

PEMANFAATAN **BIOCHAR DAN AZOLLA PINNATA**

Dalam Memulihkan Tanah Yang Tercemar Pb
Untuk Meningkatkan Produksi Padi Sawah

Dr. Syarifa Mayly B.D, SP, MP
Dr. Benny Hidayat, SP, MP



BUKU MONOGRAF

**PEMANFAATAN BIOCHAR DAN AZOLLA PINNATA
DALAM MEMULIHKAN TANAH YANG TERCEMAR PB
UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI PADI SAWAH**

Penulis:

Dr. Syarifa Mayly B.D, SP, MP

Dr. Benny Hidayat, SP, MP



BUKU MONOGRAF
PEMANFAATAN BIOCHAR DAN AZOLLA PINNATA DALAM MEMULIHKAN
TANAH YANG TERCEMAR PB UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI PADI
SAWAH

Penulis:

Dr. Syarif Mayly B.D, SP, MP
Dr. Benny Hidayat, SP, MP

Desain Cover:

Septian Maulana

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Lisdayani SP, M. Agr

ISBN:

Cetakan Pertama:

Juni, 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

Telepon (022) 87355370

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pemanfaatan biochar dan *Azolla Pinnata* Dalam Memulihkan tanah
Yang Tercemar Pb Untuk Meningkatkan Produksi Padi Sawah

Jenis Buku : Monograf

Penulis : Dr. Syarifa Mayly BD, SP, MP dan Dr. Benny Hidayat, SP, MP

Instansi : Fakultas Pertanian Universitas Al Washliyah Medan

Edisi Cetakan : 2025

Medan, Mei 2025

Penulis

Mengetahui,

Ketua LPPM UNIVA Medan


Dr. Ir. Misdawati, M.Si



Dr. Syarifa Mayly BD, SP, MP

“PEMANFAATAN BIOCHAR DAN *AZOLLA PINNATA* DALAM MEMULIHKAN TANAH YANG TERCEMAR Pb UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI PADI SAWAH”

Kandungan logam berat pada tanah dan air yang berdekatan dengan areal kawasan industri sudah melebihi ambang batas toleransi. Timbal (Pb) merupakan logam berat yang sangat beracun dan polutan utama baik di darat dan ekosistem perairan. Padi sebagai tanaman pangan utama memiliki potensi menyerap logam berat yang akan mengganggu keamanan pangan dan kelangsungan pangan. Pemanfaatan biochar dan *Azolla pinnata* yang berpotensi sebagai agen hayati penyerap logam berat dapat memulihkan dan meningkatkan produksi tanaman padi sawah yang tercemar logam berat Pb.

Penelitian tahun pertama terdiri dari dua tahap. Lokasi penelitian tahun pertama yaitu Growth Centre Kopertis Wilayah I Medan dari bulan April sampai dengan Juli 2014. Penelitian tahap pertama yaitu Uji potensi *Azolla pinnata* dan *Azolla mikropilla* sebagai hiperakumulator pada air irigasi tercemar Pb, yang bertujuan untuk mengetahui potensi *Azolla pinnata* dan *Azolla mikropilla* sebagai hiperakumulator pada air irigasi yang tercemar limbah Pb. Penelitian ini menggunakan rancangan acak faktorial yang terdiri dari 3 ulangan dan 2 faktor perlakuan dimana faktor pertama yaitu pemberian *Azolla* terdiri dari 3 taraf yaitu tanpa *Azolla*, *Azolla pinnata*, *Azolla mikropilla* dan faktor kedua yaitu konsentrasi air limbah tercemar Pb (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %).

Penelitian tahap kedua yaitu Pemanfaatan Biochar dan *Azolla* terhadap Status Pb pada tanah tercemar Pb di rumah kaca. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi biochar dan *Azolla* dalam menyerap logam berat Pb pada tanah tercemar air limbah. Penelitian ini menggunakan rancangan acak faktorial yang terdiri dari 3 ulangan dan 2 faktor perlakuan dimana faktor pertama yaitu pemberian *Azolla* terdiri dari 3 taraf yaitu tanpa *Azolla*, *Azolla pinnata*, *Azolla mikropilla* dan faktor kedua yaitu pemberian biochar yaitu tanpa biochar, biochar sekam padi, biochar, jerami padi, biochar sabut kelapa, biochar tandan kosong kelapa sawit.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi Pb pada air limbah (31 ppm) dan tanah (77,21 ppm) sangat tinggi. Karakteristik sifat kimia biochar menunjukkan biochar sekam padi memiliki nilai C total, nilai Na_2O , SO_4 , Al_2O_3 dan bahan organik tertinggi, biochar jerami padi memiliki nilai CaO dan MgO tertinggi, biochar tandan kosong kelapa sawit memiliki kadar abu tertinggi, biochar sabut kelapa memiliki nilai N total, P_2O_5 , K_2O dan EC tertinggi.

Hasil penelitian tahap pertama menunjukkan bahwa perlakuan pemberian *Azolla* berpengaruh nyata terhadap pH, EC, berat basah *Azolla* pada 14 hari, total berat basah, Pb air limbah dan Pb *Azolla* serta berpengaruh tidak nyata terhadap berat basah *Azolla* pada 7 hari dan biokonsentrasi. Perlakuan konsentrasi air limbah berpengaruh nyata terhadap pH 0, berat basah *Azolla* pada 7 hari dan total berat basah serta berpengaruh tidak nyata terhadap pH 7, 14 hari, EC 0, 7, 14, berat basah *Azolla* pada 14 hari, Pb air limbah, Pb *Azolla*, dan biokonsentrasi. Perlakuan interaksi pemberian *Azolla* dan konsentrasi air limbah tidak berpengaruh nyata terhadap pH 0, EC, Pb air limbah, Pb *Azolla*, dan biokonsentrasi serta berpengaruh nyata terhadap pH 7, 14 hari dan total berat basah *Azolla*.

Penelitian tahun kedua dilakukan di lahan sawah irigasi dan tadah hujan di desa Dagang Kelambir Tanjung Morawa Medan pada bulan Maret 2015-September 2015. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan biochar dan *Azolla pinnata* dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman padi pada lahan sawah irigasi dan tadah hujan yang tercemar logam berat Pb di Desa Tanjung Morawa B Kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Petak-Petak Terbagi yang memiliki 2 ulangan dengan perlakuan Petak Utama yaitu jenis sawah yang terdiri dari 2 taraf yaitu : sawah irigasi dan sawah tadah hujan; perlakuan anak petak yaitu jenis biochar yang terdiri dari 4 taraf yaitu tanpa biochar, biochar sekam padi, biochar jerami padi, dan biochar tandan kosong kelapa sawit; perlakuan anak-anak petak yaitu aplikasi *Azolla sp* yang terdiri dari 3 taraf yaitu tanpa pemberian *Azolla*, aplikasi *Azolla pinnata*, *Azolla mikropila*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan petak utama jenis sawah irigasi nyata meningkatkan jenis anakan padi, total luas daun, Pb gabah dibandingkan jenis sawah tadah hujan, sedangkan perlakuan sawah tadah hujan nyata meningkatkan laju tumbuh relatif 2-3 BST dan Pb Tajuk akar dibandingkan jenis sawah irigasi. Dan perlakuan petak utama jenis sawah tidak nyata meningkatkan tinggi tanaman, volume akar, berat kering tanaman, laju asimilasi bersih, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir, berat gabah per plot, jumlah gabah isi per malai, nilai EC dan pH tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan anak petak jenis biochar nyata meningkatkan jenis anakan padi, volume akar, berat kering tanaman, nilai EC tanah, Pb tanaman dimana biochar jerami padi menunjukkan nilai tertinggi untuk jenis anakan padi, volume akar, nilai EC tanah, Pb gabah dan biochar tandan kosong sawit menunjukkan nilai tertinggi untuk berat kering tanaman dan Pb Tajuk akar. Perlakuan anak petak jenis biochar tidak nyata meningkatkan tinggi tanaman, total luas daun, laju asimilasi bersih, laju

tumbuh relatif, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir, berat gabah per plot, jumlah gabah isi per malai, nilai pH tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan anak-anak petak aplikasi *Azolla sp* nyata meningkatkan tinggi tanaman, volume akar, nilai EC tanah, dan Pb tanaman dimana aplikasi *Azolla pinnata* menunjukkan nilai tertinggi untuk tinggi tanaman, volume akar, dan Pb tajuk akar dan *Azolla mikropilla* menunjukkan nilai tertinggi untuk nilai EC tanah dan Pb gabah. Dan perlakuan anak-anak petak aplikasi *Azolla sp* tidak nyata meningkatkan jumlah anakan, total luas daun, berat kering tanaman, laju asimilasi bersih, laju tumbuh relatif, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir, berat gabah per plot, jumlah gabah isi per malai, nilai pH tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan interaksi jenis sawah irigasi dengan jenis biochar nyata meningkatkan volume akar dan Pb tanaman dimana perlakuan S_1B_3 menunjukkan volume akar tertinggi, perlakuan S_2B_3 menunjukkan Pb tajuk akar tertinggi, perlakuan S_1B_2 menunjukkan Pb gabah tertinggi. Dan perlakuan perlakuan interaksi jenis sawah irigasi dengan jenis biochar tidak nyata meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan padi, berat kering tanaman, total luas daun, laju asimilasi bersih, laju tumbuh relatif, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir, berat gabah per plot, jumlah gabah isi per malai, nilai EC dan pH tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan interaksi jenis sawah dengan aplikasi *Azolla sp* nyata meningkatkan jumlah anakan padi, volume akar dan Pb tanaman dimana perlakuan S_1A_0 menunjukkan jumlah anakan padi tertinggi, perlakuan S_1B_3 menunjukkan volume akar tertinggi, perlakuan S_2A_0 menunjukkan Pb tajuk akar tertinggi, perlakuan S_1A_2 menunjukkan Pb gabah tertinggi. Dan perlakuan perlakuan interaksi jenis sawah irigasi dengan aplikasi *Azolla sp* tidak nyata meningkatkan tinggi tanaman, berat kering tanaman, total luas daun, laju asimilasi bersih, laju tumbuh relatif, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir, berat gabah per plot, jumlah gabah isi per malai, nilai EC dan pH tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan interaksi jenis biochar dengan aplikasi *Azolla sp* nyata meningkatkan volume akar, berat kering tanaman, nilai EC tanah dan Pb tanaman dimana perlakuan B_3A_1 menunjukkan volume akar tertinggi dan Pb tajuk akar, B_3A_2 menunjukkan berat kering tanaman tertinggi, B_2A_0 menunjukkan nilai EC tanah tertinggi dan B_2A_2 menunjukkan nilai Pb gabah tertinggi. Dan perlakuan perlakuan interaksi jenis biochar dengan aplikasi *Azolla sp* tidak nyata meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan padi, total luas daun, laju asimilasi bersih, laju tumbuh relatif, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir, berat gabah per plot, jumlah gabah isi per malai, nilai pH tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan interaksi jenis sawah, jenis biochar dengan aplikasi *Azolla sp* nyata meningkatkan volume akar, nilai EC tanah, Pb tanaman dimana perlakuan $S_1B_3A_1$ menunjukkan volume akar tertinggi, $S_2B_2A_0$ menunjukkan nilai EC tanah tertinggi dan $S_2B_0A_0$ menunjukkan nilai Pb tanaman tertinggi. Dan perlakuan perlakuan interaksi jenis sawah, jenis biochar dengan aplikasi *Azolla sp* tidak nyata meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan padi, berat kering tanaman, total luas daun, laju asimilasi bersih, laju tumbuh relatif, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir, berat gabah per plot, jumlah gabah isi per malai, nilai pH tanah.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala Puji Bagi Allah SWT atas Berkah dan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku monograf ini.

Buku monograf berjudul *Pemanfaatan Biochar Dan Azolla Pinnata* Dalam Memulihkan Tanah Yang Tercemar Pb Untuk Meningkatkan Produksi Padi Sawah. Buku monograf ini berisi isi temuan penelitian dengan judul yang sama dan didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui Hibah Penelitian Bersaing. Buku monograf ini adalah diskusi tentang topik kemampuan biochar dan *Azolla pinnata* sebagai agen hayati penyerap logam berat pada air irigasi tercemar Pb serta memulihkan dan meningkatkan produksi tanaman padi sawah yang tercemar logam berat Pb.

Dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan jalan terwujudnya buku monograf ini, yaitu :

1. Dirjen Dikti Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat
2. Bapak Koordinator LLDIKTI Wilayah I Sumatera Utara.
3. Bapak Rektor Universitas Al Washliyah Medan.
4. Bapak Dekan Fakultas Pertanian Universitas Al Washliyah Medan beserta staff.
5. Ketua LPPM Universitas Al Washliyah
6. Kepada semua pihak yang membantu terbitnya buku monograf ini.

Penulis berharap penyusunan buku ini, akan memberikan manfaat pengetahuan kepada khalayak yang tertarik untuk membaca, termasuk mahasiswa dan dosen, atau dinas/instansi yang terkait dengan bidang pertanian dan lingkungan hidup. Penulis menganggap buku ini masih banyak kekurangan yang perlu disempurnakan, oleh karena itu kami berharap ada kritik atau masukan agar buku ini menjadi lebih baik lagi.

Semoga tulisan ini dapat bermanfaat untuk kita semua. Amin.

Medan, 26 Mei 2025
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
RINGKASAN/SUMMARY.....	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Urgensi Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Logam Berat PB dan CD	5
B. Penyerapan Logam Berat PB Oleh Tanaman.....	7
C. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Mekanisme Penyerapan Logam Berat.....	9
D. Potensi Biochar Menyerap Logam Berat	13
E. Potensi Azolla Pinnata Menyerap Logam Berat	15
BAB III TUJUAN PENELITIAN.	21
BAB IV METODE PENELITIAN.	21
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
A. Penelitian Tahun Pertama	33
B. Penelitian Tahun Kedua.....	49
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	85
A. Kesimpulan	85
B. Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	97

DAFTAR TABEL

1. Hasil Pengukuran Logam Berat Pb dalam Air irigasi di Tanjung Morawa B	6
2. Kandungan Pb (ppm) pada Beberapa Bagian Tanaman Padi di Dua Kawasan Pabrik	7
3. Kandungan Pb (ppm) pada Beberapa Bagian Tanaman Padi di Dua Kawasan Pabrik	17
4. Proses Fitoremediasi dan Mekanisme Penghilangan Kontaminan	19
5. Data Sifat Fisik dan Kimia dari Air Limbah Desa Pematang Gambir Kecamatan Tanjung Morawa	33
6. Data Sifat Fisik dan Kimia dari Tanah Sawah Desa Pematang Gambir Kecamatan Tanjung Morawa	34
7. Karakteristik Sifat Kimia Biochar Sekam Padi, Jerami Padi, Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Sabut Kelapa	35
8. Gugus Fungsional pada Biochar yang Berasal Dari Limbah Organik	38
9. Rataan pH Air Limbah Setelah Aplikasi Azolla sp pada umur 0, 7, 14 Hari	40
10. Rataan EC Air Limbah Setelah Aplikasi Azolla sp pada umur 0, 7, 14 Hari	41
11. Rataan Berat Azolla 7, 14 hari dan Total Berat Basah Azolla	42
12. Rataan Pb di Air Limbah, Pb di Azolla sp dan Nilai Biokonsentrasi	44
13. Rataan Nilai EC, N, P, Bahan Organik, KTK dan C Tanah Setelah Aplikasi Azolla	45
14. Rataan Nilai EC, N, P, Bahan Organik, KTK dan C Tanah Setelah Aplikasi Azolla-Biochar	46
15. Rataan Jumlah Klorofil, Tinggi Tanaman, Jumlah Anakan, Bobot Tajuk, Bobot Akar, Luas Daun, Volume Akar Dan Panjang Akar Setelah Aplikasi Azolla- Biochar	47
16. Rataan Nilai Pb Tanah Minggu I dan Kedua, serta Nilai Pb Tajuk dan Akar	48
17. Data Sifat Fisik dan Kimia dari Sawah Irigasi dan Sawah Tadah Hujan Desa Dagang Gambir Kecamatan Tanjung Morawa	49

18. Data Sifat Fisik dan Kimia dari Air Irigasi Desa Dagang Kelambir Kecamatan Tanjung Morawa	50
19. Data Karakteristik sifat Kimia dan Fisik Biochar	51
20. Rataan Tinggi Tanaman Padi Umur 3 BST Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	52
21. Rataan Jumlah Anakan Padi Umur 3 BST Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	54
22. Rataan Volume Akar Padi Umur 3 BST Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	56
23. Rataan Volume Akar Padi Umur 3 BST Pada Perlakuan Interaksi Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	57
24. Rataan Berat Kering Padi Umur 3 BST Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	61
25. Rataan Berat Kering Padi Umur 3 BST Pada Perlakuan Interaksi Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	62
26. Rataan Total Luas Daun Padi Umur 3 BST Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	64
27. Rataan Laju Asimilasi Bersih 2-3 BST Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	65
28. Rataan Laju Relatif Tumbuh 2-3 BST Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	65
29. Rataan Jumlah Anakan Produktif Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	67
30. Rataan Bobot 1000 Butir Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	67
31. Rataan Berat Gabah per Plot Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	68
32. Rataan Jumlah Gabah Isi per Malai Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	69
33. Rataan Rataan EC Tanah Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	70
34. Rataan EC Tanah Umur 3 BST Pada Perlakuan Interaksi Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	72

35. Rataan pH Tanah Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	74
36. Rataan Pb Tajuk dan Akar Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	75
37. Rataan Pb Tajuk dan Akar Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	75
38. Rataan Pb Gabah Tanaman Padi Pada Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	79
39. Rataan Pb Gabah Tanaman Padi Pada Perlakuan Interaksi Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Biochar dan Anak- anak Petak Azolla sp	80

DAFTAR GAMBAR

1. Penyerapan, akumulasi, dan translokasi Pb pada tanaman serta efek fisiologis dan biokimianya.....	8
2. Mekanisme Serapan pada Teknologi Fitoremediasi (Interstate Technology and Regulatory	10
3. Faktor yang Mempengaruhi Mekanisme Serapan Logam Berat	12
4. Pengurangan Pb Pada Tanaman dan Tanah melalui Teknik Remediasi.....	14
5. Fishbone Diagram Penelitian	31
6. Peta Jalan Penelitian Hibah Fundamental	31
7. Scanning Electron Microscopy Biochar Limbah Organik.....	36
8. Fourier Transform Infrared spectrometry Biochar Jerami Padi.....	36
9. Fourier Transform Infrared spectrometry Biochar Sekam Padi.....	37
10. Fourier Transform Infrared spectrometry Biochar Sabut Kelapa	37
11. Fourier Transform Infrared spectrometry Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit	38
12. Rataan Tinggi Tanaman Umur 3 BST Pada Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	53
13. Rataan Jumlah Anakan Umur 3 BST Pada Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	55
14. Rataan Jumlah Anakan Umur 3 BST Pada Interaksi Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Dengan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	55
15. Rataan Volume Akar Umur 3 BST Pada Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	57
16. Rataan Volume Akar Umur 3 BST Pada Interaksi Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Dengan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	58

17. Rataan Volume Akar Umur 3 BST Pada Interaksi Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Dengan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	59
18. Rataan Volume Akar Umur 3 BST Pada Interaksi Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Dengan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	60
19. Rataan Berat Kering Umur 3 BST Pada Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	61
20. Rataan Berat Kering Umur 3 BST Pada Interaksi Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Dengan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	63
21. Rataan Total Luas Daun Umur 3 BST Pada Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	64
22. Rataan LajuTumbuh Relatif 2- 3 BST Pada Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	66
23. Rataan EC Tanah Pada Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla.....	71
24. Rataan EC Tanah Pada Interaksi Perlakuan Anak Petak	71
25. Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	73
26. Rataan EC Tanah Pada Interaksi Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	76
27. Rataan Pb Tajuk dan Akar Pada Faktor Utama Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	77
28. Rataan Pb Tajuk dan Akar Pada Kombinasi Dua Faktor Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	78
29. Rataan Pb Tajuk dan Akar Pada Kombinasi Tiga Faktor Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	81

30. Rataan Pb Gabah Tanaman Padi Pada Faktor Utama Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	81
31. Rataan Pb Gabah Tanaman Padi Pada Kombinasi Dua Faktor Perlakuan Petak Utama Jenis Sawah, Anak Petak Jenis Biochar Dan Anak-anak Petak Aplikasi Azolla	83

DAFTAR LAMPIRAN

1. Rataan Nilai pH 0, pH 7, pH 14, EC 0, EC 7, EC 14.	97
2. Rataan Berat Azolla, Pb Air , Pb Azolla dan Biokonsentrasi Air Limbah.....	97
3. Nilai Kuadrat Tengah dari Parameter pH pada 0, 7 dan 14 hari	98
4. Nilai Kuadrat Tengah dari Parameter EC pada 0, 7 dan 14 hari.	98
5. Nilai Kuadrat Tengah dari Parameter Berat Azolla 7, 14 dan Berat Total.....	98
6. Nilai Kuadrat Tengah dari Nilai Kuadrat Tengah dari Parameter Pb Air , Pb Azolla dan Biokonsentrasi Air Limbah	99

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Keamanan pangan dan potensi resiko kesehatan menjadi salah satu isu lingkungan yang sangat serius. Irigasi menggunakan air yang mengandung/terkontaminasi limbah pada jangka waktu yang lama dapat meningkatkan kandungan logam berat pada tanah pertanian dan tanaman. Hasil penelitian Singh *et al.* (2010) pada tanah yang dialiri air limbah dan air bersih menunjukkan terjadi peningkatan kandungan logam berat pada tanah yang dialiri air limbah yaitu kandungan logam Cd, Cu, Pb, Zn, Ni dan Cr meningkat sebesar 109 %, 152 %, 169 %, 32 %, 161 %, 112 %. Selain itu, didapatkan juga kandungan logam berat Cd ($> 0,2 \mu\text{g g}^{-1}$), Pb ($> 5 \mu\text{g g}^{-1}$) menunjukkan jumlah yang sudah melebihi standar keamanan yang ditetapkan oleh WHO/FAO (2007) pada semua sayuran yang diteliti. Hasil Penelitian Abii (2012) juga menunjukkan kandungan Pb dan Cd yang tinggi yaitu masing-masing 32,34 mg/kg dan 5,86 mg/kg untuk tanah dan 102,2 mg/kg dan 22,5 mg/kg untuk tanaman.

Akumulasi dan kandungan logam berat yang tinggi pada tanaman dan tanah terutama Pb dan Cd menggambarkan potensi resiko terhadap kesehatan masyarakat. Konsumsi harian tanaman yang mengandung logam berat menyebabkan penyakit yang serius antara lain kerusakan pada sistem saraf dan masalah dalam sintesis hemoglobin. Cd dapat mengakibatkan kerusakan ginjal, kanker, emphysema, bronchitis dan jantung. Pb sangat berbahaya walaupun dalam konsentrasi rendah yang menyebabkan kerusakan sistem saraf, penurunan sintesis haemoglobin, tulang, liver, pankreas, gigi, sistem reproduksi dan jantung. (European Union, 2002; Young, 2005; Ogwuegbu & Muhanga, 2005; Sudarmaji, *dkk.* 2006).

Padi merupakan tanaman pangan yang paling banyak diusahakan dan menempati daerah yang paling luas, terutama di daerah tropika. Padi berpotensi untuk menyerap logam berat. Fakta menunjukkan bahwa logam berat yang masuk ke lingkungan hidup kebanyakan dari hasil kegiatan manusia. Hasil analisis tanah-tanah lahan sawah pada daerah industri

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

A. LOGAM BERAT PB DAN CD

Logam berat (*heavy metal*) adalah logam dengan [massa jenis](#) lima atau lebih dengan nomor atom 22 sampai dengan 92. Logam berat yang termasuk unsur hara mikro bagi tanaman adalah : Zn, Cu, Mn, Mo, Fe. Logam berat yang bukan unsur penting bagi tanaman yaitu Cr, Co, Ni, sedang unsur Cd, Pb, Hg, As merupakan logam berat yang terdapat pada tanaman yang merupakan zat berbahaya bila dikonsumsi oleh manusia dalam jumlah yang banyak. Bahan pangan dengan kandungan logam berat tinggi tidak layak konsumsi, karena bila terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh dapat bersifat membangkitkan [kanker](#) (karsinogen). Logam berat yang masuk ke dalam tubuh manusia akan berinteraksi dengan enzim, protein, DNA, serta metabolit lainnya (Charlena, 2004).

Pencemaran agroekosistem berasal dari aktifitas pertanian, pertambangan, industri, transportasi, rumah tangga, erosi dan lain-lain. Komponen utama dari agroekosistem yang tercemar adalah air dan tanah. Limbah industri yang bisa menyebabkan pencemaran tanah berasal dari: pabrik, manufaktur, industri kecil, industri perumahan, bisa berupa limbah padat dan cair.

1. Limbah industri yang padat atau limbah padat yang adalah hasil buangan industri berupa padatan, lumpur, bubur yang berasal dari proses pengolahan. Misalnya sisa pengolahan pabrik gula, pulp, kertas, rayon, plywood, pengawetan buah, ikan daging dll.
2. Limbah cair yang adalah hasil pengolahan dalam suatu proses produksi, misalnya sisa-sisa pengolahan industri pelapisan logam dan industri kimia lainnya. Tembaga, timbal, perak, khrom, arsen dan boron adalah zat hasil dari proses industri pelapisan logam (Sadrach, 2008).

Penggunaan agrokimia untuk pertanian dapat mencapai 30 – 50% dari total input produksi pertanian, yang terbawa aliran permukaan (*surface run off*) maupun aliran bawah permukaan (*subsurface run off*) merupakan agen

BAB III

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui potensi *Azolla pinnata* dan *Azolla mikropilla* sebagai hiperakumulator pada air irigasi yang tercemar limbah Pb dan Cd (Tahun Pertama).
2. Untuk mengetahui potensi biochar dan *Azolla* dalam menyerap logam berat Pb dan Cd pada tanah tercemar air limbah (Tahun Pertama).
3. Untuk menganalisis kemampuan biochar dan *Azolla pinnata* dalam memulihkan tanah sawah yang tercemar logam berat Pb dan Cd serta upaya meningkatkan pertumbuhan dan produksi padi sawah yang sehat di Desa Tanjung Morawa B Kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara (Tahun Kedua).

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian tahun pertama terdiri dari 2 tahap yang dilakukan dirumah kaca Growth Centre Kopertis Wilayah I mulai dari April 2014 sampai dengan Juli 2014.

Penelitian Tahap Pertama yaitu Uji potensi *Azolla pinnata* dan *Azolla mikropilla* sebagai hiperakumulator pada air irigasi tercemar Pb.

Bahan dan Alat :

Bahan : *Azolla pinnata* dan *Azolla mikropilla* koleksi Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian USU, air aquadest, air irigasi tercemar Pb, pupuk majemuk 5, 30,30 untuk pertumbuhan awal, label.

Alat : Ember, saringan, serta alat untuk analisa parameter kuantitatif

Desain Penelitian : Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial yang memiliki 3 ulangan dengan perlakuan yaitu

Faktor Pertama : Pemberian *Azolla* yang terdiri dari 2 taraf yaitu :

1. *Azolla pinnata* (A₁)
2. *Azolla mikropilla* (A₂)

Faktor Kedua : konsentrasi air irigasi yang tercemar Pb (L) yang terdiri dari 5 taraf yaitu :

1. Konsentrasi 0% air limbah (L₀)
2. Konsentrasi 25 % air limbah (L₁)
3. Konsentrasi 50 % air limbah (L₂)
4. Konsentrasi 75 % air limbah (L₃)
5. Konsentrasi 100% air limbah (L₄)

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENELITIAN TAHUN PERTAMA

1. Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Air Limbah dan Tanah

Hasil analisa sifat fisik dan kimia tanah dari air limbah dan tanah sawah dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Data Sifat Fisik dan Kimia dari Air Limbah
Desa Pematang Gambir Kecamatan Tanjung Morawa

No	Jenis Analisis	Nilai	Metode
1	N-NH ₄ (me/L)	4,89	Kjeldahl
2	P (ppm)	0,73	Spectrophotometry
3	K (ppm)	19,45	AAS
4	Cu (ppm)	Tdk terdeteksi	AAS
5	Pb (ppm)	31,00	AAS
6	Cd (ppm)	Tdk Terdeteksi	AAS
7	EC (mmho/cm ³)	42,3	Conductivitymeter
8	SO ₄	9,16	Spectrophotometry
9	pH	7,36	Elektrometry

Diuji oleh : ¹Laboratorium BPTP Sumatera Utara

Hasil analisis air limbah pada Tabel 5 diatas dapat dilihat bahwa kandungan logam berat Pb air limbah sangat tinggi yaitu 31 ppm, sementara kandungan Pb pada air yang dapat ditoleransi sesuai Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 1 ppm. Sementara kandungan Cd pada air limbah tidak terdeteksi, hal ini menunjukkan bahwa kandungan Cd pada air limbah sangat kecil sekali.

Hasil analisis tanah sawah pada Tabel 6 dibawah dapat dilihat kandungan logam berat Pb pada tanah sawah tergolong tinggi yaitu 77,21 ppm. Tanah juga mempunyai kandungan P₂O₅, K-dd, Cu-dd, S yang tergolong tinggi, sementara kandungan C organik dan N total tanah sawah tergolong rendah, nilai kapasitas tukar kation sedang dan pH tanah netral.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Tahun Pertama

1. Biochar sekam padi memiliki nilai C total, nilai Na_2O , SO_4 , Al_2O_3 dan bahan organik tertinggi, biochar jerami padi memiliki nilai CaO dan MgO tertinggi, biochar tandan kosong kelapa sawit memiliki kadar abu tertinggi, biochar sabut kelapa memiliki nilai N total, P_2O_5 , K_2O dan EC tertinggi.
2. Pemberian *Azolla* dapat menyerap Pb pada air limbah dan tanah dimana *Azolla mikropilla* menunjukkan kemampuan menyerap Pb lebih banyak dibandingkan *Azolla pinnata* berdasarkan nilai biokonsentrasi.
3. Perlakuan pemberian *Azolla* berpengaruh tidak nyata terhadap nilai pH, N, P, K, bahan organik, KTK, C organik tanah, Eh, jumlah klorofil, luas daun, volume akar, panjang akar, Pb tanah, dan Pb daun serta berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah anakan, bobot tajuk, bobot akar dan Pb akar.
4. Perlakuan pemberian biochar berpengaruh nyata terhadap nilai pH, N, P, K, bahan organik, KTK, C organik tanah, Eh, tinggi tanaman, jumlah anakan, bobot tajuk, bobot akar, jumlah klorofil, luas daun, volume akar dan panjang akar serta berpengaruh tidak nyata terhadap Pb tanah, akar dan daun, dimana perlakuan terbaik adalah biochar sekam padi.

Tahun Kedua

1. Sawah irigasi nyata meningkatkan jenis anakan padi, total luas daun, Pb tajuk akar dan sawah tadah hujan nyata meningkatkan laju tumbuh relatif 2-3 BST dan Pb gabah.
2. Biochar jerami padi nyata meningkatkan jumlah anakan padi, volume akar, nilai EC tanah, Pb gabah dan biochar tankos sawit nyata meningkatkan berat kering tanaman dan Pb tajuk akar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abii, T.A. 2012 Levels of Heavy Metals (Cr, Pb, Cd) Available for Plants within Abandoned Mechanic Workshops in Umuahia Metropolis *Research Journal of Chemical Sciences* Vol. 2(2), 79-82, Feb. (2012) ISSN 2231-606X.
- Abror, M., Sabrina, T., Hidayat, B. 2012..Pengaruh Pemberian Biomassa *Azolla* terhadap Status Pb Pada Tanah Inceptisol. Skripsi Mahasiswa Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Arora, A., Singh, PK., 2003. Comparison of biomass productivity and nitrogen fixing potential of *Azolla* spp., *Biomass Bioenergy*, 24 (2003) 175–178.
- Arora, A., Sudhir, S., and Dinesh, K.S. 2005. Tolerance and Phytoaccumulation of Chromium by Three *Azolla* Species. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 22:p. 97-100
- Asai H., Samson B.K., Stephan H.M., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., Inoue Y., Shiraiwa T., Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research* 111:81-84. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.10.008.
- Ashraf A., Bhardwaj, S., Ishtiaq, H., Devi, YK., 2021. Lead uptake, toxicity and mitigation strategies in plants. *Plant Arch.* 2021;21(1):293–294 DOI:[10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.no1.099](https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.no1.099)

- Ashrafi F., Heidari A., Farzam, M., Karimi, A., Amini, M., 2022 The interactions of Cr (VI) concentrations and amendments (biochar and manure) on growth and metal accumulation of two species of *Salicornia* in contaminated soil. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022:1–18. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22138-1>
- Ashraf, U., Mahmood, MH., Hussain, S., Abbas, F., Anjum, SA., Tang, X., 2020. Lead (Pb) distribution and accumulation in different plant parts and its associations with grain Pb contents in fragrant rice. *Chemosphere.* 2020;26(11) doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126003. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126003>
- Avellan A, Yun J, Morais BP, Clement ET, Rodrigues SM, Lowry GV., 2021. Critical review: role of inorganic nanoparticle properties on their foliar uptake and in planta translocation. *Environ. Sci. Technol.* 2021;55(20):13417–13431. DOI: [10.1021/acs.est.1c00178](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00178)
- Awad, M., El-Desoky, M. A., Ghallab, A., Kubes, J., Abdel-Mawly, S. E., Danish, S., Ratnasekera, D., Sohikul Islam, M., Skalicky, M., Brestic, M., Baazeem, A., Alotaibi, S. S., Javed, T., Shabbir, R., Fahad, S., Habib ur Rahman, M., & EL Sabagh, A. 2021. Ornamental Plant Efficiency for Heavy Metals Phytoextraction from Contaminated Soils Amended with Organic Materials. *Molecules*, 26(11), 3360. <https://doi.org/10.3390/molecules26113360>
- Azolla Lam. 2007. [family AZOLLACEAE]: JSTOR, 2007 Available at: <https://plants.jstor.org/>

- Banach, A., Kuźniar, A., Mencfel, R., Wolińska, A., 2019. The study on the cultivable microbiome of the aquatic fern *Azolla filiculoides* L. as new source of beneficial microorganisms, *Appl. Sci.*, 9 (2019) 2143, doi: 10.3390/app9102143.
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J.L. 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environ. Pollut.* 158, 2282–2287
- Beesley, L., Marmiroli, M. 2011. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environ. Pollut.* 159, 474–480.
- Brouwer, P., Schluepmann, H., Nierop, K.G.J., Elderson, J., Bijl, P.K., Van Der Meer, I., Visser, W.D., Reichart, G.J., Smeekens, S., Werf, A.V.D., 2018. Growing *Azolla* to produce sustainable protein feed: the effect of differing species and CO₂ concentrations on biomass productivity and chemical composition, *J. Sci. Food Agric.*, 98 (2018) 4759–4768.
- Burken, J.G. and Schnoor, J.L. 1996. Phytoremediation: plant uptake of atrazine and role of root exudates, *Journal of Environmental Engineering*, vol. 122, no. 11, pp. 958–963, 1996.
- Cao, X., Ma, L., Gao, B., Harris, W. 2009. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. *Environ Sci Technol* 43:3285–3291
- Cao, X., Ma, L., Liang, Y., Gao, B., Harris, W. 2011. Simultaneous immobilization of lead and atrazine in contaminated soils using dairy-manure biochar. *Environ. Sci. Technol.* 45, 4884–4889.
- Charlena, 2004. Pencemaran logam berat Pb dan Cd pada sayur-sayuran. *Falsafah sain. Program Pascasarjana IPB Bogor*.

- Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, DM., Syed Ali, MNV., Bahubali, P., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, GI., Senatov, F., Koppala, S., Swamiappan, S., 2022. Bioaccumulation of Lead (Pb) and its effects in plants: a review. J. Hazard Mater. Lett. 2022 <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2022.100064>
- Cohen, M.F., Meziane, T., Tsuchiya, M., Yamasaki, H., 2002. Feeding deterrence of *Azolla* in relation to deoxyanthocyanin and fatty acid composition. Aquatic Bot., 83, 463–468.
- Costa, ML., Santos, MCR., Carrapiço, F., Pereira, AL., 2009. *Azolla/Anabaena's* behaviour in urban wastewater and artificial media— influence of combined nitrogen, Water Res., 43 (2009) 3743–3750.
- De Oliveira JPV, Pereira MP, Duarte VP, Corrêa FF, de Castro EM, Pereira FJ. 2022. Root anatomy, growth, and development of *Typha domingensis* Pers.(Typhaceae) and their relationship with cadmium absorption, accumulation, and tolerance. Environ. Sci. Pollut. Res. 2022;29(13):19878–19889. DOI: [10.1007/s11356-022-18842-7](https://doi.org/10.1007/s11356-022-18842-7)
- Dhir, B., Sharmila, P., Saradhi, PP., 2009. Potential of aquatic macrophytes for removing contaminants from the environment, Crit. Rev. Env. Sci. Technol., 39 (2009) 754–781.
- Dushenkov, V., Kumar PBAN., Motto, H., Raskin, I. 1995. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams, Environ. Sci. Technol., 29 (1995) 1239–1245.
- Engwa, GA., Ferdinand, PU., Nwalo, F.N., and Unachukwu MN., 2019. Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. Poisoning in the modern world-new tricks for an old dog. 2019;10:70–90. DOI: 10.5772/intechopen.82511 <https://www.intechopen.com/chapters/64762>

- European Union. 2002. Heavy Metals in Wastes, European Commission on Environment (http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/heavy_metals_report.pdf).
- Faiz, B. 2009. "Artikel", Sumber Polutan Dan Logam Berat. <http://faizbarchia.blogspot.com/2009/06/sumber-polutan-dan-logam-berat.html>, diakses tanggal 26 Desember 2009.
- Fritioff, A., and Greger, M., 2003. Aquatic and Terrestrial Plant Species with Potential to Remove Heavy Metals from Stormwater, *International Journal of Phytoremediation*, vol. 5, no. 3, pp. 211–224.
- Gichner T., Žnidar I., Száková J. 2008. Evaluation of DNA damage and mutagenicity induced by lead in tobacco plants. *Mut. Res./Gene. Toxicol. Environ. Mutagen.* 2008;652(2):186–190. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2008.02.009>
- Golzary, A., Tavakoli, O., Rezaei, Y., Karbassi, A., 2018. Wastewater treatment by *Azolla filiculoides*: a study on color, odor, COD, nitrate, and phosphate removal, *Pollution*, 4 (2018) 69–76.
- Gurajala, HK., Cao, X., Tang, L., Ramesh, TM., Lu, M., Yang, X., 2019 Comparative assessment of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) genotypes for phytoremediation of Cd and Pb contaminated soils. *Environ. Pollut.* 2019;254 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113085>
- Hidayat, B. 2011. Skrining Tumbuhan Tumbuhan air Hiperakumulator. *Kultura UMN Alwashliyah*. Volume 20 September 2011.
- Hidayat, B. 2013. Analisis Status Pb Pada bagian Tanaman Padi di Daerah Pabrik Tanjung Morawa Sumatera Utara, Belum di Publikasikan. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara

- Hidayat, B., & Rusdi, L. 2012. Evaluasi Pemberian Biomassa *Azolla* terhadap Status Logam Berat Timbal (Pb) pada Tanah Inceptisol. Penelitian Dosen Muda. Dana PNBP. Lembaga Pengabdian dan Pengabdian pada Masyarakat. Universitas Sumatera Utara.
- Hossain, M.K., Strezov, A., Chan, K.Y., Nelson, P.F. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78, 1167–1171
- Hu, R., Sun, K., Su, X., Pan, Y., Zhang, Y., Wang, X., . 2012 Physiological responses and tolerance mechanisms to Pb in two xerophils: *Salsola passerina* Bunge and *Chenopodium album* L. *J. Hazard Mater.* 2012;205:131–138. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.051>
- Interstate Technology and Regulatory Council, Phytotechnology Technical and Regulatory. Guidance and Decision Trees, 2009, <http://www.itrcweb.org/guidancedocument.asp?TID=63>.
- Jindo, K., Mizumoto, H., Sawada, Y., Sanchez-Monedero, M.A., Sonoki, T. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues *Biogeosciences*, 11, 6613–6621. [www.biogeosciences.net](http://www.biogeosciences.net/11/6613/2014/) /11/6613 /2014/ doi:10.5194/bg-11-6613-2014
- Juhaeti, T., dan Syarif, F. 2003. *Studi Potensi Beberapa Jenis Tumbuhan Air untuk Fitoremediasi*. [Laporan Teknik]. Bogor: Proyek Pengkajian dan Pemanfaatan Sumberdaya Hayati. Pusat Penelitian Biologi. LIPI. Bogor .
- Juhaeti, T., Syarif, F., Hidayati, N. 2004. Inventarisasi Tumbuhan Tumbuhan Potensi Untuk Fitoremediasi. *Jurnal Biodiversitas*. Vol.6 No.1. hal 310-33

- Kopittke, P.M., Asher, C.J., Menzies, N.W. 2008. Prediction of Pb speciation in concentrated and dilute nutrient solutions. *Environ Pollut* 153:548–554
- Kosakivska IV, Babenko LM, Romanenko KO, Korotka IY, Potters G., 2021. Molecular mechanisms of plant adaptive responses to heavy metals stress. *Cell Biol. Int.* 2021;29(13):258–272. DOI: [10.1002/cbin.11503](https://doi.org/10.1002/cbin.11503)
- Kumar B., Smita K., Flores L.C. 2017. Plant mediated detoxification of mercury and lead. *Arab. J. Chem.* 2017;10:S2335–S2342. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.08.010>
- Kwapinski, W., Byrne, C.M.P., Kryachko, E., Wolfram, P., Adley, C., Leahy, J.J., Novotny, E.H., Hayes, M.H.B. 2010. Biochar from Biomass and Waste Waste Biomass Valor (2010) 1:177–189 DOI 10.1007/s12649-010-9024-8
- Lehmann, J. 2007 Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:381. Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, F.J., Petersen, J., Neves, E.G. 2006. Black Carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70:1719. DOI:10.2136/sssaj2005.0383.
- Liang Y., Xiao, X., Guo, Z., Peng, C., Zeng, P., Wang, X., 2021 Co-application of indole-3-acetic acid/gibberellin and oxalic acid for phytoextraction of cadmium and lead with *Sedum alfredii* Hance from contaminated soil. *Chemosphere.* 2021;29(13) <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131420>
- Liao, S.W., & Chang, W.L. 2004. Heavy Metal Phytoremediation by Water Hyacinth at Constructed Wetlands in Taiwan, *J. Aquat. Plant Manage.* 42, (Online), (diakses 8 Maret 2008).

- Lumpkin, T.A. 2012. *Azolla* [family AZOLLACEAE]: JSTOR; 2012 [Updated 23 July 2012]. Available at: <https://plants.jstor.org/>
- Maejima, K., Kitoh, S., Uheda, E., Shiomi, N., 2001. Response of 19 *Azolla* strains to a high concentration of ammonium ions, *Plant Soil*, 234 (2001) 247–252
- Major, J. 2012. Biochar for soil quality improvement, climate change mitigation and more. <http://biochar-atlantic.org/assets/pdf/BiocharSoilFertility.pdf> di akses tanggal 25 Desember 2012
- Matovic, D. 2010. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective. *Energy* 64: 109-122
- Mayly, S., dan Hidayat, B. 2013. Peningkatan Pertumbuhan Padi Gogo Melalui Penggunaan Varietas dan Biochar Sekam Padi di Dataran Rendah. Prosiding Seminar Nasional SPS dengan Program Pasca Sarjana Ilmu Pertanian FP USU.
- Meharg, A. 2005. Mechanisms of plant resistance to metal and metalloid ions and potential biotechnological applications. *Plant and Soil* 274: 163-174.
- Merkel, N., Schultze-Kraft, R., and Infante, C., 2005. Phytoremediation in the tropics—influence of heavy crude oil on root morphological characteristics of graminoids, *Environmental Pollution*, vol. 138, no. 1, pp. 86–91.
- Meyers, D.E., Auchterlonie, G.J. Webb, R.I., Wood B., 2008 Uptake and localisation of lead in the root system of *Brassica juncea*. *Environ. Pollut.* 2008;153(2):323–332. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.029>.

- Mousavi, H.Z., Hosseinifar, A., Jahed, V. 2010. Removal of Cu(II) from wastewater by waste tire rubber ash. *J Serb Chem Soc* 75:845–753
- Mwegoha, W.J.S. 2008. The use of phytoremediation technology for abatement soil and groundwater pollution in Tanzania: opportunities and challenges,” *Journal of Sustainable Development in Africa*, vol. 10, no. 1, pp. 140–156.
- Namgay, T., Singh, B. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Australian Journal of Soil Research* 48:638-647.
- Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D.W., Busscher, W.J., Schomberg, H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Ann Environ Sci* 3, 195–206.
- Ogwuegbu, M.O.C., & Muhanga, W. 2005. Investigation of lead concentration in the blood of people in the copper belt province of Zambia. *Journal of Environment* 1: 66-75.
- Palansooriya, KN., Shaheen, SM., Chen, SS., Tsang, DCW., Hashimoto, Y., Hou, D., Bolan, NS., Rinklebe, J., Ok, YS., 2020. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: a critical review. *Environ. Int.* 2020;134 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046>
- Parikh, PS., Mazumder, SK., 2015. Capacity of *Azolla pinnata* var. *imbricata* to absorb heavy metals and fluorides from the wastewater of oil and petroleum refining industry at Vadodara, *Int. J. Allied Pract. Res. Rev.*, 11 (2015) 37–43.

- Park, J.H., Girish K.C., Nanthi, S. B., Jae, W. C., Thammared C. 2011. Biochar Reduces the Bioavailability and Phytotoxicity of Heavy Metals. *Plant Soil* (2011) 348:439–451 DOI 10.1007/s11104-011-0948
- Penn C.J., Camberato J.J. 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*. 2019;26(11):120. <https://doi.org/10.3390/agriculture9060120>
- Pinero-Rodríguez, MJ., Fernández-Zamudio, R., GomezMestre, I., Díaz-Paniagua, C., 2019. *Ranunculus peltatus* develops an emergent morphotype in response to shading by the invasive *Azolla filiculoides*, *Aquat. Bot.*, 152 (2019) 32–35
- Prasad, MNV and De Oliveira Freitas, H.M., 2003. Metal hyperaccumulation in plants—biodiversity prospecting for phytoremediation technology,” *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 6, no. 3, pp. 110–146.
- Priyanto, B. & Prayitno, J. 2006. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam berat, (Online). <http://lrl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm>, diakses 4 Oktober 2010).
- Rajkumar, M., Sandhya, S., Prasad, MNV., Freitas, H., 2012 Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation, *Biotechnol. Adv.*, 30 (2012) 1562–1574.
- Rakhshaei R., Morteza Khosravi., Masoud Ganji. 2006. Kinetic modeling and Thermodynamic study to remove Pb(II), Cd (II) and Zn (II) from aqueous Solution using dead and Living *Azolla filiculoides*. *Journal of Hazardous Material B124* p.120-129.

- Reginawanti H., Kalay, A.M., dan Muntalif, B.S. 2004. Akumulasi Pb dan Cd pada buah tomat yang ditanam di tanah mengandung Lumpur kering dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestic. Makalah Seminar PATPI.
- Rezania, S., Ponraj, M., Talaiekhosani, A., Mohamad, SE., Din, MFM., Taib, SM., Sabbagh, F., Sairan, FM., 2015. Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater, *J. Environ. Manage.*, 163 (2015) 125–133.
- Rodriguez, L., Lopez-Bellido, F.J., Carnicer, A., Recreo, F., Tallos, A., and Monteagudo, J.M. 2005. Mercury recovery from soils by phytoremediation, in *Book of Environmental Chemistry*, pp. 197–204, Springer, Berlin, Germany.
- Roy, S., Labelle, S., Mehta, P., et al., 2005. Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites, *Plant and Soil*, vol. 272, no. 1-2, pp. 277–290.
- Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K., Van Damme, P., 2013. A review of some ecological factors affecting the growth of *Azolla* spp., *Caspian J. Environ. Sci.*, 11 (2013) 65–76
- Sadrach, B., 2008. Pencemaran tanah dan dampaknya. <http://www.walhijabar.blogspot.com>. [18 April 2009].
- Seuntjens, P., Nowack, B., and Schulin, R., 2004. Root-zone modeling of heavy metal uptake and leaching in the presence of organic ligands, *Plant and Soil*, vol. 265, no. 1-2, pp. 61–73, 2004.
- Simangunsong, Y. 2009. Evaluasi Tingkat Pencemaran Tanah Oleh Beberapa Logam Berat di Desa Tanjung Morawa-B Kecamatan Tanjung Morawa Kabupaten Deli Serdang. Departemen Ilmu Tanah Universitas Sumatera Utara

- Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M., & Marshall, F.M. 2010. Risk Assessment Of Heavy Metal Toxicity Through Contaminated Vegetables From Waste Water Irrigated Area Of Varanasi, India *Tropical Ecology* 51(2s): 375-387, Issn 0564-3295 www.tropecol.com
- Sing, A., Kumar, B., Pabbi, S., Kapoor, M., 2008. Phytoremediation Potential of Azolla in Relation to Heavy Metals – A Review, SC, Verma, S.P. Khullar, H.K. Cheema, Eds., Perspect. Pteridophytes, Bishen Singh Mahendra Pal Singh, India, 2008, pp. 487–499.
- Sohi, S., Capel, E.L., Krull, E., and Bol, R. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09 February 2009
- Sudarmaji, Mukono, J., Corie I.P. 2006. Toksikologi Logam Berat B3. Jurnal Kesehatan Lingkungan, Vol2, No.2, Hal 129-142
- Traunfeld, J.H., and Clement, D.L. 2001. Lead in Garden Soils. Home and Garden, Maryland Cooperative Extension, University of Maryland, <http://www.hgic.umd.edu/media/documents/hg18.pdf>.
- Tu, S., Ma, L.Q., Fayiga, A.O., and Zillioux, E.J., 2004. Phytoremediation of arsenic-contaminated groundwater by the arsenic hyperaccumulating fern *Pteris vittata* L, *International Journal of Phytoremediation*, vol. 6, no. 1, pp. 35–47.
- Uchimiya, M., Lima, I.M., Klasson, T., Chang, S., Wartelle, L.H., Rodgers, J.E. 2010. Immobilization of heavy metal ions (CuII, CdII, NiII, and PbII) by broiler litter- derived biochars in water and soil. *J Agric Food Chem* 58:5538–5544

- Uzu G, Sobanska S, Sarret G, Muñoz M, Dumat C. 2010. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environ Sci Technol*. 2010 Feb 1;44(3):1036-42. DOI: [10.1021/es902190u](https://doi.org/10.1021/es902190u) PMID: 20063891.
- Van Ginneken, L., Meers, E., Guisson, R., et al., 2007. Phytoremediation for heavy metal-contaminated soils combined with bioenergy production, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 15, no. 4, pp. 227–236..
- Varjani, S.J., Srivastava, V.K., 2015. Green technology and sustainable development of environment, *Renewable Resour. J.*, 3 (2015) 244–249.
- Wang S., Shi, X., Salam., MMA., Chen, G., 2021. Integrated study on subcellular localization and chemical speciation of Pb reveals root strategies for Pb sequestration and detoxification in *Salix integra*. *Plant Soil*. 2021;467(1):197–211. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05045-1>
- WHO/FAO. 2007. *Joint FAO/WHO Food Standard Programme Codex Alimentarius Commission 13th Session*. Report of the Thirty Eight Session of the Codex Committee on Food Hygiene. Houston, United States of America, ALINORM 07/30/13
- Yadav, R.K., Chatrath, A., Tripathi, K., Gerard, M., Ahmad, A., Mishra, V., Abraham, G., 2021. Salinity tolerance mechanism in the aquatic nitrogen fixing pteridophyte *Azolla*: a review, *Symbiosis*, 83 (2021) 129–142.
- Yang, Y.N., Sheng, G.Y., Huang, M.S. 2006. Bioavailability of diuron in soil containing wheat– straw-derived char. *Sci. Total Environ*. 354, 170–178

Young, R.A. 2005. *Toxicity Profiles : Toxicity Summary for Cadmium, Risk Assessment Information System*. University of Tennessee (rais.ornl.gov/tox/profiles/cadmium.html).

PEMANFAATAN BIOCHAR DAN AZOLLA PINNATA

Dalam Memulihkan Tanah Yang Tercemar Pb
Untuk Meningkatkan Produksi Padi Sawah

Buku ini merupakan hasil kajian ilmiah yang mendalam mengenai potensi biochar dan *Azolla pinnata* dalam memulihkan tanah sawah yang tercemar logam berat, khususnya timbal (Pb), yang banyak ditemukan di sekitar kawasan industri. Dengan latar belakang meningkatnya pencemaran tanah dan air irigasi yang membahayakan keamanan pangan, buku ini menyajikan hasil penelitian dua tahap yang dilakukan secara eksperimental di rumah kaca dan lahan pertanian. Penelitian ini menyoroti kemampuan biochar dari berbagai bahan organik serta *Azolla pinnata* sebagai agen hayati dalam menyerap dan menstabilkan logam berat. Disampaikan pula hasil analisis mendetail tentang pengaruh perlakuan terhadap sifat kimia tanah, pertumbuhan tanaman padi, dan kandungan Pb pada bagian tanaman. Didukung dengan data empiris dan pendekatan fitoremediasi, buku ini menawarkan solusi ramah lingkungan untuk meningkatkan hasil pertanian di lahan tercemar. Sangat relevan bagi akademisi, peneliti, praktisi pertanian, serta pembuat kebijakan di bidang pertanian dan lingkungan hidup.



SCAN ME

www.penerbitwidina.com
@penerbitwidina
penerbit widina
penerbitwidina@gmail.com
widina store
widina bookstore
0815-7000-688

