

**POTENSI TANAMAN RAMI (*Boehmeria nivea*) UNTUK
FITOREMEDIASI PADA TANAH TERCEMAR LOGAM BERAT
TEMBAGA (Cu)**

Oleh
NAUFAL RIZKA PRATAMA



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN

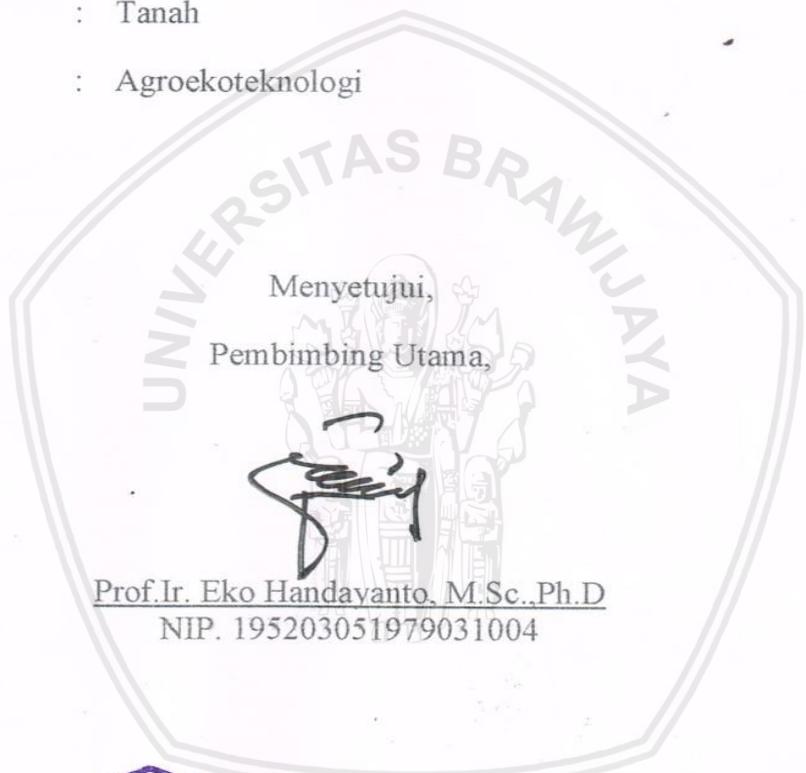
Judul penelitian : Potensi Tanaman Rami (*Boehmeria Nivea*) Untuk Fitoremediasi Pada Tanah Tercemar Logam Berat Tembaga (Cu)

Nama Mahasiswa : Naufal Rizka Pratama

NIM : 155040201111114

Jurusan : Tanah

Program Studi : Agroekoteknologi



Menyetujui,
Pembimbing Utama,

Prof. Ir. Eko Handavanto, M.Sc., Ph.D
NIP. 195203051979031004

Ketua Jurusan Tanah,



Syariful Kurmiawan, SP, MP, Ph.D
NIP. 197910182005011002

Tanggal Persetujuan : **19 SEP 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I



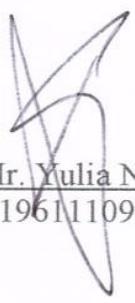
Syahrul Kurniawan, SP, MP, Ph.D
NIP. 197910182005011002

Penguji II



Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc, Ph.D
NIP. 195203051979031004

Penguji III



Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS
NIP. 196111091985032001

Penguji IV



Iva Dewi Lestariningsih, SP, M.Agr.Sc
NIP. 2013117508062001

Tanggal Lulus : **09 OCT 2019**

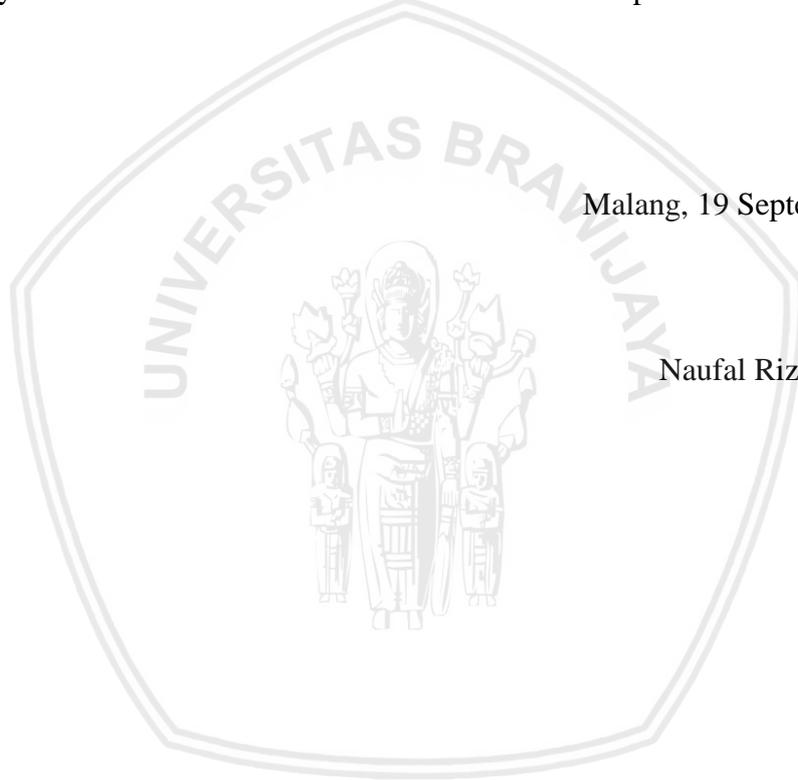


PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pemimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, 19 September 2019

Naufal Rizka Pratama



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 09 April 1997. Penulis merupakan putra pertama dari bersaudara, dari pasangan Bapak Thaibur Rais dan Ibu Eny Indriyati.

Penulis, mengawali pendidikan di SD Muhammadiyah 28 Jakarta yang ditempuh penulis pada tahun 2003 dan selesai pada tahun 2009, kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Negeri 66 Jakarta pada tahun 2009 sampai pada tahun 2012. Pendidikan mengah atas dilanjutkan penulis di SMA Negeri 24 Jakarta pada tahun 2012 hingga lulus ditahun 2015. Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata 1 (S-1) di program studi Agroekoteknologi dan mengambil peminatan di Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif dalam organisasi yaitu Staff Kementrian Sosial Masyarakat BEM FP UB 2017. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan Pasca Rantai tahun 2015 divisi Kesehatan, panitia Agriculture Leadership Program 2016 divisi DAKONKES, Panitia Pelaksana PEMIRA UB 2016 divisi Konsumsi, Panitia Pengawas PEMIRA UB 2017 divisi Humas PDD, panitia DORAS 2017 divisi Transkoper, panitia Jika Aku Menjadi 2017 divisi Humas, panitia Daulat Hari Tani 2017 divisi Humas, panitia 2017 Dissability Awareness sebagai Ketua Pelaksana dan panitia Temu Warga Tanah 2018 sebagai Korlap.



Skripsi ini kupersembahkan untuk :

Kedua orang tua tercinta serta adikku tersayang dan kepada pembaca.

Semoga Bermanfaat

RINGKASAN

NAUFAL RIZKA PRATAMA. 155040201111114. Potensi Tanaman Rami (*Boehmeria Nivea*) untuk Fitoremediasi Pada Tanah Tercemar Logam Berat Tembaga (Cu). Di bawah bimbingan Prof.Ir. Eko Handayanto, M.Sc.,Ph.D

Aktivitas manusia dalam bidang industri semakin berkembang seiring berjalannya waktu. Industri semakin maju dan semakin banyak alih fungsi lahan yang digunakan untuk pengembangan sektor industri seperti penambangan, tekstil, cat serta penggunaan bahan bakar mengandung logam, yang menyebabkan pencemaran semakin menjadi suatu permasalahan serius yang mencemari lingkungan terutama tanah. Salah satu logam berat yang banyak mencemari lingkungan khususnya di tanah adalah tembaga (Cu), logam tembaga dapat masuk ke dalam strata lingkungan paling banyak berasal dari kegiatan industri elektroplating yang menghasilkan limbah tercemar mengandung unsur logam berat seperti tembaga, timbal, merkuri dan kadmium. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kemampuan tanaman rami dalam penyerapan logam berat tembaga (Cu) pada konsentrasi tertentu serta mengetahui mekanisme tanaman rami dalam menyerap logam tembaga (Cu).

Fitoremediasi dilakukan menggunakan tanaman rami (*Boehmeria nivea*) sebagai tanaman yang berperan sebagai fitoremediator untuk digunakan dalam memperbaiki tanah tercemar logam tembaga (Cu) yang akan diaplikasikan melalui penyiraman dalam bentuk larutan CuSO_4 ke dalam tanah. Penelitian ini dilakukan pada 11 Maret – 1 Juni 2019 di kebun percobaan Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP). Uji Laboratorium dilakukan di Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan masing-masing 6 perlakuan dan 4 kali ulangan dengan dosis 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm dan 125 ppm. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, sampel tanah awal dan akhir untuk analisis kandungan Cu serta sampel akar tanaman dan tajuk tanaman. Dari hasil pengujian akan dilakukan analisis ragam (ANOVA). Data diolah dengan GENSTAT. Apabila hasil menunjukkan adanya perbedaan antar perlakuan maka dilanjutkan uji DMRT pada taraf 5%.

Berdasarkan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa tanaman rami dapat menyerap logam berat tembaga (Cu) serta dapat bertahan hidup dalam kadar 25 – 125 ppm di dalam tanah. Hasil Indeks Bioremediasi membuktikan bahwa pada tanaman rami yang diberikan cemaran logam pada tanah dapat menurunkan akumulasi logam tembaga pada tanah sampai > 50%. Mekanisme fitoremediasi dikategorikan dalam mekanisme fitostabilisasi karena hasil dari semua perlakuan menunjukkan nilai Faktor Translokasi $TF < 1$, tanaman rami termasuk mampu dan toleran dalam menyerap logam berat tembaga namun tidak termasuk ke dalam kategori tanaman hiperakumulator. Pada aplikasi bahan pencemar logam berat CuSO_4 dengan dosis 25-125 ppm untuk tanaman rami memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun. Pencemaran logam berat tambaga (Cu) mempengaruhi pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun. Namun, pada kondisi aktual di lapangan tanaman rami tidak menunjukkan gejala-gejala akibat kontaminasi logam berat.

SUMMARY

NAUFAL RIZKA PRATAMA. 155040201111114. Potential of *Boehmeria Nivea* to Phytoremediation Function on Cu-contaminated Ground. Advisor: Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc., Ph.D

Human activity in industrial sector grew rapidly as time goes by. The industry was more developed and more lands that were functioned as development of industry sector, as mining, textile, paint, and fuel usage of metal content, which impacted to contamination that was referred as a serious issue which could contaminate the environment, particularly to the ground. One of heavy metals that mostly contaminated the environment was ground and copper (Cu), the copper metal could be categorized into environmental strata which mostly came from the activities of electroplating industry that produced polluted waste in heavy metal unsure as copper, lead, mercury and cadmium. This research aimed to identify the ability of *Boehmeria Nivea* in Cu absorption on particular concentration and examine mechanism of *Boehmeria Nivea* in Cu absorption.

Phytoremediation was employed on the *Boehmeria Nivea* as a plant that functioned as phytoremediator which was used to fix the contaminate ground, and would be applied through sprinkling in CuSO₄ solution to the ground. This research was executed on March, 11 – June, 1 2019, specifically in a trial garden of Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP). The lab test was conducted in Faculty of Mathematics and Science of State University of Malang. The design of experiment that was used in this research was complete random design where each of design had 6 treatments and 4 times repetition in dose 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, and 125 ppm. The observation on research parameters covered to height of plant, number of leaf, first and last sample of ground that all were employed to analyze Cu content, sample of plant root, and plant canopy. From the testing result, the researcher exerted analysis of variance (ANOVA). The data was processed through GENSTAT. If the result showed difference between each treatment, it was continued to DMRT test on level 5%.

Based on the research finding, the researcher concluded that Cu was able to absorb the heavy metal of copper (Cu) and survive in the level of 25 – 125 ppm within the ground. The result of Bioremediation Index referred that *Boehmeria Nivea* that had been contaminated by copper on the ground could reduce copper metal accumulation on the ground up to >50%. The mechanism of phytoremediation was categorized into phytostabilization, since the result of all treatments showed value of translocation factor (TF) < 1, *Boehmeria Nivea* was considered as competent and tolerant to absorb the heavy metal of copper, but not included into hyper accumulator category. The application of heavy metal contamination was in approximately CuSO₄ and dose 25-126 ppm, which especially delivered to the real effects on plant weight and leaf number. The heavy metal contamination (Cu) affected to the growth of plant height and leaf number. However, on the actual condition, *Boehmeria Nivea* did not show any signals of heavy metal contamination.

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Potensi Tanaman Rami (*Boehmeria Nivea*) Untuk Fitoremediasi Pada Tanah Tercemar Logam Berat Tembaga (Cu)”.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan saya juga berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi kepentingan pengembangan pendidikan dan menambah wawasan. Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Syahrul Kurniawan. SP. MP. Ph.D selaku Ketua Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya
2. Prof. Ir. Eko Handayanto, M.Sc.,Ph.D selaku pembimbing utama yang memberikan pengarahan dan nasehat, sehingga terselesaikannya penelitian ini.
3. Seluruh dosen, staf dan karyawan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang khususnya Jurusan Tanah.
4. Kedua orang tua khususnya Ibu (Eny), adik (Ivan) dan keluarga yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
5. Semua teman-teman terbaik di Malang (Mada, Firman, Syamsul, Krisna, Mutieq, Nimmas, Anna, Reza, A'yun, Fiqri, Natasya, Ikmal, Aji, Sena, Bunga, Elvira, Irfan, Fadhil, Jiyanti), Teman satu bimbingan (Mundi, Syella, Safira, Ria, Iqbal, Nissa, Tanti), Teman SMA (Fikri, Fahrezi, Atika, Iqbal, Rifki, Ibnu, Reinard) dan Teman di Jakarta (Alief, Ayu, Yoga, Iwa, Ibrah, Evana) yang telah mendukung, medoakan dan membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini.
6. Rekan-rekan MSDL 2015 dan teman-teman yang berjuang bersama dan saling memotivasi penulis untuk semangat dalam melakukan penelitian.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang turut membantu dan memberi semangat dalam penulisan karya tulis ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik saran yang membangun dari berbagai pihak sangat penulis harapkan untuk perbaikan dalam penyusunan. Berharap semoga skripsi ini

dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta memajukan pertanian Indonesia.

Malang, 19 September 2019

Penulis



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas manusia dalam bidang industri semakin berkembang seiring berjalannya waktu. Industri semakin maju dan semakin banyak alih fungsi lahan yang digunakan untuk pengembangan sektor industri seperti industri tekstil, elektroplating, pupuk kimia dan pestisida kimia. Output dari kegiatan industri yang dihasilkan berupa limbah yang menyebabkan lingkungan menjadi tercemar limbah yang dihasilkan, limbah ini dapat dengan mudah masuk kedalam strata lingkungan salah satunya masuk ke dalam tanah yang digunakan untuk area pertanian sehingga menyebabkan pencemaran menjadi suatu permasalahan yang serius yang mencemari lingkungan terutama tanah (Palar, 2008). Salah satu bahan pencemar lingkungan yang banyak menarik perhatian adalah pencemaran oleh kontaminasi logam berat. Kontaminasi oleh logam berat menjadi perhatian serius karena menimbulkan kontaminasi pada tanah melalui pembuangan secara langsung baik, limbah padat maupun limbah cair.

Logam berat secara alami sudah ada di dalam tanah dan tidak dapat teregradasi, dapat menetap di tanah untuk waktu yang lama, sehingga akan terus meningkat seiring berjalannya waktu (Govindasamy *et al.*, 2011). Akumulasi logam yang ada pada tanah dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroba tanah, kesuburan tanah, dan kualitas tanah secara keseluruhan, dan penurunan hasil serta masuknya bahan beracun ke rantai makanan (Kurnia *et al.*, 2009). Tanah merupakan salah satu komponen yang menjadi sasaran pencemaran, bila tanah yang digunakan sebagai kegiatan pertanian tercemar logam berat maka logam berat akan masuk ke dalam rantai makanan yang akhirnya menuju kepada manusia sebagai konsumen sehingga menimbulkan berbagai macam penyakit pada manusia khususnya gangguan pada system syaraf (Sudarmaji, 2006).

Salah satu logam berat yang banyak mencemari lingkungan khususnya di tanah adalah tembaga (Cu), logam berat tembaga dapat masuk ke dalam strata lingkungan yang diduga paling banyak adalah dari kegiatan perindustrian,

kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan bakar serta limbah dari industri elektroplating yang merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah cair (Palar, 2008). Namun tembaga juga merupakan logam berat esensial untuk tanaman. Tembaga berfungsi sebagai pertumbuhan pada jaringan tanaman terutama daun tempat terjadinya proses fotosintesis (Kamaruzzaman *et al.*, 2008). Unsur tembaga diserap oleh akar tanaman dalam bentuk Cu^{2+} dibutuhkan dalam jumlah sedikit, dan berperan dalam proses oksidasi, reduksi dan pembentukan enzim (Napitupulu, 2008). Pada umumnya kadar logam berat tembaga dalam jaringan tanaman berkisar 5–25 ppm. Namun, apabila konsentrasi yang terdapat dalam tanaman tinggi dapat bersifat toksik bagi tanaman dan karsinogenik jika terakumulasi pada tubuh manusia (Alkorta, 2004).

Salah satu upaya mengurangi konsentrasi pencemaran logam berat tembaga (Cu) untuk membenahi tanah adalah fitoremediasi. Fitoremediasi adalah suatu sistem tanaman tertentu yang dapat melakukan kerja sama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral, dan air), dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya (Greipsson, 2011). Tanaman memiliki sifat yang alamiah untuk menyerap logam. Tanaman yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi adalah tanaman yang cepat tumbuh, mampu mengonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat, mampu meremediasi lebih dari satu polutan, dan toleransi yang tinggi terhadap polutan. Oleh karena itu fitoremediasi dapat ditujukan untuk mengatasi tanah yang tercemar logam. Menurut pendapat Erakhrumen (2007) teknologi ini dapat mengakumulasi logam di dalam tanah yang tercemar dan saat mencapai pertumbuhan vegetatif maksimum dapat dilakukan pemanenan dan polutan tercemar yang sudah terserap dalam tanaman juga terikat dalam proses pemanenan.

Menurut Hidayati (2005) beberapa tanaman terbukti memiliki kemampuan beradaptasi dengan lingkungan yang ekstrim seperti tanah yang terkontaminasi zat-zat beracun. Tanaman yang memiliki kemampuan dalam penyerapan logam berat atau zat racun berbahaya disebut sebagai tanaman

hiperakumulator (Hardiani, 2008). Tanaman fitoremediator yang dapat digunakan adalah tanaman rami (*Boehmeria nivea*) yang merupakan tanaman tahunan dan memiliki potensi yang cukup tinggi untuk dikembangkan, tanaman rami dapat tumbuh secara liar serta dikenal mampu menyerap toksik tertentu seperti tembaga (Cu). Penelitian lain telah menunjukkan bahwa rami juga dapat mentoleransi sejumlah logam berat tertentu seperti logam merkuri, timbal, kadmium dan arsenik (Mubarak *et al.*, 2016). Tanaman rami berpotensi untuk dikembangkan menjadi tanaman fitoremediator untuk mengurangi atau menetralsir pencemaran logam-logam berat khususnya logam tembaga (Cu), serta perlunya diketahui besar penyerapan logam yang terakumulasi sehingga mengetahui baik atau tidaknya tanaman rami dapat dijadikan sebagai tanaman hiperakumulator.

Penelitian ini menggunakan tanaman rami (*Boehmeria nivea*) sebagai tanaman yang berperan sebagai fitoremediator untuk digunakan dalam menetralsir pencemaran logam tembaga (Cu) yang akan diaplikasikan melalui penyiraman dalam bentuk larutan CuSO_4 ke dalam tanah. Tanaman rami ini diharapkan mampu menurunkan kadar Cu hingga di bawah ambang batas sehingga tanah yang tercemar dapat dimanfaatkan kembali, baik untuk kegiatan pertanian maupun non pertanian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. Bagaimana kemampuan tanaman rami (*Boehmeria nivea*) dalam menyerap logam berat tembaga (Cu) pada konsentrasi tertentu?
2. Bagaimana mekanisme tanaman rami dalam penyerapan logam berat?
3. Bagaimana pengaruh pencemaran logam berat tembaga (Cu) terhadap pertumbuhan tanaman rami (*Boehmeria nivea*)?

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang, tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. Kemampuan tanaman rami (*Boehmeria nivea*) dalam penyerapan logam berat tembaga (Cu) pada konsentrasi tertentu.

2. Mekanisme tanaman rami (*Boehmeria nivea*) dalam penyerapan logam berat tembaga (Cu).
3. Pengaruh pencemaran logam berat tembaga (Cu) terhadap pertumbuhan tanaman rami (*Boehmeria nivea*).

1.4 Hipotesis

Adapun beberapa hipotesis dalam penelitian ini, diantaranya :

1. Tanaman tanaman rami (*Boehmeria nivea*) memiliki potensi meremediasi tanah tercemar logam berat tembaga (Cu).
2. Tanaman rami mempunyai mekanisme fitoekstraksi dalam menyerap logam berat tembaga (Cu).
3. Pencemaran logam berat mempengaruhi pertumbuhan morfologi tanaman rami.

1.5 Manfaat

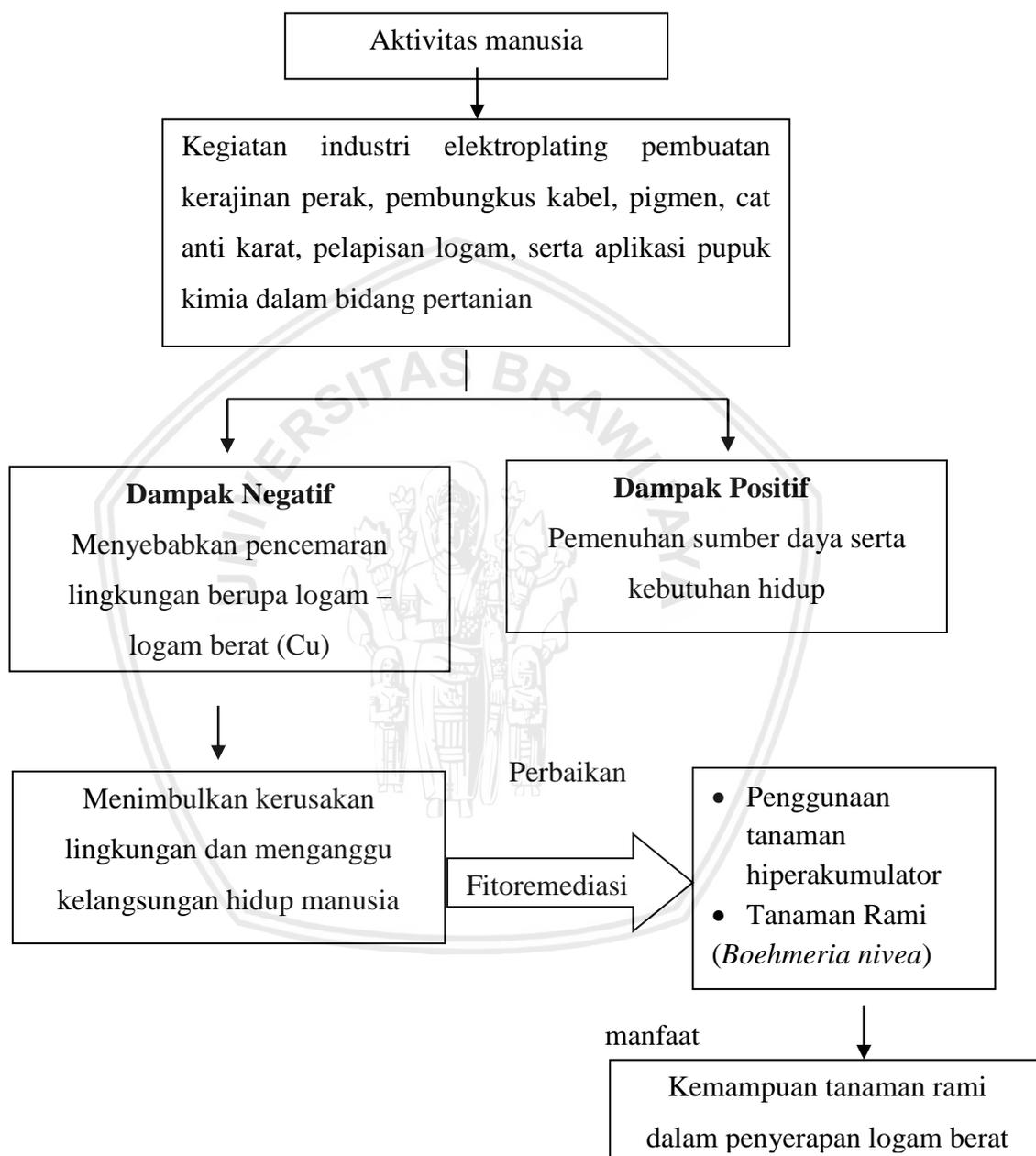
Adapun manfaat dalam pelaksanaan penelitian ini, yaitu :

1. Mengetahui kemampuan tanaman rami (*Boehmeria nivea*) dalam penyerapan logam berat tembaga (Cu) pada konsentrasi tertentu.
2. Mengetahui mekanisme tanaman rami dalam penyerapan logam berat tembaga (Cu) serta potensi pada tanaman rami.
3. Mengetahui pengaruh pencemaran logam berat tembaga (Cu) terhadap pertumbuhan tanaman rami (*Boehmeria nivea*).

1.6 Alur Pikir Penelitian

Aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya banyak menghasilkan pencemaran logam berat salah satunya adalah tembaga (Cu). Kegiatan manusia ini mencakup ruang lingkup industri pertanian atau non pertanian. Logam tembaga di dalam tanah apabila dalam konsentrasi yang tinggi dapat mencemari tanah. Hal tersebut menjadi salah satu penyebab timbulnya kerusakan lingkungan atau degradasi lahan. Oleh karena itu, perlu dilakukan rehabilitasi menggunakan tanaman yang berpotensi toleran pada kondisi yang ekstrim khususnya pada daerah yang terdegradasi akibat pencemaran logam berat atau dikenal dengan fitoremediasi. Tanaman Rami (*Boehmeria nivea*) sebagai tanaman fitoremediator logam berat yang memiliki kemampuan mengabsorpsi

logam tembaga (Cu). Hal tersebut diharapkan tanaman rami mampu menetralkan pencemaran logam tembaga (Cu).



Gambar 1. Alur Pikir Penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Rami (*Boehmeria nivea*)

Tanaman rami (*Boehmeria nivea* L) merupakan tanaman tahunan yang memiliki potensi tinggi untuk dikembangkan sebagai penghasil serat bahan tekstil. Serat rami dapat diolah menjadi kain fashion berkualitas tinggi, karena memiliki karakter mirip dengan serat kapas. Tanaman rami tergolong ke dalam kelompok serat batang yang menghasilkan serat dari kayunya. Tanaman rami memiliki batang tinggi yang ramping hingga mencapai ketinggian 200 cm sampai 250 cm, namun juga dapat mencapai ketinggian 300 cm. Diameter batang berkisar antara 12 sampai 20 mm, bergantung pada kondisi pertumbuhan. Daun rami (Gambar 2) bertekstur bergerigi halus dengan panjang kurang lebih 10 cm dan lebar 5 cm sampai 15 cm (BPPP, 2015). Tanaman rami memiliki perakaran yang dinamakan morphi karena terbentuk dari akar lateral tanaman rami yang menghasilkan rhizome dan digunakan sebagai bibit (Dhomiri, 2002).



Gambar 1. Tanaman Rami (Sumber : en.wikipedia.org)

Tanaman rami juga dapat menjadi salah satu tanaman fitoremediator yang dapat memiliki kemampuan dalam menyerap logam serta dapat mengakumulasi logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya sehingga bersifat hiperakumulator (Hidayati, 2005). Proses hiperakumulasi tanaman yang berperan sebagai hiperakumulator menurut Hidayati (2005) yakni: (1) Interaksi rizosferik, merupakan interaksi antara tanaman dan media tumbuh sehingga tanaman hiperakumulator dapat melarutkan unsur logam pada rizosfer dan menyerap logam ; (2) Konsentrasi logam yang tinggi terdapat pada akar, sehingga penyerapan logam oleh akar tanaman hiperakumulator lebih cepat dibandingkan tanaman normal. Akar tumbuhan hiperakumulator memiliki daya selektifitas yang tinggi

terhadap unsur logam tertentu ; (3) Sistem translokasi unsur dari akar ke tajuk pada tumbuhan hiperakumulator lebih efisien dibandingkan tanaman normal. Dibuktikan dengan rasio konsentrasi logam tajuk/akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih dari satu

Tanaman rami tumbuh secara liar dan dapat tumbuh pada kawasan tambang logam aktif yang terbengkalai. Hal ini menjadikan tanaman rami memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat dalam jumlah tertentu, salah satunya adalah tembaga (Mubarak *et al.*, 2016). Pemanfaatan bagian lain dari tanaman rami selain untuk penghasil serat juga karena memiliki kandungan sebagai berikut (Tabel 1).

Tabel 1. Bagian Tanaman Rami dan Kandungannya (Musaddad,2007)

Bagian Tanaman	Kandungan
Daun	Berat kering (19,56 %), protein kering (26,38%), serat kasar (16,24), lemak kering (3,04%), kalori (4659,13 kal/g), N (2,94%), C Organik (27,61%), C/N ratio (9), BO (47,76%), P (0,3%), K (2,2%, Mg (0,45%), S (0,19%), Cu (7,95 ppm), Zn (10,68 ppm), Mo (1,43ppm)
Pucuk daun	Protein (9,46%), lemak (0,96%), tannin (1,68%), Vit. C (1904,6 ppm), total asam (1,25%), total gula (0,15%)
Batang dan akar	N (0,84%, C organik (37,88%) C/N ratio (45), BO (65,53%), P (80%), K (1,06%), Mg (0,51%, S (20 ppm), Zn (4,77 ppm)

Tanaman rami membutuhkan iklim yang basah sehingga memerlukan curah hujan sepanjang tahun. Syarat tumbuhnya dapat tumbuh pada semua jenis tanah dan relatif mudah untuk dibudidayakan. Namun untuk mencapai produksi yang baik dan maksimal diperlukan kondisi yang paling baik untuk pertumbuhan rami. Menurut Santoso dan Adji (2008), diantaranya yaitu kondisi tanah dan iklim:

2.1.1 Tanah

Tanah menjadi salah satu syarat awal yang sangat penting dalam menunjang pertumbuhan tanaman rami. Adapun syarat tanah yang dikehendaki oleh tanaman rami adalah tanah yang bertekstur lempung berpasir, lempung berliat, lempung dan lempung liat berdebu. pH tanahnya antara 5,4 – 6,5, serta berstruktur gembur.

2.1.2 Iklim

Ada beberapa faktor iklim yang menentukan syarat tumbuh tanaman rami, diantaranya:

1. Curah hujan

Tanaman rami sangat cocok pada kondisi curah hujan berkisar antara 1500 – 2500 mm tahun dengan curah hujan yang tersebar merata sepanjang tahun. Namun jika hujan tinggi akan mengganggu pertumbuhan tanaman rami apabila terjadi genangan selama kurang lebih 36 – 48 jam.

2. Suhu udara

Suhu udara juga memiliki pengaruh besar terhadap pertumbuhan tanaman rami. Suhu udara yang dibutuhkan tanaman rami yakni antara 26 – 30⁰C. Pada umumnya Indonesia memiliki suhu seperti suhu yang dikehendaki tanaman rami.

3. Kelembaban udara

Pada pertumbuhan vegetatif tanaman rami, membutuhkan kelembaban udara yang relatif lebih tinggi. Hal tersebut sangat mendukung pertumbuhan tanaman rami. Kelembaban yang diperlukan tanaman rami adalah tidak kurang 60%, dengan kelembaban optimum antar 60 – 75 %.

4. Tinggi tempat

Pertumbuhan tanaman rami yang optimal dibutuhkan ketinggian antara 300 – 750 mdpl. Pada ketinggian kurang dari 300 mdpl umumnya periode hidup rami tidak panjang mencapai 5 – 6 tahun. Sedangkan, pada ketinggian optimal dapat mencapai lebih dari 6 tahun. Hal tersebut juga tergantung pada pemeliharaan terhadap tanaman rami.

Tersedianya unsur hara sangat bergantung pada derajat kemasaman tanah. Demikian dalam aplikasi pemupukan harus didasarkan pada pertimbangan kondisi pH tanah. Kesalahan dalam aplikasi pemupukan dapat berpengaruh merugikan terhadap kelangsungan pertumbuhan dan produktivitas tanah dan tanaman rami. Tingginya biomassa yang dipanen dapat menguras jumlah hara yang besar, terutama kalium. Dengan demikian, pengembalian unsur hara ini sangat penting untuk menghindari efek negatif dari kekurangan zat hara ini (Subandi, 2011).

2.2 Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berasal dari kerak bumi yang berupa bahan-bahan murni, organik dan anorganik. Logam berawal dari pertambangan di bawah tanah (kerak bumi), yang kemudian dicairkan dan dimurnikan dalam pabrik menjadi logam-logam murni. Dalam proses pemurnian logam tersebut yaitu dari pencairan sampai menjadi logam, sebagian darinya terbuang ke dalam lingkungan (Palar, 2008). Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Darmono, 1995). Pemasok logam berat dalam tanah pertanian antara lain bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk organik, buangan limbah.

Logam berat tembaga dengan nama kimia Cuprum dilambangkan dengan Cu, logam merah yang lunak, dapat ditempa, dan melebur pada 1038°C (Palar, 1994). Dalam tabel periodik, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546. Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (non degradable) dan mudah diabsorpsi. Sifat logam berat sangat unik karena tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya:

1. Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna, dan rasa air).
2. Berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang.
3. Berbahaya bagi kesehatan manusia.
4. Menyebabkan kerusakan pada ekosistem

Logam Tembaga (Cu) dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga (Cu) yang masuk dalam ketiga strata lingkungan tersebut dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam tembaga ke dalam strata

lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar (Palar, 2008).

Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu^+ atau Cu^{2+} didalam tanah. Perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah bumi ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, pengairan, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan pH. Kondisi tanah yang asam akan meningkatkan kelarutan Cu, sedangkan pada kondisi basa Cu cenderung dipresipitasi oleh tanah sehingga akan terlarut dan terbawa air yang mengakibatkan defisiensi Cu pada tanaman. Variasi kualitas tanah mempengaruhi pengambilan Cu oleh akar tanaman. Pada tanaman, Cu diakumulasi di akar dan dinding sel serta didistribusikan melalui berbagai cara (Merian, 2004).

Dengan banyaknya aktivitas yang menghasilkan limbah tembaga (Cu) dapat membuat pencemaran lingkungan semakin tinggi termasuk kontaminasi logam pada tanah, air dan tanaman. Adapun batas kritis untuk beberapa kontaminan logam berat pada tanah, air dan tanaman serta kisaran kadar logam berat sebagai pencemar dalam tanah dan tanaman yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas Kritis Untuk Beberapa Kontaminan Logam Berat pada Tanah, Air dan Tanaman

Logam Berat	Tanah (ppm)	Air (ppm)	Tanaman (ppm)
Pb	100	0,003	50
Cd	0,5	0,005 – 0,10	5 – 30
Co	10	0,4 – 0,6	15 – 30
Cr	2,5	0,5 – 1,0	5 – 30
Ni	20	0,2 – 0,5	5 – 30
Cu	60 – 125	2 – 3	20 – 100
Mn	1500	-	-
Zn	70	5 – 10	100 – 400

Keterangan : ppm (*part per million*)

Sumber : Alloway *et al.*, 1997

Tanah dan tanaman memiliki kisaran pada berbagai jenis logam-logam pencemar. Hal tersebut juga dapat dijadikan sebagai acuan tingkat bahaya akibat pencemaran logam tersebut. Pada Tabel 3 diketahui kisaran kadar logam berat pada tanah dan tanaman yang disajikan dalam satuan ppm.

Tabel 3. Kisaran Kadar Logam Berat sebagai Pencemar dalam Tanah dan Tanaman (Barchia, 2009)

Unsur	Kisaran Kadar Logam Berat (ppm)	
	Tanah	Tanaman
As	0,1 – 40	0,1 – 5
B	2 – 100	30 – 75
F	30 – 300	2 – 20
Cd	0,1 – 7	0,2 – 0,8
Mn	100 – 4000	15 – 200
Ni	10 – 1000	1
Zn	10 – 300	15 – 200
Cu	2 – 100	4 – 15
Pb	2 – 200	0,1 – 10

Tanaman yang tercemar logam berat tembaga memicu berbagai perubahan morfologi tanaman. akan tetapi, kenampakan respon tanaman terhadap kontaminan logam berat berbeda-beda. Beberapa kenampakan morfologi tanaman yang terkontam logam berat adalah terjadi penurunan atau pengurangan pertumbuhan tanaman, termasuk klorosis daun, nekrosis dan penurunan laju perkecambahan biji (Handayanto *et al.*, 2017).

2.3 Pengaruh Logam Berat Terhadap Tanaman

Logam berat yang berada di lingkungan, tanah, air dan udara dengan suatu mekanisme tertentu dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Tanaman yang menjadi mediator penyebaran logam berat pada makhluk hidup menyerap logam berat melalui akar dan daun. Logam berat terserap ke dalam jaringan tanaman melalui akar yang selanjutnya akan masuk ke dalam siklus rantai makanan (Darmono, 2001). Kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam berat dan kontaminan lainnya bervariasi tergantung dari kondisi alami spesies tanaman dan kontaminan logam (Naidu *et al.*, 2003). Faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah logam berat oleh tanaman adalah: 1). Kadar logam berat dalam larutan tanah, 2). Pergerakan ion logam berat dari dalam tanah ke lapisan akar, 3). Pergerakan logam dari permukaan akar ke dalam akar tanaman dan 4). Pergerakan logam berat dari jaringan akar ke pucuk tanaman.

Menurut Scmitt (1991) menyebutkan bahwa sejumlah logam berat dapat terasosiasi dengan tumbuhan. Diantaranya ada yang dibutuhkan sebagai unsur mikro (Fe, Mn, Cu dan Zn) dan logam berat lainnya yang belum diketahui fungsinya dalam metabolisme tumbuhan (Pb dan Cd). Lebih lanjut Scmitt (1991)

menyatakan bahwa semua logam berat berpotensi mencemari tumbuhan. Gejala akibat pencemaran logam berat, yakni: klorosis dan nekrosis pada ujung dan sisi daun serta busuk daun yang lebih awal. Tetapi menurut Kuperman (1997), kontaminasi logam berat dalam tanah akan merugikan dan mempengaruhi aktivitas dan jumlah mikroorganisme, sehingga mempengaruhi proses penguraian dan perputaran zat makanan bagi tumbuhan. Di Indonesia, kadar logam berat yang cukup tinggi pada tanaman terutama yang dikonsumsi oleh makhluk hidup sudah semestinya mendapat perhatian khusus dari semua pihak. Penanganan limbah logam berat pada lingkungan khususnya tanaman yang dikonsumsi oleh makhluk hidup yang ada masih bersifat parsial dan insidental (bila ada kasus). Selama ini penanganan bahan kimia beracun dalam tanah masih memanfaatkan proses bioteknologi rendah dan masih kurang mendapat perhatian.

2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi pertama kali diusulkan oleh Chaney (1995) yang didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya. Fitoremediasi dapat digunakan untuk mengurangi kadar logam berat dan pencemar seperti pestisida. Istilah fitoremediasi adalah kombinasi dari dua kata yaitu 'phyto' (berarti tumbuhan) dan 'remedium' (berarti memperbaiki atau membuang makhluk jahat). Tumbuhan hijau memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap bahan pencemar dari lingkungan tumbuhnya dan menetralkan daya meracun bahan pencemar yang diserapkan melalui berbagai mekanisme.

Teknik atau strategi fitoremediasi mencakup fitoekstraksi, fitofiltrasi (rhizofiltrasi), fitostabilisasi, fitovolatilisasi dan fitodegradasi (fitotransformasi) (Alkorta *et al.*, 2004).

1. Fitostabilisasi atau fitoimobilisasi adalah penggunaan tumbuhan tertentu untuk stabilisasi bahan pencemar di dalam tanah (Singh, 2012).
2. Fitofiltrasi atau rhizofiltrasi adalah penggunaan akar tumbuhan atau bibit, yang digunakan untuk menyerap atau menjerap bahan pencemar terutama logam dari air, tanah dan air limbah (Garbisu dan Alkorta, 2003).

3. Fitoekstraksi adalah serapan dan konsentrasi logam dari tanah atau air oleh akar tanaman serta translokasi dan akumulasi senyawa pencemar tersebut di dalam bagian atas tanah, yaitu tajuk tanaman (Tangahu *et al.*, 2011).
4. Fitovolatilisasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menyerap unsur beracun dan kemudian mengkonversi dan melepaskannya dalam bentuk kurang beracun ke atmosfer, menyerap unsur logam yang mudah menguap seperti Hg dan Se dari dalam tanah dan menguapkannya dari daun (Meagher *et al.*, 2000).
5. Fitotransformasi atau fitodegradasi adalah degradasi pencemar organik oleh tumbuhan dengan bantuan enzim seperti dehalogenase dan oksigenase dan tidak tergantung pada mikroorganisme rizhosfer (Vishnoi dan Srivastava, 2008).

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen.

Keuntungan dari penggunaan fitoremediasi adalah, fitoremediasi mampu bekerja pada senyawa organik dan anorganik, dalam proses fitoremediasi dapat dilakukan secara insitu dan eksitu, mudah diterapkan dengan biaya yang relatif lebih murah, teknologi sederhana yang aman dan ramah lingkungan serta bersifat estetik bagi lingkungan, selain itu fitoremediasi dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar. Sedangkan kerugian fitoremediasi, yakni dalam prosesnya memerlukan waktu yang relatif lebih lama, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Hidayati, 2005).

2.5 Metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*)

AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) atau Spektrofotometri serapan atom adalah suatu metode yang digunakan untuk mendeteksi atom-atom logam dalam fase gas. Metode ini seringkali mengandalkan nyala untuk mengubah logam dalam larutan sampel menjadi atom atom logam berbentuk gas yang digunakan untuk analisis kuantitatif dari logam dalam sampel (Pratama *et al.*, 2016).

Metode yang digunakan dalam penetapan kadar tembaga dalam penelitian ini adalah AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Menurut Pratama *et al.*, (2016), metode AAS dapat menentukan kadar logam tanpa dipengaruhi oleh keberadaan logam yang lain. Selain itu pelaksanaannya sederhana, dan cocok untuk analisis logam meskipun sangat sedikit karena mempunyai kepekaan yang tinggi (batas deteksi kurang dari 1 ppm) (Pratama *et al.*, 2016). Penentuan konsentrasi logam tembaga pada sampel dilakukan dengan teknik kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi merupakan grafik yang menyatakan hubungan kadar larutan kerja dengan hasil pembacaan absorbansi masuk yang merupakan garis lurus serapannya diukur dengan Spektrofotometer yang dibuat dari larutan standar.

Prinsip dari spektrofotometri adalah terjadinya interaksi antara energi dan materi. Pada AAS terjadi penyerapan energi oleh atom sehingga atom mengalami transisi elektronik dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Dalam metode ini, analisa didasarkan pada pengukuran intensitas sinar yang diserap oleh atom sehingga terjadi eksitasi. Untuk dapat terjadinya proses absorpsi atom diperlukan sumber radiasi *monokromatik* dan alat untuk menguapkan sampel sehingga diperoleh atom dalam keadaan dasar dari unsur yang diinginkan. AAS memiliki komponen-komponen sebagai berikut (Slavin, 1978).

a. Sumber Sinar

Merupakan sistem emisi yang diperlukan untuk menghasilkan sinar yang energinya akan diserap oleh atom bebas. Sumber radiasi haruslah bersifat sumber yang kontinyu. Seperangkat sumber yang dapat memberikan garis emisi yang tajam dari suatu unsur yang spesifik tertentu dengan menggunakan lampu pijar *Hollow cathode*. *Hollow Cathode Lamp* terdiri dari katoda cekung yang silindris yang terbuat dari unsur yang sama

dengan yang akan dianalisis dan anoda yang terbuat dari tungsten. Dengan pemberian tegangan pada arus tertentu, logam mulai memijar dan atom-atom logam katodanya akan teruapkan dengan pemercikan.

b. Sistem pengatoman

Merupakan bagian yang penting karena pada tempat ini senyawa akan dianalisa. Pada sistem pengatoman, unsur-unsur yang akan dianalisa diubah bentuknya dari bentuk ion menjadi bentuk atom bebas. Ada beberapa jenis sistem pengatoman yang lazim digunakan pada setiap alat AAS, antara lain : (1) Sistem pengatoman dengan nyala api. (2) Sistem pengatoman dengan tungku grafit. (3) Sistem pengatoman dengan pembentukan hidrida. (4) Sistem pengatoman dengan uap dingin

c. Monokromator

Monokromator merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan radiasi yang tidak diperlukan dari spektrum radiasi lain yang dihasilkan oleh *Hallow Cathode Lamp*.

d. Detektor

Fungsi detektor adalah mengubah energi sinar menjadi energi listrik, dimana energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk mendapatkan data. Detektor AAS tergantung pada jenis monokromatornya, jika monokromatornya sederhana yang biasa dipakai untuk analisa alkali, detektor yang digunakan adalah *barier layer cell*. Tetapi pada umumnya yang digunakan adalah *detector photo multiplier tube*. Metode AAS sangat tepat untuk analisa zat pada konsentrasi rendah. Logam-logam yang membentuk campuran kompleks dapat dianalisa dan selain itu tidak selalu diperlukan sumber energi yang besar. Sensitivitas dan batas deteksi merupakan parameter yang sering digunakan dalam AAS. Keduanya dapat bervariasi dengan perubahan temperatur nyala, dan lebar pita spectra.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Juni 2019 di *Greenhouse* Kebun Percobaan Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Malang. Analisis logam tembaga (Cu) yang dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 macam, yakni alat dan bahan yang digunakan di lapangan dan alat bahan yang digunakan di Laboratorium.

1. Di lapangan

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah cangkul, pot, timbangan digital, gelas ukur, gelas plastik, ember, pipa plastik, papan alfaboard. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adalah bahan pencemar berupa logam tembaga (Cu) dalam bentuk padatan kristal CuSO_4 rhizome tanaman rami sebagai tanaman fitoremediator, tanah untuk media tanam, aquades sebagai pelarut bahan pencemar serta pupuk kandang dan cocopeat sebagai pupuk starter pada awal penanaman.

2. Di laboratorium

Alat dan bahan yang diperlukan di laboratorium adalah timbangan digital, spatula, botol timbangan, kertas saring, corong, labu *Erlenmeyer* 25 ml, gelas ukur, pipet skala, wadah plastik, alat Spektrofotometer Serapan Atom, sampel tanaman rami dan aquades.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada percobaan dalam pot yang dilakukan di *greenhouse* dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) Perlakuan terdiri dari 6 perlakuan dan 4 kali ulangan sehingga didapat 24 unit sampel penelitian. Adapun 6 konsentrasi perlakuan yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

Tabel 1. Perlakuan Konsentrasi Cu

NO	Kode	Perlakuan
1	P0	Tanpa perlakuan tembaga
2	P1	Tembaga dengan konsentrasi 25 ppm
3	P2	Tembaga dengan konsentrasi 50 ppm
4	P3	Tembaga dengan konsentrasi 75 ppm
5	P4	Tembaga dengan konsentrasi 100 ppm
6	P5	Tembaga dengan konsentrasi 125 ppm

Tabel 4 di atas menunjukkan beberapa dosis perlakuan yang diaplikasikan dalam penelitian. Penentuan beberapa dosis perlakuan didasarkan pada kriteria ambang batas normal dan batas kritis tembaga yang ada di dalam tanah dan tanaman menurut Kementerian Kependudukan dan Lingkungan Indonesia (1992) dan Alloway dan Ayres (1997). Pada literatur tersebut menunjukkan bahwa untuk logam berat tembaga pada ambang batas kritis pada tanah adalah 60-125 ppm sedangkan untuk tanaman adalah 20-100 ppm.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa hal, yakni :

3.4.1 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah dan pupuk kandang yang dicampur cocopeat dengan dosis tanah 10 kg dan pupuk kandang 50 g. Tanah yang digunakan sebagai media tanam diambil di Kebun Percobaan Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP). Tanah yang digunakan di ambil pada bagian *Top Soil* (yakni pada ke dalaman 0 – 20 cm). Tanah kemudian dikering anginkan selama 3 hari dan dimasukkan ke dalam pot tanam.

3.4.2 Penanaman Tanaman Rami

Sebelum dilakukan penanaman tanaman rami terlebih dahulu dilakukan persiapan media tanam dengan mencampurkan tanah dan pupuk kandang yang sudah tercampur dengan cocopeat. Kemudian penanaman tanaman rami dalam bentuk rhizome yang diperoleh dari BALITTAS. Penanaman rhizome dilakukan sebanyak 1 rhizome per 1 pot tanam berukuran 20 cm x 20 cm yang terisi 10 kg tanah dengan jarak tanam 50 cm x 80 cm. Rhizome tanaman rami ditanam pada kedalaman 5 – 6 cm dengan membentuk sudut 45 derajat dan mata tunasnya di hadapkan ke atas agar pertumbuhan lebih cepat (Santoso *et al.*, 2008).

3.4.3 Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan dilakukan setiap hari dengan tujuan untuk memberikan kondisi yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman. Adapun kegiatan pemeliharaan adalah penyiraman yang dilakukan setiap hari sekali yaitu pagi hari. Kemudian penyiangan yang dilakukan secara manual ketika banyak gulma disekitar tanaman dan dalam pot. Pemupukan dilakukan pada saat awal tanam sebagai *starter* yaitu dengan pupuk organik kandang yang tercampur dengan cocopeat.

3.4.4 Analisis Tanah Dasar dan Pupuk Kandang

Analisis tanah dasar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya pH dan kandungan logam berat sebelum dilakukan perlakuan. Selain analisis awal pH, juga dilakukan analisis logam berat tembaga pada tanah dan analisis pupuk kandang yang diaplikasikan ke dalam tanah. Analisis awal penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kadar logam berat dan nilai pH sebelum diberikan perlakuan dosis logam berat tembaga (Cu) serta mengetahui kandungan yang terdapat dalam pupuk dasar. Parameter yang digunakan didapatkan hasil awal yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 2. Data Analisis Awal Pada Tanah dan Analisis Pupuk Kandang

Parameter	Nilai Kandungan
Cu tanah asli	0,177 ppm
Cu tanah pada media tanam	0,129 ppm
pH tanah asli	6,36
pH tanah pada media tanam	6,60
C-organik pupuk	20,43 %
C/N Ratio pupuk	19,46
Bahan ikutan (plastik, kaca, kerikil) pupuk	0,31 %
Kadar air pupuk	12,58 %
pH pupuk	8,34
N total pupuk	1,05 %
P ₂ O ₃ pupuk	1,05 %
K ₂ O pupuk	0,77 %
Fe total pupuk	3429,92 ppm
Fe tersedia pupuk	10,41 ppm

Berdasarkan data dari hasil analisis awal tanah yang digunakan untuk media tumbuh tanaman rami pada tanah asli dan media tanam terdapat kandungan logam tembaga yang tidak berbeda jauh yaitu sebesar 0,177 ppm pada tanah asli dan 0,129 ppm pada media tanam. Nilai kandungan Cu pada tanah masuk dalam

kriteria batas normal yang berarti dibawah ambang batas kritis. Pada tanah dimedia tanam merupakan campuran dari tanah asli, cocopeat serta pupuk kandang dari kotoran kambing dan kotoran ayam menunjukkan nilai kandungan logam berat tembaga sebesar 0,129 ppm berbeda tipis dengan kandungan Cu di dalam tanah asli.

Paramater pH yang didapatkan pada analisis awal yaitu pH tanah asli dengan nilai 6,36 masuk ke dalam kategori agak masam dan pH tanah pada media tanam dengan nilai 6,60 pada masuk ke dalam kategori netral. Berdasarkan kriteria penilaian sifat kimia tanah bahwa pH dengan nilai nilai 5,5 – 6,5 masuk ke dalam kategori agak masam dan pH dengan nilai 6,6 – 7,5 masuk ke dalam kategori netral. Pada pupuk kandang yang digunakan terbuat dari fermentasi campuran kotoran ayam dan kotoran kambing yang didapatkan langsung dari pemilik *Greenhouse* di STPP Malang.

3.4.5 Aplikasi Bahan Pencemar

Penimbangan bahan pencemar berbentuk kristal CuSO_4 dilakukan di laboratorium Fisika Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Sebelum dilakukan penimbangan CuSO_4 dalam bentuk kristal CuSO_4 penimbangan dilakukan sesuai dengan masing-masing konsentrasi perlakuan yakni 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, 125 ppm. Kemudian dimasukkan ke dalam plastik klip untuk dilarutkan dengan aquades sebanyak 1 liter dan dikocok. Setelah larutan tercampur kemudian langsung di aplikasikan ke tanaman rami pada masing-masing perlakuan dan ulangan. Aplikasi bahan pencemar tembaga dilakukan pada saat tanaman berumur 50 HST yaitu pada masa akhir vegetatif tanaman atau pada saat bunga belum muncul.

3.4.6 Analisis Akhir

Analisis akhir dilakukan pada saat setelah pemanenan. Analisis laboratorium pada saat pemanenan tanaman rami yaitu ketika tanaman sudah berumur 3 bulan. Uji logam berat dengan AAS sesuai SNI. Uji Cu mengacu pada SNI 06-6989.6-2004. Sampel tanah dan tanaman dianalisis di laboratorium untuk diketahui besarnya kandungan logam tembaga yang terdapat pada sampel tanah dan tanaman tersebut. Analisis laboratorium dilakukan pada masing-masing sampel yakni sampel tanah dan tanaman sebagai berikut:

3.4.6.1 Analisis Sampel Tanah

Sampel tanah yang akan dianalisis diambil dengan menggunakan pipa berukuran panjang 25 cm dengan diameter kurang lebih 3,5 cm. Kemudian pipa di tancapkan ke dalam pot tanam hingga ke dalaman 20 cm dan dicabut kembali hingga ke atas permukaan. Kemudian sampel dikeluarkan dari pipa dan di masukkan ke dalam plastik klip untuk di bawa ke laboratorium. Pengambilan sampel dilakukan pada 24 polibag pengamatan.

3.4.6.2 Analisis Sampel Tanaman

Sampel tanaman yang akan dianalisis berupa akar dan bagian tajuk tanaman. Pengambilan sampel tanaman dilakukan secara destruktif. Pada ke 24 sampel penelitian yang akan dianalisis, sebelum dibawa ke laboratorium bagian tanaman antara akar dan tajuk tanaman rami di pisahkan terlebih dahulu pada wadah yang berbeda. Setelah dipanen sampel tanaman di bersihkan terlebih dahulu, kemudian di potong pada bagian tajuk dan bagian akarnya. Sampel tanaman kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kadar tembaga pada masing-masing bagian tanaman.

3.4 Indeks Bioremediasi dan Faktor Transfer

Perhitungan Indeks Bioremediasi (IBR) yang merupakan tingkat penurunan konsentrasi tembaga (CuSO_4) pada media tanam dilakukan berdasarkan data hasil perlakuan. Tingkat penurunan konsentrasi logam berat (%) diperoleh dengan membandingkan selisih konsentrasi awal dan akhir dengan konsentrasi awal kemudian dikalikan 100% (Tommy dan Palapa, 2009).

$$\text{IBR} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Faktor transfer dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tanaman mentranslokasikan logam berat dalam akar ke seluruh bagian tanaman (Mellem *et al.*, 2012). Nilai faktor transfer dihitung dengan menggunakan rumus.

$$\text{TF} = \frac{\text{Logam berat pada daun}}{\text{Logam berat pada akar}}$$

Faktor translokasi dapat membedakan bahwa mekanisme tanaman tersebut dalam melakukan akumulasi adalah fitostabilisasi dan fitoekstraksi. Apabila nilai $\text{TF} < 1$

repository.ub.ac.id

maka tanaman tersebut masuk ke dalam fitostabilisasi. Sedangkan jika nilai TF > 1 maka tanaman tersebut merupakan tanaman hiperakumulator dan masuk ke dalam mekanisme fitoekstraksi (Handayanto *et al.*, 2017). Perhitungan logam berat tembaga (Cu) yang terdapat pada tanaman dilakukan menggunakan rumus :

$$\text{Serapan (mg/tan)} = \text{Konsentrasi} \times \text{Berat Kering}$$

3.5 Variabel Pengamatan

Variabel pengamatan dalam penelitian ini adalah dilihat dari kondisi fisik tanaman, yang dilakukan setiap satu kali dalam satu minggu. Indikator yang diamati yakni tinggi tanaman, jumlah daun dan kadar logam berat baik yang terdapat pada tanah maupun tanaman.

3.5.1 Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan pada tanaman rami dengan menggunakan meteran (cm). Pengukuran dilakukan mulai dari bagian pangkal batang tanaman yang tumbuh di permukaan sampai dengan titik tertinggi batang dan diukur setiap satu kali dalam satu minggu selama penelitian yaitu dimulai pada 14 hari setelah tanam hingga panen. Pengukuran yang dilakukan menggunakan metode non destruktif.

3.5.2 Jumlah Daun

Perhitungan jumlah daun dilakukan setiap satu kali dalam dua minggu selama penelitian yaitu dimulai pada 14 hari setelah tanam hingga panen. Daun yang dihitung adalah daun yang membuka sempurna karena diduga sudah aktif melakukan proses metabolisme. Pengamatan jumlah daun dilakukan perhitungan secara manual. Pengukuran jumlah daun dilakukan dengan menggunakan metode non destruktif.

3.5.3 Kandungan Cu pada Tanah

Pengukuran konsentrasi tembaga pada tanah dilakukan diakhir panen. Hal yang dilakukan yakni pengambilan sampel tanah dengan cara menancapkan pipa di tanah sampai ke dasar pot tanam hingga tanah masuk ke dalam lubang pipa lalu pipa ditarik keluar. Tanah tersebut selanjutnya dikeluarkan dari pipa dan dimasukkan ke dalam plastik. Hal ini dilakukan pada 24 unit percobaan di dalam polibag. Selanjutnya semua sampel tanah yang akan dianalisis ke laboratorium untuk dianalisa kandungan logam berat tembaga (Cu) dengan menggunakan AAS.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.5.4 Kandungan Cu pada Tanaman

Pada akhir panen juga dilakukan analisis kadar tembaga pada tanaman dengan menggunakan metode AAS, dengan mengambil bagian tajuk dan akar tanaman. Pemanenan dilakukan dengan mengambil seluruh bagian tanaman, dicuci dan ditiriskan, kemudian sampel daun dan akar dianalisis ke laboratorium untuk dianalisa kandungan logam berat tembaga (Cu) dengan menggunakan AAS.

Tabel 3. Variabel Pengamatan

Objek	Parameter	Metode	Waktu Pengamatan
Tanah	Tembaga (Cu)	<i>Atomic Absorption Spektrophotometry</i> (AAS)	0 HST dan 81 HST
	pH	<i>Gravimetri</i>	0 HST dan 81 HST
Tanaman	Tinggi tanaman	Non destruktif	14 HST, 28 HST, 42 HST, 56 HST, 70 HST, 81 HST.
	Jumlah daun	Non destruktif	14 HST, 28 HST, 42 HST, 56 HST, 70 HST, 81 HST.
	Tembaga (Cu)	<i>Atomic Absorption Spektrophotometry</i> (AAS)	81 HST

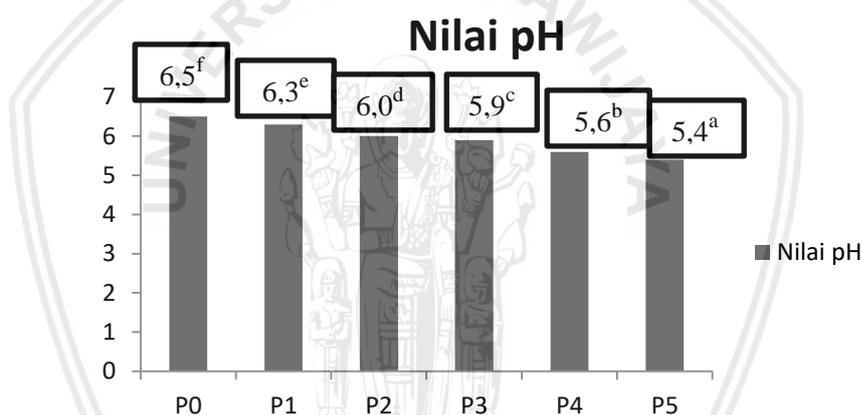
3.6 Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, akan didapatkan data primer berupa besarnya kadar Cu pada tanah dan tanaman. Dari hasil pengujian tersebut akan dilakukan analisis ragam (ANOVA). Data diolah dengan menggunakan aplikasi GENSTAT. Apabila hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan antar perlakuan maka dilanjutkan dengan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Ring Test*) pada taraf signifikan 5%.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis pH Tanah Terhadap Kandungan Tembaga (Cu)

Berdasarkan hasil pengukuran pH yang dilakukan didapatkan hasil yang disajikan di dalam grafik pada Gambar 3. dengan hasil tersebut maka nilai pH dapat diklasifikasikan bahwa pada perlakuan P0 (kontrol) sampai dengan perlakuan P4 tergolong dalam kategori agak masam dan pada perlakuan P5 masuk dalam kategori masam. Pada Gambar 3. menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam tembaga (Cu) yang diberikan pada tanah maka pH tanah semakin rendah yang menyebabkan tanah yang mengandung tembaga (Cu) termasuk ke dalam tanah yang asam dan kurang baik untuk pertumbuhan tanaman.



Gambar 1. Nilai pH Tanah Tanah Akhir; P0 adalah aplikasi Cu dengan dosis 0 ppm, P1 adalah dosis 25 ppm, P2 adalah dosis 50 ppm, P3 adalah dosis 75 ppm, P4 adalah dosis 100 ppm, dan P5 adalah dosis 125 ppm.

Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai pH pada setiap dosis aplikasi logam tembaga (Cu). Pada perlakuan kontrol P0 mendapatkan hasil pH yang paling besar yaitu 6,5 yang masuk dalam kategori agak masam. Diikuti dengan P1 dengan nilai pH sebesar 6,3 ; P2 dengan nilai pH sebesar 6,0 ; P3 dengan nilai pH sebesar 5,9 ; P4 dengan nilai pH sebesar 5,6 dan nilai pH yang paling kecil terdapat pada perlakuan P5 dengan dosis cemaran logam tembaga 125 ppm sebesar 5,4 dengan kategori pH masam. Dari nilai pH yang didapat dilakukan pengujian analisis ragam (ANOVA) menunjukkan nilai pH pada masing-masing perlakuan memiliki hasil berpengaruh nyata terhadap pemberian logam cemaran logam berat tembaga (Cu) ke dalam tanah sehingga

dilakukan uji lanjut DMRT dengan taraf 5%, yang menunjukkan bahwa semua nilai pH berbeda nyata terhadap perlakuan yang diberikan.

4.2 Pengaruh Pertumbuhan Tanaman Rami Terhadap Logam Berat Tembaga (Cu)

Tanaman rami yang diberikan perlakuan berupa cemaran logam berat Cu mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman rami yang berpengaruh pada parameter yang diamati yaitu tinggi tanaman dan jumlah daun. Tanaman rami ini menyerap cemaran logam berat tembaga (Cu) melalui akar tanaman dan di translokasikan ke bagian batang dan daun sehingga akan mempengaruhi dari tinggi tanaman dan jumlah daun.

4.2.1 Tinggi Tanaman Rami

Parameter yang diamati salah satunya adalah tinggi tanaman yang digunakan untuk melihat pertumbuhan dari tanaman rami akibat dari perlakuan berupa cemaran logam berat tembaga (Cu) yang diberikan dengan dosis yang berbeda-beda. Pengamatan tinggi tanaman rami ini dilakukan pada 14 HST, 28 HST, 42 HST, 56 HST, 70 HST, dan 81 HST dengan hasil yang didapat bahwa pertumbuhan tinggi tanaman rami dari minggu ke minggu mengalami peningkatan. Tinggi tanaman merupakan parameter yang menunjukkan aktivitas pertumbuhan vegetatif tanaman. Dengan adanya pertumbuhan tinggi tanaman maka tanaman telah mengalami pembelahan sel. Pertumbuhan tinggi tanaman juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti lingkungan, kondisi fisiologi dan genetik tanaman. Pertumbuhan tinggi tanaman rami juga berpengaruh akibat perlakuan dosis bahan pencemar tembaga yang diaplikasikan. Hasil dari pengamatan tinggi tanaman disajikan pada Tabel 7.

Tabel 1. Tinggi Tanaman Rami

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)					
	14 HST	28 HST	42 HST	56 HST	70 HST	81 HST
P0	9,75 ^{ab}	25,75 ^b	53,25 ^b	104,50 ^e	117,00 ^d	125,75 ^e
P1	7,00 ^a	23,25 ^b	56,00 ^b	97,75 ^d	106,50 ^c	110,25 ^d
P2	13,00 ^b	26,00 ^b	63,50 ^c	97,25 ^{cd}	106,75 ^c	108,25 ^{cd}
P3	9,75 ^{ab}	24,00 ^b	53,75 ^b	90,25 ^b	102,75 ^{bc}	103,25 ^{bc}
P4	12,25 ^b	17,75 ^a	33,25 ^a	79,00 ^a	94,75 ^a	96,00 ^a
P5	5,75 ^a	35,75 ^c	68,00 ^c	93,00 ^{bc}	98,00 ^{ab}	99,50 ^{ab}

Keterangan : Hari Setelah Tanam (HST) P0 adalah aplikasi Cu dengan dosis 0 ppm, P1 aplikasi Cu dosis 25 ppm, P2 aplikasi Cu dosis 50 ppm, P3 aplikasi Cu dosis 75 ppm, P4 aplikasi Cu dosis 100 ppm dan P5 aplikasi Cu dosis 125 ppm.

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa pemberian cemaran logam tembaga (Cu) yang diaplikasikan berpengaruh nyata terhadap tinggi pertumbuhan tanaman rami sehingga dilakukan uji lanjut DMRT. Tinggi tanaman rami memiliki peningkatan pada setiap minggunya dengan hasil pada perlakuan P0 (kontrol) memiliki nilai yang paling tinggi daripada perlakuan yang lainnya, ini disebabkan karena pada perlakuan P0 tidak terdapat cemaran logam berat tembaga (Cu) sehingga pertumbuhan tanaman rami dapat tumbuh dengan normal. Pada hasil analisis ragam menunjukkan bahwa semakin tinggi cemaran logam tembaga (Cu) yang diberikan ke dalam tanah dapat menghambat pertumbuhan tinggi tanaman rami menjadi rendah terlihat pada P1,P2,P3,P4 dan P5 sebelum diaplikasikan logam tembaga (Cu) pertumbuhan tanaman rami sangat baik namun setelah aplikasi cemaran logam tembaga (Cu) pertumbuhan tinggi tanaman menjadi terhambat bahkan memiliki nilai yang rendah, yang berarti hal tersebut menjadi salah satu faktor bahwa pencemaran logam berat tembaga dapat mengganggu proses metabolisme dari pertumbuhan tanaman rami.

4.2.2 Jumlah Daun Tanaman Rami

Parameter berikutnya yang diamati adalah jumlah daun dari tanaman rami yang menentukan optimal atau tidaknya suatu pertumbuhan tanaman. Daun merupakan organ tanaman tempat berlangsungnya proses fotosintesis yang memproduksi makanan untuk kebutuhan tanaman maupun sebagai cadangan makanan. Daun sangat berhubungan dengan aktifitas fotosintesis, karena mengandung klorofil yang diperlukan oleh tanaman dalam proses fotosintesis, semakin banyak jumlah daun maka hasil fotosintesis semakin tinggi, sehingga tanaman tumbuh dengan baik, bahkan jumlah daun juga dapat berpengaruh terhadap hasil produksi dari tanaman rami (Ekawati *et al.*,2006).

Perhitungan jumlah daun dilakukan pada daun yang sudah berkembang sempurna dan dihitung selama 3 bulan dengan interval 2 minggu sekali. Jumlah daun akan mempengaruhi fotosintat yang dihasilkan pada proses fotosintesis. Fotosintat akan diedarkan oleh jaringan floem ke dalam sel-sel tanaman yang masih mengalami pertumbuhan, sehingga dapat diketahui bahwa jumlah daun akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dari tanaman itu sendiri. Berdasarkan hasil pengamatan yang sudah dilakukan bersamaan dengan parameter tinggi tanaman didapatkan hasil jumlah daun tanaman rami disajikan pada Tabel 8.

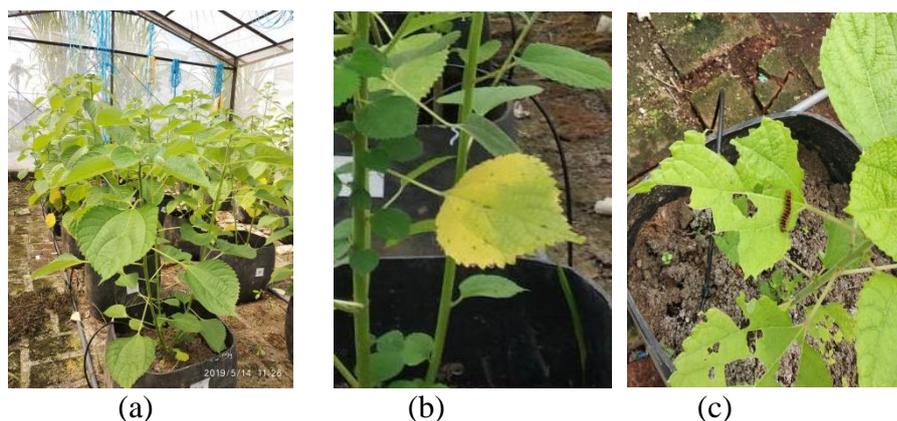
Tabel 2. Jumlah Daun Tanaman Rami

Perlakuan	Jumlah daun					
	14 HST	28 HST	42 HST	56 HST	70 HST	81 HST
P0	11	24 ^c	32 ^{ab}	44 ^{ab}	70 ^{bc}	87 ^b
P1	12	20 ^b	29 ^a	49 ^b	74 ^c	75 ^a
P2	14	16 ^a	36 ^{bc}	57 ^c	64 ^a	76 ^a
P3	12	20 ^b	37 ^c	46 ^{ab}	62 ^a	72 ^a
P4	9	14 ^a	34 ^{bc}	45 ^{ab}	63 ^a	74 ^a
P5	7	17 ^{ab}	36 ^{bc}	41 ^a	65 ^{ab}	70 ^a

Keterangan : Hari Setelah Tanam (HST) P0 adalah aplikasi Cu dengan dosis 0 ppm, P1 aplikasi Cu dosis 25 ppm, P2 aplikasi Cu dosis 50 ppm, P3 aplikasi Cu dosis 75 ppm, P4 aplikasi Cu dosis 100 ppm dan P5 aplikasi Cu dosis 125 ppm

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan bahwa perlakuan di 14 hst memiliki hasil tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman rami, sedangkan pada perlakuan di 28 HST, 42 HST, 56 HST, 70 HST dan 81 HST memiliki hasil berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan jumlah daun tanaman rami. Dengan memiliki pengaruh nyata maka dilakukan uji lanjut DMRT dengan hasil pada 28 hst semua perlakuan memiliki hasil berbeda nyata dengan perlakuan kontrol, pada 42 HST P3 memiliki hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan kontrol, pada 56 HST P2 memiliki hasil berbeda nyata dengan perlakuan kontrol, pada 70 HST P2,P3,P4 memiliki hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan kontrol dan pada 80 HST perlakuan kontrol memiliki hasil berbeda nyata dengan semua perlakuan.

Rata-rata jumlah daun tanaman rami pada setiap perlakuan memiliki hasil yang berbeda beda dan variatif namun hasil jumlah daun tanaman rami yang paling baik terdapat pada perlakuan P0 (kontrol) yang memiliki rata rata 87 daun pada akhir pengamatan. Pada P4 Gambar 4 terdapat serangan hama ulat bulu yang menyerang daun tanaman rami saat umur 20 HST yang merusak daun tanaman rami dan menghambat pertumbuhan tanaman rami. Tanaman rami memiliki sifat fisiologis dengan menggugurkan daunnya pada saat setelah berakhirnya masa vegetatif tanaman yaitu sekitar 40-50 HST (Balittas, 2012). Morfologi daun tanaman rami terdapat pada gambar 4.



Gambar 2. Morfologi daun (a), morfologi daun yang akan gugur (b), serangan hama ulat bulu pada daun (c)

4.3 Serapan Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Tajuk dan Akar Tanaman

Kandungan logam tembaga (Cu) yang terdapat di dalam tanah akan diserap oleh akar dan ditranslokasikan ke bagian-bagian yang terdapat di dalam tanaman sehingga akan berpengaruh pada kandungan tembaga (Cu) yang terdapat di dalam akar dan tajuk tanaman rami. Sesuai dengan hasil laboratorium yang didapatkan hasil dari kandungan logam tembaga (Cu) di dalam akar dan tajuk pada tanaman rami serta nilai faktor translokasi yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 3. Serapan Tembaga (Cu) pada Tanaman Rami dan Nilai Faktor Translokasi

Perlakuan	Serapan Tajuk ($\mu\text{g}/\text{tanaman}$)	Serapan Akar ($\mu\text{g}/\text{tanaman}$)	TF
P0	0,120 ^a	0,302 ^a	0,397
P1	0,639 ^b	5,906 ^b	0,108
P2	0,888 ^{bc}	4,849 ^b	0,183
P3	1,778 ^d	5,465 ^b	0,325
P4	1,214 ^c	6,849 ^{bc}	0,177
P5	0,748 ^{bc}	9,920 ^c	0,075

Keterangan: Bilangan pada kolom yang diikuti dengan huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf 5%. Hari Setelah Tanam (HST) pada P0 adalah aplikasi Cu dengan dosis 0 ppm, P1 adalah dosis Cu 25 ppm, P2 adalah dosis Cu 50 ppm, P3 adalah dosis Cu 75 ppm, P4 adalah dosis Cu 100 ppm, dan P5 adalah dosis Cu 125 ppm.

Tabel 9 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata antara dosis logam pada bagian daun tanaman rami dan akar tanaman rami yang dilanjutkan dengan uji DMRT dengan taraf 5% sehingga diperoleh konotasi yang berarti perbedaan antar perlakuan. Serapan logam tembaga (Cu) pada akar tanaman rami memiliki hasil yang lebih besar dibandingkan dengan serapan logam tembaga (Cu) di dalam

tajuk tanaman rami. Bagian akar kandungan logam tembaga (Cu) memiliki nilai paling rendah adalah P0 dengan nilai 0,302 dan paling besar terdapat pada P5 dengan nilai 9,920 hal ini disebabkan karena pada perlakuan P5 diberikan dosis cemaran logam Cu yang paling besar di dalam tanah sehingga akar juga akan menyerap logam tembaga (Cu) yang ada di dalam tanah sehingga perlakuan P0 berbeda nyata dengan perlakuan P5 ditunjukkan dengan konotasi yang berbeda, sedangkan pada P1, P2, P3 memiliki hasil yang tidak berbeda nyata yang ditunjukkan dengan notasi yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada akar memiliki hasil konsentrasi logam tembaga (Cu) yang berbeda beda tergantung dari masing-masing perlakuan yang diberikan.

Serapan logam berat tembaga (Cu) yang ada pada tajuk paling rendah terdapat pada perlakuan P0 (kontrol) dengan nilai 0,119 dan nilai yang besar terdapat pada P3 dengan nilai 1,854 hal ini menunjukkan bahwa nilai kandungan Cu yang besar pada tajuk disebabkan bahwa akar telah mentranslokasikan kandungan Cu yang ada di akar ke bagian tajuk sehingga kadar yang ada di dalam akar menjadi berkurang. Perlakuan P0 dan P3 ini ditandai dengan perbedaan konotasi sehingga menunjukkan hasil yang berbeda nyata, sama halnya pada P1 dan P4 memiliki hasil yang berbeda nyata karna perbedaan konotasi dengan nilai masing masing adalah 0,660 dan 1,248. Pada P2 dan P5 memiliki hasil yang tidak berbeda nyata karena terdapat konotasi yang sama dengan nilai masing-masing 0,858 dan 0,744. Dengan didapatkannya hasil konsentrasi logam tembaga (Cu) yang terdapat di dalam akar dan tajuk tanaman rami dilakukan perhitungan faktor translokasi. Faktor translokasi (TF) adalah nilai yang menunjukkan kemampuan senyawa dipindahkan dari akar tanaman ke organ lain (Mellen, 2012), dari nilai faktor translokasi yang didapatkan nantinya akan diklasifikasikan bahwa tanaman rami ini termasuk ke dalam mekanisme fitoremediasi berupa fitostabilisasi atau fitoekstraksi.

Nilai faktor translokasi paling besar ditunjukkan pada P0 dengan nilai 0,397 hal ini terjadi karena interval nilai kadar tembaga (Cu) yang ada di dalam akar dan di dalam daun tidak berbeda jauh. Sedangkan nilai TF yang paling kecil terdapat pada perlakuan P5 dengan nilai 0,075 karena perbedaan interval kandungan tembaga (Cu) pada daun dan akar yang terpaut jauh, diikuti dengan perlakuan

nilai TF terendah yaitu P1, P4, P2, dan P3 dengan nilai masing-masing 0,108; 0,177; 0,183; dan 0,325. Nilai faktor translokasi yang didapat dari masing-masing perlakuan menunjukkan bahwa memiliki nilai lebih kecil daripada 1 atau < 1 sehingga tanaman rami masuk ke dalam fitostabilisasi yang berarti tanaman rami merupakan tanaman yang toleran dan mampu menyerap logam tembaga (Cu) tetapi tidak masuk ke dalam kategori hiperakumulator (Handayanto *et al.*, 2017).

4.4 Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) Dalam Tanah

Berdasarkan dosis dari masing-masing cemaran logam tembaga (Cu) yang diberikan ke dalam tanah membuat kandungan logam berat di dalam tanah semakin besar, dengan analisis awal kandungan logam berat tembaga (Cu) yang ada di dalam tanah awal sebesar 0,177 ppm dan tanah pada media awal adalah 0,13 ppm (pembulatan bilangan dari 0,129) hasil laboratorium menunjukkan kadar akhir tanah yang disajikan pada Tabel 10.

Tabel 4. Kandungan Tembaga (Cu) dalam Tanah Akhir

Perlakuan	Kadar Cu pada Tanah Awal (mg/kg)	Kadar Cu pada Tanah Akhir (mg/kg)	IBR (%)
P0	0,13	0,19 ^a	0
P1	10,13	3,80 ^b	62
P2	20,13	4,41 ^{bc}	78
P3	30,13	5,76 ^{de}	80,7
P4	40,13	6,59 ^e	83,5
P5	50,13	5,41 ^{cd}	89,2

Keterangan: Bilangan pada kolom yang diikuti dengan huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf 5%. Hari Setelah Tanam (HST) pada P0 adalah aplikasi Cu dengan dosis 0 ppm, P1 adalah dosis Cu 25 ppm, P2 adalah dosis Cu 50 ppm, P3 adalah dosis Cu 75 ppm, P4 adalah dosis Cu 100 ppm, dan P5 adalah dosis Cu 125 ppm.

Hasil analisis ragam (ANOVA) Tabel 10 menunjukkan bahwa kandungan logam tembaga (Cu) pada masing-masing perlakuan memiliki hasil berpengaruh nyata sehingga dilakukan uji lanjut DMRT dengan taraf 5%. Kandungan logam tembaga (Cu) yang tersisa di dalam tanah paling banyak terdapat pada P4 dengan nilai 6,59 ppm dan nilai kandungan logam tembaga (Cu) yang paling kecil terdapat pada P0 dengan nilai 0,19 ppm. Perlakuan P0 dengan P1 memiliki

konotasi yang berbeda sehingga memiliki hasil berbeda nyata, sedangkan pada P2 dengan P5 memiliki hasil tidak berbeda nyata dengan nilai masing-masing 4,41 dan 5,41. Pada P3 dan P4 juga memiliki hasil tidak berbeda nyata dengan nilai masing-masing 5,76 dan 6,59.

Pemberian cemaran logam tembaga (Cu) dalam tanah menyebabkan kandungan Cu semakin meningkat. Penyerapan Cu di dalam akar terjadi sangat cepat sehingga tanaman rami mampu menyerap logam berat tembaga (Cu) yang ada di dalam tanah menyebabkan Cu tersisa di dalam tanah dalam jumlah yang berbeda-beda. Nilai kandungan logam tembaga (Cu) pada P4 lebih besar dari P5 hal ini diduga bahwa tanaman rami pada P4 tidak dapat menyerap Cu dengan baik sehingga sisa kandungan Cu di dalam tanah masih melebihi nilai kandungan Cu pada P5. Tembaga (Cu) yang tersedia di dalam tanah ini nantinya akan dimanfaatkan atau diserap oleh tanaman melalui akar kemudian ditranslokasikan ke bagian tanaman yang lain. Logam tembaga (Cu) dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sangat kecil, jika yang diserap oleh tanaman lebih besar tentunya akan terakumulasi pada beberapa bagian tanaman. Hal ini juga akan berdampak negatif jika Cu sudah masuk dalam rantai makanan, bagi lingkungan, manusia, maupun hewan.

Dari hasil nilai kandungan logam tembaga (Cu) akhir pada tanah dilakukan perhitungan untuk dapat menentukan Indeks Bioremediasi (IBR) yang merupakan perhitungan yang menunjukkan tingkat penurunan kadar logam tembaga (Cu) pada media tanam tanah yang dilakukan berdasarkan data hasil perlakuan Cu. Nilai IBR yang paling besar didapatkan pada perlakuan P4 dan P5 dengan nilai 83,5% dan 89,2%. P1 memiliki nilai IBR sebesar 62%, P2 memiliki nilai IBR sebesar 78%, P3 memiliki nilai IBR sebesar 80,66%. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman rami ini dapat menyerap logam berat tembaga (Cu) dan mampu menurunkan kadar Cu > 50%. Perhitungan nilai IBR ini menunjukkan bahwa jenis logam tersebut mempengaruhi penyerapan logam tertentu pada tanaman dalam proses fitoremediasi.

4.5 Pembahasan Umum

Tanaman rami (*Boehmeria nivea*) menjadi salah satu tanaman fitoremediator yang memiliki kemampuan dalam menyerap logam dan mampu

bertahan hidup dalam kondisi tanah yang terdapat cemaran logam berat tembaga (Cu) diatas ambang batas kritis tanah. Dosis CuSO_4 yang digunakan sebagai larutan pencemar pada tanaman rami yaitu 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm dan 125 ppm serta perlakuan kontrol. Dosis yang diberikan tersebut sesuai dengan batas kritis logam berat tembaga (Cu) pada tanaman dan tanah sebagai acuan tingkat bahaya akibat pencemaran logam tersebut Tabel 11.

Tabel 5. Batas Kritis Kontaminan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Tanah, Air dan Tanaman

Logam Berat	Tanah (ppm)	Air (ppm)	Tanaman (ppm)
Cu	60 – 125	2 – 3	20 – 100

Keterangan : ppm (*part per million*)

Sumber : (Alloway *et al.*,1997)

Pada tanah asli dengan kandungan logam Cu sebesar 0,177 ppm dan kandungan logam Cu di tanah pada media tanam sebesar 0,129 ppm. Kandungan Cu pada analisis awal penelitian ini tergolong sangat rendah, hal ini sebagaimana dijelaskan Rosmarkam dan Yuwono (2002) bahwa unsur Fe, Zn dan Cu yang terdapat di dalam tanah normal tergolong sangat rendah dengan nilai masing-masing $\text{Fe} < 50$ ppm, $\text{Zn} < 20$ ppm dan $\text{Cu} < 15$ ppm. Menurut Lahuddin (2007), hal ini terjadi karena Cu merupakan salah satu unsur hara esensial dalam jumlah yang sedikit (mikro), dibutuhkan oleh tanaman yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan tanaman sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat. Selain itu logam Cu juga dapat menggantikan unsur logam seperti Fe yang sangat penting dalam proses fisiologi dalam tubuh tanaman. Unsur tembaga diserap oleh akar tanaman dalam bentuk Cu^{2+} dan dibutuhkan dalam jumlah sedikit untuk proses oksidasi, reduksi dan pembentukan enzim (Plaster, 1992).

Pada tanah media tanam memiliki selisih sebesar 0,048 ppm dengan kandungan Cu lebih kecil dibanding kandungan Cu pada tanah asli. Kandungan ini menurun karena pada tanah media tanam mengandung bahan organik berupa cocopeat serta pupuk kandang dari kotoran kambing dan kotoran ayam. Menurut Yulipriyanto (2010) pemberian bahan organik ke dalam tanah akan meningkatkan produktifitas dan keberlanjutan dari umur tanaman yang disebabkan oleh dekomposisi dari bahan organik akan meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman

dan kesuburan tanah. Selain itu bahan organik ini akan menyediakan c-organik yang akan dikonsumsi oleh mikroorganisme sehingga penambahan bahan organik ini akan berpengaruh pada peningkatan mikroorganisme di dalam tanah, selain itu bahan organik dapat bereaksi dengan logam berat membentuk senyawa kompleks (*organo metallic complex*) sehingga dapat mengurangi sifat racun logam berat.

Parameter pH pada tanah awal dan pH pada media tanam terdapat perbedaan sebesar 0,24 dengan nilai pH pada tanah awal dengan nilai 6,36 dikelompokkan dalam agak masam dan pH tanah pada media tanam dengan nilai 6,60 dikelompokkan dalam kelompok netral. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian bahan organik pada tanah media tanam mampu meningkatkan nilai pH tanah, karena bahan organik memiliki kemampuan mengikat logam Al^{3+} , sehingga tidak terjadi reaksi hidrolisis Al^{3+} , dimana dari reaksi hidrolisis Al^{3+} dihasilkan 3 ion H^+ yang dapat mengasamkan tanah (Mukhlis *et al.*,2011).

4.5.1 Pengaruh pH terhadap Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu)

Aplikasi bahan pencemar logam berat tembaga (Cu) memiliki pengaruh dengan hasil semakin tinggi kadar logam berat Cu di dalam tanah maka semakin kecil juga nilai pH yang terdapat di dalam tanah. Menurut Abror *et al.*, (2013) bahwa nilai pH dan keberadaan logam berat yang ada di dalam tanah tidak berbanding lurus, dimana peningkatan pH diikuti oleh penurunan kandungan logam berat yang ada di dalam tanah dan berarti bahwa kandungan logam tembaga (Cu) di dalam tanah mempengaruhi nilai pH apabila dilihat dari hasil analisis ragam. Menurut Atmojo (2003) nilai pH tanah dapat dipengaruhi oleh kualitas atau tingkat kematangan pupuk organik yang diberikan. Pupuk organik yang belum terdekomposisi sempurna dapat menurunkan nilai pH tanah menjadi asam, sehingga kondisi ini dapat menjadi salah satu penyebab tanah akhir memiliki pH yang asam. Namun pernyataan Minardi (2006) menyatakan apabila bahan organik yang terdapat dalam pupuk terdekomposisi secara sempurna akan melepaskan asam organik berupa asam humat dan asam fulvat yang akan terjadi pertukaran dengan ion OH^- bebas, mengakibatkan peningkatan ion OH^- dalam larutan tanah sehingga nilai pH meningkat

Pendapat lain dikemukakan oleh Sontang (2004) bahwa peningkatan keasaman tanah biasanya disebabkan oleh adanya bekas pencucian asam mineral

bebas (*free mineral acids*) dan *carbonic acid*, seperti pada perlakuan pupuk kandang yang mengandung *free mineral acids* yang memberikan dampak pada penurunan pH tanah. Beberapa pupuk buatan seperti pupuk kandang dapat menyebabkan pH tanah menjadi lebih rendah, hal itu dapat terjadi karena pupuk larut dalam air yang dapat meningkatkan kandungan ion H^+ dalam tanah menjadi tinggi (Yunilda, 2008). Apabila ion H^+ tinggi pada air dapat meningkatkan kadar kelarutan logam berat tembaga yang tinggi pula yang mana ketika kadar kelarutannya tinggi maka akan dapat terserap dengan mudah oleh tanaman. Kedua pernyataan ini mendukung hasil yang menunjukkan pH tanah menjadi menurun ditambah dengan akumulasi Cu dalam jumlah besar membuat tanah memiliki pH yang asam.

Nilai pH ini memiliki hubungan dengan kandungan logam berat tembaga yang ada di dalam tanah sesuai dengan pendapat Hardjowigeno (2007) yang menyatakan bahwa kondisi tanah yang asam akan meningkatkan kelarutan Cu, sedangkan pada kondisi basa Cu cenderung dijerap oleh tanah sehingga akan tercuci dan terbawa air yang akan mengakibatkan defisiensi Cu pada tanaman sehingga membuat akar tanaman rami akan banyak terkandung logam berat tembaga (Cu) karena nilai pH yang bersifat masam. Hal ini juga sejalan dengan Notohadiprawiro (2006) yang menyebutkan bahwa kenaikan pH menyebabkan logam berat mengendap dan membuat logam berat terjerap lebih banyak atau lebih kuat sehingga mobilitasnya menurun dan akan tercuci bersama air. Nilai pH yang bersifat asam ini kurang baik untuk pertumbuhan tanaman secara umum yang disebutkan oleh Hardiani (2009) bahwa ion-ion unsur hara yang ada di dalam tanah yang diserap oleh tanaman juga menunjukkan adanya unsur-unsur yang bersifat racun bagi tanaman sehingga untuk membantu mempermudah penyerapan ion-ion yang dibutuhkan oleh tanaman sangat penting untuk mengetahui kondisi atau nilai pH yang ada di dalam tanah.

4.5.2 Pengaruh Pertumbuhan Tanaman Rami Terhadap Logam Berat Tembaga (Cu)

Berdasarkan hasil dari analisis ragam yang didapat untuk parameter pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman rami akibat pengaplikasian logam berat tembaga (Cu) menunjukkan hasil yang berpengaruh nyata, kedua

parameter ini menunjukkan bahwa adanya cemaran logam dapat mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman. Menurut Hardiani (2009), kadar Cu yang berlebihan pada media tanam dapat menghambat pertumbuhan tanaman sehingga tanaman tidak mampu tumbuh besar. Tanaman rami dapat tumbuh dengan baik namun kurang optimal karena adanya logam berat tembaga (Cu) pada tanah yang mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman rami. Pada parameter tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman rami pada perlakuan kontrol P0 memiliki persentase yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan yang diberikan cemaran logam tembaga (Cu) lainnya. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan logam berat termasuk tembaga (Cu) yang membuat aktivitas enzim menjadi terhambat dan mengganggu ketersediaan berbagai unsur hara sehingga menyebabkan pertumbuhan tanaman rami dengan cemaran logam tembaga menjadi terganggu (Handayanto *et al.*, 2017).

Menurut Gaetke *et al.*, (2003) kelebihan Cu di dalam tanaman dapat meningkatkan peroksida lipid yang dapat memacu kerusakan membran plasma. Peroksida lipid yang termediasi oleh tembaga (Cu) dapat berdampak pada kebocoran ion oleh membran plasma pada saat dinding sel mengikat Cu. Peningkatan peroksida lipid ini disebabkan kandungan tanah yang terakumulasi Cu dalam jumlah besar dapat berdampak faktor stress dan memicu respon fisiologis pada tanaman yang menghambat pertumbuhan dari tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman (Yruela, 2005). Akumulasi logam tembaga Cu pada tanaman juga berdampak pada aktivitas fotosintesis tidak berjalan dengan baik yang ditandai adanya peningkatan tinggi tanaman dan tidak diikuti dengan peningkatan berat kering tanaman (Hindersah *et al.*, 2015). Kation Cu yang terserap oleh akar masuk ke dalam tanaman akan menjadi inhibitor pembentukan enzim kemudian akan menghambat proses metabolisme tanaman, yang meliputi proses respirasi yang nantinya akan menghasilkan ATP yang digunakan untuk fotosintesis, kemudian hasil fotosintesis akan digunakan dan diedarkan untuk pembelahan sel (tinggi tanaman, jumlah daun dan biomassa tanaman) dan reproduksi akan terganggu. Apabila ini dilakukan terus menerus dalam jangka waktu panjang akan menyebabkan menurunnya kualitas pertumbuhan tanaman rami dan mengakibatkan pertumbuhan tanaman terganggu (Amelia *et al.*, 2008).

Pada kondisi di lapang tanaman rami tidak mengalami gejala keracunan atau kerusakan pada organ tanaman, sehingga diduga tanaman rami ini mampu mentolerir logam berat tembaga (Cu) dalam jumlah yang besar, bahkan dalam jumlah yang mendekati batas kritis pada tanah dan tanaman yaitu 100 ppm dan 125 ppm. Menurut Priyanto dan Prayitno (2007) logam berat yang masuk ke dalam tanaman akan berikatan dengan unsur hara lain dan mengalami imobilisasi ke bagian tanaman tertentu dan tidak dapat diedarkan ke seluruh tanaman karena telah mengalami proses detoksifikasi (penimbunan pada organ tertentu) sehingga tanaman masih dapat tumbuh dan unsur hara yang diperlukan tanaman masih mampu untuk mensuplai pertumbuhan tanaman meskipun tercemar logam berat Cu.

Salah satu unsur hara yang dapat dijadikan contoh adalah unsur hara K. Rohyanti *et al.*, (2011) menyatakan bahwa unsur K berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman, yaitu unsur K berperan dalam hal fotosintesis tanaman. Proses fotosintesis tanaman akan menghasilkan karbohidrat, protein dan senyawa organik lainnya. Senyawa-senyawa yang dihasilkan dipergunakan dalam proses pembelahan dan pembesaran atau diferensiasi sel-sel tanaman. Berlangsungnya pembelahan dan perpanjangan sel-sel tanaman akan memacu pertumbuhan pada tunas-tunas pucuk tanaman dan akhirnya akan mendorong terjadinya penambahan tinggi tanaman, jumlah daun dan biomassa tanaman.

Kandungan Cu yang tinggi akan menyebabkan proses penyerapan unsur hara oleh tanaman akan mengalami perbedaan karena jumlah kation Cu dalam tanah lebih banyak dibandingkan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman (Silaban *et al.*, 2013). Dwidjoseputro (1998) menyatakan bahwa suatu tanaman akan tumbuh baik dan subur apabila semua unsur hara yang dibutuhkan berada dalam jumlah yang cukup dan tersedia bagi tanaman. Lingga dan Marsono (1999) juga mengemukakan jika unsur hara yang dibutuhkan tanaman tersedia dalam jumlah yang cukup, maka hasil metabolisme akan meningkat. Hal ini menyebabkan pembelahan sel, pemanjangan dan pendewasaan jaringan menjadi lebih sempurna dan cepat, sehingga penambahan volume dan bobot semakin cepat yang pada akhirnya pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik.

4.5.3 Serapan Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Tajuk dan Akar Tanaman

Serapan logam tembaga (Cu) yang ada di dalam tanah akan terakumulasi ke dalam bagian akar dan tajuk dari tanaman rami. Organ yang paling banyak terakumulasi logam berat tembaga (Cu) adalah akar tanaman rami hal ini sesuai dengan pernyataan dari Yoon *et al.*, (2006) bahwa umumnya, logam berat yang diserap oleh tanaman lebih banyak terakumulasi dalam jaringan akar tanaman dibandingkan bagian lainnya. Hal tersebut mengindikasikan logam-logam berada dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman, namun memiliki mobilitas yang terbatas untuk di translokasikan menuju bagian atas tanaman. Tingginya kandungan logam berat dalam akar diduga karena sifat logam itu sendiri yang mempunyai massa yang besar sehingga sulit untuk di translokasikan ke jaringan tanaman bagian atas kecuali bila ada energi yang tersedia untuk memindahkan logam dari akar ke daun (Rustiawan, 2004).

Penyerapan dan translokasi tembaga (Cu) pada tanaman rami tergantung pada tingkat ketersediaan Cu dalam tanah dan kondisi pertumbuhan dari tanaman itu sendiri. Hasil ini menunjukkan bahwa akumulasi tembaga (Cu) paling banyak terdapat pada akar. Penyerapan logam oleh tanaman ini melibatkan sel akar, jaringan xylem, translokasi, detoksifikasi (menimbun logam di dalam organ tertentu seperti buah, daun, dan akar tanaman) dan sekuestrasi pada keseluruhan tanaman (Yang *et al.*, 2005). Dalam penelitian ini serapan Cu pada akar paling besar terdapat pada P5 dengan aplikasi dosis Cu 125 ppm dengan akumulasi pada akar 9,920 $\mu\text{g}/\text{tan}$ yang lebih besar dibandingkan pada daun. Hal ini sesuai dengan pendapat Liu dan Xiong (2005) yang menjelaskan bahwa semakin tinggi akumulasi Cu dalam akar tanaman maka akan berkorelasi dengan translokasi yang buruk. Kemampuan tanaman untuk mengekstrak Cu bergantung pada perolehan serapan Cu yang diperoleh akar dari tanah. Pada penelitian Alaoui-Sosse (2004) dengan menggunakan tanaman *Cucumis sativus*, akumulasi logam Cu dalam jumlah besar pada akar hanya mengalami mobilisasi ke atas menuju pucuk dalam jumlah sedikit. Pembatasan mobilisasi logam Cu yang bergerak dari akar ke pucuk dianggap sebagai mekanisme toleransi yang dioperasikan oleh tanaman dalam menerima toksisitas logam Cu (Verkleij dan Schat 2000).

Apabila pada bagian atas tanaman termasuk tajuk tanaman memiliki nilai Cu yang tinggi maka dapat terjadi karena adanya senyawa-senyawa aerosol di atmosfer yang mengandung Cu masuk ke dalam daun melalui stomata (Astrini, 2011). Hal tersebut juga secara alami terjadi pada tanaman-tanaman yang terpapar fungisida melalui aplikasi pada daun sehingga akan mengakumulasi Cu dibagian mesofil daun. Kandungan logam berat di dalam tajuk daun dapat mempengaruhi konsentrasi klorofil di dalamnya yang menjadi dampak dari kondisi cekaman logam berat pada tanaman. Kandungan klorofil dapat berkurang secara signifikan karena toksisitas tembaga (Cu) menyebabkan gangguan aktivitas enzim yang menghambat berkaitan dengan biosintesis klorofil (John *et al.*, 2009). Akumulasi logam pada tajuk tanaman dapat merusak kloroplas yang menyebabkan pengurangan isi klorofil dan gangguan pada membran tilakoid (Aggarwal *et al.*, 2011).

Kandungan logam tembaga (Cu) yang terdapat pada daun menyebabkan daun mengalami kerusakan berupa daun kering seperti terbakar (nekrosis) dan menggulung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Kerusakan berupa daun kering, kuning maupun menggulung karena adanya toksisitas oleh logam berat Cu sehingga menjadikan tanaman menjadi rusak. Menurut Lahudin (2007) mengatakan bahwa kelebihan kadar Cu dalam media yang melewati ambang batas akan menjadi pemicu terjadinya keracunan khususnya pada tanaman seperti daun klorosis dan nekrosis. Kejadian ini terjadi hampir disemua daun pada perlakuan tanaman rami yang diberikan cemaran logam tembaga (Cu) meskipun dalam jumlah yang sedikit namun kejadian ini hampir terjadi pada setiap harinya.



Gambar 3. Daun yang mengalami kerusakan

Nilai Translokasi (TF) yang didapatkan menunjukkan mekanisme fitoremediasi ke dalam fitostabilisasi karena semua perlakuan menunjukkan nilai $TF < 1$. Fitostabilisasi merupakan penggunaan beberapa tanaman untuk menstabilkan kontaminan dari tanah yang tercemar. Teknik ini digunakan untuk menurunkan mobilitas, hal ini mencegah pergerakan bahan pencemar masuk ke dalam air tanah atau masuk ke dalam rantai makanan (Erakhrumen, 2007). Tanaman dapat melakukan imobilisasi logam berat pada tanah dengan mekanisme penyerapan dari akar, pengendapan dan pengumpulan pengurangan valensi logam pada rizosfer (Ali, 2013). Dengan mengeluarkan enzim redoks khusus, tanaman mengkonversi logam berbahaya menjadi bentuk yang relatif kurang beracun sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan tanaman akibat cekaman logam (Yoon, 2006). Hal tersebut menunjukkan bahwa translokasi logam berat tembaga (Cu) dari akar ke tajuk tanaman tidak banyak sehingga masih aman apabila daun tanaman rami diberikan sebagai pakan ternak.

Tanaman rami merupakan pilihan yang tidak buruk untuk digunakan sebagai tanaman fitoremediator pada pencemaran logam berat untuk perbaikan tanah. Penelitian Jian *et al.*, (2016) menjelaskan tanaman rami yang tumbuh di area pertambangan melaporkan, bahwa koefisien transfer tembaga (Cu) pada nilai Faktor Translokasi yang menunjukkan fitoremediasi dengan mekanisme fitostabilisasi pada nilai TF sebesar 0,98 (She *et al.*, 2011).

4.5.4 Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) Dalam Tanah

Kandungan logam berat tembaga (Cu) di dalam tanah yang tersisa paling banyak terdapat pada perlakuan P4 dengan nilai 6,59 ppm pada cemaran tembaga dosis 100 ppm. Hal ini tidak sejalan dengan pernyataan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam berat pada tanah maka penyerapan logam berat oleh tanaman akan semakin tinggi. Menurut Indrasti *et al.*, (2006) faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat salah satunya ialah konsentrasi logam berat di dalam tanah, semakin tinggi konsentrasi logam maka akan semakin banyak logam yang dapat diserap tanaman. Hal ini mungkin dapat disebabkan oleh kemampuan tanaman rami dalam mengakumulasi Cu yang berbeda-beda pada setiap tanaman. Menurut Nugrahanto *et al.*, (2014) ion-ion seperti Ca^{2+} , K^+ dan NH_4^+ apabila terdapat dalam jumlah besar dapat mengurangi penyerapan

Cu, apabila salah satu ion tersebut berada dalam jumlah besar di tanah akan menghambat serapan hara yang lain salah satunya adalah penyerapan unsur hara mikro Cu, sehingga diduga pada P4 terdapat ion-ion tersebut yang dapat menghambat penyerapan logam berat tembaga (Cu) dari dalam tanah ke tanaman. Hal ini juga menyebabkan pertumbuhan tanaman rami dari parameter tinggi tanaman dan jumlah daun pada P4 memiliki pengaruh pertumbuhan yang normal sama dengan pertumbuhan tanaman rami pada perlakuan kontrol.

Berdasarkan hasil sisa kandungan logam tembaga (Cu) di dalam tanah ini didapatkan nilai Indeks Bioremediasi (IBR) dengan semakin besar dosis logam tembaga Cu yang diaplikasikan maka semakin besar nilai IBR yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Putri (2012), yang menyebutkan bahwa akan terjadi penurunan konsentrasi logam berat pada tanah setelah fitoremediasi dibandingkan sebelum fitoremediasi. Penurunan kandungan Cu dalam tanah mengindikasikan bahwa telah terjadi pemindahan logam dari tanah ke tumbuhan. Media tanam diuji untuk mengetahui efektivitas tanaman dalam menyerap Cu. Nilai tertinggi efektivitas tanaman rami dalam menyerap logam berat tembaga (Cu) adalah sebesar 89,2% dengan konsentrasi 125 ppm. Berdasarkan persentase IBR tersebut, tanaman rami mampu dan efektif menurunkan kadar Cu > 50%. Hasil ini menunjukkan bahwa tanaman rami memiliki kemampuan menyerap logam berat tembaga (Cu).

Kandungan logam berat tembaga (Cu) pada tanah, akar dan tajuk tanaman terdapat perbedaan jumlah Cu yang tidak sesuai dengan dosis yang sudah di aplikasikan. Hal ini dapat memungkinkan terjadinya aktivitas pencucian (*leaching*) atau lepasnya logam berat dari tanah yang terbawa oleh air. Menurut Palar (2008) menjelaskan bahwa selain sebagai media tumbuh tanaman, tanah juga memiliki peranan yang penting dalam proses pengangkutan bahan-bahan pencemar yang ada di dalam tanah, proses pengangkutan itu sendiri dibagi menjadi tiga yakni pengaliran (*flow on*), peresapan (*absorption*) dan pelumeran (*leaching*). Peresapan dan pelumeran merupakan proses pengangkutan bahan-bahan pencemar yang paling dominan. Pelumeran (*leaching*) polutan banyak dipengaruhi oleh faktor kandungan air dalam lapisan tanah dan dalam bahan pencemar itu sendiri, hal ini disebabkan besar kecilnya kandungan air dalam tanah

sangat menentukan tingkat kestabilan bahan pencemar yang sekaligus menjadi penentu dari proses pelumeran. Polutan ini dapat berinteraksi dengan air tanah dan akan terbentuk ion-ion yang kemudian ion tersebut terangkut sesuai dengan aliran lumeran dalam badan tanah dan sebagian akan berpindah mengikuti aliran permukaan (*flow on*). Perpindahan lumeran ini akan memperkecil konsentrasi polutan di dalam badan tanah.

Analisis lain yang mungkin terjadi adalah adanya ikatan antara senyawa organik dengan ion logam yang terkoordinasi. Ikatan antara senyawa organik khususnya berupa asam-asam humat dan fulvat dengan logam yang disebut sebagai kelasi atau khelat. Menurut Suci (2003) menyatakan bahwa adanya senyawa organik yang cukup memungkinkan terjadinya khelat yang berikatan dengan kation logam seperti tembaga (Cu), unsur Cu^{2+} terikat lebih kuat pada senyawa organik dibandingkan unsur mikro lainnya seperti Zn, Mn dan logam-logam lainnya, ikatan ini dapat mengurangi ketersediaan tembaga (Cu) di dalam tanah, khususnya ketersediaan bagi tanaman. Kedua pernyataan tersebut memungkinkan dugaan yang terjadi akibat kandungan logam akhir yang tidak sesuai dengan dosis yang sudah diaplikasikan. Apabila kedua dugaan benar-benar terjadi maka hasil dari perhitungan Indeks Bioremediasi (IBR) tidak menunjukkan hasil yang riil serapan logam tembaga oleh tanaman rami, namun dipengaruhi oleh beberapa faktor lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abror, M., T. Sabrina, B. Hidayat. 2013. Pengaruh Biomassa Azolla Terhadap Status Logam Berat Timbal (Pb) Pada Tanah. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 1(3) : 5 – 7.
- Aggarwal A., I. Sharma, Tripathi. BN, A.K. Munjal, M. Baunthiya, V. Sharma. (2011) Metal toxicity and photosynthesis. *Photosynthesis: Overviews on recent progress and future perspectives* 16:229–236
- Alaoui-Sossé B., P. Genet, F. Vinit-Dunand, M.L. Toussaint, D. Epron, P.M. Badot. (2004) Effect of Copper on Growth in Cucumber Plants (*Cucumis sativus*) and its Relationships with Carbohydrate Accumulation and Changes in Ion Contents. *Plant Sci* 166:1213–1218
- Ali, H., E. Khan And M.A. Sajad. 2013. Phytoremediation of Heavy Metals Concepts and Applications. *Chemosphere*91: 869-881
- Alkorta, I., J. Hernandez-Allica, J. Becerril, I. Amezaga, I. Albizu And C. Garbisu, 2004. Recent Findings on the Phytoremediation of Soils Contaminated with Environmentally Toxic Heavy Metals and Metalloids such as Zinc, Cadmium, Lead, and Arsenic. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 3: 71-90.
- Amelia, R.A., F. Rachmadiarti and Yuliani. 2008. Analysis of Lead Level and the Growth of Rice Plants in Rice Fields in Betas Village, Kapulungan, Gempolpasuruan. *LenteraBio* 4(3): 187-191.
- Atmojo, M.F. 2003. Agroekosistem Tanah Mineral Masam. Yogyakarta : UGM Press.
- Astrini, N. 2011. Pencemaran Pb, Cd dan Cu Dalam Kangkung, Bayam dan Air Terhadap Pencemaran Dalam Tanah Di Kotamadiya Bogor.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2015. Prosiding Lokakarya Model Pengembangan Agribisnis Rami. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan Bogor.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Chaney, R.L. 1995. Potential use of metal hyperaccumulators. *Mining Environ Manage* 3: 9 – 11
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluh hidup. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Dhomiri. 2002. Pupuk Organik Cair Aplikasi dan Manfaatnya. Jakarta: PT AgroMedia Pustaka.

- Dwijoseputro, D. 1998. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. Gramedia. Jakarta. 232 hal
- Erakhrumen, A.A. 2007. Phytoremediation: an environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation in developing countries. *Educational Research and Reviews* 2: 151-156
- Gaetke, L.M. (2003) Copper Toxicity, Oxidative Stress, and Antioxidant Nutrients. *Toxicol* 189:147–163
- Garbisu, C. And I. Alkorta. 2003. Basic Concepts on Heavy Metal Soil Bioremediation. *European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection* 3 (1): 58-66
- Govindasamy, C., M. Arulpriya, P. Ruban, L.J. Francisca, A. Ilayaraja, 2011. Concentration of Heavy Metals in Seagrasses Tissue of the Palk Strait, Bay of Bengal. *Int. J. Environ. Sci.* 2, 145–153.
- Greipsson, S. 2011. Phytoremediation. *Nature Education Knowledge* 3 (10) : 7
- Handayanto, E., Y. Nuraini, N. Maddarisna, S. Netty, Amrullah. 2017. Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah. Malang : UB Press. 3-19.
- Hardjowigeno, S., 2007. Ilmu Tanah. Jakarta: Akademika Pressindo. 296 Halaman.
- Hardiani. 2009. Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam CuSO₄ pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *Jurnal BS Balai Besar Pulp dan Kertas Bandung*. 44(1): 27 – 40.
- Hardiani. 2008: Bioremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses Deinking. *Jurnal Selulosa* 1(1) : 31 – 41.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. Bogor. Pusat Penelitian Biologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Hindersah, R. And J. Matheus. 2015. Response of Maize in Cadmium Contaminated Mine tailings Following Indigenous Bacterial Inoculation. *Jurnal Budidaya Tanaman* 4(1):8-14 (in Indonesian).
- Indrasti, N.S., B. Suprihatin dan A. Novita. 2006. Penyerapan logam Pb dan Cd oleh eceng gondok : pengaruh konsentrasi logam dan lama waktu kontak. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 16 (1): 44-50.
- John, R., P. Ahmad, K. Gadgil, S. Sharma. (2009) Heavy metal toxicity: effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *Int J Plant Prod* 3:65–75
- Jian, M., Y. Yang, H. Yu, J. Ye, C. Jin., (2016) Heavy metal enrichment and bioaccumulation characteristics of *Boehmeria nivea*, a dominant species of plant growing in Dexing Mining Area of Jiangxi Province. *Journal of Ecology and rural Environment* 32:481–496

- KLH-Dalhousie University 1992. Environmental management development in Indonesia.p. 5-8. In Indonesia Environmental Soil Quality Criteria for Contaminated Sites. Project of the Ministry States for Population and Environmental Republic of Indonesia and Dalhousie University Canada . With support from the Canadian International Development Agency.
- Kuperman, H. 1997. Cellular Compartementation of Zinc in Leaves of The Hyperaccumulator *Thalpi caerulescens*. *Plant Phsyiology* 119: 305-312
- Lahudin. 2007. Aspek Unsur Makro dalam Kesuburan Media. Universitas Sumatera Utara
- Lingga P dan Marsono, 1994. Petunjuk Penggunaan Pupuk. Penebar Swadaya. Jakarta. 250 hal.
- Liu, J., Z. Xiong. (2005) Differences in accumulation and physiological response to copper stress in three populations of *Elsholtzia haichowensis* S. *Water Air Soil Pollut* 168:5–16
- Meagher, R.B., C.L. Rugh, M.K. Kandsamy and N.J. Wang. 2000. Engineering phytoremediation of mercury pollution in soil and water using bacterial genes. In: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, N. Terry, and G. Bailuelos. Eds. Lewis Publishers, USA, pp 201-219.
- Merian, M., Anke. 2004. Mercury. In Elements and their compounds in the environment: Metals and their compounds (Vol. 2), ed. E., M. Ihnat, and M. Stoepler. Wiley-VCH Verlag Gmb &Co. KGa. Weinheim Ebbs, S., L. Kochian, M. Lasat.
- Minardi, 2006. Peran Asam Humat dan Fulvat dari Bahan Organik dalam Pelepasan P Terjerap pada Andisol. Program Pascasarjanan Universitas Brawijaya. Malang 21 hal.
- Mubarak, H., N. Mirza, Li-YuanChai, Zhi-HuiYang, W. Yong, Chong-JianTang, Q. Mahmood, A. Pervez, U. Farooq, S. Fahad, W. Nasim, dan K. H.M. Siddique. 2016. Biochemical and Metabolic Changes in Arsenic Contaminated *Boehmeria nivea* L. *BioMed Research International*. Article ID 1423828, 8 pages.
- Mukhlis, S., M.M Hassan, M. Moniruzzaman, N. Biswas, M.M. Rahman, M.E. Haque. (2011) Study on the accumulation of copper from soil by shoots and roots of some selective plant species. *International Journal of Biosciences* 3:68–75
- Musaddad, M.A. 2007. Agribisnis Tanaman Rami. Depok : Panebar Swadaya.
- Naidu, R., dan N.S. Bolan. 2003, Contaminant Chemistry In Soils: Key Concepts And Bioavailability. *Developments in Soil Science*, Volume 32 Ed.
- Napitupulu. 2018. Kitab Tumbuhan Obat. Jakarta: Agriflo Press.
- Notohadiprawiro. 2006. Pengelolaan Kesuburan Tanah dan Peningkatan Efisiensi Pemupukan.

- Palar, H. 2008. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.
- Parmar, S. dan S. Vir. 2015. Hytoremediation Approaches for Heavy Metal Pollution: A Review. *Journal Of Plant Science and Research*. 02(02): 135.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1990. Peraturan Pemerintah RI No 20 Tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- Plaster. 1992. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculation on Heavy Metal Accumulation of Maize Grown in A Naturally Contaminated Soil. *International Journal of Phytoremediation* 9: 345-353.
- Pratama, D., D. Septiani, E. Hidayat, H. Wijianto, Yuniar. 2010. Validasi Metode Analisis Pb Dengan Menggunakan Flame Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Untuk Studi Biogeokimia Dan Toksisitas Logam Timbal Pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum escelentum*). *Analit:Analytical and Environmental Chemistry*. 1(01).
- Priyanto, B. dan Prayitno J, 2007. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat.
- Putri, S. 2012. Pengolahan Air Asam Tambang Di PT. Berau Coal Lati Mine Operation. Tanjung Redeb
- Rohyanti, Muchyar, dan N. Hayani. 2011. Pengaruh Pemberian Bokashi Jerami Padi terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum mill*) di Tanah Podsolik Merah Kuning. *Jurnal Wahana-Bio*. VI: 26-29
- Rosmarkam A., dan N. Yuwono. 2002. Ilmu Kesuburan Tanah. Kanisius. Yogyakarta.
- Santoso, Budi dan S. Adji. 2008. Budidaya Tanaman Rami Untuk Produksi Serat Tekstil. Malang: Bayumedia Publishing.
- Schmitt W.H., H. Sticher. 1991. Heavy metals coumpounds in the soil. In *Metals and Their Comounds in the Environment*. Edited by Ernest Merian. Weinheim - New York. Basel. Cambridge.
- Singh, S. 2012. Phytoremediation: a Sustainable Alternative for Enviromental Challenges. *International Journal of Green and Herbal Chemistry* 1: 133-139
- Slavin, M. 1978. Atomic Absorption Spectroscopy Second Edition. New York : United State of America
- Subandi. 2011. Budidaya Tanaman Perkebunan (Bagian Tanaman Rami). Bandung: Gunung Djati Press.
- She, W., Y. Jie, H. Xing, Y. Lu, W. Kang, and D. Wang. (2011) Heavy Metal Concentrations and Bioacumulation of Ramie (*Boehmeria nivea*) Growing on 3 Mining Areas in Shimen, lengshuijiang and Liuyang of Hunan province. *Acta Ecol Sin* 31:874–881

- Silaban., S. Nia, Nelvia dan Idwar, 2013. Pertumbuhan Tanaman Padi Fase Vegetatif dan Akumulasi Logam Berat Pada Jaringan Tanaman Padi Varietas Payo Besar dan Inpari 12 di Lahan Gambut yang diberi Amelioran Dregs. Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Riau. Pekanbaru.
- Suci, H. 2003. Sifat Kimia Entisol Pada Sistem Pertanian Organik. *Jurnal Ilmu Pertanian* 10 (2) : 63-69.
- Sudarmaji, J., Mukono dan Corie, 2006. Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol. 2, No. 2, Januari 134 2006:129 -142
- Tangahu, B.V., S.R.S Abdullah, H.B.M. Idris, N. Anuar, And M. Mukhlisin. 2011. Review on heavy metal (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering* 31 : 20-26
- Verkleij, J.A.C., and H. Schat. (2000) Mechanisms of Metal Tolerance in Plants. Heavy metal tolerance in plants-evolutionary aspects, CRC press, pp 179–193
- Vishnoi, S.R and P.N. Srivastava. 2008. Phytoremediation-green for enviromental clean. In: The 12th World Lake Conference, pp. 101 6-1021
- Yang, X.E., X.X. Long, W.Z. Ni, and C.U. Fu. (2005) *Sedum alfredii* H: a new Zn hyperaccumulating plant first found in China. *Chin Sci Bull* 47: 1634–1637
- Yoon, J., X. Cao, and O. Zhou. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the total Environment* 368 : 456-464
- Yruela, I. (2005) Copper in Plants. *Braz J Plant Physiol* 17:145–156
- Yulipriyanto, H. 2010. Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaanya. Yogyakarta : Graha Ilmu.