

Petunjuk Teknis

REMEDIASI LAHAN SAWAH TERCEMAR LOGAM BERAT MELALUI PEMANFAATAN *Azotobacter* Sp. DAN AMELIORA

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
2015

AGRO INOVASI
SCIENCE . INNOVATION . NETWORKS

PETUNJUK TEKNIS

REMEDIASI LAHAN SAWAH TERCEMAR LOGAM BERAT MELALUI PEMANFAATAN *Azotobacter* Sp. DAN AMELIORAN

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Kementerian Pertanian
2015

PETUNJUK TEKNIS

REMEDIASI LAHAN SAWAH TERCEMAR LOGAM BERAT MELALUI PEMANFAATAN *Azotobacter* Sp. DAN AMELIORAN

Penanggung Jawab:
Kepala Balai Penelitian Lingkungan Pertanian

Penyusun:
Triyani Dewi
Sri Wahyuni
Anik Hidayah
Wahyu Purbalisa

Penyunting:
Prihasto Setyanto
A. Wihardjaka

Penyunting Pelaksana:
Poniman
Fitra Purnariyanto

Fotosampul/layout:
Yono
Likco Desvian Herindra

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Kementerian Pertanian
2015

Isi buku dapat disitasi dengan menyebutkan sumbernya

Hak Cipta @ 2019 Balai Penelitian Lingkungan Pertanian
Jl. Raya Jakenan-Jaken KM 5 Jakenan-Pati 59182, Jawa Tegah

ISBN : 978-602-1327-07-4

Diterbitkan Oleh

BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN
BALAI BESAR LITBANG SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
JL. Raya Jakenan – Jaken Km 05 Pati 59182 Jawa Tengah
Telp. 0295 4749044 fax. 0295 4749045
website : http://balingtan.litbang.pertanian.go.id
e-mail : balingtan@litbang.pertanian.go.id ; balingtan@yahoo.com

KATA PENGANTAR



Permasalahan lingkungan seperti pemanasan global dan perubahan iklim, serta pencemaran bahan beracun berbahaya (B3) telah menyita perhatian dunia dalam konteks perdagangan. Pencemaran logam berat Pb, Cd, dan Cr di lahan sawah selain dapat mencemari lingkungan (tanah dan air) juga dapat terbawa dalam produk pertanian diatasnya.

Pasar bebas (MEA, 2016 dan dunia, 2020) tinggal menghitung hari. Artinya *ekolabeling* akan menjadi prasyarat dagang antar negara, dan hanya produk-produk yang memenuhi syarat saja yang dapat masuk sebagai komoditas perdagangan. Isyarat hal tersebut banyak dibicarakan dalam forum dunia seperti pertemuan Stockholm, dan pertemuan CODEX. Muaranya adalah produk yang bersih (*clean product*).

Semenatara itu di tingkat lapangan produksi ditemukan adanya cemaran logam berat. Juknis ini dimaksudkan untuk memberikan informasi teknologi kepada pengguna terkait bagaimana cara meminimalkan cemaran logam berat baik pada lingkungan maupun pada produk pertanian.

Saran dan masukan yang bersifat membangun dari pembaca sangat kami harapkan, untuk perbaikan dan penyempurnaan juknis ini. Kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan juknis ini kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Jakenan, Oktober 2015
Kepala Balai

Dr. Ir. Prihasto Setyanto, M.Sc.
NIP. 19690816 199503 1 001

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix

PENDAHULUAN 1

REMEDIASI LAHAN SAWAH TERCEMAR LOGAM BERAT 3
Pemanfaatan *Azotobacter* sp 3
Peran biochar untuk lahan pertanian 4
Peran arang aktif untuk lahan tercemar logam berat 5
Peran bahan organik dalam remediasi logam berat 6

PEMBUATAN BIOREMEDIATOR DAN AMELIORAN ... 8
Formulasi Bioremediator 8
Arang Aktif 12
Proses Pembuatan Arang Aktif 14
Biochar 17
Pembuatan Kompos 18

APLIKASI BIOREMEDIATOR DAN AMELIORAN 21

PENUTUP 23

BAHAN RUJUKAN 24

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Organisme yang aktif dalam proses pengomposan ... 6
Tabel 2. Tahapan Pengomposan 19

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Sludge kering (a), POC dan molase (b) 9

Gambar 2. Urutan sederhana pembuatan Azotobacter sp secara sederhana 10

Gambar 3. Inokulan siap pakai 11

Gambar 4. Bagan pembuatan bioremediator 12

Gambar 5. Bahan baku arang aktif yang berasal dari limbah pertanian (a) tongkol jagung, (b) tempurung kelapa, (c) sekam padi, dan (d) tandan kosong kelapa sawit 13

Gambar 6. Alat tungku pembakaran arang 13

Gambar 7. Alat pembakaran arang aktif suhu 800°C 14

Gambar 8. Hasil proses pembuatan arang aktif, hasil karbonisasi (a), hasil aktivasi (b) 17

Gambar 9. Konsep dara pirolisis temperatur rendah pada pembuatan biochar 18

Gambar 10. Jerami, sumber bahan organik di lahan sawah dan proses pengomposan jerami secara insitu di lahan menggunakan mikroba dekomposer 20

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini ketahanan pangan dihadapkan pada permasalahan lingkungan yang kompleks dan perlu mendapat perhatian serius, antara lain pemanasan global dan perubahan iklim, dan pencemaran bahan beracun berbahaya di lahan pertanian seperti bahan agrokimia (pestisida dan pupuk) dan logam berat. Inovasi teknologi menjadi prioritas dalam upaya mitigasi penyebab permasalahan lingkungan melalui kajian pendekatan spasial dan ekologis, dan dengan mempertimbangkan peningkatan tuntutan konsumen terhadap keamanan produk pertanian yang sehat dan higienis.

Logam berat non essensial seperti Kadmium (Cd), timbal (Pb) dan kobalt (Co) secara alami ada di dalam tanah yang berasal dari bahan induk tanah mengandung logam tersebut. Kadmium adalah logam berat yang dapat diakumulasi tanaman dalam jumlah berlebih tanpa memperlihatkan gejala keracunan, sehingga akan mengancam kesehatan manusia dan hewan.

Teknologi bioremediasi dengan memanfaatkan mikroba digunakan untuk menurunkan pengaruh negatif logam berat di dalam tanah. Telah banyak dilaporkan bahwa mikroba berperan dalam transformasi logam berat menjadi bentuk yang *immobil* dan tidak tersedia untuk tanaman. Aplikasi mikroba tanah potensial seperti bakteri *Azotobacter* sp berpotensi untuk menurunkan kandungan logam berat pada tanaman. Penurunan ini antara lain

dengan mengupayakan agar logam tertahan di akar. Hasil penelitian Balingtan (2010) melaporkan bahwa pemanfaatan *Azotobacter* dan FMA dapat meningkatkan serapan logam berat oleh tanaman akumulator sehingga dapat menurunkan kandungan Pb tanah hingga 96% dan Cd tanah 80% serta kandungan Pb dan Cd beras.

Remediasi lahan pertanian tercemar dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroba, arang aktif, biochar, dan kompos. Penyusunan juknis ini ditujukan untuk menyediakan panduan praktis tentang teknologi remediasi melalui pemanfaatan Azotobacter sp dan amelioran (biochar, arang aktif, dan kompos) pada lahan sawah tercemar logam berat Pb, Cd, dan Cr.

REMEDIASI LAHAN SAWAH TERCEMAR LOGAM BERAT

Bioremediasi adalah salah satu upaya menanggulangi lahan sawah tercemar logam berat. Bioremediasi adalah teknologi yang dikembangkan untuk restorasi tanah tercemar polutan melalui aktivitas mikroba (makluk hidup) maupun enzim yang dihasilkannya. Penanganan tersebut biasanya diawali dengan pembiakan mikroba dalam suatu reaktor yang didalamnya dikembangkan suatu mikroba tertentu. Melalui aktivitas mikroba tersebut terjadi transformasi bahan-bahan yang dianggap berbahaya menjadi bahan-bahan yang kurang maupun yang tidak berbahaya (Santosa, 2003).

Remediasi lahan sawah tercemar logam berat dapat dilakukan dengan cara bioremediasi (memanfaatkan mikroorganisme seperti *Azotobacter*) dan ameliorasi (pemanfaatan arang aktif, biochar, dan kompos) dalam menurunkan logam berat.

Pemanfaatan *Azotobacter* sp.

Aktivitas agrobiologis seperti mikoorganisme, tanaman dan enzimnya dapat diandalkan untuk mengubah valensi serta meningkatkan kelarutan, ketersediaan hayati dan menurunkan konsentrasi logam.

Sejumlah bakteri toleran logam berat dapat meningkatkan kelarutan logam berat tanah. Rhizobakteria penghasil senyawa pengkhelat logam yang tumbuh di perakaran dapat meningkatkan kemampuan tanaman pengakumulasi logam berat untuk mengekstrak Cd dari tanah yang tercemar. *Azotobacter* merupakan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang dapat meningkatkan aktivitas perakaran sehingga meningkatkan zone deplesi logam.

Peran biochar untuk lahan pertanian

Biochar coal atau biochar adalah arang yang berasal dari limbah tanaman, potongan kayu, atau pupuk kandang yang dibakar pada kondisi oksigen terbatas bahkan tanpa oksigen. Biochar disebut juga arang hayati yang bersifat porous, yang terbuat dari sisa mahluk hidup (Gani, 2010).

Dalam jangka panjang biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon-nitrogen, bahkan biochar mampu meningkatkan air dan nutrisi tersedia dalam tanah bagi tanaman (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, 2009). Santi & Goenadi (2010) menyatakan bahwa biochar berfungsi sebagai pembenah tanah dengan cara memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Biochar dapat menyediakan habitat yang disukai mikroba, tapi tidak dikonsumsi oleh mikroba.

Penerapan biochar secara signifikan mengurangi konsentrasi logam terekstrak NH_4NO_3 seperti Cd, Cu dan Pb tanah atau terjadi imobilisasi logam berat dalam tanah. Pupuk kandang dan biochar meningkatkan biomassa kering tanaman sebesar pada tajuk dan akar tanaman masing-masing 353 dan 572% dengan penambahan biochar 1 % (Park *et al*, 2011).

Peran arang aktif untuk lahan tercemar logam berat

Arang aktif adalah alkali lemah yang mempunyai kemampuan menyerap air dan menahan udara. Namun arang aktif yang mengandung abu tinggi merupakan alkali kuat (pH: 9-10) dan mempunyai luas permukaan yang besar (Ogawa, 1994). Pada tanah berlempung, arang aktif tempurung kelapa dapat membantu menurunkan kekerasan tanah dan kemampuan pengikatan air menjadi lebih tinggi. Hal ini akan dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah (Ogawa, 1994). Di dalam tanah, arang aktif memainkan peranan sebagai s*helter* atau rumah untuk mikroorganisme. Pori-pori kecil pada arang aktif digunakan sebagai tempat tinggal bakteri, sedangkan pori besar dan retakan (*cracks*) digunakan sebagai tempat berkumpul (Ogawa, 1994)

Penggunaan arang aktif di lahan sawah dapat meningkatkan jumlah bakteri dan bakteri fiksasi nitrogen (*Azotobacter*) dalam tanah terutama di sekitar akar tanaman.

Peran bahan organik dalam remediasi logam berat

Kompos merupakan bahan organik, seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, rumput-rumputan, dedak padi, batang jagung, sulur, ranting-ranting dan kotoran hewan yang telah mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai, sehingga dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Kompos mengandung hara-hara mineral yang esensial bagi tanaman.

Kompos merupakan sumber hara makro dan mikro yang relatif lengkap meskipun dalam jumlah yang relatif kecil (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, B, Zn, Mo, dan Si). Bahan organik berperan penting dalam tanah melalui kemampuannya bereaksi dengan ion logam untuk membentuk senyawa kompleks. Dengan demikian ion logam yang bersifat meracuni tanaman merugikan ketersediaan hara dalam tanah seperti Al, Fe, dan Mn dapat diperkecil dengan adanya khelat dengan bahan organik (Setyorini *et al.*, 2006).

Tabel 1. Organisme yang aktif dalam proses pengomposan

Kelompok	Organisme	Jumlah per g kompos lembab
Miklofora	Bakteri	10^8 - 10^9
	Fungi	10^5 - 10^8
Mikrofauna	Protozoa	10^4 - 10^5
Makroflora	Fungi	10^4 - 10
Makrofauna	Cacing tanah, rayap, semut, kumbang	

Sumber: Sutanto (2002

Kompos merupakan media dan lingkungan yang baik untuk pertumbuhan bakteri heterotrof dan kemoautotrof. Faktor yang membatasi pertumbuhan mikroba menguntungkan adalah kadar nitrogen serta bahan dasar kompos yang mempunyai nisbah C/N yang besar. Dalam kondisi seperti ini, dapat diupayakan untuk menambah mikroba penambat nitrogen dari atmosfer untuk mengurangi kompetisi dari mikroorganisme lain yang tidak dapat menambat nitrogen. Organisme-organisme ini secara aktif dapat menurunkan nisbah C/N kompos dan memperkayanya dengan bakteri penambat nitrogen seperti *Azotobacter*.

Oleh karena itu limbah pertanian berupa bahan organik sebagai amelioran yang diketahui mempunyai daya serap yang tinggi terhadap senyawa-senyawa organik sehingga dapat mengikat logam berat merupakan potensi yang dapat dipertimbangkan.

PEMBUATAN BIOREMEDIATOR DAN AMELIORAN

Formulasi bioremediator

Bahan-bahan yang diperlukan untuk membuat formula bioremediator adalah: (1) *Sludge* kering, (2) Pupuk organik cair (POC), (3) Molase, dan (4) *Azotobacter sp.*

1) *Sludge* kering

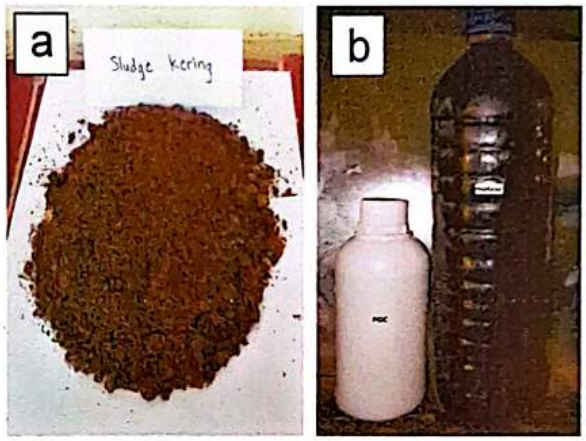
Sludge kering dihasilkan dari limbah padat biogas yang dikeringkan selama kurang lebih 7 hari hingga kadar airnya sekitar 25%. *Sludge* kering dihasilkan dari *Sludge* basah yang dijemur dibawah sinar matahari langsung dan sering dibolak balik agar kering merata. Apabila *Sludge* mudah remah (tidak menggumpal) bila dipegang berarti dalam kondisi baik. Tampilan *sludge* terlihat pada Gambar 1 a.

2) Pupuk organik cair (POC)

Pupuk organik cair (POC) dapat dibeli di pasaran (toko pertanian). Apabila akan membuat POC sendiri, bahan-bahan yang diperlukan meliputi: abu sekam/abu bekas pembakaran batu bata, *Sludge* kering yang sudah diayak, urine sapi, dan air. Untuk membuat 1 L POC diperlukan 300 gr abu sekam/abu bekas pembakaran batu bata, 300 gr *Sludge* kering halus, 300 mL urine sapi dan 100 mL air. Bahan-bahan tersebut diaduk hingga merata kemudian disimpan 24 jam baru dapat digunakan.

3) Molase

Molase dapat dibeli di pasaran (toko kimia). Molase merupakan sumber karbon untuk bakteri yang akan dikembangkan Biasanya molase dibuat dari tetes tebu atau bahan lain yang banyak mengandung gula. Tampilan molase terlihat pada Gambar 1 b.

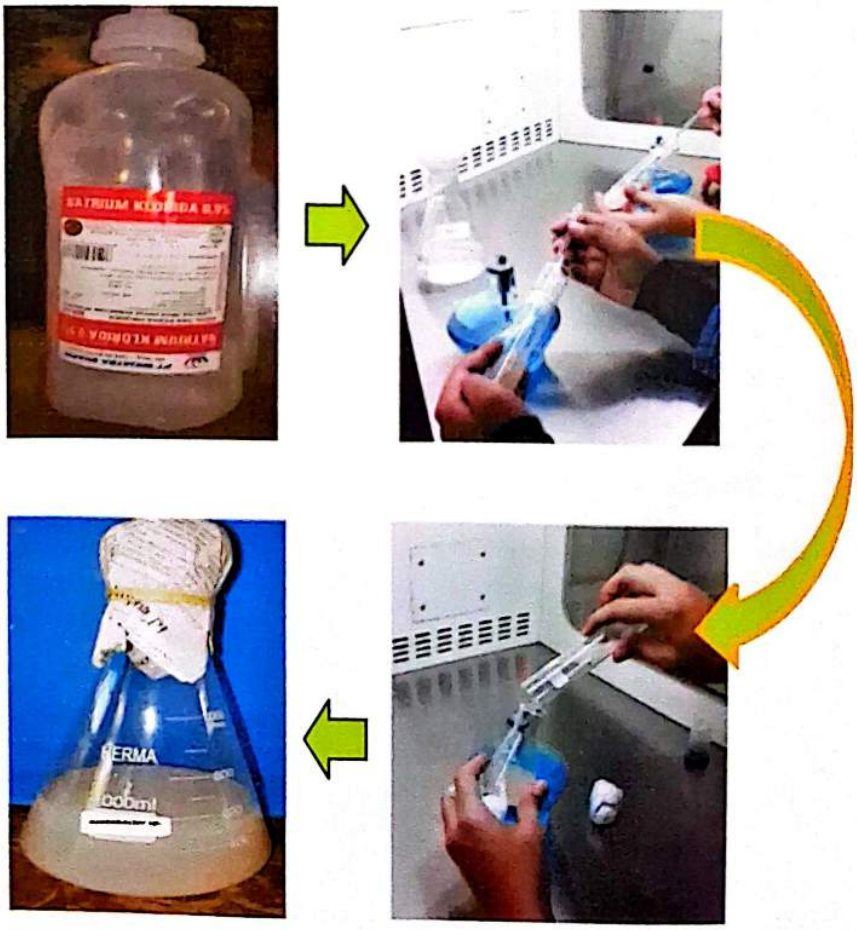


Gambar 1. Sludge kering (a), POC dan molase (b)

4) *Azotobacter* sp.

Azotobacter sp. adalah bakteri yang membantu menangkap logam berat dalam tanah untuk mengurangi pencemaran tanah. *Azotobacter* sp. tidak tersedia di pasaran dan hanya tersedia di laboratorium mikrobiologi. Untuk pembelian *Azotobacter* sp. sebaiknya yang telah diencerkan dalam media Vermani. Apabila akan mengencerkan sendiri dapat menggunakan NaCl fisiologis yang tersedia di apotek. Untuk membuat 100 mL larutan *Azotobacter* Sp. diperlukan 10 tabung *Azotobacter* Sp dalam kultur agar miring dan 100 mL NaCl fisiologis. Cara mengencerkannya adalah setiap

satu kultur tabung agar miring diberi 5 mL NaCl fisiologis lapisan agar bagian atas diambil secara perlahan-lahan dan ditampung dalam gelas, kemudian dibilas lagi dengan 5 mL NaCl fisiologis. Urutan pembautan kultur *Azotobacter* sp. terlihat pada Gambar 2.

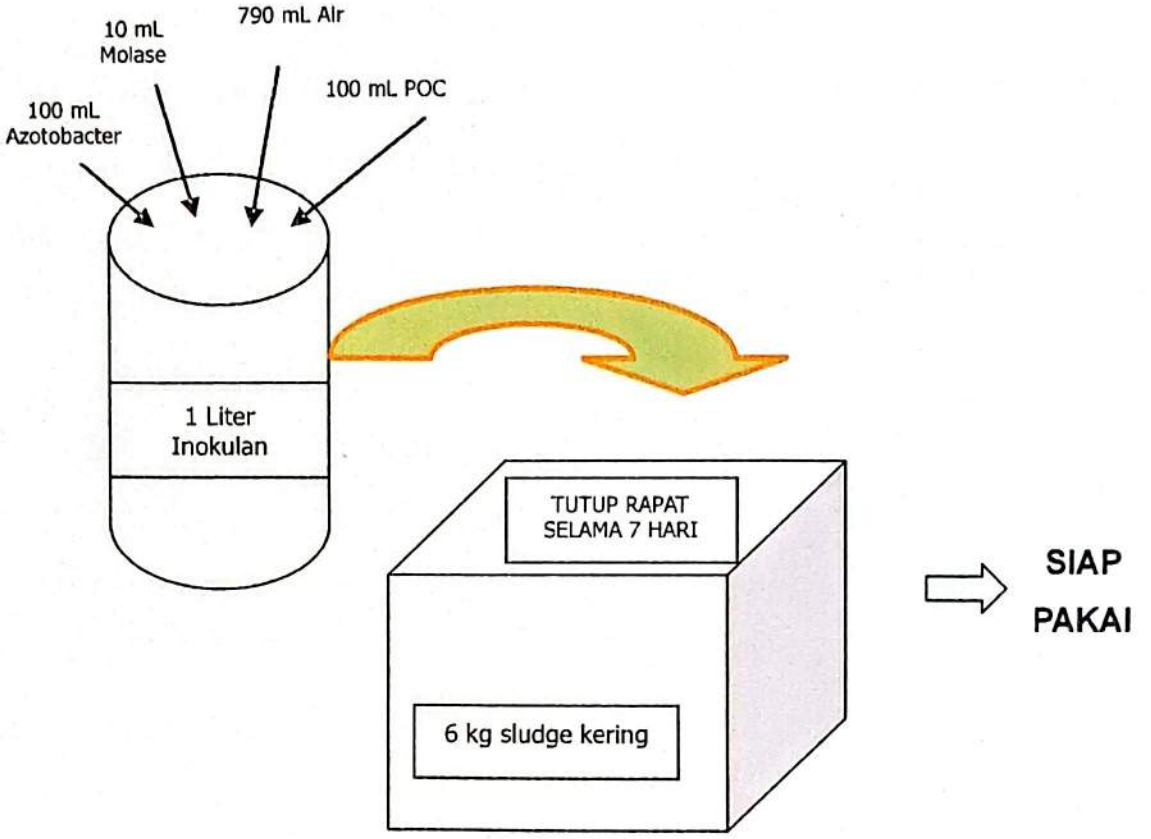


Gambar 2. Urutan pembuatan *Azotobacter* sp. secara sederhana

Setelah bahan-bahan tersedia maka tahap awal adalah pembuatan inokulan. Inokulan adalah campuran dari POC, molase dan *Azotobacter* sp. Untuk membuat 1 L inokulan dibutuhkan 100 mL *Azotobacter* sp. dalam media Vermani, 10 mL molase dan 100 mL POC kemudian ditambahkan 790 mL air sehingga diperoleh 1 L larutan. 1 L larutan ini dicampur dengan 6 kg *sludge* kering, diaduk merata kemudian dimasukkan ke dalam wadah tertutup agar tidak ada udara masuk dan diinkubasi selama 7 hari baru dapat digunakan (Gambar 4). Perbandingan inokulan dan *sludge* kering adalah 1 : 6. Takaran pemakaian adalah 10 gr per lubang tanam, dengan cara dimasukkan ke lubang tanam 2 hari sebelum penanaman.



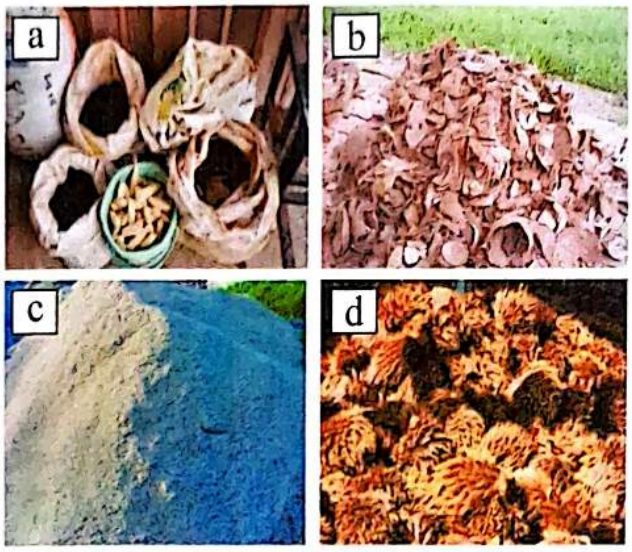
Gambar 3. Inokulan siap pakai



Gambar 4. Bagan pembuatan bioremediator

Arang Aktif

Bahan arang aktif diperoleh dari limbah-limbah pertanian, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Bahan pembuatan arang aktif antara lain: tongkol jagung (TJ), tempurung kelapa (TK), sekam padi (SP), tandan kosong kelapa sawit (TKKS).



Gambar 5. Bahan baku arang aktif yang berasal dari limbah pertanian (a) tongkol jagung, (b) tempurung kelapa, (c) sekam padi, dan (d) tandan kosong kelapa sawit

Alat pembuatan arang aktif

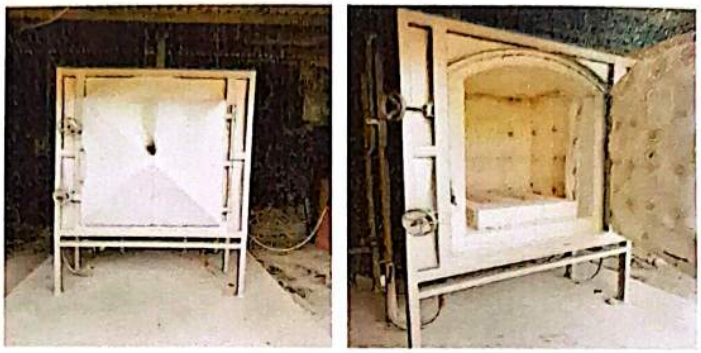
1. Tungku Pembakaran Arang.

   Energi yang digunakan untuk membakar arang adalah energi dari biogas (Gambar 6).

2. Tungku aktivasi arang aktif digunakan untuk mengaktivasi arang sekam padi, arang tempurung kelapa dan arang tongkol jagung dan arang tandan kosong kelapa sawit (Gambar 7).



Gambar 6. Alat tungku pembakaran arang



Gambar 7. Alat pembakaran arang aktif suhu 800°C

Proses Pembuatan Arang Aktif

Arang aktif dihasilkan melalui proses pirolisis dari bahan-bahan yang mengandung karbon, seperti kayu, batu bara, bambu, tempurung kelapa atau polimer sintetik seperti viskos rayon, *polyacrylonitrile* (PAN) atau fenolik yang diikuti dengan tahap pengaktifan dari arang yang diperoleh dari bahan-bahan tersebut. Proses pirolisis tanpa udara melibatkan proses dekomposisi molekul organik , evolusi dari produk yang mengandung ter dan gas serta akhirnya terbentuk padatan karbon berpori.

Karbon berpori yang diperoleh, sebagian besar berisi makropori dan material non-aktif dengan luas permukaan spesifik (beberapa meter bujur sangkar per gram). Adsorben dengan porositas tinggi dan luas permukaan besar diperoleh melalui aktivasi kimia atau fisik dari bahan arang. Pada dasarnya proses aktivasi melibatkan pemilihan bahan baku, karbonisasi dan aktivasi (Manocha, 2003).

Pemilihan bahan baku untuk pembuatan arang aktif harus mempertimbangkan beberapa faktor peruntukan antara lain peruntukan industri dan konvensional. Untuk industri, bahan baku yang diperlukan adalah yang murah dengan kandungan karbon yang tinggi, dan kandungan bahan anorganik rendah (kadar abu rendah) merupakan bahan baku yang paling baik untuk menghasilkan arang aktif. Kandungan bahan yang mudah menguap (volatil) juga perlu dipertimbangkan.

Arang aktif adalah suatu bahan berpori yang sangat mudah mengerap yang digunakan di berbagai aplikasi erap dari suatu zat berbentuk gas maupun cairan (Degel, 1990[1]; Garcia *et al.*, 2004; Darmstadt *et al.*, 2004).

1. Karbonisasi / Pengarangan

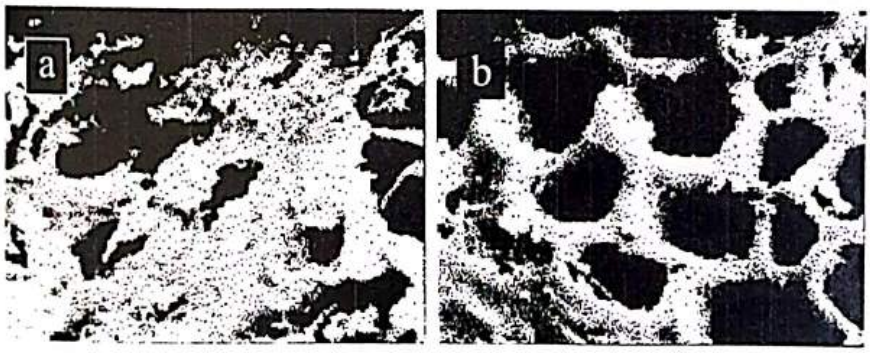
Menurut Manocha (2003) dan Darmstadt (2004), selama karbonisasi, kebanyakan unsur-unsur yang bukan karbon seperti hidrogen dan oksigen adalah yang pertama dipindahkan dalam bentuk gas oleh dekomposisi pirolisis dan hanya atom karbon dasar yang dikelompokkan ke dalam formasi kristalografi yang dikenal sebagai kristal grafit dasar. Pengaturan timbal balik kristal adalah tidak beraturan, sehingga terdapat celah. Kemudian, karbonisasi melibatkan dekomposisi panas dari karbon, melepaskan unsur non karbon, sehingga membentuk karbon berpori dengan massa yang tetap (Gambar 1a). Proses biasanya dilakukan pada suhu di bawah 800°C pada arus tetap dan tanpa udara (Cislo *et al.*, 2003).

Parameter penting yang menentukan mutu dan hasil karbonisasi adalah (1) tingkat pemanasan, (2) suhu akhir dan (3) waktu perendaman. Mikropori terbentuk pada pemanasan sekitar 500°C. Kendala adanya ter dapat dihilangkan dengan pemanasan lebih lanjut pada suhu sekitar 800°C. Perlakuan pemanasan di atas 1000°C dapat mengakibatkan pengerasan karbon dan menurunkan porositas (Butt *et al.*, 1998).

Karbonisasi dilakukan dengan teknik pirolisis sederhana dengan memanfaatkan dua buah drum yang telah didesain sedemikian menjadi alat pirolisis. Drum pertama dibagi dua bagian, bagian bawah berfungsi sebagai tungku pembakar dan bagian atas merupakan tempat pembakar dan drum kedua sebagai pendingin, Sebanyak 15 kg tempurung kelapa dimasukkan ke dalam tempat pembakaran kemudian tungku pembakar yang berisi serbuk gergaji sebanyak 5 kg dibakar. Proses pembakaran berlangsung selama 5 jam, asap yang keluar dari proses pembakaran disalurkan melalui pipa besi ke dalam drum pendinginan, asap panas yang masuk ke dalam ruang pendinginan akan mencair, cairan yang dikenal dengan asap cair ini kemudian ditampung dalam botol. Cairan firolik arang ini dapat dimanfaatkan sebagai pengawet ikan, pestisida nabati atau pengawet makanan lainya. Setelah 5 jam arang kemudian diangkat yang terlebih dahulu disiram dengan air untuk memadamkan bara api, setelah dingin arang kemudian dijemur diterik matahari. Arang yang dihasilkan dari proses pembakaran ini sebanyak 4-5 kg.

2. Aktivasi arang aktif

Aktivasi adalah suatu proses menghilangkan ter yang masih tertinggal pada pori karbon aktif dengan cara pemanasan uap air atau dengan suatu bahan pelarut kimia (Gambar 8). AA yang sudah diaktivasi memiliki luas permukaan pori lebih besar (Manocha, 2003 dan Darmstadt, 2004)



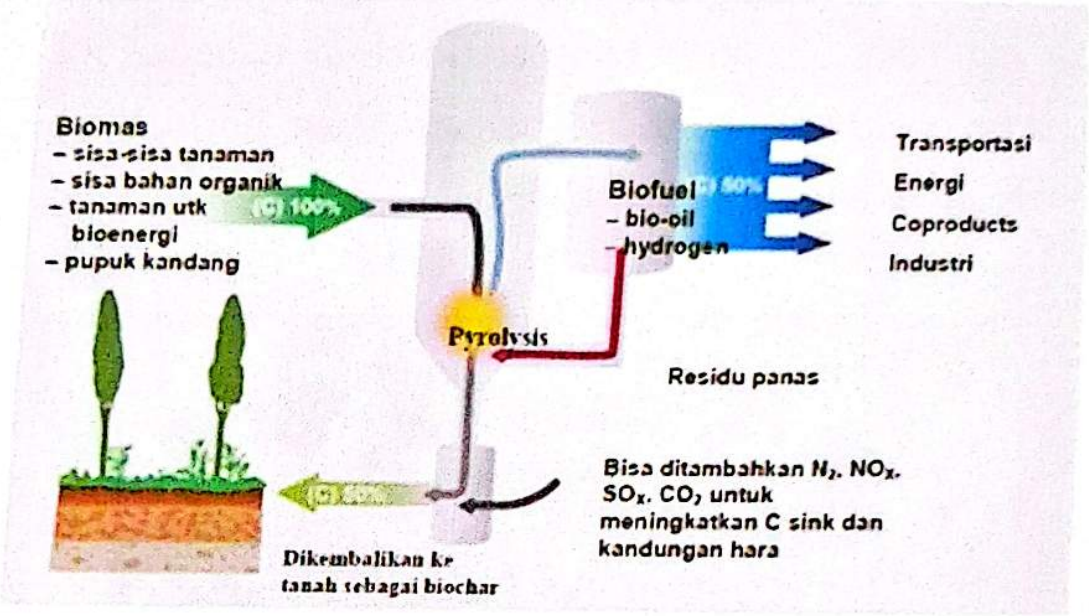
Gambar 8. Hasil proses pembuatan arang aktif, (a) hasil karbonisasi, (b) hasil aktivasi

Biochar

Biochar merupakan butiran halus dari arang yang berpori, bila digunakan sebagai suatu pembenah tanah dapat mengurangi jumlah CO_2 dari udara. Bahan baku yang digunakan untuk biochar sama dengan arang aktif yaitu limbah-limbah hasil pertanian yang sudah dijelaskan sebelumnya. Perbedaannya adalah pembuatan biochar tanpa proses aktivasi arang.

Biochar dapat dihasilkan dari sistem pirolisis atau gasifikasi. Pada sistem pirolisis, biochar yang dihasilkan sebagian besar dalam keadaan tanpa oksigen dan paling sering dengan sumber panas dari luar, sedangkan pada sistem gasifikasi hanya

sedikit biochar yang dihasilkan. Produksi biochar yang optimal adalah dalam keadaan tanpa oksigen.



Gambar 9. Konsep dasar pirolisis temperatur rendah pada pembuatan biochar (Lehmann, 2007)

Pembuatan Kompos

Proses dekomposisi bahan organik menurut Sutanto (2002) dapat dibagi menjadi tiga tahap seperti disajikan dalam Tabel 2. Pada tahap awal atau dekomposisi intensif berlangsung, dihasilkan suhu yang cukup tinggi dalam waktu yang relatif pendek dan bahan organik yang mudah terdekomposisi akan diubah menjadi senyawa lain.

Pembuatan Kompos

Proses dekomposisi bahan organik menurut Sutanto (2002) dapat dibagi menjadi tiga tahap seperti disajikan dalam Tabel 2. Pada tahap awal atau dekomposisi intensif berlangsung, dihasilkan suhu yang cukup tinggi dalam waktu yang relatif pendek dan bahan organik yang mudah terdekomposisi akan diubah menjadi senyawa lain.

Tabel 2. Tahapan pengomposan

No	Tahapan	Pematangan Bahan	Produk	Kategori Peatangan
1	Tahap dekomposisi dan sanitasi	Pra-matang/dekomposisi intensif	Kompos segar	II
2	Tahap konversi	Pematangan utama	Kompos segar	III
3	Tahap sintetik	Pasca pematangan	Kompos matang	IV & V

Sumber : Sutanto (2002)

Pada tahap pematangan utama dan pasca pematangan, bahan yang sukar akan terdekomposisi akan terurai dan membentuk ikatan kompleks lempung-humus. Produk yang dihasilkan adalah kompos matang yang mempunyai ciri antara lain: (1) tidak berbau; (2) remah; (3) berwarna kehitaman; (4) mengandung hara yang tersedia bagi tanaman; dan (5) kemampuan mengikat air tinggi.

Beberapa persyaratan perlu diperhatikan agar pembuatan kompos berhasil, antara lain:

a. Ukuran bahan mentah; semakin kecil ukuran potongan bahan mentahnya, semakin cepat pula waktu pembusukannya.
b. Suhu dan ketinggian timbunan kompos; Penjagaan panas sangat penting agar proses dekomposisi berjalan sempurna; makin tinggi volumen timbunan dibanding permukaan, makin besar isolasi panas dan makin mudah timbunan menjadin panas.
c. Kelembapan; timbunan kompos harus selalu lembap dengan kandungan lengas 50-50%, agar mikroba tetap beraktivitas.
d. Sirkulasi udara; aktivitas mikroba aerob memerlukan oksigen selama proses perombakan berlangsung (terutama bakteri dan fungi).
e. Nilai pH; bahan organik dengan nilai pH 3-11 dapat dikomposkan, pH optimum berkisar antara 5-5-8,0.



Gambar 10. Jerami, sumber bahan organik melimpah di lahan sawah dan proses pengomposan jerami secara *in situ* di lahan menggunakan mikroba dekomposer

APLIKASI BIOREMEDIATOR DAN AMELIORAN

Lahan sawah yang tercemar logam berat Pb, Cd, dan Co dapat dilakukan remediasi menggunakan bioremediator yang berbasis *Azotobacter* sp dan penggunaan amelioran.

a. Dosis bioremediator

   Dosis bioremediator berbasis *Azotobacter* sp. yang digunakan adalah 20 kg/ha

b. Dosis amelioran

   - Arang aktif kompos dengan perbandingan 1:5 diberikan sebanyak 1 t/ha
   - Biokompos (biochar + kompos dengan perbandingan 1:5) yang diberikan sebanyak 2 t/ha

Amelioran yang digunakan dapat berupa arang aktif kompos (1:5) atau biokompos (1:5). Dengan mempertimbangkan harga, harga biokompos lebih murah dibandingkan dengan arang aktif kompos atau petani dapat membuat sendiri biochar dan komposnya dari limbah-limbah pertanian yang tersedia melimpah (jerami, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, dll).

Aplikasi bioremediator dan amelioran dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Bahan amelioran dan bioremediator tersebut dicampur terlebih dahulu sebelum diaplikasikan ke lahan sawah yang terkontaminasi logam berat Pb, Cd, dan Cr

2. Bioremediator dan amelioran diberikan setelah pengolahan tanah
3. Penanaman tanaman padi varietas Ciherang dengan tanam pindah saat bibit padi berumur 15 Hari Setelah Sebar (HSS) dengan jarak 20x20 cm
4. Pemupukan urea 150 kg/ha, SP-36 100 kg/ha, dan KCl 75 kg/ha. Pemberian pupuk urea dan KCl dilakukan 2 (setelah tanam dan saat anakan aktif), dan SP-36 satu kali (setelah tanam)
5. Pemeliharaan tanaman padi
   Pengendalian gulma dilakukan secara mekanis 2-3 kali penyiangan. Pengendalian hama penyakit dilakukan dengan penggunaan biopestisida
6. Panen

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Balingtan (2014) menunjukkan bahwa pemberian bioremediator dengan dosis 20 kg ha^{-1} dan pemberian arang aktif kompos dengan perbandingan 1:5 mampu menurunkan kandungan Cd dalam tanah sebesar 73%. Pemberian bioremediator dengan dosis 20 kg ha^{-1} dan perlakuan arang aktif kompos 1:5 mampu menurunkan kandungan Co dalam tanah sebesar 70%.

PENUTUP

Petunjuk teknis "Remediasi Lahan Sawah Tercemar Logam Berat melalui Pemanfaatan *Azotobacter* dan Amelioran" ini merupakan salah satu pedoman dalam upaya remediasi lahan-lahan sawah tercemar logam berat dan mendukung terwujudnya sistem produksi pertanian berkelanjutan ramah lingkungan yang mendukung keamanan pangan, dan kesejahteraan manusia, serta tercapainya lingkungan biofisik yang bersih, aman, hygienis, dan bebas cemaran. Harapannya dengan adanya petunjuk teknis ini dapat membantu pemerhati lingkungan atau pengambil kebijakan sektor terkait untuk menurunkan kontaminan atau cemaran logam berat.

BAHAN RUJUKAN

Artanti, R. 2010. Pengembangan teknologi Remediasi lahan pertanian tercemar Untuk mendukung P2BN. Laporan Akhir Tahun Balingtan 2010. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.

Bahar Erwin, 2009. Uji Kemampuan Kompos Bratang Sebagai Media Penukar Ion Untuk Menurunkan Logam Hg^{2+} dengan Variasi Dosis dan Waktu Kontak Pada Proses Batch. ITS Press.

Butt, D.P, K.S. Lackner, C.H. Wendt, S.D. Conzone, H. Kung, Y.C. Lu, and J.K. Bremser. 1998. Kinetics of thermal dehydroxilation and carbonation of magnesium hydroxide. J. Am. Ceram. Soc. Box 7.3. Energy gain or penalty in using CO_2 as a feedstock instead of carbon. 336 IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage 79(7): 1892-1988

Chien, S.H., G. Carmona, L.L. Prochnow, E.R. Austin. 2003. "Cadmium Avalability from Granulated and Bulk-Blended Phosphate-Potassium Fertilizers". Journal of Environmental Quality 32:1911-1914

Darmstadt, H., M. Garcia-Perez, A. Chaala, N.Z. Cao and C. Roy. 2004. Co-pyrolysis under vacuum of sugar cane bagasse and petroleum residue properties of the char and activated char products. Carbon 39: 815

Degel, J. 1990. Activated carbon for solvent recovery. CarboTech Co., Essen, Germany

Gani, A. 2009. Potensi arang hayati "Biochar" sebagai komponen teknologi perbaikan produktivitas lahan pertanian. Iptek Tanaman Pangan 4 (1): 33-48

Garcia, C., T. Hernandez, F. Costa, and B. Ceccanti. 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. Wastes Management and Risk (12): 457-466

Gomes, P.C., M.P.F. Fontes, A.G. da Silva, E. de S. Mendonça. A.R. Netto. 2001. Selectivity Sequences and Competitive Adsorption Of Heavy Metals by Brazilian Soils. Soil Science Society American Journal 65: 1115 – 1121

Hidayat, A.P. 2008. Pengaruh *Azotobacter* sp. Isolat LKM 6 terhadap pH Tanah, Konsentrasi Cd-Tersedia Tanah, Cd Tajuk Tanaman dan Berat Basah Tajuk Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) pada Andisols Kayu Ambon Lembang. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

Hooda, Peter.S. 2010. Trace Elements in Soils. Wiley Publication. 595p.

Jones D.L., and Healey, J.R. 2010. Organic amendments for remediation putting waste to good use. Elements 6: 269-374.

Lehmann, J. 2007. Bioenergy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment 5: 381-387.

Lusiani, L. 2008. Pengaruh Inokulasi *Azotobacter* sp. Isolat LKM6 Penghasil Eksopolisakarida terhadap Konsentrasi Cd Total Tanah, Cd Tersedia Daun, dan Jumlah Fitokelatin Daun Selada (*Lactuca sativa* L.) pada Andisols Kayu Ambon Lembang. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Bandung

Manocha, S.M. 2003. Porous carbons. Sadhana 28: 335-348

Ogawa, M. 1994. Symbiosis of People and Nature in The Tropics: Tropical Agriculture Using Charcoal. Farming Japan. 28(5): 21-30.

Park, J. H., G.H. Choppala, N.S. Bolan, J.W. Chung, and T. Chuasavathi. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. Plant Soil (348): 439–451

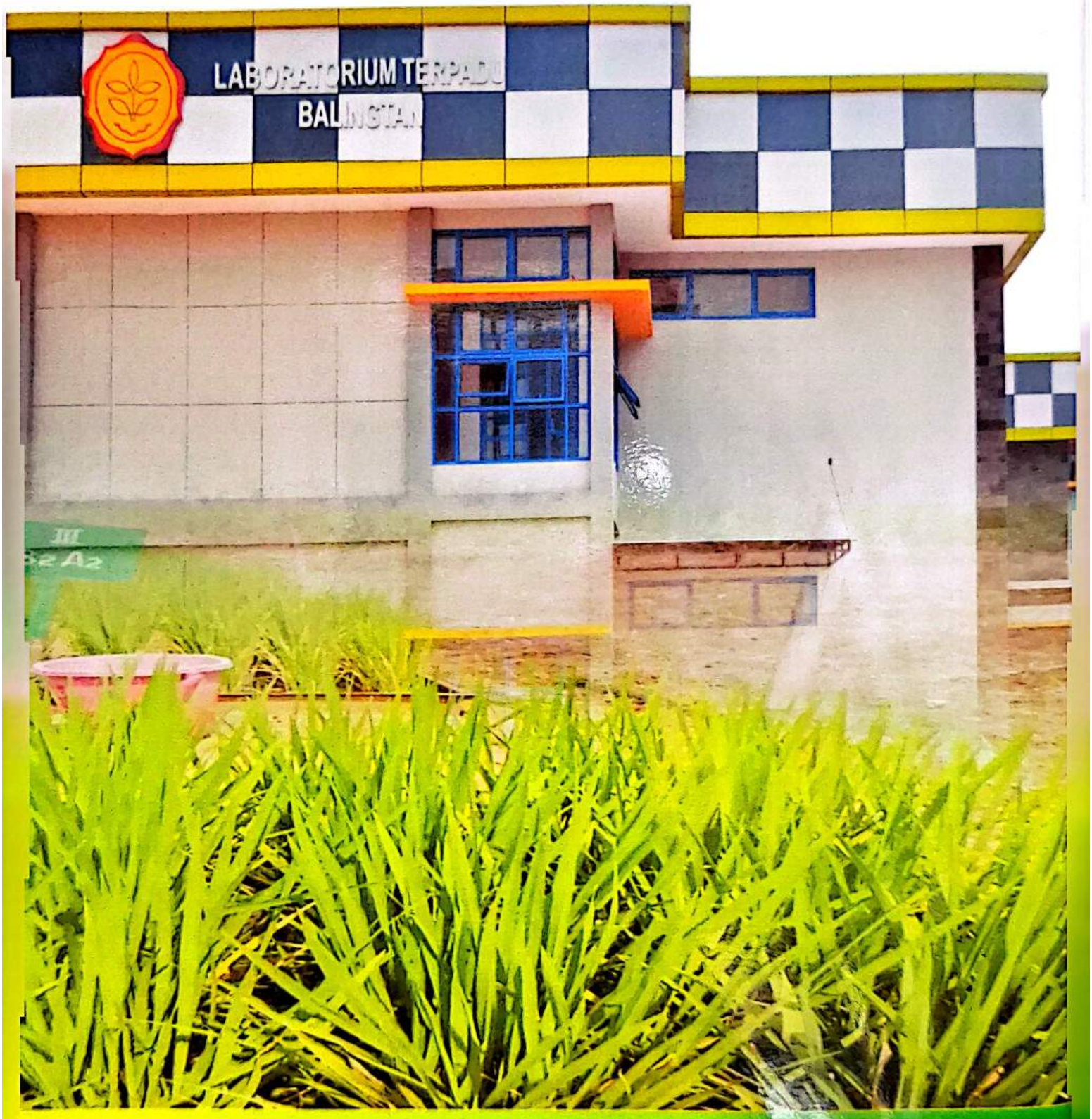
Ross, S.M. 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant system. p. 3-25. *In* Ross, S.M (Ed) Toxic metals in soil-plant system. John Wiley & Sons Ltd., Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore.

Setyorini, D., R. Saraswati, dan E.K. Anwar. 2006. Kompos *dalam* Buku Pupuk Organik dan Hayati. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Santosa, R.H. 2008. Penelitian Pengendalian Pencemaran Air Limbah Industri Organik. Prosiding Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. Adaptasi Pengelolaan Sumber Daya Air Menyingsong Perubahan Iklim Global. Bandung 23-24 Juli 2008.

Sutanto, R. 2002. Pertanian Organik: Menuju Pertanian Alternatif dan Berkelanjutan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Widyati, E. 2008. Peranan mikroba tanah pada kegiatan rehabilitasi lahan bekas tambang. Info Hutan Vol v (2): 151-160



BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN
Telp :(0296) 4749044 fax :4749046
Jl.Raya Jakenan Jaken Km 05 Jakenan Pati 5918
Telp. 0296 3351277 Fax.0296-331399
E-mail:balingtan@litbang.deptan.go.id
Website :www.balingtan.litbang.pertanian.go.id