

**ANALISIS POTENSI TANAMAN HUTAN INDUSTRI SEBAGAI
AGEN FITOREMEDIASI CEMARAN LOGAM BERAT
ASAL ABU TERBANG**

***ANALYSIS OF INDUSTRIAL FOREST PLANTS AS FITOREMEDIATION AGENTS OF
HEAVY METALS
FLY ASH CONTAMINATION***

¹Fikri Daryat, ²Aslim Rasyad, ³Syafruddin Nasution
Postgraduate Program of Riau University
Address Jl. Pattimura No. 09 Gobah, Pekanbaru, Riau
email : fikridaryat@ymail.com

ABSTRACT

Analysis of the ability of industrial forest plants such as *A. crassicarpa* and *A. mangium* can act as phytoremediation agents in absorbing heavy metals (Cd, Co and Pb) contained in coal-burning fly ash boilers that can be used as peat soil ameliorants. Provision of fly ash on peat soils has potential to pollute the soil. The purpose of this study was to analyze the effectiveness of forest industrial plants in reducing heavy metal content in soils contaminated with fly ash and to estimate how much economic valuation is valued for the phytoremediation ability of acacia plants in the case of heavy metal contamination from pulp industry activities and paper. The results of the analysis of the ability of industrial forest plants in absorbing heavy metals show that *A. crassicarpa* is better at absorbing Pb metal, *A. mangium* is better at absorbing Co metals and Cd metal showed no significant difference between the two types of industrial forest plants.

Keywords: phytoremediation, heavy metal, fly ash, Acacia mangium, Acacia crassicarpa

PENDAHULUAN

Dewasa ini kegiatan industri *pulp* dan kertas berkembang cukup pesat seiring dengan pertambahan kebutuhan kertas dan produk hilir lainnya, yang secara tidak langsung menyumbang devisa negara yang sangat besar bagi sektor non migas. Dampak positif bagi perekonomian nasional akibat perkembangan industri *pulp* dan kertas ini, bukan tidak diikuti oleh berbagai dampak negatif terutama terhadap lingkungan. Hal ini disebabkan limbah yang dihasilkan dari industri ini berpotensi mencemari lingkungan mulai dari cemaran ringan sampai cemaran berat seperti limbah logam berat.

PT. Indah Kiat Pulp and Paper (PT. IKPP) Perawang bergerak dibidang industri

penghasil *pulp* dan juga kertas yang memanfaatkan kayu *Acacia crassicarpa* dan *Eucalyptus pellita* sebagai bahan baku utamanya. Pada tahapan proses produksi pulp dan kertas oleh PT. IKPP akan dihasilkan bahan-bahan samping berupa limbah padat baik pada tahapan persiapan bahan baku, proses pemulihan bahan kimia (*chemical recovery*), proses pembangkit uap dan listrik (*power boiler*) ataupun dalam proses pengolahan air limbah (*waste water treatment*). Bahan-bahan sisa tersebut berupa lumpur (*sludge*) dari Instalasi Pengolahan Air Limbah, abu terbang (*fly ash*) dari cerobong, kulit kayu (*bark*), *dreg* maupun *grits* dari sisa pengolahan kayu menjadi *pulp* dan kertas. Diantara bahan-bahan sisa tersebut terdapat beberapamaterial yang sangat

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

berpotensi untuk dikembangkan sebagai produk pendukung dalam pengelolaan Hutan Tanaman Industri (HTI) yaitu berupa *fly ash* dari pembakaran batu bara.

Abu Terbang hasil pembakaran batu bara yang berasal dari abu boiler industri pulp dan kertas mengandung sejumlah logam berat seperti Cd, Zn, Mo, Co, Cu, Pb, Cr dan Hg (Purwati *et al.* 2007) yang berpotensi mengganggu stabilitas lingkungan. Hal ini sejalan dengan penelitian (Laksmi *et al.* 2010), menyatakan bahwa kandungan logam berat pada *fly ash* (abu terbang) dari hasil sisa pembakaran PLTU Tanjung Jati B Jepara mengandung Pb sebanyak 0,79 ppm dan Cr sebesar 0,67 ppm. Persentase rata – rata *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara mencapai 85%-95% (JCOAL 2008).

Akasia merupakan salah satu komoditi Hutan Tanaman Industri yang berpotensi untuk dikembangkan pada bidang ekonomi maupun lingkungan. Genus *Acacia* memiliki banyak keunggulan jika dibandingkan jenis lainnya, terutama mampu tumbuh pada kondisi lahan basah maupun kering. Kemampuannya yang mampu menekan keberadaan gulma, serta nodul rhizobiumnya yang melimpah menjadikan jenis ini salah satu primadona pada kegiatan Hutan Tanaman Industri (Yuliasuti dan Surip 2012).

Beberapa dari jenis akasia selain memiliki keunggulan dalam adaptasi terhadap lahan dan hasil kayunya yang sangat baik juga memiliki kemampuan lainnya yaitu dalam proses remediasi terhadap bahan pencemar terutama logam berat. Beberapa penelitian telah menunjukkan adanya kemampuan dalam penyerapan logam berat dari tanaman sejenis. Menurut (Majid *et al.* 2011), tanaman *A. mangium* mampu mentoleransi dan menyerap logam berat jenis Cu hingga mencapai 93,55 ppm. Tanaman *A. mangium* juga dilaporkan mampu menyerap logam Al dan Fe dengan baik pada areal pertambangan (Jeyanni 2018). Penelitian lainnya dilakukan pada jenis lainnya yaitu *Eucalyptus camaldulensis* yang sangat berpotensi dalam fitostabilisasi tanah terkontaminasi Cd (Meeinkuirt *et al.* 2016). Namun sejauh ini belum ada penelitian

mengenai pemanfaatan *Acacia crassicarpa* dan *Acacia mangium* sebagai agen fitoremediasi dalam kasus cemaran *fly ash* dari pembakaran boiler berbahan bakar batu bara pada pabrik pulp dan kertas yang digunakan sebagai amelioran gambut.

Pemilihan jenis Akasia sebagai agen fitoremediasi jugadidukung oleh kemampuan pertumbuhannya yang relatif cepat (*fast growing*) yang memungkinkan tanaman mampu menyerap unsur – unsur yang tersedia dengan cepat dari tanah. Efektifitas *fly ash* sebagai amelioran tanah jika di aplikasikan pada kegiatan Hutan Tanaman Industri harus diimbangi dengan kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat yang kemungkinan besar terkandung pada *fly ash* yang berasal dari pembakaran batu bara tersebut guna mengurangi dampak terjadinya pencemaran ke lingkungan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September hingga Desember 2019, pada areal tanam *Native Species Research and Development*, PT. Arara Abadi, Perawang. Analisis logam berat pada media tanam dan biomassa tanaman dilakukan di Laboratorium Tanah, Research dan Development PT. Arara Abadi, Perawang.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipet ukur 10 ml, labu ukur 100 ml dan 1000 ml, labu mikro kjeldhal 250 ml, pipet seukuran 1 ml; 5 ml; 10 ml dan 25 ml, gelas ukur 100 ml, spektrofotometer, papan grid, penggaris, kaliper digital, counter, AAS dan lain lain.

Tumbuhan uji yang digunakan adalah bibit *Acacia crassicarpa* dan *Acacia mangium* yang berasal dari *nursery* PT. Arara Abadi. Media gambut yang diambil dari areal konsesi PT. Arara Abadi yaitu di Distrik Pusaka, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Abu terbang (*fly*

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

ash) murni hasil pembakaran batu bara berasal dari pembakaran boiler PT. IKPP dengan kode boiler MB-23. Bahan lain yang diperlukan antara lain pupuk dasar rock phosapte dan urea serta bahan – bahan kimia untuk analisis tanah tanah dan biomassa tanaman seperti Fenolfetalin dan H₂SO₄.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimen faktorial dengan penempatan letak percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan asumsi bahwa kondisi tanah, suhu udara, kelembaban dan pemupukan dapat dibuat agar homogen. Dua jenis tanaman HTI yaitu *A. crassicarpa* dan *A. mangium* dijadikan faktor utama dari empat taraf abu terbang yaitu masing – masing 0 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm fly ash dan kontrol yaitu tanpa penambahan fly ash per pot. Kombinasi perlakuan terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan pemberian logam berat terhadap media tanam

Jenis Tanaman	Dosis fly ash (ppm/ polibag)			
	0 ppm	2000 ppm	4000 ppm	6000 ppm
<i>Acacia crassicarpa</i>	AC (0)	AC (2000)	AC (4000)	AC (6000)
<i>Acacia mangium</i>	AM (0)	AM (2000)	AM (4000)	AM (6000)

Bibit *A. crassicarpa* dan *A. mangium* diisi dengan 3 kg tanah gambut sebagai unit percobaan, kemudian diberi perlakuan dengan menambahkan fly ash (abu terbang) sebagai sumber cemaran logam berat sesuai dengan taraf yang diuji. Terdapat 3 taraf uji dan 1 kontrol untuk masing–masing jenis tanaman. Setiap kombinasi perlakuan sebanyak 3 ulangan sehingga menghasilkan sebanyak 24 unit percobaan. Untuk setiap unit percobaan terdiri dari 4 polibag yang berisi tanaman dan perlakuan yang sama (digunakan sebagai stok tanaman untuk beberapa pengujian) sehingga diperlukan sebanyak 96 tanaman percobaan (Gambar 3.1.). Tanaman percobaan juga diberi pupuk dasar sesuai dengan standar nursery berupa rock phosphatesebanyak 2,5 gr dan urea sebanyak 0,3 gr per polibag.

Kombinasi perlakuan terhadap *A. crassicarpa* dan *A. mangium* dilakukan pada empat taraf dosis yaitu 0 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm dan 6000 ppm dengan tujuan untuk mengetahui tingkatan dosis berapa tanaman akasia mampu mengoptimalkan kemampuan serapannya yang nantinya juga dibandingkan jenis mana yang lebih berpotensi dalam kemampuannya menyerap logam berat.

Percobaan di lapangan dilakukan selama lebih kurang 3 bulan atau 12 minggu masa tanam yang dilakukan di areal *native species* Nursery R&D PT. Arara Abadi Perawang. Pemantauan morfologi seperti jumlah daun dan tinggi batang, diukur setiap bulan selama periode pengamatan, sedangkan untuk pengukuran volume batang, panjang dan volume akar dilakukan pada akhir masa percobaan.

Pengukuran kandungan logam berat alamiah pada media tanam dilakukan sebelum pemberian abu terbang (fly ash), dua bulan masa tanam dan kemudian setelah tiga bulan masa percobaan (akhir masa percobaan). Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat sebelum dan sesudah proses remediasi oleh tanaman. Pengukuran kandungan logam berat pada biomassa tanaman (akar, batang dan daun) dilakukan setelah dua bulan masa percobaan dan di akhir masa percobaan, sedangkan untuk pengukuran laju penyerapan logam berat oleh *A. crassicarpa* dan *A. mangium* dilakukan pada akhir masa percobaan. Peubah yang diamati dari tanaman antara lain pengukuran morfologi tanaman seperti jumlah daun, tinggi dan volume batang dan panjang akar utama serta kandungan logam berat pada tanaman. Peubah yang diamati dari media tanam adalah kandungan logam berat pada awal dan akhir percobaan.

Analisis Data

Analisis data menggunakan analisis varian (ANOVA) untuk menentukan atau menguji antar perlakuan konsentrasi abu terbang yang diaplikasikan pada gambut dan untuk mengetahui kemampuan dari dua jenis tanaman hutan industri (*A. crassicarpa* dan *A. mangium*) dalam menyerap logam berat dari tanah yang

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

ditambahkan abu terbang hasil pembakaran boiler batu bara sebagai amelioran dengan bantuan software pengolah data SAS yang dilakukan uji lanjut menggunakan uji beda nyata terkecil (SAS User Manual 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Areal Percobaan

Percobaan dilakukan pada areal persemaian *native species* Nursery R&D PT. Arara Abadi, Perawang, Riau. Percobaan ini difokuskan pada kemampuan tanaman hutan jenis *A. crassiparva* dan *A. mangium* dalam menyerap logam berat (Cd, Co dan Pb) yang berasal dari *fly ash* pembakaran batu bara pada boiler pabrik pulp dan kertas. Pemanfaatan *fly ash* ini digunakan sebagai pembenah tanah (amelioran) guna menaikkan nilai pH tanah gambut yang relatif sangat masam.

Air yang digunakan untuk penyiraman bersumber dari air *treatment* pabrik IKPP yang dialirkan ke areal *nursery*. Penyiraman dilakukan dengan menggunakan pendistribusian pipa yang ujungnya telah dipasang sprinkler pada bulan pertama dan penyiraman manual menggunakan selang pada bulan kedua dan ketiga. Perbedaan metode penyiraman dikarenakan tinggi bibit pada bulan kedua dan ketiga yang tidak memungkinkan dilakukan penyiraman menggunakan sprinkler.

Kondisi areal percobaan yang memiliki naungan, namun masih memungkinkan masuknya penetrasi cahaya matahari ke areal percobaan sehingga tidak mengganggu aktivitas tumbuh dan kembang tanaman. Hal lain yang menjadi pertimbangan dalam menentukan pemilihan areal percobaan memiliki naungan karena penelitian dilakukan pada musim penghujan dan dikhawatirkan akan terjadi penggenangan pada media tanam bila berada di open area. Kondisi suhu areal percobaan juga diukur dalam percobaan ini guna menentukan terjaminnya tumbuh kembang tanaman akasia. Suhu ruang *nursery* yang terukur berkisar 85 F atau $\pm 29^{\circ}\text{C}$. Suhu ini dapat dikatakan baik bagi

pertumbuhan dan perkembangan tanaman akasia. Menurut National Research Council (1983), suhu pada habitat alami tanaman akasia yang mendukung potensi perkembangannya berkisar antara $12^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C}$ pada suhu minimum dan $31^{\circ}\text{C} - 34^{\circ}\text{C}$ pada suhu maksimum.

Kandungan Logam Berat pada Media Tanam dan *fly ash* Sebelum Perlakuan

Media tanam merupakan material gambut yang diambil dari distrik Gelombang PT. Arara Abadi sedangkan *fly ash* berasal dari pembakaran batu bara *power boiler* MB-23 yang memiliki kandungan logam berat diantaranya berupa cadmium (Cd), timbal (Pb) dan cobalt (Co). Kandungan logam berat serta kondisi pH awal disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Logam Berat Awal pada Media Tanam dan Fly Ash

Paramet er	satua n	Hasil Analisa Awal (mg/Kg)		Batas kritis pada tanah** (*)
		Media Tanam*	Fly Ash**	
Cadmiu m (Cd)	ppm	1,42	3,00	3 - 8
Timbal (Pb)	ppm	0,37	6,72	100 - 400
Cobalt (Co)	ppm	0,63	5,83	25 - 50

Keterangan:

*) Laboratorium Tanah R&D, PT. Arara Abadi (2019)

**) Laboratorium Sucofindo (2017)

***) Pendias dan Pendias (1992)

Kandungan logam berat Cd alamiah yang cukup tinggi pada gambut (walaupun belum melewati batas kritis) berbanding lurus dengan tingkat kemasaman gambut. Hal ini sesuai dengan Korczak (1989) yang menyatakan bahwa kadar Cd bebas di dalam tanah akan semakin tinggi dengan kondisi kemasaman (nilai pH) yang semakin rendah. Sedangkan untuk logam Pb dan Co, terdapat sangat rendah pada

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

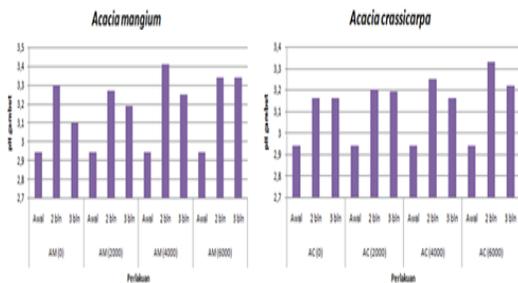
²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

media gambut, yang menandakan kondisi gambut yang digunakan pada penelitian ini belum mengalami pencemaran logam berat.

Pengaruh Pemberian *fly ash* Terhadap Pertumbuhan *Acacia crassicarpa* dan *Acacia mangium*

Kondisi pH awal pada media tanam yang berupa material gambut bersifat sangat masam yaitu 2,94. Hal ini menjadi sangat wajar mengingat gambut yang berada pada daerah tropis memiliki sifat alamiah dengan kisaran nilai pH dari masam hingga sangat masam. Kondisi masam ini dikarenakan masih berlangsungnya proses dekomposisi dan hidrolisis asam-asam organik yang didominasi oleh asam fulvat dan asam humat (Rachim 1995).



Gambar 1. Kondisi pH gambut setelah penambahan abu terbang sebagai ameliorant

Tanah-tanah masam seperti ini, kebanyakan tanaman tidak mampu tumbuh dengan baik, karena karena terbatasnya adsorbs hara yang banyak terikat oleh besi dan pengaruh dari asam organik yang jelek terhadap tanaman. Itulah sebabnya diperlukan upaya-upaya perbaikan dengan bahan pembenah tanah atau ameliorant.

Pengaruh pemberian abu terbang sebagai ameliorant tanah gambut berdampak terhadap kenaikan derajat keasaman tanah gambut walaupun tidak signifikan. Adanya kecenderungan kenaikan nilai pH ini sejalan dengan bertambahnya umur tanaman baik pada *A. mangium* maupun *A. crasicarpa*. Hasil ini mempertegas temuan Rini *et al.* (2009), yang menyatakan bahwa dengan penambahan abu

terbang yang bersifat basa dapat meningkatkan nilai pH tanah gambut. Dengan demikian abu terbang dari sisa pembakaran abu *boiler pulp* dan kertas sangat efektif sebagai amelioran dalam memperbaiki sifat kimia tanah (nilai pH) dengan konsentrasi yang sesuai.

Menjelang periode 3 bulan umur tanaman terjadi sedikit penurunan nilai pH tanah di media polibag. Hal yang diperkirakan karena sebagian logam berat sudah diadsorbsi oleh tanaman sehingga menyebabkan nilai pH cenderung menurun kembali. Selain itu juga disebabkan oleh media gambut masih mengalami dekomposisi dan masih aktif dalam melepaskan material asam organik (Sari *et al.* 2017).

Kondisi pertumbuhan dan perkembangan morfologi tanaman akasia dapat menggambarkan kemampuan pertumbuhan tanaman akasia dalam melakukan adaptasi terhadap keberadaan logam berat yang terkandung di dalam abu terbang. Hasil pengukuran morfologi tanaman akasia tersaji pada Tabel berikut.

Tabel 3. Rata – rata jumlah daun dua tanaman akasia yang ditanam pada tanah diaplikasi dengan berbagai konsentrasi abu terbang

Konsentrasi abu terbang	Jumlah daun (helai)	
	<i>Acacia crassicarpa</i>	<i>Acacia mangium</i>
0 ppm	9 a	10 a
2000 ppm	8 a	10 a
4000 ppm	10 a	10 a
6000 ppm	9 a	9 a
Rerata jenis	9 A	10 A

Angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama dan pada baris yang diikuti huruf besar yang sama, berbeda tidak nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Pertumbuhan ke dua species acasia yang diteliti relative baik sesuai dengan kriteria pertumbuhan bibit standard perusahaan. Rata-rata jumlah daun kedua spesies tanaman akasia relative sama menurut uji BNT pada taraf 5%. Penambahan abu terbang ke media tumbuh

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

cenderung tidak mempengaruhi jumlah daun pada kedua species tanaman akasia. Hal ini menunjukkan adanya kemampuan tanaman akasia cukup baik untuk beradaptasi terhadap kandungan logam berat yang diberikan. Berkurangnya jumlah daun secara tidak konsisten pada tanaman yang ditumbuhkan pada penambahan abu terbang tertentu diperkirakan lebih disebabkan karena adanya faktor luar seperti kekurangan magnesium dan faktor lingkungan yang mempengaruhi perkembangan tanaman (Hanafiah 2007).

Tabel 4. Rata – rata tinggi batang dua species tanaman akasia yang ditanam pada tanah diaplikasi dengan berbagai konsentrasi abu terbang

Konsentrasi abu terbang	Tinggi batang (cm)	
	<i>Acacia crassicarpa</i>	<i>Acacia mangium</i>
0 ppm	29,66 a	20,52 b
2000 ppm	29,66 a	30,56 a
4000 ppm	29,55 a	31,70 a
6000 ppm	30,48 a	30,77 a
Rerata jenis	29,84 A	28,39 A

Angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama dan pada baris yang diikuti huruf besar yang sama, berbeda tidak nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Tinggi batang rata-rata relative sama antara dua jenis akasia, namun respon masing-masing species terhadap berbagai konsentrasi abu terbang yang diberikan sangat berbeda. Pengaplikasian abu terbang tidak mempengaruhi tinggi tanaman *A. crasicarpa*, bahkan semakin tinggi konsentrasinya tinggi tanaman relative sama dengan control. Di pihak lain, *A. mangium* menunjukkan respons yang cukup positif terhadap aplikasi abu terbang, dimana terjadi peningkatan tinggi tanaman akibat diaplikasi abu terbang dengan pertambahan tinggi sekitar 50% dari kontrol. Adanya pertambahan tinggi tanaman pada *A. mangium* menunjukkan bahwa tanaman *A. mangium* sangat respons terhadap adanya penambahan ameliorant bahkan mampu merangsang pertumbuhannya. Menurut Susilawati *et al.* (2011), pemberian amelioran dapat meminimalisir pengaruh buruk asam –

asam organik beracun yang berasal dari proses dekomposisi material gambut. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian abu terbang sangat berpotensi memperbaiki pertumbuhan dan perkembangan tanaman tertentu dan sangat membantu kegiatan pertanian pada areal gambut.

Pengukuran volume batang tanaman bermaksud untuk mengetahui sejauh mana perkembangan dari biomassa tanaman pada media yang diaplikasi dengan abu terbang. Volume batang yang dihitung umumnya pada kedua jenis tanaman akasia menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan dan kelihatan responsnya berbeda dengan tinggi tanaman. Kemampuan adaptasi tanaman akasia terhadap lingkungannya akan mendukung kondisi pertumbuhan tanaman.

Tabel 5. Rata – rata volume batang dua spesies tanaman akasia yang ditanam pada tanah diaplikasikan dengan berbagai konsentrasi abu terbang

Konsentrasi abu terbang	Volume batang (cm ³)	
	<i>Acacia crassicarpa</i>	<i>Acacia mangium</i>
0 ppm	3,46 a	3,02 a
2000 ppm	3,37 a	2,90 a
4000 ppm	2,31 a	3,17 a
6000 ppm	3,05 a	2,77 a
Rerata jenis	3,05 A	2,84 A

Angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama dan pada baris yang diikuti huruf besar yang sama, berbeda tidak nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Pada pengukuran rata – rata panjang akar utama menunjukkan respon pertumbuhan yang baik dan tidak mengganggu sistem perkembangan tanaman, mengingat organ akar merupakan organ yang kontak langsung dengan areal yang terkontaminasi logam berat. Menurut Bekesiova *et al.* (2007), tanaman akan menghasilkan antioksidan, berupa katalase dan peroksidase sebagai respon dari keberadaan logam berat yang dengan sistem tersebut tanaman tidak akan terpengaruh dengan adanya cekaman logam berat yang ada disekitar zona perakarannya.

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

Tabel 6. Rata – rata panjang akar utama dari dua species tanaman akasia yang ditanam pada tanah diaplikasi dengan berbagai konsentrasi abu terbang

Konsentrasi abu terbang	Panjang akar utama (cm)	
	<i>Acacia crassicarpa</i>	<i>Acacia mangium</i>
0 ppm	14,59 b	21,23 a
2000 ppm	21,73 a	21,36 a
4000 ppm	22,93 a	21,55 a
6000 ppm	20,71 a	21,80 a
Rerata jenis	19,99 A	21,48 A

Angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama dan pada baris yang diikuti huruf besar yang sama, berbeda tidak nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Hasil pengamatan panjang akar tanaman akasia secara umum menunjukkan kemampuan tumbuh yang cukup optimal untuk seluruh tingkatan konsentrasi perlakuan. Panjang akar *A. crassicarpa* yang ditanam pada media yang diaplikasi dengan semua konsentrasi abu terbang cenderung lebih panjang dari tanaman di media kontrol. Kondisi ini diduga karena adanya kandungan unsur-unsur esensial seperti Fe, Mg, K, Ca dan terdapat pula unsur-unsur non esensial seperti Si, Al, dan Na pada abu sisa pembakaran batubara yang dibutuhkan oleh pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Lakitan (1993), bahwasanya jaringan tumbuhan yang mengandung unsur-unsur hara tertentu dengan konsentrasi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan maksimum, maka pada kondisi ini dikatakan tumbuhan dalam kondisi mewah hara (*luxury consumption*).

Sistem perakaran tanaman *A. mangium* memiliki susunan perakaran yang lebih kompak dan perkembangan akar yang lebih panjang dibandingkan dengan sistem perakaran *A. crassicarpa*. Perkembangan akar yang kompak dan memanjang merupakan mekanisme tanaman untuk mengatasi kahat lingkungan seperti hara, air dan unsur-unsur berbahaya untuk pertumbuhan. Perbedaan system perkembangan akar tersebut menyebabkan terjadinya respon yang berbeda terhadap lingkungan tumbuh.



Gambar 2. Perbandingan kondisi sistem perakaran setelah 2 bulan masa tanam (A) *Acacia mangium* dan (B) *Acacia crassicarpa*

Menurut Winata *et al.* (2019) kondisi akar yang kompak dan memanjang merupakan mekanisme adaptasi akar dalam menghindari keberadaan logam berat, sehingga akardapat memperluas jerapan air dan hara yang akan digunakan untuk mendukung berbagai tahapan metabolisme. Sedangkan sistem perakaran *A. crassicarpa* yang tidak kompak dan kurang berkembang sehingga tidak terlalu kokoh memberikan indikasi bahwa toleransi species ini relatif rendah terhadap lingkungan berupa logam berat yang diaplikasikan ke media tumbuhnya.

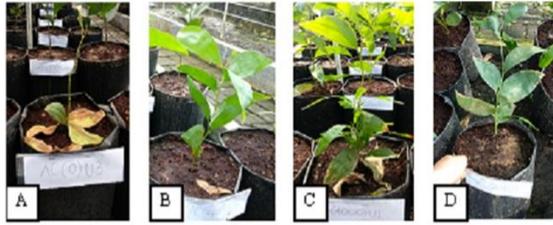
Hidayati (2013) menyatakan bahwa tumbuhan yang bersifat toleran terhadap logam berat menunjukkan respon fisiologis diantaranya berupa terganggunya pertumbuhan rambut-rambut akar. Toleransi tanaman terhadap kandungan logam berat yang ada dalam media tumbuhnya biasanya akan diikuti dengan tampilan sifat morfologis berupa ciri fisik daun yang ditunjukkan pada periode pertanaman. Mekanisme fisiologis lain yang juga dilakukan oleh tanaman dalam mentoleransi keberadaan logam berat yaitu dengan mensintesis substansi polipeptida pengikat logam berupa *phytochelat* terutama pada bagian akar yang mengalami kontak langsung (Rascioa dan Izzob 2011).

Respon tanaman terlihat pula dengan terjadinya pengguguran daun pada tanaman kontrol, sedangkan tanaman yang ada di media yang diaplikasi berbagai konsentrasi abu terbang tidak ditemui hal yang serupa (Gambar 3.)

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.



Gambar 3. Morfologi tanaman *A. crassicarpa* yang ditanam pada media yang diaplikasi abu terbang sebagai amelioran. (A) kontrol, (B) konsentrasi 2000 ppm, (C) konsentrasi 4000 ppm dan (D) konsentrasi 6000 ppm

Hal ini menandakan bahwa pemberian amelioran berupa abu terbang tidak berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman, bahkan malah diperlukan untuk mengatasi adanya hambatan pertumbuhan lain pada tanaman tertentu. Hasil penelitian juga memperlihatkan adanya dampak dari kondisi pH tanah gambut yang sangat masam pada media yang tidak diaplikasi amelioran yang akan mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Respon yang berbeda terjadi pada *A. mangium* (Gambar 4.), dimana secara keseluruhan bibit yang ditanam pada media kontrol maupun yang di beri perlakuan dengan konsentrasi yang berbeda, pertumbuhan berlangsung normal dan tidak ditemukan adanya bibit yang mati. Hal ini menunjukkan kemampuan adaptasi terhadap lingkungan yang sangat baik oleh *A. mangium*, baik terhadap logam berat maupun pH gambut yang sangat masam. Adanya perbedaan respon fisiologi yang ditunjukkan oleh *A. mangium* dan *A. crassicarpa* terhadap kondisi pH gambut sebagai media tanamnya adalah suatu hal yang wajar. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Latifah (2000) bahwa setiap vegetasi memiliki kebutuhan pH yang berbeda (spesifik), perbedaan pH disebabkan oleh adanya perbedaan toleransi tanaman terhadap kepekatan ion H^+ atau ion beracun lainnya.



Gambar 4. Respon morfologi tanaman *A. mangium* terhadap pemberian ameliorant abu terbang A. 0 ppm (Kontrol), B. Konsentrasi 2000 ppm, C. Konsentrasi 4000 ppm dan D. Konsentrasi 6000 ppm

Kondisi pH tanah yang sangat masam terlihat pada grafik kondisi pH, walaupun sudah diberikan perlakuan amelioran abu terbang, namun kedua jenis tanaman hutan ini umumnya masih menunjukkan pertumbuhan yang relatif baik pada 2 ataupun 3 bulan setelah tanam. Hal ini menunjukkan adanya toleransi yang cukup baik pada tanaman tahunan terhadap kondisi kemasaman tanah yang rendah. Hasil penelitian ini didukung oleh Amacher *et al.* (2007), yang menyatakan bahwa tanaman tahunan umumnya lebih toleran terhadap kondisi kemasaman tanah dibandingkan tanaman pertanian. Peneliti lain menyatakan bahwa gejala terganggunya pertumbuhan tanaman akibat toksisitas logam berat cukup sulit terdeteksi (Alloway, 1997). Adanya gangguan pertumbuhan dan perkembangan morfologi tanaman pada kondisi toksisitas akut logam berat sangat jarang terjadi.

Kemampuan toleransi akasia masih terlihat hingga akhir masa percobaan atau 3 bulan masa tanam. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa peningkatan pertumbuhan terus berlangsung hingga akhir masa percobaan yang berbanding terbalik dengan penurunan pH media gambut. Penurunan pH gambut pada akhir masa percobaan diperkirakan karena terjadinya *leaching* (pencucian) pada proses penyiraman yang akan melarutkan material abu terbang yang bertindak sebagai amelioran.

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

Analisis Kandungan Logam Berat di Gambut pada Tahapan Fitoremediasi

Keberadaan logam berat pada tanah saat proses fitoremediasi sangat dipengaruhi oleh beberapa aspek antara lain keberadaan tanaman, tanah dan lingkungan yang saling berkaitan. Tabel 7. menunjukkan kandungan logam Co pada tanah 2 dan 3 bulan setelah diaplikasi dengan berbagai konsentrasi abu terbang bersamaan dengan dilakukannya upaya fitoremediasi.

Tabel 7. Kandungan Co di media gambut 2 dan 3 bulan setelah diaplikasikan berbagai konsentrasi abu terbang dan ditanami dua species acasia

Konsentrasi Abu Terbang	Kandungan Co Tanah (mg/kg)		Rata - Rata Kandungan Co
	<i>Acacia crassiparpa</i>	<i>Acacia mangium</i>	
2 bulan setelah aplikasi			
0 ppm	1,063 a	0,710 c	0,886 c
2000 ppm	1,490 a	1,193 c	1,341 bc
4000 ppm	1,536 a	1,763 b	1,650 b
6000 ppm	1,810 a	2,686 a	2,248 a
Rerata jenis	1,475 A	1,588 A	
3 bulan setelah aplikasi			
0 ppm	0,983 b	0,953 a	0,968 b
2000 ppm	1,366 b	1,010 a	1,188 b
4000 ppm	1,450 b	1,173 a	1,311 b
6000 ppm	2,666 a	1,550 a	2,108 a
Rerata jenis	1,616 A	1,171 A	

Angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama dan pada baris yang diikuti huruf besar yang sama, berbeda tidak nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Tabel 7. menunjukkan bahwa secara umum tidak terdapat perbedaan kandungan logam Co pada gambut yang ditanami dua jenis akasia di usia 2 dan 3 bulan masa tanam. Akan tetapi, berdasarkan konsentrasi aplikasi abu terbang terhadap tanah gambut terlihat perbedaan yang nyata dengan terlihat perbedaan respon antara 2 bulan dan 3 bulan setelah aplikasi. Pada gambut yang ditanami *A. mangium* terlihat adanya peningkatan kandungan Co dengan semakin tingginya konsentrasi aplikasi abu terbang, sementara pada gambut yang ditanami *A. crassiparpa* kandungan Co relatif sama untuk semua konsentrasi aplikasi abu terbang. Kandungan Co

tanah gambut yang paling tinggi terlihat pada aplikasi abu terbang 6000 ppm di usia tanam 2 bulan, sedangkan pada *A. crassiparpa* terdapat nilai tertinggi pada 6000 ppm di usia tanam 3 bulan. Kondisi tersebut masih tergolong cukup baik jika dibandingkan dengan batas kritis keberadaan logam Co pada tanah (Pendias dan Pendias 1992) yaitu 25-50 mg/Kg.

Kandungan Cd pada media gambut yang diaplikasi dengan berbagai konsentrasi abu terbang dan ditanami dua species akasia 2 dan 3 bulan setelah diaplikasi dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kandungan Cd di media gambut yang ditanami dua species Akasia 2 dan 3 bulan setelah diaplikasi dengan berbagai konsentrasi abu terbang

Konsentrasi Abu Terbang	Kandungan Cd (mg/kg)		Rata - Rata Kandungan Cd
	<i>Acacia crassiparpa</i>	<i>Acacia mangium</i>	
2 bulan setelah aplikasi			
0 ppm	0,343 a	0,280 a	0,311 a
2000 ppm	0,303 a	0,333 a	0,318 a
4000 ppm	0,306 a	0,296 a	0,301 a
6000 ppm	0,470 a	0,483 a	0,476 a
Rerata jenis	0,355 A	0,348 A	
3 bulan setelah aplikasi			
0 ppm	0,363 b	0,243 b	0,303 c
2000 ppm	0,303 b	0,320 b	0,311 c
4000 ppm	0,520 a	0,390 b	0,455 b
6000 ppm	0,593 a	0,583 a	0,588 a
Rerata jenis	0,445 A	0,384 A	

Angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama dan pada baris yang diikuti huruf besar yang sama, berbeda tidak nyata menurut uji BNT pada taraf 5%

Keberadaan logam Cd pada gambut yang ditanami dua jenis akasia tidak berbeda antar species akasia dan antar konsentrasi 2 bulan setelah aplikasi abu terbang. Data kandungan Cd pada gambut pada usia tanaman 3 bulan menunjukkan peningkatan dengan meningkatnya konsentrasi abu terbang yang diaplikasikan, dimana nilai tertinggi pada gambut yang diaplikasi 6000 ppm pada *A. crassiparpa* dan *A. mangium*. Namun nilai tersebut masih tergolong baik apabila dibandingkan dengan batas keberadaan logam berat Cd pada tanah yaitu 3-8 ppm (Pendias dan Pendias 1992).

Kandungan logam Pb pada tanah gambut yang diaplikasi dengan abu terbang dan ditanami dengan dua species akasia setelah 2 dan 3 bulan disajikan pada (Tabel 9.). Pada saat

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

tanaman berumur 2 bulan, kandungan logam Pb pada gambut yang telah diaplikasi abu terbang, dua kali lebih tinggi pada tanah yang ditanami dengan *A. mangium* dibanding yang ditanami *A. crassicaarpa*, dimana kandungan Pb tertingginya adalah pada gambut yang diaplikasi dengan 6000 ppm abu terbang. Pada usia tanaman 3 bulan malah terjadi sebaliknya dimana kandungan logam Pb gambut yang ditanami *A. crassicaarpa* jauh lebih tinggi dari yang ditanami *A. mangium* dan kandungan Pb tertinggi adalah pada gambut yang diaplikasi dengan 6000 ppm abu terbang dan ditanami *A. crassicaarpa*. Sementara kandungan Pb di tanah gambut yang ditanami *A. mangium* tidak berbeda nyata antar konsentrasi aplikasi abu terbang. Nilai tersebut sangat rendah jika dibandingkan dengan batas kritis keberadaan logam Pb pada tanah yaitu 100-400 mg/Kg (Pendias dan Pendias 1992).

Jika dilihat dari keberadaan ketiga jenis logam yaitu Co, Cd dan Pb tidak berada pada ambang kritis tanah. Hal ini dapat membuktikan bahwa selain kandungan logam berat yang cukup rendah pada tanah dan abu terbang, didukung pula dengan kemampuan kedua jenis tanaman akasia yang berperan baik sebagai agen fitoremediator logam berat pada tanah.

Tabel 9. Kandungan Pb di media gambut yang ditanami dengan dua jenis Akasia 2 dan 3 bulan setelah diaplikasikan dengan berbagai konsentrasi abu terbang

Konsentrasi Abu Terbang	Kandungan Pb (mg/Kg)		Rata - Rata Kandungan Pb
	<i>Acacia crassicaarpa</i>	<i>Acacia mangium</i>	
2 bulan setelah aplikasi			
0 ppm	2,760 a	0,900 b	1,830 b
2000 ppm	2,553 a	4,440 a	3,496 a
4000 ppm	0,533 a	6,026 a	3,280 ab
6000 ppm	1,030 a	2,466 b	1,748 b
Rerata jenis	1,719 B	3,458 A	
3 bulan setelah aplikasi			
0 ppm	2,546 c	2,420 a	2,483 b
2000 ppm	3,636 c	1,246 a	2,441 b
4000 ppm	6,360 b	1,923 a	4,141 a
6000 ppm	8,570 a	1,560 a	5,065 a
Rerata jenis	5,278 A	1,787 B	

Angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama dan pada baris yang diikuti huruf besar yang sama, berbeda tidak nyata menurut uji BNT pada taraf 5%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Acacia mangium lebih baik dalam menyerap logam Co jika dibandingkan dengan jenis logam lainnya yang terlihat pada tingginya akumulasi logam Co pada biomassa *A. mangium*, laju penyerapan logam Co yang cukup tinggi pada *A. mangium* dan efisiensi penyerapan logam Co oleh *A. mangium* yang lebih baik. *Acacia crassicaarpa* lebih baik dalam menyerap logam Pb jika dibandingkan dengan jenis logam lainnya yang terlihat pada tingginya akumulasi logam Pb pada biomassa *A. crassicaarpa*, laju penyerapan logam Pb yang cukup baik pada *A. crassicaarpa* dan efisiensi penyerapan logam Pb oleh *A. crassicaarpa* yang relatif lebih baik. Sedangkan kemampuan serapan logam Cd tidak berbeda nyata diantara kedua jenis akasia tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1997. *Heavy metals in soil*. Blackie academic and professional – chapman and hall.
- Amacher, M.C. Neill, K.P dan Perry, C.H. 2007. *Soil vital signs: a new soil quality index (SQI) for assessing forest soil health*. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Rocky Mountain Research Station.
- Bohn, H.L., B.L. Mc-Neal dan G.A. O'Connor. 1985. *Soil chemistry 2 edition*. John Wiley & Son. New York.
- Chayed, N.F. 2009. *Determination of Heavy metals uptake by Acacia mangium grown in ex-mining area in KG Gajah, Perak*. Report of final year project for degree of Bachelor of Science Chemistry in Universiti Teknologi MARA.

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

- Indrasti, N.S, Suprihatin. Burhanudin.Aida, N. 2006. Penyerapan logam Pb dan Cd oleh eceng gondok: pengaruh konsentrasi logam dan lama waktu kontak. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* Vol (16)1: 44-50.
- Irawanto, R. 2015. Potensi tumbuhan suku alismataceae dalam fitoremediasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XII*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Jeyanni,A.Z.Y.V. 2018. Phytoremediation of heavy metals using *acacia mangium* in Rahman Hydraulic Tin (RHT) tailings, Klian Intan, Malaysia. *Advances in Plants and Agriculture Research* 8(3): 247-249.
- Korczak. 1989. *Fungitonal foods of the east*. CRC Press. Florida
- Lakitan, B. 1993. *Dasar - Dasar Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman*. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Laksmi, D.N, Mochtar, H. Sri, S. 2010. Pemanfaatan limbah fly ash sisa pembakaran batu bara dengan metode solidifikasi – stabilisasi sebagai bahan campuran paving block geopolimer. Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Li, M.S. Luo, Y.P dan Su, Z.Y. 2007. Heavy metal concentration in soils and plant accumulation in a restored mangrove mine land in Guang xi, South China. *Environmental Pollution* 147: 168-175.
- Majid, N.M., Islam, M.M., Veronica, J., Arifin, A., Parisa, A. 2011. Evaluation of heavy metal uptake and translocation by *Acacia mangium* as a phytoremediator of copper contaminated soil. *African Journal of Biotechnology*. 10(42): 8373-8379.
- Meeinkuirt, W., Maleeya, K., John, P., Theerawut, P., Patompong, S. 2016. Influence of organic amendments on phytostabilization of Cd-contaminated soil by *Eucalyptus camaldulensis*. *Science Asia*. 42: 83-91.
- National Research Council. 1983. *Mangium and other fast-growing Acacias for the humid tropics*. National academy press. Washington, DC.
- Nurlela, Novie. E.P.S, Supriyono, E.W. Fitoremediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan tanaman Hanjuang (*Cordyline fruticosa*). *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa* 9 (2): 57-65.
- Pendias, A dan Pendias, H. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. 2nd Edition. CRC Press. Boca Raton.
- Purwati, S., Rina S. Soetopo, Y. Setiawan. 2007. Potensi penggunaan abu boiler industri pulp dan kertas sebagai bahan pengkondisi tanah gambut pada areal hutan tanaman industri. *Berita Selulosa*. 42 (1): 8-17.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. John Willey & Son. New York.
- Tejada, M. 2009. Application of different organic wastes in a soil polluted by cadmium: Effects on soil biological properties. *Geoderma*. 153:254–268.
- Widyati, E. 2011. Potensi tumbuhan bawah sebagai akumulator logam berat untuk membantu rehabilitasi lahan bekas

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

tambang. *Buletin Mitra Hutan Tanaman*
6(2):47-56.

Yuliasuti, D.S dan Surip. 2012. Teknik Pembuatan Bibit *Acacia crassicarpa* untuk Pembangunan Kebun Benih Semai Uji Keturunan Generasi ke Dua (F2). Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan Yogyakarta. Yogyakarta.

¹Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.

²Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau.

³Dosen Pascasarjana Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Riau.