

***Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Agen Remediasi Penurunan Timbal (Pb) Pada Tanah Sawah: Studi Literatur**

**ALIFIA BUDIAWARDAI¹, RACHMAWATI SUGIHHARTATI DJ¹, RATIH
NURJAYANTI²**

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: alifiabudiawardanii26@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran tanah oleh logam berat, khususnya timbal (Pb), menjadi ancaman serius bagi keberlanjutan lahan sawah karena berdampak pada penurunan kualitas tanah, kesehatan tanaman, serta risiko akumulasi pada rantai makanan. Remediasi diperlukan untuk mengurangi konsentrasi Pb, salah satunya dengan *biochar* berbasis limbah biomassa. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang potensial diolah menjadi *biochar* melalui pirolisis. *Biochar* TKKS memiliki struktur berpori, kapasitas tukar kation tinggi, serta mengandung mineral yang mampu mengikat logam berat. Sejumlah penelitian menunjukkan *biochar* TKKS efektif menurunkan kadar Pb di tanah sekaligus meningkatkan pH, retensi air, dan ketersediaan hara, sehingga memperbaiki kesuburan tanah. Kajian literatur ini membahas potensi *biochar* TKKS sebagai agen remediasi ramah lingkungan untuk mengurangi pencemaran Pb pada tanah sawah serta mendukung pengelolaan limbah kelapa sawit yang berkelanjutan.

Kata kunci: *Biochar*, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), Timbal (Pb), Remediasi, Tanah Sawah.

1. PENDAHULUAN

Lahan pertanian, khususnya sawah memiliki peran penting dalam mendukung produksi pangan (Putri, 2015; Ramadhan & Murti, 2024). Akan tetapi, keberadaan logam berat di lahan sawah menjadi masalah serius karena dapat menimbulkan dampak pada lingkungan dan manusia (Novandi, 2014; Zulkafflee dkk., 2019). Penggunaan pupuk dan pestisida, air irigasi tercemar, limbah industri maupun rumah tangga, aktivitas pertambangan, serta emisi kendaraan bermotor menjadi sumber penyebab pencemaran logam berat terakumulasi dalam tanah (Liao dkk., 2021; Tian dkk., 2022). Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang sering ditemukan di lahan pertanian (Robi dkk., 2021).

Kontaminasi logam Pb pada tanah sawah dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah, menghambat perkembangan tanaman, serta meningkatkan risiko masuknya logam Pb pada rantai makanan, dan membahayakan pada kesehatan manusia, seperti rusaknya sistem reproduksi, ginjal, sistem saraf, serta terganggunya pembentukan sel darah, (Baehaki dkk., 2025; Suryatini

& Rai, 2018; Yuan dkk., 2011). Oleh sebab itu, metode remediasi diperlukan untuk menurunkan konsentrasi Pb di tanah sawah (Hidayat, 2015). Salah satunya penggunaan *biochar* sebagai agen remediasi (Priyadarshini, 2019). *Biochar* adalah karbon aktif hasil pirolisis biomassa memiliki permukaan luas, gugus fungsional aktif, serta daya serap tinggi terhadap logam berat (Wang dkk., 2024). Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan dari industri kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) (Tarigan & Nelvia, 2020). Pemanfaatan *biochar* TKKS ini tidak hanya mendukung pengelolaan limbah, tetapi juga berkontribusi dalam remediasi tanah tercemar logam berat, khususnya Pb pada tanah sawah

Dengan demikian, kajian literatur ini bertujuan untuk membahas potensi *biochar* TKKS sebagai agen remediasi untuk penurunan konsentrasi logam Pb pada tanah sawah. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar bagi pengembangan kebijakan pengelolaan lahan pertanian yang berkelanjutan.

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan, yaitu metode studi literatur dengan meninjau berbagai publikasi ilmiah yang relevan terkait pencemaran logam berat, khususnya logam Pb pada tanah sawah, serta penggunaan *biochar* sebagai agen remediasi. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal nasional maupun internasional, laporan penelitian, dan buku teks dengan rentang waktu publikasi 10 tahun terakhir. Proses penelusuran dilakukan melalui basis data *Google Scholar*, dengan kata kunci "*biochar*", "timbal (Pb)", "TKKS", "remediasi tanah", dan "lahan sawah". Artikel yang dipilih difokuskan pada penelitian yang mengkaji karakteristik *biochar* dari tandan kosong kelapa sawit, mekanisme interaksi *biochar* dengan logam berat, serta efektivitas aplikasinya dalam menurunkan konsentrasi Pb di tanah. Seluruh literatur yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk merumuskan potensi pemanfaatan *biochar* TKKS dalam remediasi tanah tercemar Pb.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah merupakan kondisi ketika bahan kimia masuk dan mengubah sifat alami tanah. Hal ini umumnya disebabkan oleh kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri, penggunaan pestisida, aliran air tercemar ke lapisan tanah, kecelakaan transportasi bahan berbahaya, limbah dari tempat pembuangan sampah, serta praktik *illegal dumping* oleh industri (Ramadhan & Murti, 2024)

3.2 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) atau Plumbum adalah logam berat golongan IV A dengan nomor atom 82 dan massa atom 207,2, berwarna kelabu kebiruan, lunak, serta memiliki titik leleh 327°C dan titik didih 1.620°C. Logam ini jarang ditemukan bebas di alam, mudah dibentuk, dan umumnya berikatan dengan unsur lain membentuk senyawa. Pb bersifat non-esensial bagi tumbuhan, daya translokasinya rendah, serta sangat toksik sehingga dapat meracuni berbagai spesies. Di dalam tanah, Pb cenderung terikat pada bahan organik, terkonsentrasi di lapisan atas, dan terakumulasi dalam humus, sementara sekitar 95% Pb dalam sedimen terbawa aliran sungai menuju lautan (Syamsidar, 2016).

3.2.1 Sumber Pb

Pb berasal dari aktivitas antropogenik seperti industri, transportasi, pertanian, dan pertambangan yang menghasilkan emisi, limbah, serta deposisi (Gurajala dkk., 2019). Di sektor pertanian, akumulasi Pb diperparah oleh penggunaan pupuk fosfat, pestisida anorganik, dan irigasi dengan air tercemar (Sarie, 2019).

3.2.2 Dampak Pb

Pb masuk ke tubuh terutama melalui makanan terkontaminasi dan dapat merusak berbagai sistem penting, seperti saraf, ginjal, darah, serta reproduksi, dengan anak-anak sebagai kelompok paling rentan. Pada tanaman, Pb bersifat toksik karena tidak memiliki fungsi biologis, sehingga merusak membran sel, menghambat fotosintesis, dan menurunkan biomassa meski pada kadar rendah (Dewi, 2022).

3.2.3 Kandungan Logam Pb pada Tanah

Penyerapan logam berat di tanah dipengaruhi oleh kemampuan adsorpsi, pembentukan kompleks dengan humus, dan kondisi pH. Logam seperti Cd, Ni, Pb, dan Zn umumnya terikat pada fraksi liat serta lebih banyak terkonsentrasi di lapisan atas karena interaksi dengan bahan organik. Pada pH < 5,6 logam Pb, Cd, dan Zn lebih mudah dipertukarkan dibandingkan pada pH > 5,6, sehingga ketersediaannya di tanah sangat bergantung pada kondisi kimia tanah (Satriana dkk., 2023)

3.3 Remediasi

Remediasi tanah merupakan upaya mengurangi atau menghilangkan polutan guna memulihkan kualitas tanah agar kembali layak bagi ekosistem (Ghule & Ramteke, 2022). Secara umum, remediasi dapat dilakukan secara *in-situ*, yaitu langsung di lokasi tanpa memindahkan tanah sehingga struktur dan bahan organik tetap terjaga, atau secara *ex-situ*, yaitu tanah digali dan diolah di tempat lain dengan hasil lebih cepat namun biaya lebih tinggi serta berisiko merusak struktur tanah (Kuppusamy dkk., 2017).

3.4 Biochar

Biochar adalah bahan kaya karbon hasil pirolisis biomassa pada suhu rendah dengan oksigen terbatas. Berbeda dari arang biasa, *biochar* dibuat untuk memperbaiki tanah, menyimpan karbon, dan menjaga kualitas lingkungan. Dengan kandungan karbon stabil >50% serta struktur berpori, *biochar* mampu meningkatkan pH, kapasitas tukar kation, retensi air, dan ketersediaan hara. Secara keseluruhan, *biochar* berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Herlambang dkk., 2020; Nurida dkk., 2015).

3.5 Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

TKKS merupakan limbah padat pabrik kelapa sawit dengan jumlah cukup besar, sekitar 21–23% dari total tandan buah segar yang diolah (Dian Pratama, 2023; Rizkasumarta, 2021). Limbah ini kaya bahan organik serta unsur hara penting seperti N, P, K, Mg, Ca, dan Fe, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk organik atau mulsa untuk meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur dan daya ikat air, serta mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik. Kandungan mineral dan abu yang tinggi pada TKKS juga berperan dalam reaksi kimia tanah maupun proses termokimia (Ristianingsih dkk., 2015).

3.6 Efektivitas Biochar TKKS

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa *biochar* TKKS efektif menurunkan kadar logam Pb di tanah, dengan tingkat penurunan yang bervariasi tergantung dosis dan kondisi tanah (Dwiyanti, 2023). Aplikasi *biochar* TKKS juga terbukti meningkatkan pH tanah, kapasitas tukar kation, serta

memperbaiki ketersediaan unsur hara sehingga kualitas tanah menjadi lebih baik (Rezki dkk., 2024). Dengan demikian, TKKS berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan ramah lingkungan untuk remediasi tanah tercemar logam berat sekaligus mendukung peningkatan kesuburan lahan pertanian (Harefa dkk., 2025).

3. KESIMPULAN

Pencemaran tanah oleh timbal (Pb) menimbulkan risiko serius bagi kesehatan manusia, tanaman, dan ekosistem, sehingga diperlukan upaya remediasi. *Biochar* dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terbukti efektif menurunkan kadar Pb sekaligus memperbaiki pH, kapasitas tukar kation, dan ketersediaan hara. Dengan demikian, pemanfaatan *biochar* TKKS tidak hanya menjadi solusi pengelolaan limbah sawit yang ramah lingkungan, tetapi juga strategi berkelanjutan untuk remediasi tanah tercemar logam berat dan peningkatan kesuburan lahan pertanian.

DAFTAR RUJUKAN

- Baehaki, F., Riyanto, A., Luthfiah, N. A., Adelin, A., Prahasta, V., & Rismayanti, S. N. (2025). Analisis Kadar Timbal (Pb) di Dalam Ginjal Mencit (*Mus musculus*) yang Dipapar Secara Oral. *Jurnal Kesehatan Rajawali*, 15(1), 1-5.
- Dewi, E. R. (2022). Analisis cemaran logam berat arsen, timbal, dan merkuri pada makanan di wilayah kota surabaya dan kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 18(1), 1-9.
- Dian Pratama, N. (2023). *Pengaruh Rasio Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Palm Oil Mill Effluent Terhadap Karakteristik Mutu Biobriket Yang Dihasilkan* UNIVERSITAS JAMBI].
- Dwiyanti, L. (2023). *Pengaruh Pemberian Biochar dari Tempurung Kelapa dan Sedimen Rawa terhadap Reduksi Sulfat dan Logam Berat Timbal (Pb) pada Air Asam Tambang= The Effect of Giving Biochar from Coconut Shells and Swamp Sediment on the Reduction of Sulfate and Heavy Metal Lead (Pb) in Acid Mine Drainage* Universitas Hasanuddin].
- Ghule, M. R., & Ramteke, P. K. (2022). Soil chemical pollution and remediation. In *Hazardous and Trace Materials in Soil and Plants* (pp. 57-71). Elsevier.
- Gurajala, H. K., Cao, X., Tang, L., Ramesh, T. M., Lu, M., & Yang, X. (2019). Comparative assessment of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) genotypes for phytoremediation of Cd and Pb contaminated soils. *Environmental Pollution*, 254, 113085.
- Harefa, T., Lubis, Y., Martial, T., Lubis, Z., Harahap, A. R., Nasution, F. U., Tirtana, M. A., & Tarigan, L. Z. B. (2025). *Sawit Berkelanjutan: Transformasi Limbah Menjadi Nilai Tambah (Studi Kasus Pemanfaatan Limbah PKS)*. Deepublish.
- Herlambang, S., Santoso, A., GOMAREUZZAMAN, M., & Wibowo, A. W. A. (2020). *Biochar* salah satu alternatif untuk perbaikan lahan dan lingkungan. In: LPPM universitas pembangunan nasional veteran Yogyakarta.
- Hidayat, B. (2015). Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan *biochar*. *Jurnal Online Pertanian Tropik*, 2(1), 51-61.
- Kuppusamy, S., Venkateswarlu, K., Megharaj, M., Mayilswami, S., & Lee, Y. B. (2017). Risk-based remediation of polluted sites: A critical perspective. *Chemosphere*, 186, 607-615.
- Liao, S., Jin, G., Khan, M. A., Zhu, Y., Duan, L., Luo, W., Jia, J., Zhong, B., Ma, J., & Ye, Z. (2021). The quantitative source apportionment of heavy metals in peri-urban agricultural soils with UNMIX and input fluxes analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101232.
- Novandi, R. (2014). Remediasi tanah tercemar logam timbal (Pb) menggunakan tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1).

- Nurida, N. L., Rachman, A., & Sutono, S. (2015). *Biochar* Pembenah Tanah yang Potensial (Y. Soelaeman & J. Purnomo. In: IAARD Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781>.
- Priyadarshini, R. (2019). Buku Remediasi tanah tercemar logam berat. In: Unitri Press.
- Putri, Z. R. (2015). Analisis penyebab alih fungsi lahan pertanian ke lahan non pertanian kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah 2003-2013. *Eko-Regional*, 10(1), 266551.
- Ramadhan, S., & Murti, R. P. W. (2024). Dinamika Alih Fungsi Lahan Sawah dan Upaya Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan di Wilayah Metropolitan Sarbagita. *Tunas Agraria*, 7(3), 303-325.
- Rezki, D., Suhendra, D., Heriza, S., Sari, W. K., Hanum, A. L., Rahman, M. A., Anzalia, Q., Hasibuan, R. A. N., Terence, T., & Bifadlika, F. (2024). Pemanfaatan Tandan Kosong Sebagai *Biochar* Guna Meningkatkan Kualitas Lahan Kebun Kelapa Sawit. *Buletin Dharmas Andalas*, 1(2), 40-45.
- Ristianingsih, Y., Ulfa, A., & KS, R. S. (2015). Pengaruh suhu dan konsentrasi perekat terhadap karakteristik briket bioarang berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan proses pirolisis. *Konversi*, 4(2), 16-22.
- Rizkasumarta, F. (2021). APLIKASI *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI MEDIA TANAM UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN SEMAI SENGON (*Falcataria moluccana*).
- Robi, R., Aritonang, A., & Sofiana, M. S. J. (2021). Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(1), 20-28.
- Sarie, H. (2019). Potensi bahaya kontaminasi logam berat di lahan bekas tambang batubara yang digunakan sebagai lahan pertanian. *Buletin LOUPE Vol*, 15(02), 37.
- Satriana, S., Simatupang, M. I., & Nilda, C. (2023). POTENSI PEMANFAATAN LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI *BIOCHAR* UNTUK PENINGKATAN KUALITAS TANAH. SEMINAR NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN,
- Suryatini, K. Y., & Rai, I. (2018). Logam Berat Timbal (Pb) dan Efeknya pada Sistem Reproduksi. *Emasains*, 7(1), 1-6.
- Syamsidar, N. (2016). Analisis Kandungan Logam Berat Pada Tanah Pembuangan Limbah Industri Non-Pangan Di Kabupaten Gowa. *UIN Alaudin Makassar*.
- Tarigan, A. D., & Nelvia, N. (2020). Pengaruh Pemberian *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Mikoriza terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea mays sacharrata* L.) di Tanah Ultisol. *Jurnal Agroekoteknologi*, 12(1), 23-37.
- Tian, K., Li, M., Hu, W., Fan, Y. n., Huang, B., & Zhao, Y. (2022). Environmental capacity of heavy metals in intensive agricultural soils: Insights from geochemical baselines and source apportionment. *Science of the Total Environment*, 819, 153078.
- Wang, X., Ding, J., Han, L., Tan, J., Ge, X., & Nan, Q. (2024). *Biochar* addition reduces salinity in salt-affected soils with no impact on soil pH: A meta-analysis. *Geoderma*, 443, 116845.
- Yuan, J.-H., Xu, R.-K., & Zhang, H. (2011). The forms of alkalis in the *biochar* produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, 102(3), 3488-3497.
- Zulkafflee, N. S., Mohd Redzuan, N. A., Hanafi, Z., Selamat, J., Ismail, M. R., Praveena, S. M., & Abdull Razis, A. F. (2019). Heavy metal in paddy soil and its bioavailability in rice using in vitro digestion model for health risk assessment. *International journal of environmental research and public health*, 16(23), 4769.