

**Efektivitas Kombinasi Janjang Kosong Kelapa Sawit dan Pupuk Hayati
Bioneensis dalam Rehabilitasi Lahan Pascatambang Batubara untuk
Mendukung Pertumbuhan TBM Kelapa Sawit**

**Romadhon Nur Rohim¹⁾, Sutan Tarmizi Lubis^{1,*}, Agung Lesmana¹⁾, Arjuna
Manurung¹⁾, Muhammad Aqwan A.U¹⁾, Said Asyrof Auvvarof¹⁾**

¹⁾ Program Studi Pengelolaan Perkebunan, Politeknik LPP Yogyakarta, Indonesia

*) Corresponding author: stn@polteklpp.ac.id

Abstrak

Rehabilitasi lahan pascatambang batubara masih menjadi tantangan utama dalam budidaya kelapa sawit akibat kualitas tanah yang rendah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh janjang kosong kelapa sawit (150 kg/tanaman) dan pupuk hayati Bioneensis (1 kg/tanaman) terhadap pertumbuhan morfologi tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (TBM) pada lahan pascatambang batubara. Penelitian dilaksanakan pada November 2025 hingga Januari 2026 di areal perkebunan PT. Pola Kahuripan Inti Sawit, Desa Kintapura, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Sebanyak 100 tanaman sampel berumur 12–14 bulan setelah tanam diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah pelepah, jumlah bunga jantan, bunga betina, dan bunga dompet. Data dianalisis menggunakan Independent Sample t-Test pada taraf kepercayaan 95%. Hasil menunjukkan tanaman pada lahan mineral memiliki pertumbuhan lebih unggul pada sebagian besar parameter. Namun aplikasi 150 kg/tanaman janjang kosong yang dikombinasikan dengan 1 kg/tanaman pupuk hayati Bioneensis secara nyata mendukung pertumbuhan vegetatif maupun generatif pada lahan pascatambang. Tidak terdapat perbedaan nyata pada parameter jumlah pelepah dan bunga betina antara kedua kondisi lahan, mengindikasikan bahwa perlakuan ameliorasi mampu memperbaiki lingkungan tumbuh kelapa sawit. Kombinasi janjang kosong dan pupuk hayati Bioneensis berpotensi sebagai strategi rehabilitasi berkelanjutan pada lahan pascatambang batubara.

Kata kunci: Pupuk hayati (bioneensis); janjang kosong; kelapa sawit; lahan pascatambang; rehabilitasi lahan

Abstract

*The rehabilitation of post-coal mining land remains a major challenge for oil palm cultivation due to poor soil quality that can limit plant growth and development. This study aimed to evaluate the effect of oil palm empty fruit bunches (EFB) and Bioneensis biofertilizer on the morphological growth of immature oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) cultivated on post-coal mining land. The research was conducted from November 2025 to January 2026 at PT. Pola Kahuripan Inti Sawit, South Kalimantan, by comparing oil palm plants grown on mineral soil and post-mining land treated with ameliorants. A total of 100 sample plants aged 12–14 months after planting were observed for plant height, stem diameter, frond number, male flower number, female flower number, and spear flower number. Data were analyzed using an Independent Sample t-Test at a 95% confidence level. The results showed that oil palms grown on mineral soil exhibited superior growth in most observed parameters. However, the application of 150 kg plant⁻¹ of empty fruit bunches combined with 1 kg plant⁻¹ of Bioneensis biofertilizer significantly supported both vegetative and generative growth on post-mining land. No significant differences were observed in frond number and female flower number between the two land conditions, indicating that the amelioration treatment was able to improve the growing environment of oil palm. These findings suggest that the combination of empty fruit bunches and Bioneensis biofertilizer has considerable potential as a sustainable rehabilitation strategy for post-coal mining land.*

Keywords: Biofertilizer (Bioneensis); empty fruit bunches; land rehabilitation; oil palm; post-coal mining land

PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan batu bara memberikan kontribusi penting terhadap perekonomian nasional, namun juga menimbulkan degradasi lahan yang serius. Lahan pascatambang umumnya memiliki kualitas tanah yang rendah, ditandai oleh rendahnya kandungan bahan organik, rendahnya ketersediaan unsur hara, serta terganggunya aktivitas biologis tanah sehingga membatasi pertumbuhan tanaman (Aulia et al., 2025). Kondisi tersebut menyebabkan lahan pascatambang memerlukan upaya rehabilitasi melalui perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai media budidaya yang produktif. Selain rendahnya kandungan bahan organik dan unsur hara, lahan pascatambang umumnya mengalami gangguan struktur tanah yang ditandai oleh meningkatnya kepadatan tanah, rendahnya porositas, serta berkurangnya aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam siklus hara. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan tanah dalam menyediakan air dan unsur hara bagi tanaman menjadi terbatas sehingga proses rehabilitasi memerlukan pendekatan yang tidak hanya berfokus pada perbaikan sifat kimia tanah, tetapi juga pemulihan fungsi biologis tanah secara menyeluruh (Frouz et al., 2021)

Pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit sebagai amelioran merupakan salah satu pendekatan yang berpotensi memperbaiki kesuburan tanah terdegradasi. Janjang kosong kelapa sawit diketahui mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, serta mendukung ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Selain itu, keberadaan bahan organik dari janjang kosong juga berperan dalam mendukung aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam proses dekomposisi dan siklus hara. Adu et al. (2022) melaporkan bahwa aplikasi janjang kosong kelapa sawit mampu meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman pada berbagai kondisi lahan terdegradasi. Efektivitas janjang kosong kelapa sawit tidak hanya berkaitan dengan kontribusinya sebagai sumber bahan organik, tetapi juga sebagai sumber karbon yang mampu meningkatkan biomassa mikroba tanah. Proses dekomposisi janjang kosong secara bertahap meningkatkan kandungan karbon organik tanah, memperbaiki kapasitas tukar kation, serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara oleh tanaman sehingga sangat potensial digunakan sebagai bahan amelioran pada lahan marginal dan lahan terdegradasi (Singh et al., 2019).

Selain amelioran organik, penggunaan pupuk hayati menjadi salah satu alternatif yang berpotensi mempercepat proses rehabilitasi lahan pascatambang. Pupuk hayati

diketahui mampu meningkatkan aktivitas biologis tanah melalui keberadaan mikroorganisme fungsional yang berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara dan efisiensi pemanfaatan hara oleh tanaman. Keberadaan mikroorganisme tersebut menjadi penting pada lahan pascatambang yang umumnya memiliki aktivitas mikrobiologis yang rendah akibat terganggunya ekosistem tanah selama proses penambangan. Mikroorganisme yang terkandung dalam pupuk hayati umumnya berfungsi sebagai plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon, pelarutan fosfat, fiksasi nitrogen, serta stimulasi perkembangan sistem perakaran. Oleh karena itu, pemanfaatan pupuk hayati menjadi salah satu strategi yang banyak dikembangkan untuk mempercepat pemulihan produktivitas lahan terdegradasi secara berkelanjutan (Vejan et al., 2016).

Pupuk Hayati (*bioneensis*) berpotensi mendukung pemulihan kualitas biologis tanah melalui aktivitas mikroorganisme fungsional yang terkandung di dalamnya. Kombinasi janjang kosong kelapa sawit dan pupuk hayati *bioneensis* berpotensi menciptakan sinergi antara peningkatan bahan organik tanah dan peningkatan aktivitas mikroorganisme sehingga mampu memperbaiki lingkungan perakaran tanaman secara lebih baik.

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas perkebunan strategis yang berpotensi dikembangkan pada lahan marginal, termasuk lahan pascatambang. Pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada fase tanaman belum menghasilkan (TBM) sangat dipengaruhi oleh kondisi kesuburan tanah. Mahdani et al. (2021) melaporkan bahwa sifat tanah pada lahan bekas tambang berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit, terutama tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah pelepah.

Berbagai penelitian telah melaporkan efektivitas janjang kosong kelapa sawit dalam memperbaiki sifat tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman (Adu et al., 2022). Namun penelitian yang secara khusus mengevaluasi kombinasi janjang kosong dan pupuk hayati *Bioneensis* terhadap pertumbuhan morfologi TBM pada lahan pascatambang batubara masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi janjang kosong dan pupuk hayati *Bioneensis* terhadap pertumbuhan morfologi tanaman kelapa sawit pada lahan pascatambang batubara dengan lahan mineral sebagai pembanding

METODE

Penelitian dilaksanakan selama periode November 2025 hingga Januari 2026 di areal perkebunan PT Pola Kahuripan Inti Sawit, Desa Kintapura, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Pengamatan dilakukan pada tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (TBM) yang ditanam pada lahan mineral dan lahan pascatambang batubara serta telah memperoleh perlakuan ameliorasi.

Penelitian menggunakan pendekatan observasional dengan mengevaluasi respons pertumbuhan tanaman terhadap perlakuan ameliorasi yang telah diaplikasikan di lapangan, tanpa melakukan aplikasi perlakuan tambahan selama penelitian berlangsung. Pendekatan tersebut dipilih untuk memperoleh gambaran mengenai efektivitas perlakuan dalam mendukung pertumbuhan tanaman pada kondisi aktual di lapangan tanpa melakukan penambahan atau modifikasi perlakuan selama penelitian berlangsung. Dengan demikian, penelitian difokuskan pada pengamatan dan perbandingan pertumbuhan morfologi tanaman kelapa sawit yang tumbuh pada kondisi lahan dan perlakuan yang berbeda. Perlakuan yang menjadi objek pengamatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis lahan dan dosis perlakuan

Kode	Perlakuan	Lahan
Ext 1	Jangkos 150 kg/tanaman	Mineral
Ext 2	Jangkos 150 kg + Pupuk hayati (Bioneensis) 1 kg/tanaman	Bekas Tambang

Keterangan: Ext 1 = perlakuan pada lahan mineral; Ext 2 = perlakuan pada lahan bekas tambang

Penelitian menggunakan pendekatan survei kuantitatif dengan metode komparatif. Penentuan sampel dilakukan secara purposive sampling dengan mempertimbangkan keseragaman umur tanaman, kondisi pertumbuhan, dan kesesuaian perlakuan yang telah diterapkan di lokasi penelitian. Setiap perlakuan diwakili oleh 50 tanaman sampel sehingga total unit pengamatan berjumlah 100 tanaman.

Pengamatan dilakukan terhadap beberapa karakter morfologi tanaman kelapa sawit, meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah pelepah, jumlah bunga jantan, jumlah bunga betina, dan jumlah bunga dompet pada umur 12 hingga 14 bulan setelah tanam (BST). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji Independent Sample t-Test pada taraf nyata 5% dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, data terlebih dahulu diuji normalitas dengan uji Kolmogorov–Smirnov dan uji homogenitas varians

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap perlakuan memberikan respons pertumbuhan morfologi yang berbeda pada tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (TBM), baik pada lahan mineral maupun lahan pascatambang batubara. Perbedaan terlihat pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, jumlah pelepah, bunga jantan, dan bunga dompet selama tiga bulan pengamatan (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil uji Independent sampel t-test perbandingan Pertumbuhan Morfologi Tanaman Kelapa Sawit Belum Menghasilkan (TBM) usia 12-14 bulan setelah tanam, pada perlakuan Ext1 vs Ext2

Perlakuan	12 Bulan ST	13 Bulan ST	14 Bulan ST
		Tinggi Tanaman (cm)	
Ext1	212,58 a	224,38 a	238,92 a
Ext2	142,92 b	161,18 b	182,02 b
		Diameter Batang (cm)	
Ext1	17,96 a	19,22 a	20,94 a
Ext2	9,94 b	11,40 b	12,38 b
		Jumlah Pelepah (helai)	
Ext1	26,76 a	28,46 a	29,64 a
Ext2	19,36 b	20,64 b	21,96 b
		Bunga Jantan (buah)	
Ext1	1,44 a	2,28 a	3,02 a
Ext2	1,10 b	1,66 b	2,28 b
		Bunga Betina (buah)	
Ext1	1,10 a	1,30 a	1,50 a
Ext2	0,78 b	1,10 b	1,38 a
		Bunga Dompet (buah)	
Ext1	2,04 a	3,66 a	5,48 a
Ext2	1,30 b	2,56 b	3,78 b

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan Uji t pada taraf 5%.

Berdasarkan Tabel 2, perlakuan pada lahan mineral (Ext1) dan lahan pascatambang dengan aplikasi janjang kosong kelapa sawit dan pupuk hayati bioneensis (Ext2) memberikan respons yang berbeda terhadap pertumbuhan morfologi tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (TBM) umur 12–14 bulan setelah tanam. Secara umum, seluruh parameter yang diamati mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur tanaman. Namun demikian, tanaman yang tumbuh pada lahan mineral cenderung menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan tanaman pada lahan pascatambang

Pada parameter tinggi tanaman, perlakuan Ext1 menunjukkan pertumbuhan yang secara nyata lebih tinggi dibandingkan perlakuan Ext2 pada seluruh periode pengamatan. Tinggi tanaman pada perlakuan Ext1 meningkat dari 212,58 cm pada umur 12 BST menjadi 238,92 cm pada umur 14 BST, sedangkan perlakuan Ext2 hanya mencapai 142,92 cm

hingga 182,02 cm pada periode yang sama. Selisih yang cukup besar ini menunjukkan bahwa kondisi lahan mineral yang memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang lebih baik mampu mendukung penyerapan unsur hara dan perkembangan tanaman secara lebih optimal. Sementara itu, aplikasi pupuk hayati (*bioneensis*) pada lahan pascatambang belum sepenuhnya mampu memperbaiki keterbatasan kesuburan tanah bekas tambang sehingga pertumbuhan tanaman masih jauh lebih rendah dibandingkan lahan mineral.

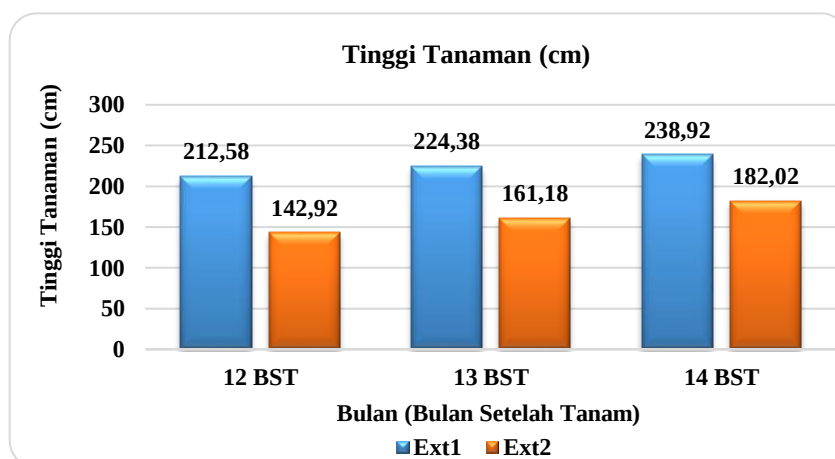
Kondisi kesuburan tanah pascatambang yang umumnya mengalami degradasi sifat fisik, kimia, dan biologi tanah membatasi pertumbuhan tanaman akibat rendahnya bahan organik dan ketersediaan unsur hara (Tordoff et al., 2000; Mukhopadhyay et al., 2013). Meskipun pupuk hayati (*bioneensis*) mengandung mikroorganisme fungsional seperti *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., dan *Bacillus* sp. yang berperan dalam fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan produksi hormon pertumbuhan tanaman (Situmorang et al., 2024), efektivitas pupuk hayati pada lahan pascatambang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tanah yang masih ekstrem sehingga aktivitas mikroorganisme fungsional belum optimal dalam mendukung pertumbuhan tanaman.

Pada parameter diameter batang, perlakuan Ext1 secara konsisten menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan Ext2 pada seluruh periode pengamatan, dengan diameter batang Ext1 berkisar antara 17,96 cm hingga 20,94 cm dibandingkan Ext2 yang hanya mencapai 9,94 cm hingga 12,38 cm. Rendahnya diameter batang pada Ext2 mengindikasikan bahwa kondisi tanah pascatambang masih sangat membatasi pertumbuhan vegetatif tanaman meskipun telah diberi perlakuan pupuk hayati (*bioneensis*). Sejalan dengan penelitian (Mahdani et al., 2021) meskipun pengaplikasian janjang kosong pada lahan bekas tambang mampu mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada awal fase TBM secara bertahap, lahan mineral yang memiliki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah yang relatif lebih baik tetap memberikan fondasi pertumbuhan yang lebih optimal.

Pada parameter jumlah pelepah, perlakuan Ext1 juga menunjukkan nilai yang secara nyata lebih tinggi dibandingkan Ext2 selama seluruh periode pengamatan. Jumlah pelepah pada Ext1 berkisar antara 26,76 helai hingga 29,64 helai, sedangkan Ext2 hanya mencapai 19,36 helai hingga 21,96 helai. Rendahnya jumlah pelepah pada lahan pascatambang dengan perlakuan pupuk hayati (*bioneensis*) menunjukkan bahwa pemulihan kesuburan tanah pascatambang melalui aplikasi pupuk hayati tunggal belum mampu mendukung pembentukan dan perkembangan pelepah tanaman secara optimal setara dengan kondisi pertumbuhan pada lahan mineral.

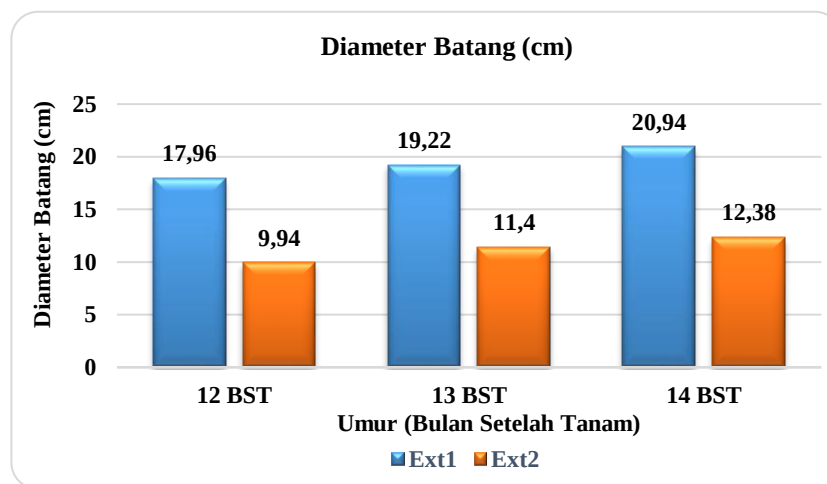
Pada parameter generatif, perlakuan Ext1 menghasilkan jumlah bunga jantan dan bunga dompet yang lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan Ext2 pada seluruh periode pengamatan. Jumlah bunga jantan Ext1 meningkat dari 1,44 buah menjadi 3,02 buah, sedangkan Ext2 hanya mencapai 1,10 buah hingga 2,28 buah. Demikian pula jumlah bunga dompet Ext1 meningkat dari 2,04 buah menjadi 5,48 buah, sedangkan Ext2 berkisar antara 1,30 buah hingga 3,78 buah. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian janjang kosong yang dikombinasikan dengan pupuk hayati (*bioneensis*) pada lahan bekas tambang batubara belum mampu mendukung pertumbuhan generatif tanaman kelapa sawit pada fase TBM secara optimal. Kondisi ini diduga berkaitan dengan kondisi kesuburan tanah yang belum sepenuhnya pulih sehingga alokasi fotosintat tanaman masih lebih dominan untuk mendukung pertumbuhan vegetatif dibandingkan pembentukan organ reproduktif. Sejalan dengan penelitian (Adirianto et al., 2024) pupuk hayati mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara melalui mekanisme biologis, namun pada kondisi tanah yang sangat terdegradasi seperti lahan pascatambang, aktivitas mikroorganisme fungsional masih memerlukan waktu lebih lama untuk memberikan dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan generatif tanaman.

Menariknya, pada parameter bunga betina, tidak terdapat perbedaan nyata antara Ext1 dan Ext2 pada umur 14 BST, dengan nilai Ext1 mencapai 1,50 buah dan Ext2 mencapai 1,38 buah. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan pupuk hayati (*bioneensis*) mulai memberikan respons positif terhadap perkembangan fase generatif tertentu pada tanaman. Nilai bunga betina yang relatif kecil pada kedua perlakuan juga mengindikasikan bahwa tanaman kelapa sawit pada fase TBM awal umur 12–14 BST memang belum menunjukkan reproduksi pembentukan bunga betina yang optimal



Gambar 1. Diagram Tinggi Tanaman

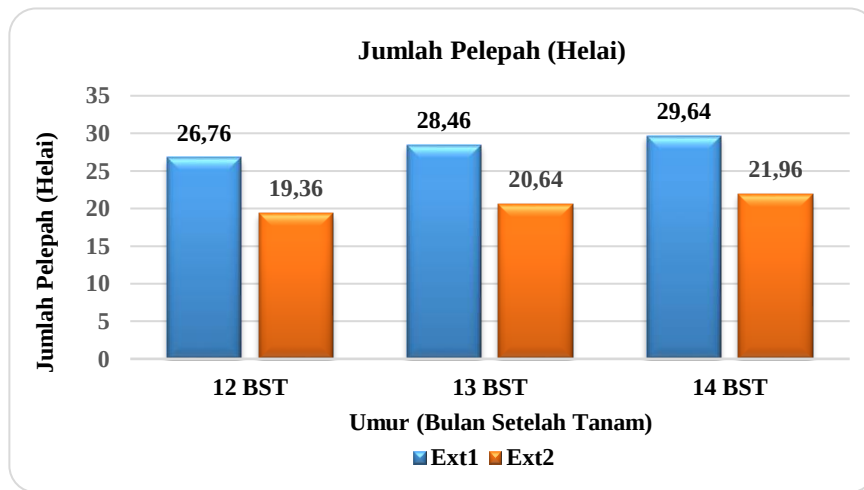
Diagram batang tinggi tanaman (Gambar 1) menunjukkan bahwa perlakuan Ext1 pada lahan mineral secara konsisten memiliki nilai pertumbuhan tinggi tanaman yang jauh lebih tinggi dibandingkan Ext2 pada lahan pascatambang pada seluruh periode pengamatan. Selisih tinggi tanaman antara kedua perlakuan cukup besar dan konsisten, mengindikasikan bahwa perlakuan pupuk hayati (*bioneensis*) pada lahan pascatambang belum mampu mendukung pertumbuhan tinggi tanaman secara optimal. Kondisi ini sejalan dengan penelitian (Mahdani et al., 2021) yang menyatakan bahwa lahan mineral yang memiliki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah lebih baik memberikan fondasi pertumbuhan yang lebih optimal dibandingkan lahan pascatambang.



Gambar 2. Diagram Diameter Batang

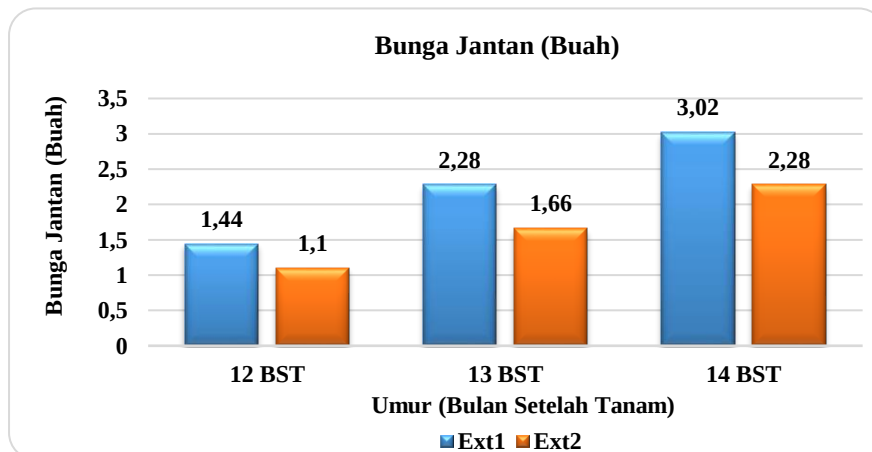
Diagram batang diameter batang tanaman (Gambar 2) memperlihatkan pola peningkatan yang konsisten pada kedua perlakuan selama periode pengamatan. Perlakuan Ext1 secara konsisten memiliki nilai diameter batang yang jauh lebih tinggi dibandingkan Ext2 pada setiap periode pengamatan. Rendahnya diameter batang Ext2 mengindikasikan

bahwa kombinasi jangkos dengan pupuk hayati (bioneensis) belum mampu mendukung pembesaran batang tanaman kelapa sawit secara optimal pada lahan pascatambang.



Gambar 3. Diagram Jumlah Pelepah

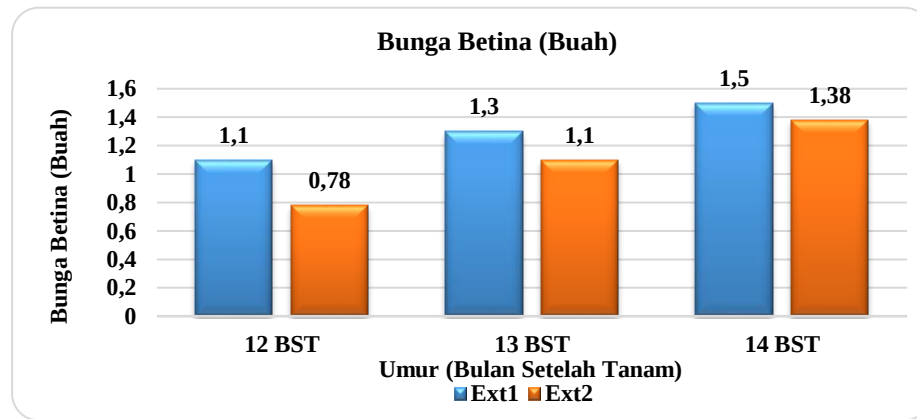
Diagram batang jumlah pelepah (Gambar 3) menunjukkan bahwa nilai pertumbuhan jumlah pelepah Ext1 secara nyata lebih tinggi dibandingkan Ext2 pada seluruh periode pengamatan. Selisih jumlah pelepah antara kedua perlakuan yang konsisten disetiap periode pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan pupuk hayati (bioneensis) pada lahan pascatambang belum mampu mendukung pembentukan dan perkembangan pelepah daun yang optimal.



Gambar 4. Diagram Bunga Jantan

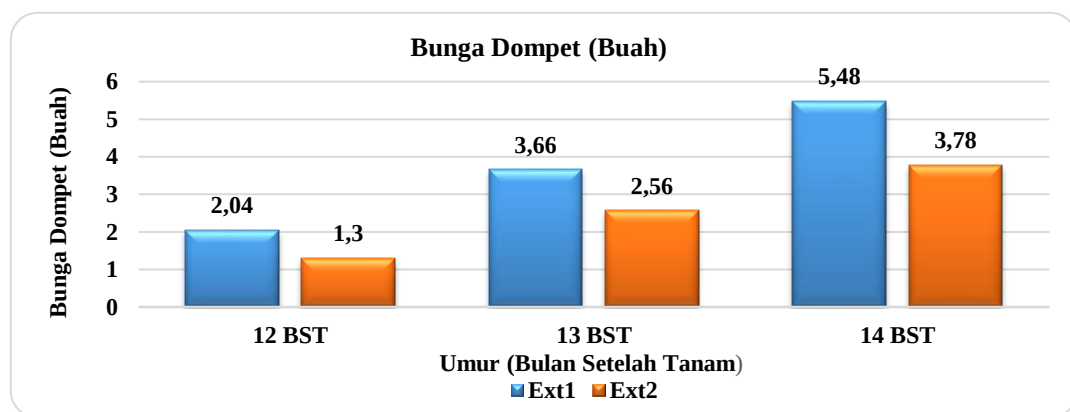
Diagram bunga jantan (Gambar 4) memperlihatkan tren peningkatan pada kedua perlakuan seiring bertambahnya umur tanaman. Perlakuan Ext1 secara konsisten memiliki nilai jumlah bunga jantan lebih tinggi dibandingkan Ext2 di setiap periode pengamatan.

Hal ini menunjukkan bahwa pemberian janjang kosong yang dikombinasikan dengan pupuk hayati (bioneensis) pada lahan bekas tambang batubara belum mampu mendukung pertumbuhan generatif tanaman kelapa sawit pada fase TBM secara optimal dibandingkan lahan mineral.



Gambar 5. Diagram Bunga Betina

Diagram bunga betina (Gambar 5) menunjukkan pola nilai yang relatif mendekati antara kedua perlakuan. Nilai yang cukup kecil dengan rata-rata 1–1,5 pada pembentukan bunga betina mengindikasikan bahwa pertumbuhan generatif pada tanaman kelapa sawit pada fase TBM awal belum menunjukkan reproduksi pembentukan bunga betina yang optimal pada kedua perlakuan. Namun demikian, pada umur 14 BST, tidak terdapat perbedaan nyata antara Ext1 dan Ext2, mengindikasikan bahwa perlakuan pupuk hayati (bioneensis) mulai memberikan respons positif terhadap perkembangan fase generatif tertentu.



Gambar 6. Diagram Bunga Dompot

Diagram bunga dompet (Gambar 6) menunjukkan peningkatan yang konsisten pada kedua perlakuan, dengan Ext1 menunjukkan pertumbuhan jumlah bunga dompet yang

lebih tinggi disetiap periode pengamatan. Meskipun Ext2 menunjukkan tren peningkatan yang cukup baik selama periode pengamatan, nilai jumlah bunga dompet Ext2 masih lebih rendah secara nyata dibandingkan Ext1. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan pupuk hayati (*bioneensis*) pada lahan pascatambang masih belum sepenuhnya mampu mendukung perkembangan bunga dompet secara optimal setara dengan kondisi pertumbuhan pada lahan mineral.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (TBM) yang ditanam pada lahan mineral (Ext1) memiliki pertumbuhan morfologi yang lebih baik dibandingkan tanaman yang ditanam pada lahan pascatambang batubara dengan aplikasi janjang kosong kelapa sawit dan pupuk hayati *bioneensis* (Ext2). Pada umur 14 bulan setelah tanam (BST), tinggi tanaman pada perlakuan Ext1 mencapai 238,92 cm, sedangkan pada Ext2 sebesar 182,02 cm. Diameter batang masing-masing mencapai 20,94 cm dan 12,38 cm, sedangkan jumlah pelepah mencapai 29,64 helai dan 21,96 helai. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kondisi lahan masih menjadi faktor pembatas utama dalam pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada fase TBM. Lahan pascatambang umumnya mengalami degradasi fisik, kimia, dan biologi tanah akibat hilangnya lapisan topsoil selama kegiatan penambangan, sehingga kapasitas tanah dalam menyediakan air, unsur hara, dan habitat bagi mikroorganisme menjadi lebih rendah dibandingkan lahan mineral. Kondisi tersebut menyebabkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman menurun dan berdampak pada pertumbuhan vegetatif yang kurang optimal. Temuan ini sejalan dengan Mahdani et al. (2021) yang melaporkan bahwa rendahnya kualitas tanah pada lahan bekas tambang berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tinggi tanaman, diameter batang, dan perkembangan tajuk kelapa sawit.

Meskipun pertumbuhan tanaman pada lahan pascatambang masih lebih rendah dibandingkan lahan mineral, peningkatan seluruh parameter vegetatif selama periode pengamatan menunjukkan bahwa aplikasi janjang kosong kelapa sawit dan pupuk hayati *bioneensis* mampu memperbaiki kondisi tumbuh tanaman. Tinggi tanaman pada perlakuan Ext2 meningkat dari 142,92 cm pada umur 12 BST menjadi 182,02 cm pada umur 14 BST, sedangkan diameter batang meningkat dari 9,94 cm menjadi 12,38 cm. Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa amelioran yang diaplikasikan mampu memperbaiki fungsi tanah sebagai media tumbuh melalui peningkatan kandungan bahan organik dan aktivitas biologis tanah. Menurut Sheoran et al. (2010), keberhasilan rehabilitasi lahan pascatambang sangat ditentukan oleh kemampuan amelioran dalam memulihkan fungsi

tanah, terutama melalui peningkatan kandungan bahan organik dan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam siklus hara.

Peran janjang kosong kelapa sawit sebagai amelioran diduga menjadi faktor utama yang mendukung peningkatan pertumbuhan tanaman pada lahan pascatambang. Janjang kosong merupakan sumber bahan organik yang kaya karbon dan mengandung unsur hara esensial seperti kalium, nitrogen, fosfor, magnesium, dan kalsium. Selama proses dekomposisi, bahan organik tersebut mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, memperbaiki porositas tanah, serta meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air. Perbaikan sifat fisik dan kimia tanah tersebut menciptakan lingkungan perakaran yang lebih kondusif bagi pertumbuhan tanaman. Adu et al. (2022) melaporkan bahwa aplikasi biomassa kelapa sawit mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan memperbaiki kualitas lahan terdegradasi sehingga memberikan respons positif terhadap pertumbuhan tanaman. Selain memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, keberadaan bahan organik dari janjang kosong juga berperan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme tanah. Peningkatan aktivitas mikroba tersebut berkontribusi terhadap percepatan mineralisasi bahan organik dan peningkatan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Dengan demikian, penggunaan janjang kosong tidak hanya berfungsi sebagai sumber hara, tetapi juga sebagai agen pemulih ekosistem tanah yang mengalami degradasi (Lim et al., 2023). Brady dan Weil (2017) juga menjelaskan bahwa peningkatan bahan organik tanah berkontribusi terhadap perbaikan agregasi tanah, peningkatan kapasitas retensi air, serta peningkatan efisiensi penggunaan unsur hara oleh tanaman.

Selain kontribusi bahan organik dari janjang kosong, keberadaan pupuk hayati bioneensis diduga berperan dalam mempercepat proses pemulihan kualitas biologis tanah. Mikroorganisme fungsional yang terkandung dalam pupuk hayati dapat meningkatkan aktivitas dekomposisi bahan organik, melarutkan fosfat yang tidak tersedia bagi tanaman, serta meningkatkan ketersediaan nitrogen melalui aktivitas biologis di daerah perakaran. Aktivitas tersebut berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi penyerapan hara sehingga mampu mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman pada kondisi lahan yang mengalami degradasi. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi bahan organik dan pupuk hayati memberikan respons yang lebih baik dibandingkan aplikasi tunggal karena tercipta hubungan sinergis antara sumber karbon dan mikroorganisme fungsional. Bahan organik menyediakan substrat bagi pertumbuhan mikroba, sedangkan mikroorganisme membantu mempercepat dekomposisi dan meningkatkan ketersediaan unsur hara sehingga efisiensi pemanfaatan nutrisi oleh tanaman menjadi lebih tinggi (Nong et al., 2020). Alori

et al. (2017) menjelaskan bahwa mikroorganisme pelarut fosfat dan mikroba pemacu pertumbuhan tanaman memiliki peran penting dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara dan produktivitas tanaman pada tanah marginal. Lebih lanjut, Peng et al. (2023) melaporkan bahwa peningkatan aktivitas mikroorganisme rhizosfer berkontribusi terhadap perbaikan status hara tanah, peningkatan perkembangan sistem perakaran, serta perbaikan kondisi fisiologis tanaman yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan vegetatif dan generatif secara lebih optimal.

Pola pertumbuhan vegetatif yang diamati pada penelitian ini juga tercermin pada perkembangan organ reproduktif tanaman. Jumlah bunga jantan pada perlakuan Ext1 meningkat dari 1,44 menjadi 3,02 buah selama periode pengamatan, sedangkan pada perlakuan Ext2 meningkat dari 1,10 menjadi 2,28 buah. Demikian pula pada jumlah bunga dompet yang meningkat dari 2,04 menjadi 5,48 buah pada Ext1 dan dari 1,30 menjadi 3,78 buah pada Ext2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi lahan memengaruhi perkembangan generatif tanaman melalui pengaruhnya terhadap status nutrisi dan fisiologi tanaman. Pembentukan organ reproduktif pada kelapa sawit memerlukan ketersediaan fotosintat dan unsur hara yang cukup karena proses diferensiasi bunga merupakan proses yang membutuhkan energi tinggi. Corley dan Tinker (2016) menyatakan bahwa perkembangan organ reproduktif kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh kondisi pertumbuhan vegetatif pada fase sebelumnya, terutama terkait akumulasi biomassa dan keseimbangan nutrisi tanaman.

Menariknya, jumlah bunga betina tidak menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan. Pada umur 14 BST, jumlah bunga betina pada perlakuan Ext1 mencapai 1,50 buah, sedangkan pada perlakuan Ext2 mencapai 1,38 buah. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa aplikasi janjang kosong kelapa sawit dan pupuk hayati bioneensis mampu mendukung proses diferensiasi bunga betina hingga mendekati kondisi tanaman pada lahan mineral. Fenomena ini menunjukkan bahwa meskipun pertumbuhan vegetatif pada lahan pascatambang masih lebih rendah, perbaikan kondisi tanah akibat pemberian amelioran telah cukup mampu menyediakan lingkungan tumbuh yang mendukung perkembangan reproduktif tanaman. Temuan ini sejalan dengan Adu et al. (2022) yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan bahan organik tanah berpengaruh terhadap perbaikan ketersediaan unsur hara dan efisiensi metabolisme tanaman sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan organ reproduktif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan mineral masih memberikan kondisi tumbuh terbaik bagi tanaman kelapa sawit TBM. Namun demikian,

aplikasi janjang kosong kelapa sawit yang dikombinasikan dengan pupuk hayati bioneensis terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan mendukung perkembangan generatif tanaman pada lahan pascatambang batubara. Efektivitas tersebut diduga terjadi melalui mekanisme perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologis tanah yang secara simultan meningkatkan ketersediaan unsur hara, aktivitas mikroorganisme, dan efisiensi pemanfaatan sumber daya oleh tanaman. Hasil penelitian ini mendukung konsep rehabilitasi lahan berbasis pendekatan biologis yang saat ini banyak dikembangkan pada lahan pascatambang. Pendekatan tersebut menekankan pentingnya pemanfaatan bahan organik lokal yang dipadukan dengan mikroorganisme fungsional untuk mempercepat pemulihan kualitas tanah sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman secara berkelanjutan. Strategi ini dinilai lebih ramah lingkungan dan mampu mendukung keberhasilan revegetasi jangka panjang pada berbagai tipe lahan terdegradasi (Mukhopadhyay et al., 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit sebagai amelioran memiliki prospek yang menjanjikan sebagai strategi rehabilitasi lahan pascatambang yang berkelanjutan sekaligus mendukung sistem perkebunan kelapa sawit yang lebih ramah lingkungan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pertumbuhan morfologi tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (TBM) pada lahan mineral masih lebih baik dibandingkan lahan pascatambang dengan aplikasi janjang kosong kelapa sawit dan pupuk hayati bioneensis. Perbedaan nyata ditemukan pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, bunga jantan, dan bunga dompet, sedangkan jumlah pelepah dan bunga betina tidak menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa kondisi lahan masih berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman kelapa sawit. Meskipun demikian, aplikasi janjang kosong kelapa sawit sebanyak 150 kg tanaman⁻¹ yang dikombinasikan dengan pupuk hayati bioneensis sebanyak 1 kg tanaman⁻¹ mampu mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada lahan pascatambang. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan seluruh parameter morfologi yang diamati selama periode pengamatan. Dengan demikian, kombinasi janjang kosong kelapa sawit dan pupuk hayati bioneensis berpotensi digunakan sebagai amelioran dalam upaya rehabilitasi lahan pascatambang batubara untuk mendukung pengembangan budidaya kelapa sawit yang lebih berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada PT Pola Kahuripan Inti Sawit atas dukungan pendanaan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adirianto. (2024). Pupuk hayati dan mekanisme peningkatan ketersediaan unsur hara melalui aktivitas biologi tanah. *Jurnal Tanah dan Iklim*.
- Adu, M. O., Atia, K., Arthur, E., Asare, P. A., Obour, P. B., Danso, E. O., Frimpong, K. A., Sani, K. A., Larbi, S. A., Adjei, R., Mensah, G., & Andersen, M. N. (2022). The use of oil palm empty fruit bunches as a soil amendment to improve growth and yield of crops: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(1), Article 13. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00753-z>
- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 8, Article 971. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Aulia, R., Hasanah, F. H., & Zahara, A. (2025). Analisis kualitas tanah pada lahan bekas tambang batubara. *Jurnal Psikososial dan Pendidikan*, 1(2), 883–893.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson Education.
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5th ed.). Wiley Blackwell.
- Frouz, J., Vindušková, O., & Mudrák, O. (2021). Soil reclamation and ecosystem recovery after mining: Recent advances and future challenges. *Restoration Ecology*, 29(S1), Article e13374. <https://doi.org/10.1111/rec.13374>
- Li, Y., Wu, X., Zhang, H., Wang, Z., & Liu, Y. (2022). Effects of soil degradation on root growth, nutrient uptake and biomass accumulation of crops: A review. *Agronomy*, 12(8), Article 1876. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081876>
- Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2023). Sustainability of oil palm biomass utilization in soil improvement and nutrient recycling: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 30, Article 103077. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103077>
- Mahdani, Y. W., Rohmiyati, S. M., & Astuti, Y. T. M. (2021). Sifat-sifat tanah pada lahan bekas tambang pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit TBM. *AGROISTA: Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 59–65. <https://doi.org/10.55180/agi.v5i1.168>

- Mukhopadhyay, S., Maiti, S. K., & Masto, R. E. (2013). Use of reclaimed mine soil index (RMSI) for screening of tree species for reclamation of coal mine degraded land. *Ecological Engineering*, 57, 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.017>
- Mukhopadhyay, S., Maiti, S. K., & Masto, R. E. (2023). Ecological restoration of post-mining land through sustainable soil management practices: A review. *Ecological Engineering*, 191, Article 106992. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106992>
- Nong, Q., Qin, C., Wang, M., Chen, J., & Hu, J. (2020). Combined application of bio-organic fertilizer and microbial inoculants improves soil fertility and crop productivity. *Applied Soil Ecology*, 147, Article 103403. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103403>
- Peng, S. H. T., Chee, K. H., Saud, H. M., Yusop, M. R., & Tan, G. H. (2023). Potential novel plant growth promoting rhizobacteria for bio-organic fertilizer production in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Malaysia. *Applied Sciences*, 13(12), Article 7105. <https://doi.org/10.3390/app13127105>
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: A review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), 13.
- Singh, R. P., Ibrahim, M. H., Esa, N., & Iliyana, M. S. (2019). Composting of waste from palm oil mill: A sustainable waste management practice. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18(4), 639–665. <https://doi.org/10.1007/s11157-019-09508-1>
- Situmorang, E., Kristalisasi, E. N., & Rosmarini, U. K. (2024). Pengaruh kombinasi pupuk NPK dan pupuk hayati terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di main nursery. *Agroforetech*, 2(3), 1235–1239.
- Tordoff, G. M., Baker, A. J. M., & Willis, A. J. (2000). Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41(1–2), 219–228. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00414-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00414-2)
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—A review. *Molecules*, 21(5), Article 573. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>