

***Azotobacter chroococcum* Dan Pembena Tanah Untuk Menurunkan Serapan Kadmium Oleh Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.)**

Reginawanti Hindersah, Nofalia Nurfitriana, Betty Natalie Fitriatin

Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran
Jalan Raya Bandung Sumedang Km. 21 Jatinagor 45363
reginawanti@unpad.ac.id

ABSTRAK

Cemaran logam dari industri ke sawah maupun dari input pertanian tertentu dapat menyebabkan kontaminasi logam berat kadmium yang menurunkan pertumbuhan serta kualitas padi. Bioremediasi dengan bakteri rizosfer adalah metode yang efektif untuk menurunkan ketersediaan logam berat toksis. Percobaan pot ini bertujuan untuk mempelajari perubahan serapan kadmium di tajuk tanaman padi melalui aplikasi pupuk hayati *Azotobacter chroococcum* dan berbagai amelioran. Penelitian dirancang dalam rancangan acak pola kelompok pola faktorial dengan dua faktor perlakuan yaitu konsentrasi *A. chroococcum* dan amelioran organik maupun anorganik. Baik inokulasi *Azotobacter* maupun penambahan berbagai jenis amelioran tidak mengubah kemasaman tanah, tanah tetap netral. Inokulasi *Azotobacter* dengan konsentrasi 10^8 cfu mL⁻¹ meningkatkan populasi *Azotobacter* jika disertai dengan aplikasi amelioran biochar, kompos jerami maupun zeolite. Pada tanaman yang diinokulasi *Azotobacter*, serapan N meningkatkan tetapi serapan kadmium menurun. Penelitian ini memperlihatkan bahwa pupuk hayati *Azotobacter* dapat berperan dalam menurunkan serapan kadmium tanaman pangan penting, padi.

Kata kunci: *Azotobacter*, Bioremediasi Kadmium, Padi

***Azotobacter chroococcum* And Soil Ameliorant For Lowering Cadmium Uptake By Paddy (*Oryza sativa* L.)**

ABSTRACT

Heavy metal contamination in paddy field which came from industry nearby and agricultural input. Increased level of toxic heavy metal cadmium will threat rice production and quality. Bioremediation by used of rhizosphere bacteria is an easy, cheap and effective method to control toxic metal uptake. Pot experiment has been done to study the change in cadmium uptake after biofertilizer *Azotobacter chroococcum* inoculation and some soil ameliorant. Experiment has been carried out in factorial completely randomized block design with *A. chroococcum* and ameliorant as treatments. Either *Azotobacter* inoculation or soil ameliorant didn't change soil acidity, the soil still neutral. Rhizosphere of paddy received biochar, hay compost and biochar and inoculated with 10^8 cfu mL⁻¹ *Azotobacter* was colonized by more *Azotobacter* compared to uninoculated one. All plant treated with *Azotobacter* has higher nitrogen uptake but lower cadmium uptake. This experiment suggested that biofertilizer *Azotobacter* has a significant role to decrease cadmium uptake by padi, an important food crop.

Key Words: *Azotobacter*, Bioremediation, Cadmium, Paddy.

PENDAHULUAN

Kadmium bersifat toksik pada konsentrasi rendah; di dalam tanah alami, konsentrasi Cd adalah 0 – 1 mg kg⁻¹ dan tanah dianggap terkontaminasi Cd jika konsentrasinya telah mencapai 3-8 mg kg⁻¹ (Alloway, 1995). Keracunan Cd menyebabkan daun mengandung sedikit klorofil dan tanaman mengakumulasi logam berat (Rascio

et al., 2008). Salah satu cara untuk menekan toksisitas Cd di tanah adalah bioremediasi dengan bakteri rizosfer dan menambahkan pembena tanah seperti biochar, kompos dan zeolit. Biochar memiliki muatan dan dapat mengikat unsur logam (Ferizal *et al.*, 2011) seperti logam Cd dalam tanah selain meningkatkan konsentrasi karbon organik tanah, pH tanah, KTK dan struktur tanah

(Chan *et al.*, 2007). Bahan organik lain seperti kompos dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah (Ndubuisi-Nnaji *et al.*, 2011) serta telah dilaporkan dapat menurunkan kandungan Cd hingga 37,3% (Adji, 2006). Amelioran zeolit dapat mengadsorpsi logam berat seperti Pb, Cd, Cu, Cr dan Ni (Dhahiyat, 2009).

Pemberian pembenah tanah seperti amelioran seperti zeolit, biochar dan kompos menyebabkan logam terikat kuat pada senyawa organik (Adji, 2006) sehingga tidak tersedia untuk tanaman. Logam dalam tanah dapat membentuk ikatan yang kompleks dengan senyawa organik seperti asam humat dan fulvat dengan bentuk kelat, yang mempengaruhi ketersediaan logam dalam tanah (Ariyanto, 2006). Namun, mengurangi konsentrasi Cd dalam tanah dan tanaman saja tidak cukup, harus disertai dengan upaya peningkatan pertumbuhan tanaman tersebut agar mampu tumbuh dan memiliki produktivitas yang baik walaupun dalam kondisi tanah tercemar oleh bahan berbahaya, salah satunya adalah dengan pemberian Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) bakteri *Azotobacter* sp.

Resistensi *Azotobacter* terhadap logam berat telah dilaporkan oleh beberapa peneliti (Hindersah *et al.*, 2009; Joshi & Juwarkar, 2009). Selain itu, *Azotobacter* sebagai PGPR dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman pangan termasuk padi melalui fiksasi nitrogen dan produksi berbagai fitohormon. Aplikasi amelioran diharapkan mampu mengadsorpsi logam berat Cd dalam tanah sehingga menurunkan ketersediaan logam dan meningkatkan kualitas tanah serta menekan serapan logam oleh tanaman. Percobaan ini dilakukan untuk mendapatkan informasi peran *Azotobacter* dengan beberapa jenis amelioran terhadap perubahan kemasaman tanah, populasi *Azotobacter* sp., serapan N dan Cd tanaman padi.

METODOLOGI

Isolat *Azotobacter chroococcum* yang diisolasi dari rizosfer tanaman padi di

Karawang, merupakan koleksi Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Biochar arang sekam dan kompos jerami diperoleh dari Sanggar Penelitian Latihan dan Pengembangan Pertanian Ciparay milik Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Zeolit alami komersial adalah Clinoptilolite ($(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96})_{24}\cdot\text{H}_2\text{O}$).

Percobaan pot dirancang dalam Rancangan Acak Kelompok pola Faktorial dengan tiga ulangan untuk menguji dua konsentrasi inokulan cair *A. chroococcum* (10^7 dan 10^8 cfu mL⁻¹) dan tiga jenis pembenah tanah (Biochar, Kompos dan zeolite). Inokulan cair *Azotobacter* diberikan sebanyak 50 mL per pot sedangkan dosis amelioran diberikan berdasarkan dosis rekomendasi dan kapasitas tukar kation zeolite sehingga sehingga amelioran diberikan sebanyak 27 g pot⁻¹ untuk biochar, 22 g pot⁻¹ untuk kompos dan 15 g pot⁻¹ untuk zeolit. Tanaman kontrol tidak mendapatkan inokulan dan pembenah tanah.

Tanah sawah sebanyak 5 kg dimasukkan ke dalam pot dan dikontaminasi dengan CdCl₂·0,5H₂O sampai mencapai 20 mg kg⁻¹ Cd dan diinkubasi tujuh hari. Amelioran dicampur merata dengan dosis sesuai perlakuan kemudian tanah diinkubasi kembali selama 7 haridan dilumpurkan dengan ketinggian air 0,5 cm.

Pembibitan padi dilakukan di dalam baki plastik dengan media tanah sawah dicampur dengan pupuk kandang (2:1, v:v). Bibit berumur 12 hari dengan dua helai daun dipindahtanamkan ke dalam pot percobaan; satu lubang satu bibit padi dengan kedalaman 1-1,5 cm. Inokulan cair diaplikasikan 4 hari setelah tanam dengan dosis 50 mL dengan cara disiramkan merata di permukaan tanah.

Pupuk urea, SP-36 dan KCl diberikan tiga kali yaitu pada saat tanam dengan dosis 25% dari dosis rekomendasi, umur 24 HST dengan dosis 50% dari dosis rekomendasi, dan umur 38 HST dengan dosis 25% dari dosis rekomendasi. Untuk tanaman padi, dosis rekomendasi urea, SP-36 dan KCl adalah

masing-masing 300 kg/ha, 100 kg/ha dan 100 kg/ha.

Tanaman padi pada penelitian ini memasuki tahap vegetatif akhir pada umur 70 hari saat didestruksi. Tanaman dipisahkan dari media tanam; tanah rizosfer dikoleksi dan disimpan pada suhu 4°C. Penghitungan populasi *Azotobacter* dilakukan dengan metode pengenceran plat pada media Ashby bebas N. Media tanam diaduk merata sebelum sampel tanah dikoleksi untuk pengukuran kemasaman dan konsentrasi C-organik.

Akar dipisahkan dari tajuk tanaman, dibersihkan dari tanah yang menempel. Sampel akar dan tajuk dikeringkan pada suhu 60°C sampai berat konstan sebelum bobot akar dan tanaman ditetapkan secara terpisah. Konsentrasi Cd total di tajuk diukur dengan Atomic Adsorption Spectrometry setelah

destruksi basah dengan asam campuran. Penetapan kandungan N tajuk dilakukan dengan metode Kjeldahl. Pengujian signifikansi pengaruh perlakuan dilakukan dengan analisis ragam (uji F) pada taraf nyata 95%. Bila terdapat perbedaan yang nyata, pengujian perbedaan antar perlakuan dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon Organik dan pH Tanah

Tidak terdapat interaksi antara dosis *A. chroococcum* dengan jenis amelioran terhadap C-organik tanah, namun amelioran berperan dalam meningkatkan C-organik tanah. Inokulasi *Azotobacter* tidak mengubah konsentrasi C-organik tanah tetapi pemberian amelioran mampu meningkatkan C-organik tanah berkisar antara 2,35 – 2,44 % (Tabel 1).

Tabel 1. Pengaruh *A. chroococcum* dan amelioran terhadap C-Organik dan kemasamanTanah

Perlakuan	C-organik (%)	Kemasaman
<i>A. chroococcum</i>		
Tanpa <i>A. Chroococcum</i>	2,32 a	6,52 a
<i>A. chroococcum</i> 10 ⁷ cfu mL ⁻¹	2,21 a	6,57 a
<i>A. chroococcum</i> 10 ⁸ cfu mL ⁻¹	2,32 a	6,58 a
Jenis Amelioran		
Tanpa Amelioran	1,93 a	6,61 a
Biochar	2,39 b	6,44 a
Kompos Jerami	2,44 b	6,58 a
Zeolit	2,35 b	6,60 a

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %

Pengukuran C-organik secara tidak langsung dapat menentukan bahan organik tanah. Bahan organik mengandung sekitar 58% C (USDA, 2009); berdasarkan Tabel 1, maka kandungan bahan organik tanah tanpa amelioran adalah 3,16% sedangkan kandungan bahan organik tanah dengan biochar, kompos jerami dan zeolite adalah masing-masing 3,92%; 4,00% dan 3,85 %.

Kompos jerami dan biochar menyumbangkan C-organik tanah paling banyak dibandingkan dengan kontrol. Kompos jerami dan biochar yang digunakan pada percobaan ini mengandung 18,17% dan 21,24% C organik. Zeolit tidak mengandung C-organik, peningkatan C-organik oleh zeolite (Tabel 1) dapat disebabkan oleh eksudat akar dan metabolit sekunder dari bakteri *A.*

chroococcum. Karbon organik tanah tanpa perlakuan adalah 1,93%, meningkat daripada tanah sebelum ditanami 1,63%, lebih disebabkan oleh efek tidak langsung. Zeolit berperan dalam meningkatkan kapasitas tukar kation yang memfasilitasi peningkatan serapan unsur hara yang menginduksi pertumbuhan tanaman yang menyumbang sisa akar, eksudat akar, sel akar yang terlepas, sel dan metabolit mikroba ke media tanam.

Tidak terdapat interaksi antara kepadatan *A. chroococcum* dan jenis amelioran terhadap pH tanah dan juga tidak terdapat pengaruh mandiri dari keduanya terhadap pH tanah (Tabel 1). Penggenangan tanah pada lahan sawah menyebabkan tanah bergerak ke arah netral. Kemasaman awal tanah sebelum diberi perlakuan yaitu 6,28. Kemasaman tanah mendekati netral menyebabkan fosfat tersedia tetapi logam dan logam berat tidak larut.

Faktor yang paling berperan dalam meningkatkan ketersediaan Cd adalah pH

(Alloway, 1997), pH masam menyebabkan logam berat mobil dan diserap tanaman (Sherene, 2010). Mobilitas dan konsentrasi logam berat dalam tanah akan menurun pada pH netral atau basa (Munoz-Melendez *et al.*, 2000). Pada penelitian ini, kisaran pH tanah adalah 6,44 – 6,60 mendekati netral sehingga ketersediaan Cd rendah.

Populasi *A. chroococcum*

Pengaruh kepadatan inokulan *Azotobacter* terhadap populasi *Azotobacter* di rizosfer tergantung dari jenis amelioran yang ditambahkan (Tabel 2). Pada akhir masa vegetatif (70 hst), Aplikasi 50 mL *A. chroococcum* dengan 10^8 cfu mL⁻¹ menginduksi proliferasi *Azotobacter* pada rizosfer tanaman yang diberi ketiga amelioran. Jika inokulan hanya diberikan dengan konsentrasi 10^7 cfu mL⁻¹ maka tidak terdapat peningkatan populasi *Azotobacter* meskipun media tanam diberi pembenah tanah.

Tabel 2. Pengaruh Kepadatan *A. chroococcum* dan Amelioran terhadap Populasi Total *A. chroococcum* pada Rhizosfer Tanaman Padi pada 70 HST.

Kepadatan <i>A. chroococcum</i> (A)	Jenis Amelioran (B)			
	Tanpa Amelioran (b ₀)	Biochar (b ₁)	Kompos Jerami (b ₂)	Zeolit (b ₃)
----- (x 10 ⁴ cfu g ⁻¹) -----				
Tanpa <i>A. chroococcum</i>	0,67 A a	0,67 A a	1,67 A a	1,67 A A
<i>A. chroococcum</i> 10 ⁷ cfu mL ⁻¹	1,33 A a	1,67 A a	2,67 A a	2,00 A A
<i>A. chroococcum</i> 10 ⁸ cfu mL ⁻¹	22,44 A b	59,11 C b	45,26 B b	35,00 B B

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %. Huruf kecil dibaca ke arah vertikal dan huruf kapital ke arah horizontal.

Inokulasi dengan kepadatan 10^8 cfu mL⁻¹ diduga adalah kepadatan yang cukup untuk bakteri *A. chroococcum* tetap hidup, memfiksasi nitrogen, menghasilkan EPS dan fitohormon untuk pertumbuhan tanaman padi yang ditanam pada tanah terkontaminasi serta

menunjukkan bahwa bakteri tersebut relatif resisten terhadap keberadaan logam berat Cd. Kompos jerami dan biochar yang digunakan pada percobaan ini mengandung 18,17% dan 21,24% C-organik yang merupakan sumber karbon untuk *Azotobacter* yang heterotrof.

Kompos jerami juga mengandung nutrisi dan mineral serta menjadi sumber N dan C sebagai substrat metabolisme biologi (Arafah dan Sirappa, 2003).

Hasil percobaan ini sejalan dengan hasil penelitian Hunt *et al.* (2010) bahwa kelimpahan mikroba terdapat pada tanah yang diberi biochar. Pori-pori biochar menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah seperti *Azotobacter* yang bersifat aerob. Aplikasi biochar ke dalam tanah meningkatkan ketersediaan fosfor dan nitrogen, dan kapasitas tukar kation tanah dan juga biochar memiliki kandungan C-organik yang paling baik yaitu 21,24 %. C-organik sangat penting bagi perkembangan *A. chroococcum* karena C merupakan salah satu sumber energi bagi bakteri *Azotobacter* yang aerob dan heterotrof.

Populasi tertinggi, 59,11 cfu g⁻¹, terdapat pada rizosfer padi yang diberi *A. chroococcum* 10⁸ cfu mL⁻¹ disertai biochar. Perlakuan *A. chroococcum* dengan dosis yang sama disertai kompos jerami menginduksi populasi *Azotobacter* sampai 45,26 x 10⁴ cfu g⁻¹. Hal tersebut terjadi karena kompos jerami mampu menyediakan nutrisi yang juga cukup baik untuk *A. chroococcum* dengan kandungan C-organik terbaik kedua setelah biochar yaitu

18,17 %. Selain itu, biochar juga mengikat logam berat dan asam-asam organik yang terdapat dalam bahan organik mampu mengkelat unsur-unsur beracun dalam tanah sehingga menjadi tidak berbahaya bagi tanaman (Hamzah *et al.*, 2012). Kapasitas biochar ini menurunkan konsentrasi Cd tanah yang diserap tanaman.

Serapan Nitrogen dan Kadmium Tanaman

Pengaruh dosis *Azotobacter* terhadap serapan N dan Cd tanaman tidak ditentukan oleh jenis amelioran (Tabel 3). Dalam hal penyerapan nutrisi, peran *A. chroococcum* dapat lebih dominan daripada amelioran. *Azotobacter* menambat N₂ dan membuatnya dapat diserap oleh tanaman. Pemberian 50 mL *A. Chroococcum* kepadatan 10⁸ cfu mL⁻¹ pada tanah terkontaminasi Cd sebesar 20 mg kg⁻¹ meningkatkan serapan N tanaman sampai 130,48 mg pot⁻¹ atau meningkat 28,8%. Nilai ini tidak berbeda nyata dengan serapan N tanaman yang diberi inokulan kepadatan 10⁷ cfu mL⁻¹. Fakta ini menjelaskan bahwa keduanya sama efektif, dan penggunaan inokulan dengan kepadatan rendah lebih efisien.

Tabel 3. Pengaruh *A. chroococcum* dan Amelioran terhadap Serapan N dan Cd Tanaman

Perlakuan	Serapan N (mg/tanaman)	Serapan Cd (mg/tanaman)
<i>A. chroococcum</i> (A)	92,82 a	0,24 a
Tanpa <i>A. Chroococcum</i>	124,36 b	0,21 b
<i>A. chroococcum</i> 10 ⁷ cfu mL ⁻¹	130,48 b	0,19 b
<i>A. chroococcum</i> 10 ⁸ cfu mL ⁻¹		
Jenis Amelioran (B)	109,56 a	0,28 a
Tanpa Amelioran	124,39 a	0,21 a
Biochar	111,24 a	0,16 b
Kompos Jerami	118,34 a	0,19 b
Zeolit	92,82 a	0,24 a

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %.

Inokulasi dengan kepadatan lebih rendah tetap meningkatkan serapan N yang tidak berbeda nyata dengan efek inokulasi *Azotobacter* kepadatan rendah. Peningkatan serapan nitrogen pada penelitian ini dapat disebabkan oleh dua hal yaitu fiksasi nitrogen yang meningkatkan N tersedia tanah $N-NO_3^-$ maupun $N-NH_4^+$; dan peningkatan pertumbuhan akar oleh fitohormon yang dihasilkan *Azotobacter*. Selain itu, *A. chroococcum* mampu mensintesis vitamin B, asam indol asetat dan giberelin (Syam'un *et al.*, 2012) hal tersebut menjadikan tanaman cepat menyerap NO_3^- dan NH_4^+ . Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Danapriatna *et al.* (2010) bahwa *Azotobacter* sp. mampu meningkatkan N total tanah dan serapan N tanaman. Kondisi tanah terkontaminasi Cd sampai 20 mg kg^{-1} ternyata tidak menghalangi *A. chroococcum* untuk memfasilitasi serapan nitrogen tanaman.

Baik inokulasi *Azotobacter* maupun aplikasi Biochar dan kompos jerami menurunkan Cd tanaman (Tabel 3.). Penurunan serapan Cd oleh *Azotobacter* karena EPS yang dihasilkannya dapat mengikat logam berat Cd dan juga Cr (Joshi & Juwarkar, 2009). Djelaskan bahwa pada kondisi in vitro, pertumbuhan *Azotobacter* terhambat oleh sedikitnya $20 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$. Kompos jerami maupun zeolit mampu menurunkan konsentrasi Cd tanaman dibanding dengan perlakuan Kontrol.

Kompos dapat mengikat logam berbahaya dan mengurangi penyerapannya oleh tanaman sehingga mencegah tercemarnya rantai makanan (U.S. Environment Protection Agency, 1998). Kompos jerami seperti bahan organik matang lainnya memiliki muatan negative di permukaan koloid organik yang dapat mengikat kation Cd. Bahan organik hasil pengomposan secara umum mengandung asam organik seperti asam humat yang memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi yang menyerap logam sehingga logam menjadi tidak larut dan tidak meracuni tanaman (Tan, 2003). Kompos jerami memiliki Kapasitas Tukar Kation yang baik

yaitu sebesar $30,25 \text{ cmol kg}^{-1}$ sehingga penambahan kompos jerami menurunkan ketersediaan logam di tanah (Cuevas *et al.*, 2014).

KESIMPULAN

Penelitian ini menjelaskan bahwa tidak ada perubahan kemasaman tanah setelah inokulasi *Azotobacter* maupun penambahan amelioran biochar, kompos jerami dan zeolite. Di akhir penelitian, kemasaman tanah tetap netral. Namun demikian, kadar C organik tanah meningkat setelah peambahan amelioran baik organik (biochar dan kompos jerami) maupun anorganik (zeolit). Inokulasi kultur cair *Azotobacter* dengan konsentrasi 10^8 cfu mL^{-1} meningkatkan populasi *Azotobacter* jika disertai dengan aplikasi amelioran biochar, kompos jerami maupun zeolite. Serapan N tanaman meningkat tetapi serapan Cd tanaman menurun setelah inokulasi *Azotobacter*. Efek pemberian amelioran terhadap serapan Cd bervariasi tergantung dari jenis ameliorant. Biochar dan kompos jerami menurunkan serapan Cd tanaman sedangkan zeolite tidak mengubah serapan Cd. Secara umum penelitian ini memperlihatkan bahwa pupuk hayati *Azotobacter* dapat berperan dalam menurunkan serapan kadmium tanaman padi dan keberadaannya di rizosfer tanaman padi akan meningkat dengan aplikasi amelioran organik maupun anorganik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Litbang Kementerian Pertanian untuk analisis Kadmium.

DAFTAR PUSTAKA

Adji, S. S. 2006. Rehabilitasi Tanah Sawah Tercemar Natrium dan Logam Berat Melalui Pencucian, Penggunaan Vegetasi, Bahan Organik Dan Bakteri.

- Tesis. Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Alloway, B. J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Blackie and Sons Limited, London.
- Ariyanto, D. P. 2006. *Ikatan antara Asam Organik Tanah dengan Logam*. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta, Solo.
- Chan, K.Y., B.L. Van Zwieten, I. Meszaros, D. Downie, and S. Joseph, S. 2007. *Agronomic Values of Greenwaste Biochars as a Soil Amandments*. *Australian Journal of Soil Research*, 45:625-634.
- Cuevas, V.C., J.U Orarjay and C.A. Lagman Jr. 2014. *Rice Straw Compost as Amendment to Reduce Soil Copper Toxicity in Lowland Rice Paddy Field*. 7(2):350-355.
- Arafah dan M.P. Sirappa. 2003. *Kajian Penggunaan Jerami dan Pupuk N, P dan K Pada Lahan Sawah Irigasi*. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 4(1):15-24.
- Danapriatna, N., R. Hindersah, dan Y. Sastro. 2010. *Pengembangan Pupuk Hayati Azotobacter dan Azospirillum untuk Meningkatkan Produktivitas dan Efisiensi Penggunaan Pupuk N di Atas 15% pada Tanaman Padi*. Hasil-hasil Penelitian Pertanian dengan Perguruan Tinggi (KKP3T). Litbang Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Dhahiyat, N R. 2009. *Oily Sludge Bioremediation with Zeolite and Microorganism and It's Test with Albizia Plant (Paraserianthes falcataria L. Nielsen)*. Departement of Biology Universitas Padjadjaran Bandung.
- Ferizal, M., A.B. Basri. 2011. *Arang Hayati (Biochar) Ssbagai Pembenh Tanah*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Aceh. Banda Aceh
- Hamzah, A., Z. Kusuma, W.H. Utomo dan B. Guritno. 2012. *Penggunaan Tanaman Vetiveria zizanoides L. dan Biochar Untuk Remediasi lahan Pertanian Tercemar Limbah Tambang Emas*. *Buana Sains*. 12(1):53-60.
- Hindersah, R., D.H. Arief., S. Soemitro, dan L. Gunarto. 2009. *Pengaruh CdCl₂ terhadap produksi Eksopolisakarida dan Daya Hidup Azotobacter*. *Jurnal Natur Indonesia* 12(1):31-37
- Hunt,J., M. DuPont, D. Sato, A. Kawabata. 2010. *The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment* . *Soil and Crop Management SCM-30*, 6 halaman.
- Munoz-Melendez G, A. Korre, and S.J. Parry. 2000. *Influence of soil pH on The Fractionation of Cr, Cu and Zn in Solid Phases From a Landfill Site*. *J. Environmental Pollution*, 110(3): 497–504
- Ndubuisi-Nnaji, U.U., A.A. Adegoke, H.I. Ogbu, N.O. Ezenobi, and A.I. Okoh. 2011. *Effect of Long-Term Organic Fertilizers Application on Soil Microbial Dynamics*. *Afr. J. Biotechnol.* 10(4): 556-559.
- Sherene, T. 2010. *Mobility and Transport of Heavy Metals in Polluted Soil Environment*. *Biological Forum – An International Journal* 2(2):112-121.
- Syam'un, E. Kaimuddin dan A. Dachlan. 2012. *Pertumbuhan Vegetatif dan Serapan Tanaman N yang Diaplikasi Pupuk N Anorganik dan Mikroba Penambat N Non-simbiotik*. *J. Agrivigor* 11(2): 251-261, Mei – Agustus 2012; ISSN 1412-2286 251
- Tan, K.H. 2003. *Humic Matter in Soil and the Environment*. Marcel Dekker Inc., New York.
- USDA. 2009. *Soil Quality Indicator*. USDA Natural Resources Conservatioan Service. www.nrcs.usda.gov/internet/FSE_DOC_UMENT/nrsc143_019177.pdf. [28/08/15].