

Kajian Mengenai Remediasi Tanah Tercemar Logam Mangan (Mn) Pada Tanah Sawah Menggunakan *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

HURRI MURIZQI¹, RACHMAWATI SUGIHHARTATI DJ¹, RATIH NURJAYATI²

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung
 2. Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung
- Email: hurrim1105@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran logam berat pada tanah sawah berpotensi menurunkan produktivitas pertanian dan membahayakan kesehatan manusia akibat akumulasi logam dalam rantai pangan. Mangan (Mn) merupakan unsur mikro esensial, namun pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan toksisitas pada tanaman dan gangguan kesehatan. Biochar tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki karakteristik luas permukaan besar, struktur berpori, dan gugus fungsional aktif yang efektif menurunkan bioavailabilitas Mn melalui adsorpsi dan interaksi fisikokimia. Selain itu, aplikasi biochar TKKS juga memperbaiki sifat fisik-kimia tanah serta mendukung pengelolaan limbah pertanian secara berkelanjutan, sehingga berpotensi sebagai teknologi remediasi ramah lingkungan.

Kata kunci: *biochar TKKS, mangan, tanah sawah, remediasi*

1. PENDAHULUAN

Tanah sawah merupakan salah satu ekosistem pertanian yang rentan terhadap pencemaran logam berat akibat aktivitas antropogenik maupun proses alami. Pencemaran logam berat pada tanah sawah dapat bersumber dari aktivitas industri dan pertambangan, penggunaan pupuk serta pestisida kimia secara berlebihan, maupun pembuangan limbah domestik ke badan sungai (Sutrisno & Kuntastyuti, 2015). Logam berat memiliki sifat akumulatif dan karsinogenik yang mencemari lahan produktif, seperti pertanian dan persawahan, berpotensi membahayakan kehidupan. Akumulasi logam berat pada lahan pertanian dapat terserap ke dalam jaringan tanaman yang menjadi pakan ternak maupun pangan manusia, sehingga menimbulkan risiko serius terhadap kesehatan (Komarawidjaja, 2017). Salah satu logam yang sering dijumpai dalam konsentrasi tinggi pada tanah sawah adalah mangan (Mn). Meskipun Mn termasuk unsur mikro esensial bagi tanaman, akumulasi berlebih dapat menimbulkan gejala toksisitas, antara lain pertumbuhan terhambat, jumlah anakan padi yang menurun, serta munculnya bercak coklat pada daun (Seran, 2017).

Permasalahan pencemaran logam berat di lahan sawah menuntut adanya upaya remediasi yang efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan

adalah pemanfaatan bahan organik, khususnya *biochar*, sebagai agen remediasi. *Biochar* adalah material karbon berbentuk arang yang dihasilkan melalui proses pemanasan biomassa dalam kondisi oksigen yang sangat terbatas atau tanpa kehadiran oksigen sama sekali (Verdiana dkk., 2016). *Biochar* berpotensi menurunkan bioavailabilitas serta mobilitas logam berat melalui mekanisme adsorpsi dan berbagai interaksi fisikokimia, karena memiliki luas permukaan yang tinggi, struktur berpori, serta keberadaan gugus fungsional aktif. Selain itu, aplikasinya juga mampu meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan sifat fisik maupun kimia tanah (Hidayat, 2015).

Berdasarkan latar belakang tersebut, kajian mengenai pemanfaatan *biochar* TKKS untuk remediasi tanah sawah tercemar logam Mn menjadi penting. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi remediasi yang efektif, sekaligus mendukung praktik pertanian berkelanjutan dan pengelolaan limbah biomassa secara ramah lingkungan.

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan mengkaji publikasi ilmiah, buku, serta peraturan yang relevan mengenai remediasi tanah sawah tercemar logam mangan (Mn) menggunakan *biochar* tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Literatur dicari melalui *Google Scholar* dengan kata kunci mangan (Mn) dalam tanah sawah, *biochar*, TKKS, remediasi tanah tercemar, dan adsorpsi logam berat. Sumber literatur yang diperoleh kemudian dirangkum dan disusun berdasarkan poin-poin penting, yaitu karakteristik Mn dalam tanah sawah, prinsip remediasi logam berat, sifat *biochar* TKKS, serta efektivitas *biochar* TKKS dalam remediasi logam Mn. Literatur yang digunakan berupa publikasi ilmiah dan buku 10 tahun terakhir serta peraturan terbaru untuk membangun kerangka pemahaman penelitian.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Pencemaran Logam Pada Tanah Sawah

Pencemaran lingkungan merupakan masuknya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam lingkungan, maupun terjadinya perubahan tatanan lingkungan akibat aktivitas manusia atau proses alam, sehingga menurunkan kualitas lingkungan hingga pada tingkat yang mengganggu atau meniadakan fungsinya (Muslimah & Si, 2017). Pada lahan pertanian, Degradasi lingkungan akibat pencemaran dapat menurunkan kualitas kesehatan tanah, memengaruhi kondisi sosial-ekonomi petani, serta merusak keseimbangan ekosistem lokal (Khasanah dkk., 2021).

3.1.1 Sumber Pencemaran Logam Mn

Pencemaran pada lahan pertanian dapat diklasifikasikan menjadi dua sumber utama, yakni aktivitas non-pertanian seperti industri, pertambangan, dan rumah tangga, serta aktivitas pertanian itu sendiri melalui penggunaan pupuk kimia maupun organik dan penerapan pestisida (Erfandi & Juarsah, 2014).

3.1.2 Dampak Pencemaran Logam Mn

Logam Mn pada tanah umumnya berada pada rentang konsentrasi 20 – 3.000 mg/kg (Miranda, 2024). Tanah dengan konsentrasi logam Mn >3.000 mg/kg dapat menyebabkan keracunan. Toksisitas Mn pada tanaman padi ditandai dengan pertumbuhan kerdil dan jumlah anakan yang sedikit, disertai munculnya bercak coklat pada tulang daun serta pelepah, khususnya pada daun

bagian bawah (Seran, 2017). Menurut penelitian Wardhana (1995) dalam Pahrudin (2017), paparan mangan terhadap manusia dalam dosis berlebih dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan, termasuk kerusakan paru-paru dan hati, gangguan sistem peredaran darah, penurunan tekanan darah, hambatan dalam perkembangan janin, serta kerusakan pada jaringan otak.

3.2 Remediasi

Remediasi merupakan bentuk penerapan teknologi yang ditujukan untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam tanah, terutama pada lahan pertanian, salah satunya dengan memanfaatkan bahan organik (Hindarwati dkk., 2018). Remediasi merupakan Remediasi dibedakan menjadi dua kategori, yaitu in-situ (*on-site*) dan ex-situ (*off-site*). Remediasi in-situ dilakukan langsung di lokasi tanah tercemar tanpa pemindahan material, sedangkan remediasi ex-situ melibatkan penggalian tanah yang terkontaminasi untuk kemudian dipindahkan ke tempat lain yang lebih aman guna dilakukan proses pengolahan (Sompotan & Sinaga, 2022).

3.3 Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Biochar adalah material kaya karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa dalam wadah tertutup dengan kondisi terbatas atau tanpa adanya oksigen (Pratama, 2018). *Biochar* berperan dalam menstabilkan tanah tercemar logam berat serta secara signifikan mengurangi akumulasi logam berat pada tanaman (Sandi, 2023). Pemanfaatan *biochar* TKKS pada lahan pertanian dapat memperbaiki kualitas tanah melalui peningkatan kapasitas menahan air dan unsur hara, peningkatan pH serta kapasitas tukar kation (Pratama, 2018). Berdasarkan penelitian menurut Savitri dkk. (2023) *biochar* dari tandan kosong kelapa sawit dapat mengadsorpsi ion Mn^{2+} dari larutan menunjukkan kemampuan adsorpsi hingga 8.2 mg/g, tergantung suhu pirolisis dan karakteristik permukaan *biochar*.

3.4 Implikasi Biochar TKKS

Pemanfaatan *biochar* dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam remediasi tanah tercemar logam berat seperti Mn memiliki beragam implikasi positif terhadap lingkungan serta ketahanan pertanian, yaitu.

1. Mekanisme adsorpsi *biochar* TKKS yang efektif menurunkan ketersediaan logam berat pada tanah pertanian, sehingga mengurangi risiko kontaminasi pada rantai pangan dan meningkatkan keamanan makanan (Antonangelo & Zhang, 2020).
2. Sebagai *resource recovery*, penggunaan limbah biomassa kelapa sawit sebagai bahan baku *biochar* mendukung pengelolaan limbah secara berkelanjutan. Limbah tkks ini diolah menjadi amandemen tanah yang berpotensi memperbaiki struktur tanah dan menyimpan karbon. Proses ini menciptakan nilai tambah dari residu pertanian dan sekaligus mengurangi beban lingkungan (Idris dkk., 2014).
3. *Biochar* TKKS merupakan teknologi ramah lingkungan yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Aplikasi *biochar* telah terbukti meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah—seperti pH, kapasitas tukar kation (CEC), retensi air dan hara (Blankson dkk., 2025).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa logam Mn dengan konsentrasi tinggi pada lahan sawah menjadi ancaman serius baik bagi kesehatan manusia, produktivitas pertanian, maupun keseimbangan ekosistem. Remediasi tanah dengan pendekatan ramah lingkungan, seperti pemanfaatan *biochar* dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), terbukti efektif dalam

menurunkan ketersediaan logam Mn melalui mekanisme adsorpsi serta interaksi dengan gugus fungsional pada *biochar*. Selain itu, aplikasi *biochar* TKKS tidak hanya berperan dalam stabilisasi tanah tercemar, tetapi juga memberikan manfaat tambahan berupa peningkatan kualitas fisik-kimia tanah, pengelolaan limbah pertanian secara berkelanjutan, serta kontribusi pada pengurangan risiko kontaminasi rantai pangan. Dengan demikian, *biochar* berbahan dasar TKKS dapat digunakan sebagai teknologi remediasi yang potensial dan mendukung tercapainya pertanian berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- Antonangelo, J., & Zhang, H. (2020). The use of biochar as a soil amendment to reduce potentially toxic metals (PTMs) phytoavailability. *Appl Biochar Environ Saf. In*.
- Blankson, D., Atiah, K., Arthur, E., & Frimpong, K. A. (2025). Immediate Chemical Response and Potential Phytotoxicity of Different Tropical Soils to Empty Oil Palm Fruit Bunch Biochar Application. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-18.
- Erfandi, D., & Juarsah, I. (2014). Teknologi pengendalian pencemaran logam berat pada lahan pertanian. *Jurnal Teknologi Pengendalian Pencemaran Logam Berat-Peneliti Balitbangtan di Balai Penelitian Tanah Hal*, 159-186.
- Hidayat, B. (2015). Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan Biochar. *Jurnal Online PERTANIAN TROPIK*, 2(1), 51-61.
- Hindarwati, Y., Soeprobawati, T. R., & Sudarno, S. (2018). *Efisiensi Penggunaan Pupuk Organik Untuk Remediasi Logam Berat Lahan Pertanian Di Desa Sruwen Kecamatan Tengaran Kabupaten Semarang School of Postgraduate*].
- Idris, J., Shirai, Y., Andou, Y., Ali, A. A. M., Othman, M. R., Ibrahim, I., & Hassan, M. A. (2014). Production of biochar with high mineral content from oil palm biomass. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18(3), 700-704.
- Khasanah, U., Mindari, W., & Suryaminarsih, P. (2021). Kajian pencemaran logam berat pada lahan sawah di kawasan industri Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 73-81.
- Komarawidjaja, W. (2017). Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 173-181.
- Miranda. (2024). Ketersediaan Unsur Hara Mikro Fe Dan Mn Pada Tanah Sawah Serta Serapannya Pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) Di Sentra Pertanaman Padi Lampung. (Bandar Lampung: Universitas Lampung)
- Muslimah, M., & Si, S. (2017). Dampak pencemaran tanah dan langkah pencegahan. *J. Penelit. Agrisamudra*, 2(1), 11-20.
- Pahrudin, M. (2017). Risiko Pajanan Logam Berat Pada Air Sungai. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(2).
- Pratama, B. S. (2018). Konversi ampas tebu menjadi biochar dan karbon aktif untuk penyisihan Cr (VI). *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 2(1), 7-12.
- Sandi, A. A. M. (2023). Pertumbuhan Dan Serapan Cu Dan Zn Bayam Duri Pada Tanah Tercemar Logam Berat Diperlakukan Biochar Dengan Berbagai Kehalusan.
- Savitri, S., Reguyal, F., & Sarmah, A. K. (2023). A feasibility study on production, characterisation and application of empty fruit bunch oil palm biochar for Mn²⁺ removal from aqueous solution. *Environmental Pollution*, 318, 120879.
- Seran, R. (2017). Pengaruh mangan sebagai unsur hara mikro esensial terhadap kesuburan tanah dan tanaman. *Bio-Edu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 2(1), 13-14.

- Sompotan, D. D., & Sinaga, J. (2022). Pencegahan pencemaran lingkungan. *SAINTEKES: Jurnal Sains, Teknologi Dan Kesehatan*, 1(1), 6-13.
- Sutrisno, S., & Kuntastuti, H. (2015). Pengelolaan cemaran kadmium pada lahan pertanian di Indonesia. *Buletin Palawija*, 13(1), 83-91.
- Verdiana, M. A., Sebayang, H. T., & Sumarni, T. (2016). *Pengaruh berbagai dosis biochar sekam padi dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (Zea mays L.)* [Brawijaya University].
- Wardhana, W. A. (1995). *Dampak pencemaran lingkungan*. Andi Offset.