



Bioprospek

<https://fmipa.unmul.ac.id/jurnal/index/Bioprospek>



BIOREMEDIASI TANAH MASAM PASCATAMBANG BATUBARA DENGAN TEKNIK BIOSTIMULASI MENGGUNAKAN PUPUK NPK DAN EM4

Eko Kusumawati^{1*}, Dwi Susanto¹, Ahmad Nugroho¹, Bening Zarah Hasbi¹, Fadhilah Rifhayu Izzah¹, Gunawan¹, Keyla Fahina Citra¹, Nazwa Alyani Cahyana¹, Ninda Nurindra¹, Nurhasanah¹, Syaima Elvira Oktavanie¹, Siti Nuralisa¹, Uly Harta Marche¹

1. Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Jl. Barong Tongkok Gn. Kelua, Kota Samarinda, Kalimantan Timur – 75242

INFO ARTIKEL

Disubmit **03 Maret 2026**

Diterima **11 Mei 2026**

Terbit Online **01 Juni 2026**

Kata kunci: Biostimulasi, EM4, NPK, pascatambang batubara, tanah masam

ABSTRAK

Penambangan batubara dengan metode tambang terbuka sering menyebabkan degradasi lingkungan, khususnya pembentukan tanah masam dengan pH rendah dan ketersediaan unsur hara yang terbatas. Kondisi tersebut menjadi kendala utama dalam upaya revegetasi dan rehabilitasi lahan pascatambang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas bioremediasi tanah masam pascatambang batubara melalui teknik biostimulasi menggunakan pupuk NPK dan EM4 (*Effective Microorganisms* 4). Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan, yaitu kontrol tanpa perlakuan (P0), penambahan pupuk NPK 100 kg/ha (P1), penambahan EM4 5% (v/v) (P2), serta kombinasi pupuk NPK 100 kg/ha dan EM4 5% (v/v) (P3). Parameter yang diamati meliputi pH tanah serta kandungan N-total. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan biostimulasi memberikan pengaruh nyata terhadap perbaikan sifat kimia tanah setelah 20 hari inkubasi. Perlakuan EM4 tunggal (P2) menghasilkan peningkatan pH tanah tertinggi dari 2,74 menjadi 3,85, sedangkan perlakuan kombinasi NPK dan EM4 (P3) memberikan peningkatan kandungan N-total tertinggi sebesar 0,14%. Hasil ini menunjukkan bahwa teknik biostimulasi menggunakan NPK dan EM4 berpotensi sebagai pendekatan bioteknologi yang ramah lingkungan dalam rehabilitasi tanah masam pascatambang batubara.

*Email Corresponding Author: eko.kusumawati11@fmipa.unmul.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan batubara, terutama dengan metode tambang terbuka, seringkali berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan yang signifikan, khususnya pada lapisan tanah permukaan (Pramaditya, 2022). Proses penggalian dan pengupasan tanah atas menyebabkan perubahan struktur dan komposisi tanah, hilangnya unsur hara esensial, serta terbentuknya tanah masam akibat oksidasi mineral sulfida seperti pirit (FeS_2) (Mafane *et al.*, 2025). Kondisi tanah masam dengan pH rendah dan kandungan logam berat yang relatif tinggi menghambat pertumbuhan vegetasi serta memperlambat proses revegetasi lahan pascatambang (Hindersah *et al.*, 2024).

Upaya perbaikan kualitas tanah pascatambang dapat dilakukan melalui pendekatan bioteknologi, salah satunya adalah bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses pemulihan tanah terdegradasi dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Haroun *et al.*, 2023; Hindersah & Simarmata, 2020). Salah satu strategi bioremediasi yang banyak dikembangkan adalah teknik biostimulasi, yaitu penambahan nutrisi dan bahan pendukung untuk merangsang pertumbuhan serta aktivitas mikroorganisme indigenous tanah (Nuraini *et al.*, 2019).

Pupuk NPK berperan sebagai sumber unsur hara makro esensial yang dibutuhkan mikroorganisme dan tanaman, sedangkan EM4 mengandung konsorsium mikroba fungsional seperti *Lactobacillus* sp., *Saccharomyces* sp., dan *Rhodopseudomonas* sp. yang berperan dalam dekomposisi bahan organik, peningkatan ketersediaan unsur hara, serta perbaikan pH tanah (Koskey *et al.*, 2021; Simanungkalit *et al.*, 2018). Beberapa penelitian di Indonesia melaporkan bahwa kombinasi pupuk anorganik dan inokulan mikroba mampu mempercepat pemulihan tanah terdegradasi secara signifikan (Hindersah *et al.*, 2024; Nurhayati *et al.*, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh aplikasi pupuk NPK dan EM4, baik secara tunggal maupun kombinasi, terhadap perbaikan sifat kimia tanah masam pascatambang batubara. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknologi rehabilitasi lahan pascatambang yang efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

2. MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 1 bulan, yaitu di bulan November 2025. Sampel tanah masam diambil di lahan bekas tambang batu bara di Kelurahan Mugirejo, Kecamatan Sungai Pinang, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Sampel tanah yang diambil sebanyak 500 gram. Proses perlakuan tanah pascatambang dilakukan di *greenhouse* Lantai 1, Gedung E, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman. Pengukuran pH tanah, N total, dilakukan di Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman.

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, bahan utama yang digunakan adalah tanah masam dari lokasi pascatambang batubara, pupuk NPK (16:16:16), EM4 (*Effective Microorganisms* 4), dan air bersih. Alat yang diperlukan meliputi pH meter untuk mengukur keasaman tanah, timbangan analitik untuk menimbang bahan, dan Oven untuk mengeringkan tanah. Selain itu, spektrofotometer digunakan untuk menganalisis kandungan unsur hara dalam tanah, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) serta wadah inkubasi seperti pot atau ember plastik diperlukan untuk menampung tanah selama perlakuan.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas empat perlakuan dengan tiga ulangan. Perlakuan yang diterapkan meliputi P0 sebagai kontrol tanpa penambahan NPK dan EM4; P1 dengan penambahan pupuk NPK sebesar 100 kg/ha; P2 dengan penambahan EM4 sebanyak 5% (v/v); serta P3 berupa kombinasi penambahan pupuk NPK 100 kg/ha dan EM4 5% (v/v). Parameter yang diamati meliputi pH tanah dan kandungan unsur hara makro. Pendekatan perlakuan tersebut telah banyak diterapkan dalam studi reklamasi lahan bekas tambang (Pramaditya, 2022; Wibowo *et al.*, 2021). Penambahan EM4 sebagai sumber mikroorganisme dan pupuk NPK sebagai

sumber nutrisi mengikuti pendekatan biostimulasi yang direkomendasikan dalam penelitian mikrobiologi tanah tropis (Hindersah & Simarmata, 2020).

Prosedur Penelitian

Pembuatan larutan EM4

Pembuatan larutan EM4 dilakukan dengan mencampurkan EM4 sebanyak 10 mL, molase 100 mL, dan air bersih 890 mL ke dalam wadah tertutup hingga homogen. Campuran tersebut kemudian diinkubasi selama ± 3 hari pada suhu ruang untuk mengaktifkan mikroorganisme yang terkandung di dalam EM4, dengan kondisi wadah tidak terkena sinar matahari langsung. Selama proses inkubasi, larutan dibiarkan mengalami fermentasi hingga tercium aroma asam manis yang menandakan mikroorganisme telah aktif dan siap digunakan dalam proses bioremediasi tanah.

Kombinasi EM4 dan NPK

Kombinasi EM4 dan pupuk NPK dilakukan dengan mencampurkan pupuk NPK ke dalam tanah sesuai dosis perlakuan hingga merata, kemudian larutan EM4 yang telah diaktifkan ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran tanah tersebut sampai kelembaban mencapai sekitar 60% kapasitas lapang. Perlakuan kombinasi ini bertujuan untuk menyediakan unsur hara makro dari pupuk NPK sekaligus menstimulasi aktivitas mikroorganisme tanah dari EM4, sehingga tercipta kondisi lingkungan yang optimal bagi proses bioremediasi dan perbaikan sifat fisik, kimia, serta biologi tanah masam pascatambang batubara.

Proses Perlakuan Tanah Pascatambang

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lahan pascatambang batubara yang bersifat masam dari lapisan top soil pada kedalaman $\pm 0-20$ cm. Sampel diambil secara acak dari beberapa titik, dicampur hingga homogen, kemudian dikeringanginkan, dibersihkan dari kotoran, dan diayak menggunakan saringan 2 mm sebelum digunakan sebagai media penelitian. Tanah hasil ayakan ditimbang sebanyak 500 gram untuk setiap unit percobaan dan dimasukkan ke dalam wadah inkubasi yang telah diberi label sesuai perlakuan. Sebelum perlakuan diberikan, dilakukan analisis awal tanah yang meliputi pH, dan N, P, K. Pengaplikasian perlakuan ke tanah dilakukan sesuai dengan rancangan percobaan dari P0 hingga P3. Perlakuan P0 digunakan sebagai kontrol. Perlakuan P1 dilakukan dengan menambahkan pupuk NPK yang digunakan setara dengan 100 kg/ha dan dikonversi ke skala laboratorium berdasarkan berat tanah. Dengan asumsi kedalaman tanah olah 20 cm dan berat isi tanah $1,3 \text{ g/cm}^3$, diperoleh dosis pupuk NPK sebesar $\pm 19,2$ gram untuk setiap 500 gram tanah. Pupuk NPK ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dicampurkan secara merata ke dalam tanah agar nutrisi terdistribusi homogen. Perlakuan P2 dilakukan dengan menambahkan larutan EM4 yang telah diaktifkan ke dalam tanah sebanyak 10 mL untuk 500 gram sampel. Sementara itu, perlakuan P3 dilakukan dengan mengkombinasikan penambahan pupuk NPK dan larutan EM4, dimana pupuk NPK terlebih dahulu dicampurkan ke dalam tanah, kemudian diikuti dengan penambahan larutan EM4 hingga kelembaban tanah tercapai. Seluruh tanah perlakuan selanjutnya diinkubasi dan dipelihara dalam kondisi yang sama untuk memastikan perbedaan yang terjadi disebabkan oleh perlakuan yang diberikan. Media tanah yang telah diberi perlakuan diinkubasi selama 20 hari pada suhu ruang. Selama masa inkubasi, dilakukan pengadukan setiap 5–7 hari untuk menjaga homogenitas dan aerasi tanah.

Analisis data

Analisis data dilakukan untuk menggambarkan perubahan sifat kimia tanah akibat perlakuan biostimulasi menggunakan pupuk NPK dan EM4. Parameter yang dianalisis meliputi pH tanah, kandungan N-total, P-tersedia, dan K-tersedia yang diukur pada awal perlakuan (H-1) dan setelah 20 hari inkubasi (H-20). Nilai setiap parameter disajikan dalam bentuk data tunggal pada masing-masing perlakuan. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai parameter sebelum dan sesudah perlakuan, serta antarperlakuan (P0, P1, P2, dan P3) untuk melihat kecenderungan perubahan yang terjadi. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik guna mempermudah interpretasi data serta memberikan gambaran pengaruh perlakuan biostimulasi terhadap perbaikan sifat kimia tanah masam pascatambang batubara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

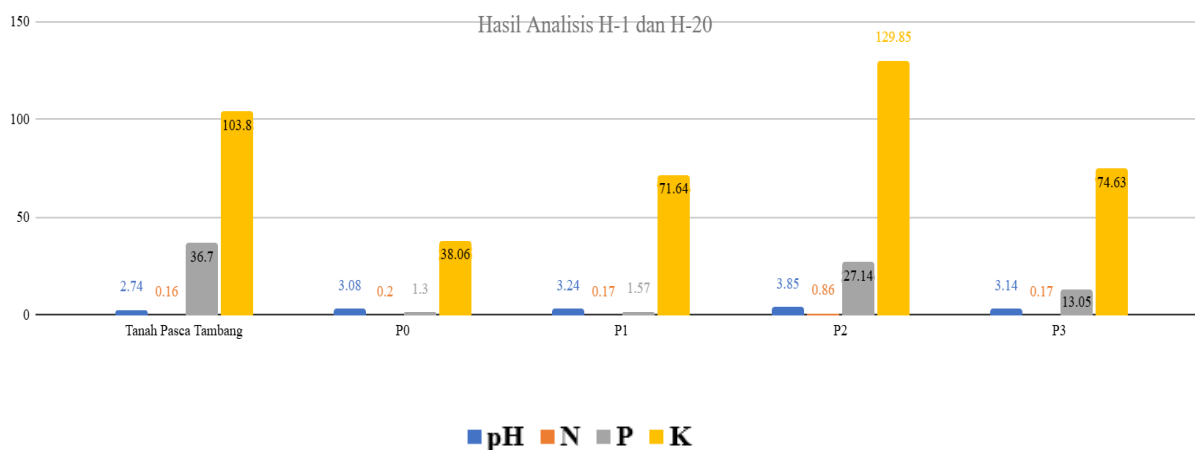
Sebelum dilakukan perlakuan biostimulasi, dilakukan analisis awal terhadap sifat kimia tanah pascatambang batubara yang digunakan sebagai media uji penelitian. Analisis awal bertujuan untuk mengetahui tingkat keasaman tanah serta ketersediaan unsur hara makro sebagai dasar efektivitas perlakuan yang diberikan. Parameter yang diamati meliputi pH tanah, kandungan N-total, P-tersedia, dan K-tersedia, yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat kimia tanah pascatambang sebelum perlakuan biostimulasi

Parameter	Nilai
pH Tanah	2,74
N-total (%)	0,16
P-tersedia (mg/kg)	36,70
K-tersedia (mg/kg)	103,80

Berdasarkan Tabel 1, tanah pascatambang yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kondisi sangat masam dengan nilai pH 2,74 serta memiliki komposisi unsur hara yang tidak seimbang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tanah pascatambang memiliki tingkat kesuburan yang rendah dan memerlukan upaya perbaikan melalui teknik bioremediasi sebelum dapat mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Tanah pascatambang batubara umumnya memiliki struktur yang padat, dengan permukaan tanah yang kurang stabil, serta tercampur dengan material sisa tambang. Kondisi tersebut menyebabkan rendahnya tingkat kesuburan tanah dan tidak optimalnya lingkungan tumbuh bagi tanaman. Kondisi kemasaman ini dipengaruhi oleh tingginya curah hujan yang menyebabkan pencucian basa-basa tanah, sehingga mempercepat penurunan pH (Pramaditya, 2022).

Penerapan untuk teknik biostimulasi dengan menggunakan pupuk NPK dan EM4 dapat memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap sifat kimia tanah masam pada area pascatambang batubara. Untuk mengetahui dinamika perubahan kualitas tanah yang terjadi karena perlakuan tersebut, dilakukannya analisis laboratorium di awal penelitian (H-1) dan akhir dari masa inkubasi (H-20). Hasil analisis yang diringkas dengan baik terhadap parameter pH dan unsur hara makro (N, P, K) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Dinamika perubahan sifat kimia tanah (pH, N-total, P-tersedia dan K-tersedia) antara kondisi awal (H-1) dan setelah 20 hari inkubasi (H-20) pada tanpa perlakuan (P0), perlakuan NPK 100 kg/ha (P1), penambahan EM4 5% (v/v) (P2), serta kombinasi pupuk NPK 100 kg/ha dan EM4 5% (v/v) (P3)

Gambar 1 menunjukkan bahwa perubahan hari ke-1 dan hari ke-20 secara karakteristik kimia tanah yang signifikan dengan masa inkubasi selama 20 hari dibandingkan kondisi pada awal (H-1). Pada grafik menunjukkannya peningkatan pada pH di seluruh perlakuan biostimulasi. Untuk perlakuan P2 (EM4 5%) yang menunjukkan peningkatan yang drastis pada pH yaitu sekitar 3,85 yang mana lebih tinggi dibandingkan dengan keadaan kondisi tanah awal (2,74) ataupun pada kontrol P0 (3,08). Dengan adanya peningkatan kualitas tanah ini sejalan dengan temuan dari Koskey *et al.* (2021) yang dimana menyatakan bahwa mikroorganisme tanah yang bermanfaat (PGPM) melakukan peran dengan memperbaiki kesuburan tanah serta siklus nutrisi dari agroekologi. Aktivitas mikroba pada EM4 diduga

menghasilkannya senyawa organik dengan proses reaksi oksidasi serta reduksi yang membantu menetralkan lingkungan yang masam. Selain itu, Gambar 1 juga menunjukkan bahwa kandungan N-total tanah mengalami peningkatan pada semua perlakuan dibandingkan kondisi awal sebesar 0,05%. Perlakuan kombinasi NPK dan EM4 (P3) menunjukkan nilai N-total tertinggi yaitu 0,14%, kemudian diikuti oleh perlakuan NPK tunggal, yaitu 0,12%. Peningkatan N-total pada perlakuan kombinasi menunjukkan adanya efek sinergis antara sumber nitrogen anorganik dan aktivitas mikroorganisme tanah yang mempercepat proses mineralisasi serta menekan kehilangan nitrogen. Hal ini mengindikasikan bahwa pupuk NPK berperan sebagai sumber nitrogen utama, sementara mikroorganisme dalam EM4 membantu meningkatkan efisiensi mineralisasi nitrogen dan ketersediaannya di dalam tanah, sehingga meningkatkan kandungan N-total tanah secara keseluruhan (He *et al.*, 2024; Hindersah *et al.*, 2024).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh teknik biostimulasi menggunakan EM4, NPK dan kombinasi pupuk NPK dan EM4 terhadap perbaikan sifat kimia tanah masam pascatambang batubara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biostimulasi memberikan pengaruh yang signifikan dalam memperbaiki kualitas kimia tanah setelah 20 hari inkubasi. Secara khusus, perlakuan EM4 tunggal (P2) memberikan peningkatan yang paling tinggi, dari kondisi sangat masam 2,74 menjadi 3,85, yang diduga terjadi melalui aktivitas mikroba yang menghasilkan senyawa organik untuk menetralkan lingkungan masam. Sementara itu, perlakuan kombinasi NPK dan EM4 (P3) terbukti paling efektif dalam meningkatkan kandungan hara makro, mencapai nilai N-total tertinggi (0,14%). Hal ini mengindikasikan adanya efek sinergis, dimana NPK berfungsi sebagai sumber nitrogen anorganik utama, dan mikroorganisme dalam EM4 membantu mempercepat mineralisasi serta meningkatkan efisiensi ketersediaan nitrogen. Secara keseluruhan, penelitian ini berkontribusi pada ilmu reklamasi lahan dengan menyediakan solusi berbasis bioteknologi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk rehabilitasi lahan pascatambang melalui optimalisasi aktivitas mikroorganisme tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi, bantuan, dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Peneliti juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh civitas akademik yang telah memberikan dukungan keilmuan dan fasilitas selama proses penelitian. Selain itu, terima kasih disampaikan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah berperan dalam kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

KEPUSTAKAAN

- Haroun, M., Xie, S., Awadelkareem, W., Wang, J., & Qian, X. (2023). Influence of biofertilizer on heavy metal bioremediation and enzyme activities in the soil to revealing the potential for sustainable soil restoration. *Scientific Reports*, 13(4), 1-13.
- He, S., Zhang, Y., Yang, X., Li, Q., Li, C., Yao, T. (2024). Effects of Microbial Inoculants Combined with Chemical Fertilizer on Growth and Soil Nutrient Dynamics of Timothy (*Phleum pratense* L.). *Agronomy*, 14, 1016.
- Hindersah, R., & Simarmata, T. (2020). Kontribusi mikroorganisme tanah dalam rehabilitasi lahan terdegradasi. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 22(2), 65-74.
- Hindersah, R., Yusuf, A. M., Adhiningtyas, D. I., Herdiyantoro, D., Mulyani, O., Suryatmana, P. (2024). Aplikasi Azotobacter dan Pupuk Kimia Untuk Memperbaiki Hasil Kacang Tanah Pada Inceptisols. *Jurnal Agrotek Tropikal*, 12(4), 897-906.
- Koskey, G., Mburu, S. W., Awino, R., Njeru, E. M., & Maingi, J. M. (2021). Potential Use of Beneficial Microorganisms for Soil Amelioration, Phytopathogen Biocontrol, and Sustainable Crop Production in Smallholder Agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5(2), 1-20.
- Mafane, D., Ngulube, T., & Mphahlele-Makgwane, M. M. (2025). Anaerobic Bioremediation of Acid Mine Drainage Using Sulphate-Reducing Bacteria: Current Status, Challenges, and Future Directions. *Sustainability*, 17(8), 1-27.

- Nuraini, Y., Handayanto, E., & Mulyani, O. (2019). Peran biostimulasi mikroba dalam meningkatkan kualitas tanah terdegradasi. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 21(1), 1-10.
- Nurhayati, H., Widiyanto, & Prasetyo, B. H. (2020). Rehabilitasi lahan pascatambang berbasis mikroorganisme tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2), 89-98.
- Pramaditya, D. A. (2022). Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Tanah Pada Lahan Bekas Tambang Batubara Yang Telah Direklamasi. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 6(2), 28-37.
- Simanungkalit, R. D. M., Saraswati, R., & Hastuti, R. D. (2018). *Teknologi pupuk hayati dan pengelolaan tanah masam*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Wibowo, T., Yoga, A. A., & Rinandyta, K. (2024). From Extractive Mining to Green Tourism: A Case Study of Open Pit Nam Salu Geosite Through Local Community Development. *The Journal of Indonesia Sustainable Development Planning*, 5(3), 246-265.