengan variasi massa dan waktu detensi 6 hari

Volume Limbah (Liter)	Waktu (Hari)	% Penyerapan logam Cu (Enceng gondok)				
		100gr/L	150gr/L	200gr/L	250gr/L	300gr/L
1.5	2	6,35	10,05	12,17	19,58	22,22
	4	7,94	10,58	13,23	21,16	24,34
	6	10,05	11,11	14,29	22,22	26,46

Dari data hasil perbandingan diatas diperoleh perbedaan hasil yang tidak signifikan dimana persentase penyerapan logam Cu di hari ke 6 dengan massa 300 g sebesar 29,96% sedangkan penelitian dari sumber lain pada variable yang sama adalah sebesar 26,46%. Ini membuktikan bahwa metode ini layak menjadi salah satu langkah efektif untuk pengendalian baku mutu air limbah tercemar logam.



BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

1. Efisiensi penurunan kadar Cu yang berdasarkan variasi berat enceng gondok masing-masing adalah 70%, 83% dan 95% di hari ke-10. Efisiensi penurunan kadar Cu tertinggi menggunakan massa enceng gondok 750 gr dengan waktu detensi 10 hari sebesar 95% dengan kadar Cu akhir 0.150 mg/l. Dapat dilihat pada hasil pengamatan, untuk 750 gram enceng gondok dapat menyerap lebih dari 10% per 2 hari pengamatan. Atau sekitar 0,500 mg/l Cu dalam 2 hari pengamatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar massa enceng gondok maka semakin besar pula daya serap logam Cu yang dihasilkan. Begitu pula korelasinya dengan lama waktu detensi, semakin lama waktu detensi yang digunakan dalam proses fitofiltrasi semakin besar pula serapan yang dihasilkan.
2. Daya serap enceng gondok dapat dihitung menggunakan persamaan linear, $y = a + bx$. Jika kita konversi massa enceng gondok terhadap daya serap Cu menggunakan basis 100, maka rasio perbandingannya adalah 100 : 1,3481 yang berarti dalam 100 gr enceng gondok mampu menyerap 1,3481 mg/l Cu.
3. Penyerapan logam Cu oleh tumbuhan enceng gondok disebabkan enceng gondok memiliki sifat biologis pada akarnya. Pada akar enceng gondok terdapat mikrobial rizhosfera yang melakukan penguraian terhadap bahan organik maupun anorganik yang terdapat dalam air serta menggunakannya sebagai sumber nutrisi. Cu anorganik yang diserap enceng gondok digunakan sebagai kofaktor (*metalloenzim*) dari *enzim plastosianin* yang berguna dalam proses fotosintesis yaitu untuk merangsang pembelahan sel enceng gondok. Hal ini yang menyebabkan enceng gondok tumbuh dan bertambah massanya.
4. Kadar kejenuhan enceng gondok untuk menyerap logam Cu adalah pada konsentrasi 3 mg/L dengan waktu detensi 10 hari.

V.2. Saran-saran

1. Bagi Instansi Pemerintah

Perlu dilakukan penanganan pencemaran logam Cu pada air kolam Tailing dengan metode fitofiltrasi menggunakan enceng gondok yang sebar pada permukaan kolam limbah Tailing

2. Bagi Peneliti Lain

Dari penelitian ini dapat dikembangkan beberapa variabel lain untuk melakukan penelitian lanjutannya. Adapun penelitian yang dapat dilanjutkan adalah sebagai berikut :

- a. Destruksi akar enceng gondok sebagai bagian inti dari sistem adsorpsi.
- b. Mengubah variabel penelitian, seperti di bawah ini :
 - ✓ Variabel 1
Perbandingan variabel tetap : Massa Enceng gondok
Perbandingan variabel berubah : Waktu detensi
 - ✓ Variabel 2
Perbandingan variabel tetap : Waktu detensi
Perbandingan variabel berubah : Massa Enceng gondok
- c. Efektivitas enceng gondok terhadap Logam ataupun senyawa lain.
- d. Penentuan titik jenuh enceng gondok dalam mengakumulasi logam atau senyawa lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1998. *United State Environment Protection Agency (US EPA). A citizen Guide to Phytoremediation*.
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?dirEntryID=33536
Washington. Diakses pada 10 Desember 2016.
- Anonim, 2001. *Phytoremediation*. <http://www.itrc.org/papers/>. Diakses pada 22 Desember 2016.
- Anonim, 2013. *Kajian Pustaka Eceng Gondok*. <http://eprints.ung.ac.id/3943/bab-2-> . Diakses pada 20 Februari 2017
- Anonim, 2015. *Tembaga*. <http://id.wikipedia.org/wiki/Tembaga>. Diakses pada 10 desember 2016.
- Anonim, 2017. *Limbah Pertambangan*. <http://bse.annibuku.com/artikel/makalah-tentang-limbah-pertambangan>. Diakses pada 14 Februari 2017
- Anonim, 2017. *Eceng Gondok*. http://www.sman7malang.sch.id/index.php/admin_login2/keanekaragamanhayati/tanamanherba_menu/161/ecenggondok. Diakses pada 21 Februari 2017
- Atkins, P.W, 1996. *Kimia Fisik*. Jilid 2. Erlangga. Jakarta.
- Connel dan Miller, 1995. *Kimia dan Etoksikologi Pencemaran*. Terjemahan Y. Koestoer. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Darmawanti, Riska. 2014. *Melihat Eceng Gondok sebagai Agen Fitoremediasi*.
<http://mengenalsungai.blogspot.co.id/2014/02/melihat-enceng-gondok-sebagai-agen.html>, Diakses pada 12 Desember 2016
- Darmono, 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press. Jakarta
- Dhir, 2010. *An Aquatic Fern with Potensial Use in Phytoremediation*. Environ. We int. J.Sci.Tech. 4: 23-27.
- Foth, D.H, 1994. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardyanti, 2009. *Fitoremediasi Fosfat dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) (Studi Kasus pada Limbah Cair Industri kecil Laundry)*. <http://eprints.undip.ac.id>. Diakses pada 20 Desember 2016.
- Juhaeti, dkk, 2005. *Inventarisasi tumbuhan Potensial untuk Fitoremediasi Lahan dan Air terdegradasi Penambangan Emas*. <http://Biodiversitas.mipa.uns.ac.id/D/D0601/D060106.pdf>. Diakses pada 15 Februari 2017

- KepMenLH-KepMenHut No.09.09.12, 2014. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun untuk kegiatan Penimbunan berupa Tailing di fasilitas Penimbunan (Landfill).
- KepMenLH No.202, 2004. Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.
- Khopkar, S.M, 2002. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Liestianty dkk, 2014. *Fitoremediasi*. [http://www.academia.edu/11960256/FITOR EMEDIASI](http://www.academia.edu/11960256/FITOR_EMEDIASI). Diakses pada 12 Desember 2016.
- Liao, S.W dan Chang, W.L. 2004. Heavy Metal Phytoremediation by Water Hyacinth at Constructed Wetlands in Taiwan. *Jurnal Aquatic Plant Management*. 42 (online). Diakses pada 8 Februari 2017.
- Lutfi, 2009. Bahan Pencemar Air. <http://chem-is-try.org.situs>. Kimia Indonesia. Diakses pada 20 Desember 2016.
- Miller, N.D, 1996. *Antioxidant Flavonoid Structural Usage Alternative Medical Review I (2) : 103-111*. <http://Eprints.ums.ac.id/15155/dapus.pdf> . Diakses pada 15 Desember 2016
- Napitupulu, Monang. 2008. *Analisis Logam Berat Seng, Kadmium dan Tembaga pada Berbagai Tingkat Kemiringan Tanah Hutan Tanaman Industri PT Toba pulp Lestari dengan metode SSA*. Skripsi USU.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka cipta:23-56.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 101 Tahun 2014. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Priyanto, dan Prayitno B dkk. 2007. *Fitoremediasi Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, khususnya Logam Berat*. http://tl.bppt.tripod.com/sublab/lfl_oral.htm. Diakses pada 22 Desember 2016.
- Setyaningsih, L. 2007. *Pemanfaatan Cendawan Mikoriza Arbuskula dan Kompos Aktif untuk Meningkatkan Pertumbuhan Semai Minda (Melia Azedarach Linn) pada Media Tailing Tambang Emas Pongkor*. Tesis. Bogor: Sekola Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Surtiningsih, T. 1999. *Penanganan Bahan dan Limbah Beracun secara Hayati (Bioremediasi)*. Fakultas MIPA. Univeristas Airlangga. Surabaya.
- Suriawiria, U. 1993. Mikrobiologi Air. http://eprints.undip.ac.id/2019/1/JUNUI_06_SISKA.pdf. Alumni Bandung Press. Bandung. Diakses pada 08 Januari 2017
- Susilo, Y. 2003. *Menuju Keselarasan Lingkungan*. Averroes Press. Jakarta.

- Syahputra, 2005. *Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms)*. Jurnal Logika, Vol.2(2):57-66. ISSN: 1410-2315.
- Vesk, P.A, C.E. Nockholds, dan W.G. Allaway, 1999. Metal Locallization in Water Hyacinth Roots from An Urban Wetland. Plant, Cell, and Environment (22) hal 149 – 152
- Yani, S.D, dkk. 2009. *Pemanfaatn Algae Chlorella Sp. dan Eceng Gondok untuk Menurunkan Tembaga (Cu) pada Industri Pelapisan Logam*. <http://eprints.undip.ac.id/1449/>. Diakses pada 8 Januari 2017.
- Yully, I.H, 2011. *Efektivitas Enceng Gondok dalam Penurunan Kadar Besi pada Air Limbah Rumah Tangga*. <http://digilib.unimus.ac.id>. Diakses pada 19 Februari 2017.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Kegiatan Penelitian



Gambar 1. Pembersihan Enceng gondok dengan akuades yang akan digunakan untuk penelitian



Gambar 2. Pengaturan pH akuades yang akan digunakan sebagai media perendam dalam proses aklimatisasi.



Gambar 3. Memasukkan 1 liter air limbah Tailing kedalam 3 wadah plastik yang sudah dibedakan massanya masing-masing.



Gambar 4. Kondisi enceng gondok dengan waktu detensi 2 hari.



Gambar 5. Pengamatan enceng gondok di hari ke-4 sebelum pengambilan contoh untuk diukur serapannya di AAS.



Gambar 6. Pengukuran larutan standar Cu dan air limbah di hari ke-4.



Gambar 7. Hari ke-8. Kondisi enceng gondok yang sudah mulai menghitam di bagian batang yang terendam



Gambar 8. Hari ke-10. Pengambilan contoh yang akan diukur serapannya.



Gambar 9. Peralatan yang digunakan untuk preparasi contoh sebelum pengukuran



Gambar 10. Preparasi contoh yang sudah disaring.



Gambar 11. Pengukuran contoh air limbah Tailing dengan AAS SensAA GBC Series

Lampiran 2. Data pengukuran kadar Cu dengan AAS SensAA GBC Series

```

Results File      D:\IVO\8JAN17.res
Analysis
Filename         C:\Users\lab.aas\Documents\Analysis1.anl
Element Cu,
Date            Sun Jan 08 07:49:42 2017
Full calibration
Calibration Mode
Full Calibration
Sample Label      Conc. (µg/ml)   %RSD   Mean Abs.   Replicates
Cal Blank        HIGH           0.0003  0.0003      0.0005      0.0001
Standard 1      1.000         1.79    0.1667      0.1687      0.1632      0.1681
Standard 2      2.000         0.38    0.3167      0.3176      0.3170      0.3153
Standard 5      5.000         0.46    0.7328      0.7299      0.7365      0.7321
Sample Blank    -----      HTGH    -0.0010     -0.0005     -0.0011     -0.0014
VER STD 1.011  1.17         0.1684  0.1706      0.1677      0.1669
Titik 01        2.735         0.90    0.4247      0.4219      0.4291      0.4232
Titik 01        2.718         1.25    0.4273      0.4284      0.4194      0.4190
Titik 01        2.725         0.97    0.4232      0.4208      0.4279      0.4208
Titik 02        2.533         1.35    0.3954      0.3906      0.3943      0.4012
Titik 02        2.503         1.27    0.3911      0.3867      0.3900      0.3965
Titik 02        2.473         1.04    0.3867      0.3823      0.3876      0.3901
Titik 03        2.961         0.81    0.4570      0.4529      0.4579      0.4602
Titik 03        2.973         0.57    0.4588      0.4558      0.4597      0.4607
Titik 03        2.993         1.96    0.4617      0.4552      0.4578      0.4720
  
```

Gambar 1. Data pengukuran kadar Cu sebenarnya di kolam Tailing

```

Results File   D:\TYD\16JAN17.res
Analysis
Filename      C:\Users\lab.aas\documents\analysis1.an1
Element Cu,
Date         Sun Jan 16 08:05:53 2017
Full Calibration
Calibration Mode      Concentration
Full Calibration
Sample Label  Conc. (µg/ml)  %RED  Mean Abs.  Replicates
-----
Cal Blank    -----  HIGH  -0.0003  -0.0007  -0.0003  0.0000
Standard 1   1.000  1.17  0.1519  0.1570  0.1511  0.1537
Standard 2   2.000  0.59  0.2882  0.2887  0.2864  0.2897
Standard 3   5.000  0.46  0.6876  0.6888  0.6841  0.6901
Sample Blank -----  HIGH  0.0003  0.0005  0.0004  0.0002
VER STD 0.992  0.96  0.1537  0.1539  0.1521  0.1550
300 3.036  1.20  0.4304  0.4358  0.4298  0.4256
300 3.035  0.20  0.4303  0.4308  0.4291  0.4309
300 3.052  0.79  0.4327  0.4340  0.4352  0.4288
500 3.037  1.02  0.4306  0.4255  0.4333  0.4330
500 3.041  0.07  0.4311  0.4316  0.4330  0.4279
500 3.022  0.63  0.4285  0.4291  0.4309  0.4256
700 2.997  0.34  0.4252  0.4242  0.4268  0.4245
700 3.001  1.36  0.4258  0.4248  0.4205  0.4320
700 3.008  0.74  0.4266  0.4234  0.4232  0.4272

```

Gambar 2. Data pengukuran hari ke-0

```

Results File   D:\TYD\18JAN17.res
Analysis
Filename      C:\Users\lab.aas\documents\analysis1.an1
Element Cu,
Date         Wed Jan 18 08:18:14 2017
Full Calibration
Calibration Mode      Concentration
Full Calibration
Sample Label  Conc. (µg/ml)  %RSD  Mean Abs.  Replicates
-----
Cal Blank    -----  HIGH  0.0001  0.0001  -0.0000  0.0002
Standard 1   1.000  0.91  0.1471  0.1458  0.1472  0.1485
Standard 2   2.000  0.38  0.2767  0.2778  0.2756  0.2767
Standard 3   5.000  0.52  0.6520  0.6483  0.6526  0.6551
Sample Blank -----  12.59  -0.0010  -0.0010  -0.0009  -0.0012
VER STD 0.999  1.75  0.1469  0.1465  0.1446  0.1497
300 3.030  0.62  0.4486  0.4517  0.4478  0.4463
300 3.028  1.35  0.4483  0.4514  0.4414  0.4523
300 3.038  0.27  0.4496  0.4507  0.4498  0.4483
500 2.826  1.08  0.3845  0.3890  0.3837  0.3808
500 2.816  1.12  0.3833  0.3811  0.3802  0.3882
500 2.814  1.79  0.3829  0.3903  0.3785  0.3794
700 2.525  1.51  0.3457  0.3466  0.3504  0.3401
700 2.512  1.32  0.3430  0.3483  0.3443  0.3393
700 2.526  0.57  0.3458  0.3446  0.3448  0.3481

```

Gambar 3. Data pengukuran hari ke-2

```

Results File      D:\TYO\MP\Solution\1701-00432.res
Analysis
Filename         C:\Users\lab.aas\Documents\Analysis1.anl
Element Cu,
Date            Fri 20 16:17:30 2017
Full Calibration
Calibration Mode
Full Calibration
Sample Label
Cal Blank
Standard 1
Standard 2
Standard 3
Sample Blank
VCR STD
300
300
300
500
500
500
700
700
700

```

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.		Replicates	
Cal Blank	-----	HIGH	-0.0002	-0.0000	-0.0002	-0.0003
Standard 1	1.000	0.04	0.1433	0.1434	0.1433	0.1434
Standard 2	2.000	0.21	0.2780	0.2775	0.2778	0.2780
Standard 3	5.000	1.33	0.6348	0.6343	0.6344	0.6339
Sample Blank	-----	4.64	0.0015	0.0014	0.0015	0.0014
VCR STD	0.999	1.25	0.1432	0.1452	0.1421	0.1422
300	2.611	0.10	0.3740	0.3743	0.3742	0.3735
300	2.634	5.21	0.3774	0.3952	0.3500	0.3871
300	2.597	3.85	0.3721	0.3891	0.3513	0.3725
500	2.301	0.94	0.3297	0.3340	0.3280	0.3270
500	2.329	1.67	0.3338	0.3415	0.3285	0.3315
500	2.320	4.83	0.3325	0.3384	0.3485	0.3105
700	1.934	3.16	0.2772	0.2864	0.2798	0.2854
700	1.930	0.21	0.2760	0.2761	0.2774	0.2762
700	1.938	0.27	0.2777	0.2787	0.2769	0.2776

Gambar 4. Data pengukuran hari ke-4

```

Results file     D:\TYO\New folder\22JAN17.res
Analysis
Filename        C:\Users\lab.aas\Documents\Analysis1.anl
Element Cu,
Date            Mon Jan 22 07:02:36 2017
Full calibration
Calibration Mode
Full Calibration
Sample Label
Cal Blank
Standard 1
Standard 2
Standard 5
Sample Blank
VCR STD
300
300
300
500
500
500
700
700
700

```

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.		Replicates	
Cal Blank	-----	HIGH	-0.0003	-0.0009	0.0005	-0.0004
Standard 1	1.000	0.39	0.1557	0.1557	0.1550	0.1562
Standard 2	2.000	0.52	0.2936	0.2934	0.2922	0.2952
Standard 5	5.000	0.39	0.6708	0.6737	0.6703	0.6685
Sample Blank	-----	14.52	0.0007	0.0008	0.0007	0.0006
VCR STD	0.995	1.01	0.1549	0.1552	0.1533	0.1564
300	2.097	1.03	0.3069	0.3033	0.3087	0.3088
300	2.109	0.44	0.3086	0.3101	0.3077	0.3079
300	2.122	0.91	0.3104	0.3073	0.3109	0.3129
500	1.731	1.30	0.2585	0.2624	0.2564	0.2567
500	1.733	0.98	0.2583	0.2571	0.2565	0.2612
500	1.704	0.73	0.2544	0.2563	0.2526	0.2543
700	1.513	1.10	0.2285	0.2314	0.2269	0.2271
700	1.505	1.23	0.2274	0.2305	0.2262	0.2253
700	1.512	2.24	0.2283	0.2316	0.2224	0.2310

Gambar 5. Data pengukuran hari ke-6

```

Results File   D:\TYO\New folder\24JAN17.res
Analysis
Filename      C:\Users\lab.aas\Documents\Analysis1.anl
Element Cu,
Date         Tue Jan 24 08:01:48 2017
Full calibration
Calibration Mode      Concentration
Full calibration
Sample Label   Conc. (µg/ml)  %RSD   Mean Abs.   Replicates
Cal Blank     HIGH          0.0007  0.0006      0.0009      0.0005
Standard 1    1.000        0.66   0.1670      0.1669      0.1660      0.1681
Standard 2    2.000        0.69   0.3157      0.3102      0.3176      0.3133
Standard 5    5.000        1.06   0.7233      0.7161      0.7225      0.7314
Sample Blank  -----      HIGH   0.0008      0.0012      0.0028      0.0003
VER STD 0.987  0.63   0.1649      0.1660      0.1647      0.1639
300        1.520      0.47   0.2465      0.2462      0.2454      0.2477
300        1.528      1.59   0.2475      0.2435      0.2477      0.2514
300        1.525      2.43   0.2471      0.2443      0.2540      0.2411
500        1.220      0.27   0.2012      0.2011      0.2007      0.2018
500        1.240      1.78   0.2043      0.2005      0.2077      0.2046
500        1.241      0.54   0.2045      0.2028      0.2066      0.2041
700        0.999      0.78   0.1668      0.1666      0.1682      0.1656
700        0.995      1.24   0.1661      0.1676      0.1670      0.1638
700        0.995      0.40   0.1661      0.1660      0.1655      0.1668

```

Gambar 6. Data pengukuran hari ke-8

```

Results File   D:\TYO\New folder\26JAN17.res
Analysis
Filename      C:\Users\lab.aas\Documents\Analysis1.anl
Element Cu,
Date         Thu Jan 26 08:22:55 2017
Full calibration
Calibration Mode      Concentration
Full calibration
Sample Label   Conc. (µg/ml)  %RSD   Mean Abs.   Replicates
Cal Blank     HIGH          0.0001  0.0004      0.0002      0.0003
Standard 1    1.000        0.63   0.1647      0.1639      0.1660      0.1643
Standard 2    2.000        1.16   0.3114      0.3084      0.3155      0.3104
Standard 5    5.000        1.45   0.7341      0.7248      0.7319      0.7457
Sample Blank  -----      HIGH   0.0007      0.0008      0.0002      0.0011
VER STD 1.986  1.57   0.3095      0.3124      0.3039      0.3122
300        0.906      0.48   0.1493      0.1485      0.1498      0.1496
300        0.906      1.35   0.1493      0.1473      0.1492      0.1513
300        0.911      0.72   0.1500      0.1493      0.1495      0.1512
500        0.496      0.81   0.0817      0.0825      0.0812      0.0814
500        0.499      1.67   0.0822      0.0838      0.0812      0.0817
500        0.499      0.86   0.0822      0.0816      0.0830      0.0822
700        0.150      1.32   0.0247      0.0243      0.0248      0.0249
700        0.150      1.88   0.0247      0.0245      0.0243      0.0252
700        0.151      1.72   0.0249      0.0254      0.0249      0.0245

```

Gambar 7. Data pengukuran hari ke-10