PENGARUH ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP SIFAT KIMIA TANAH DAN SERAPAN TIMBAL (Pb) OLEH TANAMAN AKAR WANGI (*Vetiveria zizanioides* L.)

Effect of Coal Fly Ash on Soil Chemical Properties and Lead (Pb) Absorption by Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* L.)

Benediktus Lucky Aditya Nugroho*, Nina Dwi Lestari

Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran No. 1, Malang 65145

* Penulis korespondensi: benediktuslucky@student.ub.ac.id

Abstract

Coal fly ash is a soil amendment that can be used to improve soil productivity because coal fly ash contains essential nutrients needed by plants. However, coal fly ash also contains heavy metals. This study was at a time to explore the effect of coal fly ash on soil chemical properties and lead uptake by vetiver plant (*Vetiveria zizanioides* L.). Treatments tested were applications of six proportion levels (0, 2.5, 5, 10, 15, and 30% by weight). The seven treatments were arranged in a completely randomized design with three replicates. The result showed that the coal fly ash had a significant effect on soil pH, total-P, total N, total K and Pb. The value of the Pb translocation factor from the roots to the shoot of the vetiver plant was relatively low, so that the vetiver plant was not suitable for use in phytoextraction of Pb from Pb-contaminated soil.

Keywords : coal fly ash, heavy metal, phytoremediation, soil productivity

Pendahuluan

Tanah dengan karakteristik berpasir memiliki kemungkinan potensi kekeringan karena memiliki banyak pori makro dan dapat berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara. Budidaya pertanian pada tanah berpasir akan menjumpai kendala yang berkaitan dengan sifat kimia, fisik dan biologi tanah. Potensi permasalahan sifat kimia tanah yang terjadi seperti kandungan bahan organik yang rendah, tingkat kemasaman tanah yang memiliki kriteria masam dan rendahnya ketersediaan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan karbon. Menurut Hardjowigeno (2007), tanah yang memiliki sifat berpasir memiliki masalah seperti kemampuan menyerap dan menyimpan air yang rendah serta peka terhadap pencucian unsur hara.

Penanganan tanah berpasir dapat dilakukan dengan pemberian bahan pembenah tanah untuk memperbaiki faktor penghambat seperti pH masam, unsur hara yang sedikit.

Salah satu pemanfaatan bahan pembenah tanah dengan menggunakan Abu terbang Batubara (ATB). ATB merupakan limbah batubara yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Pemanfaatan abu terbang batubara mulai dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan terhadap lingkungan dan juga untuk meningkatkan nilai ekonomis dari abu terbang.

Menurut Pandey dan Singh (2010), diketahui bahwa hanya sebagian kecil dari abu terbang batubara yang dimanfaatkan untuk bidang pertanian. Kandungan yang dimiliki abu terbang batubara bermanfaat dalam bidang pertanian yang digunakan sebagai pupuk dan bahan pembenah tanah. ATB mengandung unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman. Secara kimia ATB tersusun oleh unsur Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, dan K dengan Si dan Al sebagai penyusun utama (Kishor *et al.*, 2010). Abu terbang batubara belum dapat diaplikasikan pada dalam skala yang luas karena mengandung

logam berat. Inthasan *et al.* (2002) menjelaskan bahwa ATB mengandung logam berat. Logam berat yang terkandung dalam abu terbang batubara ketika pengaplikasian sebagai pupuk dan bahan pembenah tanah dikhawatirkan akan terserap kedalam jaringan tanaman.

Upaya yang dapat dilakukan untuk menanggulangi pencemaran lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas tanah dapat dilakukan dengan cara *phytomining*. Kegiatan *phytomining* adalah menanam tanaman hiperakumulator pada limbah tambang logam berkadar rendah, dan kemudian memanennya dan membakar biomasanya untuk menghasilkan *bio-ore* (Handayanto *et al.*, 2017). Keuntungan lingkungan dari kegiatan ini adalah dapat mengurangi dan menyerap logam-logam berat yang berada di dalam media tanam yang diaplikasikan Abu Terbang Batubara tersebut oleh tanaman sehingga mengurangi pencemaran logam berat. Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* L.) merupakan tanaman yang dapat digunakan untuk kegiatan *phytomining*. Tanaman akar wangi lebih toleran terhadap logam berat timbal (Pb). Hasil penelitian Carrey (2000) menunjukkan bahwa akar wangi dapat menjadi tanaman yang mengakumulasi logam pada tanah yang tercemar terutama untuk logam berat timbal. Tanaman akar wangi juga memiliki kemampuan tumbuh pada lingkungan yang ekstrim seperti terkontaminasi logam dengan kadar yang tinggi, tanah dengan pH yang masam atau pH alkali, dan pada tanah yang kering atau tergenang (Ghosh *et al.*, 2014).

Ditinjau dari banyaknya manfaat abu terbang dan tanaman akar wangi maka penelitian ini bertujuan untuk 1) Mengetahui pengaruh abu terbang batubara sebagai bahan pembenah tanah dalam meningkatkan kualitas tanah berpasir secara kimia tanah. 2) Mengetahui pengaruh penanaman tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* L.) sebagai tumbuhan akumulator logam timbal (Pb) pada media tumbuh.

Bahan dan Metode

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di rumah kaca yang terletak di Lahan Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Jatimulyo pada bulan

September hingga November 2020. Analisis kimia dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya dan analisis serapan logam timbal (Pb) tanaman dan tanah dilakukan di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang.

Rancangan penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Perlakuan yang digunakan yaitu perbedaan dosis ATB yang dicampurkan dengan tanah berpasir dan menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* L.). Percobaan terdiri atas 7 perlakuan dengan 3 ulangan sehingga didapatkan 21 satuan percobaan yang diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan ATB dan tanah.

Kode Perlakuan	Deskripsi
K	0% ATB + 8 kg tanah
TA1	2.5 % ATB + 7,8 kg tanah
TA2	5 % ATB + 7,6 kg tanah
TA3	10 % ATB + 7,2 kg tanah
TA4	15 % ATB + 6,8 kg tanah
TA5	25 % ATB + 6 kg tanah
TA6	30 % ATB + 5,6 kg tanah

Keterangan : ATB (Abu Terbang Batubara).

Pelaksanaan penelitian

Persiapan media tanam

Kegiatan persiapan media tanam dilakukan sebelum penelitian dilaksanakan. Kegiatan diawali dengan menyiapkan bahan media tanam yaitu sampel tanah dari Desa Bambang, Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang dan Abu Terbang Batubara (ATB) diambil dari PLTU PT. Indonesia Power Suralaya, Kecamatan Pulomerak, Kota Cilegon. Kemudian sampel tanah dicampurkan dengan ATB pada *polybag*. Sampel tanah yang baru diambil dikering anginkan terlebih dahulu. Setelah itu tanah dan ATB diformulasi menjadi media sesuai perlakuan dan dimasukkan kedalam *polybag* diameter 60cm. Tanah dan ATB yang diaplikasikan adalah K (8 kg tanah), TA1 (7,8 kg tanah dan 0,2 kg ATB), TA2 (7,6 kg tanah dan 0,4 kg ATB), TA3 (7,2 kg tanah dan 0,8 kg

ATB), TA4 (6,8 kg tanah dan 1,2 kg ATB), TA5 (6 kg tanah dan 2 kg ATB), dan TA6 (5,6 kg tanah dan 2,4 ATB).

Penanaman akar wangi

Kegiatan penanaman dilakukan dengan menggunakan bahan tanaman berupa bibit Akar Wangi. Tanaman Akar Wangi terlebih dahulu di aklimatisasi selama satu minggu guna menghilangkan kandungan atau senyawa lain pada tanaman. Kemudian bibit tanaman Akar Wangi yang sudah berumur 2 bulan, dipindahkan pada media percobaan yang sudah disiapkan sebelumnya.

Perawatan tanaman

Perawatan tanaman meliputi penyiraman, penyiangan gulma, dan penyulaman. Penyiraman dilakukan 2 kali dalam sehari guna

menjaga kelembaban tanah dan kebutuhan air tanaman. Penyulaman dilakukan terhadap tanaman yang mati. Penyiangan gulma dilakukan setiap minggu secara mekanik.

Pemanenan

Pemanenan dilakukan pada 60 hari setelah tanam (HST) dengan cara memisahkan biomasa Tanaman Akar Wangi yang meliputi akar dan batang dari media tanam kemudian tanaman dimasukkan ke dalam amplop kertas dan diberi label sesuai perlakuan. Pemanenan dilakukan secara manual menggunakan tangan.

Analisis laboratorium

Analisis laboratorium yang dilakukan meliputi media tanam yang terdiri atas campuran tanah dan ATB dan tanaman akar wangi disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jenis analisis di laboratorium.

Sampel	Jenis Analisis	Metode Analisis	Waktu Pengamatan
Media tanam	C organik	Walkley dan Black	0 dan 60 HST
	P total	Ekstrak HCl 25%	0 dan 60 HST
	P tersedia	Bray 1 dan Olsen	0 dan 60 HST
	N total	Kjeldahl	0 dan 60 HST
	K total	Flamefotometer	0 dan 60 HST
	pH	<i>Elektrometri</i> (pH meter)	0 dan 60 HST
	Akumulasi timbal pada tanah (Pb)	Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	
Tanaman	Akumulasi Pb pada tajuk dan akar	Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	60 HST

Analisis data

Data hasil yang telah didapatkan kemudian dianalisis dengan *one way-analysis of variance* menggunakan software *GenStat Discovery Edition 4* dan *Microsoft Excel*. dilanjutkan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) taraf 5% untuk mengetahui perbedaan nyata antara perlakuan.

Hasil dan Pembahasan

pH (H₂O) tanah

pH tanah merupakan salah satu karakteristik penting dari suatu tanah, karena nilai pH mencerminkan kelarutan kation hidrogen dalam

tanah serta menggambarkan tingkat kemasaman tanah. Semakin rendah nilai pH, maka kemasaman tanah semakin tinggi. pH tanah sangat mempengaruhi bentuk-bentuk unsur logam berat dalam tanah serta berpengaruh terhadap penyerapannya oleh akar tanaman. Berikut hasil pengamatan nilai pH tanah disajikan pada Tabel 3.

Hasil dari percobaan ini menunjukkan abu terbang berpengaruh nyata terhadap pH tanah. Nilai pH tertinggi pada perlakuan TA6 dengan sebesar 6.90 dan 6.70 dan untuk nilai pH terendah pada perlakuan K sebesar 5,68 serta TA1 pada pengujian 60 HST sebesar 5,53. Pada Tabel 6 pH perlakuan K (Kontrol) tergolong agak masam dan perlakuan TA6 (30% ATB)

tergolong netral. Peningkatan pH pada percobaan ini, sesuai dengan pendapat Abbott *et al.*, (2001) yang menjelaskan bahwa adanya penambahan amelioran (kapur) akan meningkatkan kation-kation basa sehingga dapat meningkatkan pH tanah.

Tabel 3. pH tanah pada berbagai tingkat dosis ATB.

Perlakuan	pH	
	0 HST	60 HST
K (0% ATB, Kontrol)	5.68 a	5.95 abc
TA1 (2,5% ATB)	6.34 b	5.53 a
TA2 (5% ATB)	6.14 b	6.47 cd
TA3 (10% ATB)	6.20 bc	6.40 cd
TA4 (15% ATB)	6.47 c	5.73 ab
TA5 (25% ATB)	6.76 d	6.30 bcd
TA6 (30% ATB)	6.90 d	6.70 d

Keterangan: Nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari ketiga ulangan; ATB (Abu Terbang Batubara); HST (Hari Setelah Tanam); angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%.

Perbedaan pH terjadi karena abu terbang yang mengandung kation basa seperti kalsium bereaksi dengan air dapat meningkatkan ion OH⁻. Abu terbang mengandung Ca dan Mg yang dapat mengalami reaksi hidrolisis yang menghasilkan anion OH⁻ sehingga pH tanah meningkat (Inthasan *et al.* 2002). Peningkatan pH juga karena kation-kation basa mengalami pertukaran. Menurut Pathan *et al.*, (2003), perubahan pH akan nyata apabila diberikan cukup amelioran sehingga seluruh ion H⁺ yang terjerap dapat digantikan oleh kation kation basa. Pemberian abu terbang dengan dosis optimum dapat menaikkan pH tanah sehingga unsur hara yang diperlukan tanaman menjadi tersedia Menurut Hart *et al.* (2003) menaikkan pH tanah dapat memperbaiki sifat tanah dengan meningkatkan ketersediaan unsur makro dan mikro tanah.

Kandungan C organik

Bahan organik merupakan salah satu faktor pembatas yang sangat berperan untuk menambah hara dan sebagai penyangga hara. Berbagai manfaat bahan organik yang sangat

diperlukan tanah untuk mempertahankan kualitas tanah. Indikasi bahan organik dalam tanah dapat dilihat dari kandungan C organik tanah dan N total tanah dapat dipakai untuk menduga ketersediaan hara dari mineralisasi bahan organik. Hasil penelitian menunjukkan tidak adanya pengaruh yang antara abu terbang dan C organik tanah (Tabel 4).

Tabel 4. Kandungan C organik tanah pada berbagai tingkat dosis ATB.

Perlakuan	C organik (%)	
	0 HST	60 HST
K (0% ATB, Kontrol)	1.1 b	0.5 a
TA1 (2,5% ATB)	1.0 ab	0.7 a
TA2 (5% ATB)	1.0 ab	0.6 a
TA3 (10% ATB)	0.9 ab	0.6 a
TA4 (15% ATB)	0.5 a	0.5 a
TA5 (25% ATB)	0.9 ab	0.7 a
TA6 (30% ATB)	0.9 ab	0.6 a

Keterangan: Nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari ketiga ulangan; ATB (Abu Terbang Batubara); HST (Hari Setelah Tanam); angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%.

Tidak terjadinya peningkatan kandungan C organik dapat disebabkan karena kandungan C organik abu terbang tergolong sangat rendah. Hasil percobaan yang dilakukan Kurniawan *et al.* (2014) juga menyebutkan bahwa terjadi penurunan kandungan C organik yang sejalan dengan peningkatan pemberian abu terbang pada media tanam. Abu terbang dapat dimanfaatkan untuk pembenah tanah karena mengandung unsur makro namun kecil pengaruhnya, sehingga perlu dikombinasikan dengan bahan organik lain seperti pupuk kandang atau kompos. Wiskandar (2009) menyatakan abu terbang tidak banyak menyumbangkan karbon ke dalam tanah, karena jumlah karbon dalam abu terbang sangat sedikit. Hal ini juga sesuai dengan Damayanti (2018) secara kimia abu terbang mengandung sejumlah kecil unsur C dan N.

Kandungan N total

Hasil analisis ragam setiap pemberian dosis abu terbang memberikan pengaruh yang nyata

terhadap nilai N total dalam tanah. Hasil dari nilai N total memperlihatkan perlakuan K (Kontrol) memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan dengan abu terbang. Secara keseluruhan ketika 60 HST kandungan N total lebih tinggi dibandingkan ketika 0 HST. Interaksi dosis abu terbang dan N total berpengaruh nyata dan digolongkan dalam kriteria rendah (Balai Penelitian Tanah, 2011). Berikut ini hasil pengamatan nilai N total yang disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Kandungan N total tanah pada berbagai tingkat dosis ATB.

Perlakuan	N total (%)	
	0 HST	60 HST
K (0% ATB, Kontrol)	0.19 c	0.18 d
TA1 (2,5% ATB)	0.13 b	0.16 cd
TA2 (5% ATB)	0.14 b	0.18 d
TA3 (10% ATB)	0.11 ab	0.14 bc
TA4 (15% ATB)	0.10 ab	0.12 ab
TA5 (25% ATB)	0.07 a	0.10 ab
TA6 (30% ATB)	0.06 a	0.09 a

Keterangan: Nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari ketiga ulangan; ATB (Abu Terbang Batubara); HST (Hari Setelah Tanam); angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5 %

Hasil dari uji lanjut dengan metode DMRT taraf 5% memperlihatkan ketika 60 HST perlakuan K berbeda nyata dengan perlakuan TA3, TA4, TA5, dan TA6. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pemberian dosis abu terbang tidak dapat meningkatkan kandungan nitrogen secara signifikan, karena hanya sejumlah kecil yang terdapat di abu terbang. Menurut Kurniawan *et al.* (2014) kandungan total nitrogen abu terbang sebesar 0.0024% sehingga jumlahnya dapat diabaikan. Penambahan abu terbang dan bahan organik didalam tanah dapat mempercepat proses mineralisasi sehingga dapat meningkatkan kandungan nitrogen. Menurut pendapat Patti *et al.* (2013) unsur nitrogen dalam tanah berhubungan erat dengan bahan organik tanah, jika kandungan bahan organik tinggi maka kandungan N-tanah juga tinggi. Rendahnya nilai N total yang terjadi pada dosis abu terbang 30% dapat dipengaruhi oleh

beberapa faktor seperti pencucian bersama air drainase, penguapan dan diserap oleh tanaman. Menurut Nurmegawati *et al.* (2020) menjelaskan bahwa sebagian nitrogen terangkut panen, sebagian kembali sebagai residu tanaman, hilang ke atmosfer, dan hilang melalui pencucian. Proses hilangnya N yang terdapat dalam tanah dapat disebabkan volatilisasi dalam bentuk amonia. Menurut Mashfufah dan Prasetya (2019) penguapan dapat menyebabkan hilangnya kandungan hara N setengah dari jumlah semula.

Kandungan P total dan P tersedia

Fosfor merupakan salah satu unsur hara makro esensial dan secara alami fosfor di dalam tanah berbentuk senyawa organik atau anorganik. Unsur fosfor berperan penting dalam fotosintesis dan perkembangan akar. Ketersediaan fosfat dalam tanah jarang yang melebihi 0,01% dari total P. Hal ini terjadi pada tanah masam, banyak kation Al^{3+} dan Fe^{3+} dapat mengikat ion H_2PO_4 akibatnya ketersediaan P dalam tanah tersebut rendah. Tanah yang mengandung kapur (tanah alkalin), kation Ca^{2+} yang banyak pada tanah tersebut akan mengikat unsur P. Maka, ketersediaan P dalam tanah tersebut rendah.

P total

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan P total yang sejalan dengan penambahan dosis abu terbang (Tabel 6). Pemberian abu terbang dengan dosis rendah dan tinggi dapat meningkatkan nilai P total didalam tanah yang diperlukan untuk tanaman. Menurut Hart *et al.* (2003) abu terbang juga dapat memperbaiki sifat tanah dengan meningkatkan ketersediaan unsur-unsur makro. Hasil analisis ragam setiap dosis abu terbang tidak berpengaruh nyata terhadap nilai P total dalam tanah. Hasil Analisa P total 60 HST jauh lebih tinggi pada setiap perlakuan dibanding dengan analisa P total ketika 0 HST. Nilai P total seluruh perlakuan memiliki nilai yang relatif konstan ketika 60 HST. Kandungan P total tanah meningkat sejalan dengan peningkatan dosis abu terbang pada tanah. Ketika 0 HST perlakuan K memiliki nilai terendah sebesar 9,27 mg 100 g⁻¹ dan perlakuan TA2 dengan nilai tertinggi sebesar 13,6 mg 100 g⁻¹. Menurut Brouwers dan van Ejik (2003) menjelaskan

bahwa senyawa oksida yang terkandung di abu terbang batubara dapat terhidrolisis sehingga menghasilkan muatan negatif. Muatan negatif hasil dari reaksi hidrolisis tersebut dapat mengikat senyawa yang memiliki muatan positif yang berada didalam koloid tanah sehingga jejeran P menjadi berkurang. Penurunan jejeran P akibat pemberian abu terbang diindikasikan terjadi karena adanya senyawa negatif yang dilepas oleh abu terbang yang berikatan dengan ion Al^{3+} dan Fe^{2+} . Menurut Mashfufah dan Prasetya (2019) kekurangan unsur fosfor dapat disebabkan karena terfiksasi oleh mineral Al dan Fe dan penguapan yang dapat menurunkan jumlah kandungan P sekitar sepertiga dari jumlah awal.

Tabel 6. Kandungan P total tanah pada berbagai tingkat dosis ATB.

Perlakuan	P total (mg 100 g ⁻¹)	
	0 HST	60 HST
K (0% ATB, Kontrol)	9.27 a	21.12 a
TA1 (2,5% ATB)	8.35 ab	21.09 a
TA2 (5% ATB)	13.47 ab	21.43 a
TA3 (10% ATB)	9.22 ab	20.61 a
TA4 (15% ATB)	10.02 ab	21.04 a
TA5 (25% ATB)	10.02 ab	19.77 a
TA6 (30% ATB)	11.67 b	21.35 a

Keterangan: Nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari ketiga ulangan; ATB (Abu Terbang Batubara); HST (Hari Setelah Tanam); angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5 %

P tersedia

Hasil analisis ragam yang dilakukan setiap dosis abu terbang berpengaruh nyata terhadap nilai P tersedia. Peningkatan P tersedia pada 60 HST. Hasil analisis ketika 60 HST perlakuan TA6 memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 17,14 mg kg⁻¹ dan perlakuan K terendah yaitu sebesar 6,37 mg kg⁻¹. Pada analisa 0 HST perlakuan TA6 memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 13,33 mg kg⁻¹ dan nilai terendah pada perlakuan K sebesar 8,99 mg kg⁻¹. Pemberian dosis abu terbang dengan berbagai tingkatan berpengaruh nyata terhadap P tersedia tanah. Hasil analisa 60 HST nilai P tersedia lebih tinggi dibandingkan dengan analisis P tersedia ketika 0 HST (Tabel 7).

Perlakuan pemberian abu terbang menunjukkan nilai ketersediaan P yang lebih tinggi daripada perlakuan kontrol. Hal ini dapat disebabkan karena peran abu terbang dalam meningkatkan ketersediaan P dalam tanah yaitu dengan silika yang terkandung dapat menggantikan posisi P yang dijerap (Prasetyo *et al.*, 2010). Anion p akan keluar ke dalam larutan tanah dan jejeran akan ditempati oleh silikat. Wilujeng dan Handayanto (2019) juga menjelaskan bahwa akan terjadi peningkatan kadar P tanah dengan pemberian silika sehingga menjadi bentuk yang lebih tersedia bagi tanaman.

Tabel 7. Kandungan P tersedia tanah pada berbagai tingkat dosis ATB.

Perlakuan	P tersedia (mg kg ⁻¹)	
	0 HST	60 HST
K (0% ATB, Kontrol)	8.99 a	6.37 a
TA1 (2,5% ATB)	10.59 a	10.28 ab
TA2 (5% ATB)	10.50 a	11.31 abc
TA3 (10% ATB)	10.85 a	13.85 bc
TA4 (15% ATB)	12.80 a	14.70 bc
TA5 (25% ATB)	12.80 a	15.17 bc
TA6 (30% ATB)	13.33 a	17.14 c

Keterangan: Nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari ketiga ulangan; ATB (Abu Terbang Batubara); HST (Hari Setelah Tanam); angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5 %

Peningkatnya P tersedia juga dapat disebabkan oleh kenaikan pH tanah, nilai P tersedia tertinggi yang terdapat pada perlakuan TA6 dengan dosis abu terbang tertinggi memiliki nilai pH 6,70. Menurut Lee *et al.* (2007) dari hasil penelitian yang telah dilakukan di Korea Selatan didapatkan bahwa tanah yang diberi abu terbang dengan jumlah 120 t ha⁻¹ menyebabkan peningkatan P yang disebabkan terjadinya kenaikan pH tanah. Penurunan nilai P yang terjadi pada perlakuan K dan TA1 dapat disebabkan karena pH yang rendah pada perlakuan K karena tanah yang masam dapat meningkatkan jejeran P oleh Al dan Fe sehingga menurunkan ketersediaan P (Hermawan *et al.*, 2013). Penurunan P tersedia yang terjadi pada perlakuan penambahan abu terbang Menurut Sheoran *et al.* (2014) dapat

disebabkan oleh menurunnya kapasitas tukar anion dari tanah.

Kandungan K-total

Unsur kalium berfungsi sebagai media transportasi yang membawa hara-hara dari akar termasuk hara P ke daun dan mengtranslokasi asimilat dari daun ke seluruh jaringan tanaman. Kurangnya hara K dalam tanaman dapat menghambat proses transportasi dalam tanaman. Jumlah kalium yang diserap oleh tanaman ditentukan oleh beberapa faktor termasuk konsentrasi kalium dalam larutan tanah. Makin tinggi konsentrasi kalium tanah makin tinggi serapan kalium tanaman. Hasil pengukuran K total tanah yang disajikan pada Tabel 8 memperlihatkan bahwa adanya interaksi antara dosis abu terbang terhadap K-total tanah yang ditunjukkan dengan perubahan nilai K total.

Tabel 8. Kandungan K total tanah pada berbagai tingkat dosis ATB.

Perlakuan	K total (mg 100g ⁻¹)	
	0 HST	60 HST
K (0% ATB, Kontrol)	10.21 bcd	4.90 a
TA1 (2,5% ATB)	11.56 cd	9.22 abc
TA2 (5% ATB)	13.45 d	6.11 ab
TA3 (10% ATB)	8.04 bc	7.69 abc
TA4 (15% ATB)	11.12 cd	10.50 bc
TA5 (25% ATB)	4.06 a	10.84 bc
TA6 (30% ATB)	7.31 b	12.28 c

Keterangan : Nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari ketiga ulangan; ATB (Abu Terbang Batubara); HST (Hari Setelah Tanam); angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5 %

Perubahan nilai pada perlakuan TA5 dan TA6 memperlihatkan pengaruh abu terbang pada peningkatan K-total. Pemberian abu terbang dengan dosis 15, 25, dan 30% berpengaruh terhadap perlakuan tanpa penambahan abu terbang. Dosis dengan abu terbang kurang dari 15% tidak berpengaruh nyata pada perubahan nilai K-total tanah. Hyup *et al.* (2006) menjelaskan abu terbang batubara mengandung senyawa Si, P dan K sehingga berpotensi sebagai

bahan amelioran tanah. Priatmadi *et al.* (2014) dalam penelitian pengaruh abu batubara terhadap sifat kimia tanah mendapati adanya peningkatan nilai kalium total dalam tanah. Peningkatan nilai kalium total dalam tanah dengan pemberian dosis abu terbang tinggi juga disebabkan karena senyawa K salah satu kation dominan didalam abu terbang. Menurut Kishor *et al.* (2010) secara kimia 90-99% abu terbang tersusun oleh unsur Si, Al, Fe, K, Mg, dan Na. Kation dominan yang ditemukan yaitu Ca dan diikuti oleh Mg, Na dan K. Meningkatnya nilai K-total pada tanah juga dapat dipengaruhi oleh dosis yang optimum dari abu terbang yang menunjang sifat kimia tanah. Hasil penelitian yang telah dilakukan pada dosis 25-30% didapatkan adanya perubahan nilai K. Dosis yang optimum dalam aplikasi abu terbang pada tanah pertanian adalah dengan rasio 20% hingga 30% (Pathan *et al.*, 2003).

Konsentrasi timbal (Pb) pada tanah dan tanaman

Konsentrasi Pb dalam tanaman merupakan jumlah Pb yang terdapat di dalam tajuk atau akar tanaman akar wangi. Masuknya logam ke dalam akar merupakan langkah pertama dalam proses akumulasi logam. Konsentrasi Pb dalam tajuk tanaman berkaitan dengan kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan dan menyimpan Pb pada biomasnya. Nilai konsentrasi Pb pada tanaman dipengaruhi oleh nilai *Translocation Factor* (TF) yang merupakan rasio konsentrasi logam Pb dalam tajuk tanaman dengan konsentrasi logam dalam akar tanaman. Hasil konsentrasi Pb pada tanah didapatkan dari analisis ragam yang menunjukkan bahwa kandungan timbal di dalam tanah berbeda nyata antar perlakuan (Tabel 9). Konsentrasi timbal media tanam berkisar 1,04 hingga 3,75 mg kg⁻¹. Menurut Alloway (1995), perlakuan penambahan 100 ppm masih berada dalam batas normal atau batas toleransi timbal dalam tanah dengan kisaran 2-300 mg kg⁻¹. Pengaruh nyata yang terjadi antara dosis abu terbang dan nilai timbal, hal ini memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi timbal di tanah terjadi sejalan dengan penambahan dosis abu terbang ke media tanam. Sondari (2011) melaporkan bahwa penambahan abu terbang akan meningkatkan kadar logam timbal pada tanah dan mempengaruhi serapan logam timbal pada

tanaman. Karakteristik tanah juga dapat berpengaruh terhadap daya larut logam di dalam tanah. Penelitian ini menggunakan tanah bertekstur pasir dengan pH 5,6 dan Kapasitas Tukar Kation 23,5 me 100 g⁻¹ dan kandungan BO tanah 2,4%. Menurut Nascimento *et al.*

(2014) tanah yang memiliki karakteristik pasir tinggi, nilai KTK serta bahan organik rendah menunjukkan mobilitas Pb yang tinggi, sehingga mengakibatkan ketersediaan Pb yang tinggi di dalam tanah.

Tabel 9. Hasil konsentrasi timbal pada media tanam dan tanaman.

Perlakuan	Pb Tanah (mg kg ⁻¹)	Pb akar (mg kg ⁻¹)	Pb tajuk (mg kg ⁻¹)
K (0% ATB, Kontrol)	1.042 a	0.615 a	0.194 a
TA1 (2,5% ATB)	1.294 b	0.815 b	0.251 b
TA2 (5% ATB)	1.465 b	0.926 b	0.222 ab
TA3 (10% ATB)	2.430 c	1.535 c	0.377 c
TA4 (15% ATB)	2.945 d	1.854 d	0.460 d
TA5 (25% ATB)	3.756 e	2.379 e	0.578 e
TA6 (30% ATB)	4.075 f	2.583 f	0.633 f

Keterangan: Nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari ketiga ulangan; ATB (Abu Terbang Batubara); HST (Hari Setelah Tanam); angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%.

Perbedaan konsentrasi timbal pada setiap bagian tanaman dapat dipengaruhi oleh tingkat toleransi tanaman terhadap cekaman logam berat dan terjadinya translokasi logam berat ke bagian tanaman. Hasil penelitian ini menunjukkan dengan adanya kenaikan konsentrasi Pb yang ditambahkan kedalam media tanam, kadar Pb yang terserap oleh akar wangi meningkat. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian Sondari (2011) yang menyatakan dengan penambahan abu terbang akan meningkatkan serapan logam Pb pada tanaman akar wangi. Penyerapan timbal oleh tanaman terjadi pada saat kondisi kesuburan dan kandungan bahan organik tanah rendah, sehingga ion Pb akan terlepas dari ikatan tanah.

Efektifitas penyerapan Pb oleh tanaman

Serapan atau Akumulasi Pb dalam tanaman merupakan suatu kemampuan yang dapat diukur menggunakan suatu metode. Akumulasi logam dalam tanaman digambarkan sebagai *Biological Accumulation Coefficient* (BAC), yaitu rasio konsentrasi logam dalam tajuk tanaman dengan konsentrasi logam dalam tanah. Tanaman dengan nilai BAC > 1 dapat digunakan untuk fitoekstraksi (Liu *et al.*, 2008). Kemudian mobilitas logam berat dari media tercemar ke dalam akar tanaman dan kemampuan mentranslokasikan logam dari akar

ke tajuk tanaman dapat dievaluasi menggunakan *Biological Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF) (Yoon *et al.*, 2006). BCF adalah rasio konsentrasi logam dalam akar tanaman dengan konsentrasi logam dalam tanah, sedangkan TF adalah rasio konsentrasi logam dalam tajuk tanaman dengan konsentrasi logam dalam akar tanaman. Tanaman dengan nilai BCF > 1 dan TF < 1 berpotensi digunakan untuk fitostabilisasi (Yoon *et al.*, 2006). Nilai TF, BCF, dan BAC yang diperoleh dalam penelitian ini semuanya memiliki nilai kurang dari 1.0 (Tabel 10). Efisiensi akar wangi menyerap Pb dari lingkungan ke bagian akar lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tajuk. Menurut Yoon *et al.* (2006) yang menyebabkan rendahnya nilai akumulasi karena terkadang akar mempunyai sistem penghentian transport logam menuju daun, sehingga ada penumpukan logam di akar. Menurut Brown *et al.* (1995) suatu tanaman dapat disebut hiperakumulator apabila memiliki laju translokasi logam berat yang tinggi akar ke tajuknya. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman akar wangi kurang cocok untuk dijadikan sebagai fitoekstraksi Pb karena akumulasi logam lebih banyak di dalam akar. Tanaman akar wangi bisa digunakan sebagai fitostabilisasi logam Pb pada tanah karena memiliki sifat toleran terhadap logam Pb.

Tabel 13. TF, BCF, dan BAC.

Perlakuan	TF	BCF	BAC
K (0% ATB, Kontrol)	0.315	0.590	0.186
TA1 (2,5% ATB)	0.308	0.630	0.194
TA2 (5% ATB)	0.239	0.632	0.151
TA3 (10% ATB)	0.245	0.631	0.155
TA4 (15% ATB)	0.247	0.629	0.156
TA5 (25% ATB)	0.242	0.633	0.153
TA6 (30% ATB)	0.245	0.633	0.155

Keterangan: BAC = *Biological Accumulation Coefficient* (konsentrasi logam dalam tajuk tanaman dibandingkan dengan konsentrasi logam dalam tanah), BCF = *Biological Concentration Factor* (konsentrasi logam dalam akar tanaman dibandingkan dengan konsentrasi logam dalam tanah), TF = *Translocation Factor* (konsentrasi logam dalam tajuk tanaman dibandingkan dengan konsentrasi logam dalam akar tanaman).

Kesimpulan

Penggunaan abu terbang sebagai pembenah berpengaruh nyata terhadap nilai pH, N total, P tersedia, P total, K-total, dan kandungan Pb dalam media tanam. Laju translokasi Pb dari akar ke tajuk tanaman akar-wangi relatif rendah sehingga kurang cocok untuk dimanfaatkan sebagai fitoremediator Pb yang terdapat dalam media tanam

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PLTU PT. Indonesia Power Suralaya, Kecamatan Pulomerak, Kota Cilegon, atas perkenan ijinnya menggunakan abu terbang batubara sebagai bahan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abbot, D.E., Essinton, M.E. and Ammons, J.T. 2001. Fly ash and lime-stabilized biosolid mixtures in mine spoil reclamation. *Journal of Environmental Quality* 30: 608-616.
- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Second Edition, Blackie Academic & Profesional, An Imprint of Chapman & Hall, Glasgow.
- Balai Penelitian Tanah. 2011. Petunjuk Teknis Edisi 2: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Agro Inovasi, Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Brouwers, J. and van Eijk, R.J. 2003. Alkali concentrations of pore solution in hydrating OPC. *Cement and Concrete Research* 33(2): 191-196, doi: 10.1016/S0008-8846(02)01022-0.
- Brown, S.L., Chaney, R.L., Angle, J.S. and Baker, A.J.M. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Soil Science Society of America Journal* 59: 125-133, doi: 10.2136/sssaj1995.03615995005900010020x.
- Damayanti, R. 2018. Abu batubara dan pemanfaatannya: tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 14(3): 213-231.
- Ghosh, M., Paul, J., Jana, A., De, A. and Mukherjee, A. 2014. Use of grass, *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash for detoxification and phytoremediation of soils contaminated with fly ash from thermal power plant. *Ecological Engineering* 74: 258-265.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N. dan Fiqri, A. 2017. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Universitas Brawijaya Press. Malang.
- Hardjowigeno, S. 1995. *Ilmu Tanah*. Edisi Revisi. Penerbit Akademika Pressindo. Jakarta. Hal 126
- Hart, B.R., Hayden, D.B. and Powell, M., 2003. Evaluation of Pulverized Fuel Ash Mixed with Organic Matter to Act as a Manufactured Growth Medium. *International Ash Utilization Symposium*, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, 2003. 119.
- Hermawan, A., Sabaruddin., Marsi. da Hayati, R. 2013. Status Jerapan Dan Ketersediaan P Abu Terbang Batubara Akibat Penamabahan Kotoran Ayam. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal "Intensifikasi Pengelolaan Lahan Suboptimal dalam Rangka Mendukung Kemandirian Pangan Nasional"*. Palembang.
- Hyup, L., Sung Ha, H., Hoon Lee, C. and Book Lee, Y. 2006. Fly ash effect on improving soil properties and rice productivity in Korean paddy soils. *Bioresource Technology* 97(13): 1490 – 1497.
- Inthasan, J., Hirunburana, H., Herrmann, L. and Stahr, K. 2002. Effects of fly ash application on

- soil properties, nutrient and environment in Northern Thailand. *Symposium* 249(24): 1-6.
- Kishor, P., Ghosh, A.K. and Kumar, D. 2010. Use of flyash in agriculture: A way to improve soil fertility and its productivity. *Asian Journal of Agricultural Research* 4(1): 1-14.
- Kurniawan, A.R., Adenan, D.D., Untung, S.R., Hadijah, N.R. dan Alimana, M. 2014. Laporan Penelitian Pemanfaatan Abu Terbang Batubara PLTU untuk Penimbunan pada Pra Reklamasi Tambang Batubara. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Badan Litbang energi dan Sumber Daya Mineral.
- Lee, C.H., Lee, H., Lee, Y.B., Chang, H.H., Ali, M.A., Min, W., Kim, S. and Kim, P.J. 2007. Increase of available phosphorus by fly ash application in paddy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 1551-1562.
- Liu, X., Gao, Y., Khan, S., Duan, G., Chen, A., Ling, L., Zhao, L., Liu, Z. And Wu, X. 2008. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *Journal of Environmental Sciences* 20: 1469–1474.
- Mashfufah, L.F. dan Prasetya, B. 2018. Pengaruh abu terbang batubara, kompos tandan kosong kelapa sawit, dan mikoriza terhadap ketersediaan dan serapan fosfor, pertumbuhan dan produksi jagung pada Ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 6(2):1261-1272.
- Nascimento, S.S., Silva, E., Alleoni, L.R., Graziotti, P., Fonseca, F. and Nardis, B. 2014. Availability and accumulation of lead for forage grasses in contaminated soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4): 783-802, doi:10.4067/s0718-95162014005000063.
- Nurmegawati., Iskandar. dan Sudarsono. 2020. Pengaruh abu dasar (bottom ash) dan kompos kotoran sapi terhadap serapan hara, pertumbuhan, dan hasil tanaman padi pada lahan sawah bukaan baru. *Jurnal Tanah dan Iklim* 44(1): 51-60.
- Pandey, V.C. and Singh, N. 2010. Impact of fly ash incorporation in soil systems. *Agriculture, Ecosystem, and Environment* 136(102): 16-27.
- Pathan, S.M., Aylmore, L.A.G. and Colmer, T.D. 2003. Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments, *Journal of Environmental Quality* 32: 687-693.
- Patti, P.S., Kaya, E. dan Silahooy, Ch. 2013. Analisis status nitrogen tanah dalam kaitannya dengan serapan n oleh tanaman sawah di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Agrologia*, 2(1): 51-58.
- Prasetyo, T.B., Yasin, S. dan Yeni, E. 2010. Pengaruh pemberian abu batubara sebagai sumber silika (Si) bagi pertumbuhan dan produksi tanaman padi (*Oryza sativa* L). *Jurnal Solum* 7(1):1-6.
- Priatmadi, B.J., Saidy, A.R. dan Septiana, M. 2014. Pengaruh abu batubara terhadap perbaikan sifat kimia tanah di Kalimantan Selatan. *Buana Sains* 14(2): 1-6.
- Sheoran, H.S., Duhan, B.S. and Kumar, A. 2014. Effect of fly ash application on soil properties: a review. *Journal of Agroecology and Natural Resource Management* 1(2) : 98-103
- Sondari, N. 2011. Effect of bokashi bottom ash dosages on the growth of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) and its lead content. *Indonesian Mining Journal (IMJ)*, 14(3):101-107
- Wilujeng, R. dan Handayanto, E. 2019. Perbaikan produksi tanaman jagung pada ultisol menggunakan abu terbang batubara dan kompos tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 6(1): 1043-1054.
- Wiskandar. 2009. Pengaruh Abu terbang batubara dan pupuk kandang terhadap lahan bekas tambang batubara. *Tanah Lingkungan* 6(2): 52-58.
- Yoon, J.C., Qixing, X.Z. and Ma L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment* 368(2-3): 456-64, doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016.