

Aplikasi Pupuk Hayati Untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit

Biofertilizer Application to Enhance The Oil Palm Growth and Productivity

Fandi Hidayat, Yudha Yudhistira, Rizki Desika Putri Pane, Fadilla Sapalina, Eka Listia, Rizki Amalia, Muhayat, dan Winarna

Abstrak Manajemen kesuburan tanah yang rutin dilakukan di perkebunan kelapa sawit cenderung tidak memperhatikan kesuburan dari aspek biologi tanah. Penggunaan pupuk anorganik menjadi praktik standar yang umum, akan tetapi dapat mempengaruhi kesuburan dan kesehatan tanah. Produk hayati yang mengandung konsorsium bakteri bermanfaat dapat menjadi alternatif untuk meminimalkan bahaya terhadap lingkungan dan mewujudkan pertanian berkelanjutan. Penelitian pengaruh aplikasi pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan produktivitas kelapa sawit telah dilakukan dengan sistem demo plot (demplot) pada tanaman menghasilkan TT 2008 yang berlokasi di Sumatera Selatan sejak tahun 2019. Penelitian disusun menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan lima perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa populasi bakteri secara nyata mengalami peningkatan dan menunjukkan nilai yang lebih tinggi (menjadi $>10^8$ cfu/g) pada plot aplikasi pupuk hayati. Sementara itu, performa vegetatif tanaman meningkat sekitar 8,5-17,2% (luas daun) dan 8,6-14,9% (berat kering pelepah) terhadap kontrol (100% anorganik). Perlakuan pupuk anorganik (50% dan 75%) yang dikombinasikan dengan pupuk hayati dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan menghasilkan produktivitas tanaman kelapa sawit yang tidak berbeda nyata terhadap perlakuan standar (100% pupuk anorganik). Penelitian ini menunjukkan adanya potensi pengintegrasian pupuk hayati kedalam praktik pemupukan konvensional untuk mencapai produktivitas pertanian yang optimal sekaligus

meminimalkan dampak lingkungan.

Kata Kunci: konsorsium bakteri, pupuk hayati, efisiensi pemupukan, kelapa sawit

Abstract *The conventional soil management practices employed in oil palm plantations often overlook the critical aspect of soil biology, leading to potential detrimental effects on soil health and fertility, primarily driven by the excessive utilization of inorganic fertilizers. However, there is growing evidence that biofertilizers, comprising beneficial bacterial consortia, hold significant promise as an alternative approach for sustainable agriculture while mitigating environmental impacts. Extensive research has been conducted to explore the application of biofertilizers and investigate their impact on the growth and yield of oil palm. In a study conducted on a demo plot of oil palms planted in 2008 in South Sumatra since 2019, a randomized complete block design with five treatments was implemented. The application of biofertilizers yielded notable outcomes, including a substantial increase in the bacterial population, surpassing the threshold of 10^8 cfu.g⁻¹. This upsurge in bacterial populations signifies a positive shift towards enhanced soil microbial activity and functioning. Furthermore, the application of biofertilizers demonstrated significant improvements in crucial growth parameters. Leaf area exhibited an increase ranging from 8.5% to 17.2%, while dry frond biomass showed a remarkable boost ranging from 8.6% to 14.9%, in comparison to the usage of 100% inorganic fertilizers. Moreover, the combination of inorganic fertilizers with biofertilizers ($S_{75}B_{1^1}$, $S_{75}B_{2^2}$, $S_{50}B_{1^1}$, and $S_{50}B_{2^2}$) exhibited enhanced fertilizer efficiency and ultimately resulted in higher oil palm yields compared to the usage of 100% inorganic fertilizers. This valuable finding underscores the potential of integrating biofertilizers into conventional fertilization practices to*

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Fandi Hidayat (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamsno No. 51 Medan 20158 Indonesia
Email: fandihidayat87@gmail.com



achieve optimal agricultural productivity while minimizing environmental impact.

Keywords: *bacterial consortia, biofertilizer, fertilizer efficiency, oil palm*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Gaskell, 2015). Sebelum tahun 2004, Malaysia adalah produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Hagi *et al.*, 2012), hanya saja produksi minyak sawit di Indonesia terus menunjukkan *trend* peningkatan sehingga saat ini dapat menyusul Malaysia dan menjadi nomor satu di dunia. Dari sisi ekspor, CPO Indonesia mengalami *trend* peningkatan dalam sepuluh tahun terakhir. Pada tahun 2013 ekspor CPO Indonesia adalah sebesar 20,3 juta metrik ton kemudian pada tahun 2014 meningkat menjadi 23,6 juta metrik ton atau meningkat (13,98%) (Situngkir, 2022). Peningkatan tersebut membuktikan bahwa Indonesia dapat menjadi sentral penghasil komoditas perkebunan terutama komoditas kelapa sawit. Hal ini tidak dapat terlepas dari beberapa faktor pendukung, seperti adanya peningkatan produksi, peningkatan kualitas CPO yang dapat menembus pasaran dunia, dan kebijakan pemerintah untuk dapat mendukung di semua sektor pertanian (Alatas, 2015).

Dari segi peningkatan produksi diperlukan manajemen pemupukan yang tepat. Namun demikian, penggunaan pupuk anorganik secara terus menerus dan cenderung berlebihan dapat meningkatkan salinitas, mengurangi kesuburan tanah, menurunkan potensi menahan air, dan inkonsistensi nutrisi tanah (Kumar *et al.*, 2022; Nosheen *et al.*, 2021; Rashid *et al.*, 2015; Savci, 2012). Secara umum, manajemen kesuburan tanah di perkebunan kelapa sawit cenderung hanya memperhatikan kesuburan secara fisik dan kimia tanpa mempertimbangkan aspek kesuburan biologi. Hal tersebut kemudian berimplikasi pada menurunnya kesehatan tanah dan kemampuan tanah dalam menyediakan hara bagi tanaman sehingga berdampak pada pencapaian produktivitas yang tidak berkelanjutan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir kerusakan lingkungan yaitu melalui *input* bahan-bahan yang ramah lingkungan seperti bahan organik dan pupuk hayati (Hakeem *et al.*, 2020).

Pupuk hayati tersebut mengandung mikroorganisme yang dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman melalui peningkatan ketersediaan nutrisi bagi tanaman (Hidayat *et al.*, 2022).

Bakteri yang terkandung dalam pupuk hayati bermanfaat sebagai pemacu pertumbuhan tanaman (PGPB: *plant growth promoting bacteria*) (Hidayat *et al.*, 2022). Bakteri yang tergolong PGPB meliputi bakteri penambat nitrogen (BPN), bakteri pelarut fosfat (BPF), bakteri pelarut kalium (BPK), dan bakteri penghasil hormon IAA (*indole acetic acid*). Konsorsium bakteri tersebut diperlukan oleh tanaman, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi pemupukan melalui peningkatan ketersediaan nutrisi bagi tanaman.

Nutrisi di dalam tanah tidak dapat diserap secara langsung oleh tanaman, seperti unsur nitrogen (Moreau *et al.*, 2019). Unsur hara ini membutuhkan bantuan bakteri untuk memfiksasi nitrogen menjadi bentuk ammonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) agar dapat diserap tanaman. Aplikasi bakteri yang memiliki aktivitas penambat nitrogen, pelarut fosfat, pelarut kalium, dan penghasil IAA merupakan pendekatan yang menjanjikan dan ramah lingkungan untuk meningkatkan ketersediaan hara di tanah, meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Hidayat *et al.*, 2022; Itelima *et al.*, 2018; Barea, 2015; Kumar *et al.*, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas konsorsium bakteri bermanfaat dalam bentuk pupuk hayati untuk meningkatkan kesehatan tanah, pertumbuhan, dan produktivitas tanaman kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kebun Dawas, Sumatera Selatan pada tanaman kelapa sawit Tenera Varietas PPKS 540. Pada penelitian ini dilakukan sistem demo plot (demplot) berukuran 5x5 (25 pohon) yang terdiri dari tanaman batas (*border trees*) sebanyak 16 pohon dan tanaman pengamatan (*recorded trees*) sebanyak 9 pohon. Tanaman yang digunakan adalah tanaman kelapa sawit tahun tanam 2008 dengan jarak tanam 9x9x9 m. Penelitian disusun menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan perlakuan sebagai berikut:

No	Perlakuan	Keterangan
1	S ₁₀₀	100% pupuk kimia
2	S ₇₅ B ₁	75% pupuk standar + 1,5 kg Pupuk Hayati (diaplikasikan sekali setahun)
3	S ₅₀ B ₁	50% pupuk standar + 1,5 kg Pupuk Hayati (diaplikasikan sekali setahun)
4	S ₇₅ B ₂	75% pupuk standar + 1,5 kg Pupuk Hayati (diaplikasikan dua kali setahun)
5	S ₅₀ B ₂	50% pupuk standar + 1,5 kg Pupuk Hayati (diaplikasikan dua kali setahun)

Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali dengan total tanaman adalah sekitar 450 tanaman atau seluas kurang lebih 3,5 Ha. Adapun, seluruh plot berada dalam satu blok yang sama dengan kondisi lahan dan tanah yang relatif datar, serta keragaan tanaman (fenotip dan genotip) yang relatif seragam.

Pupuk hayati yang digunakan pada penelitian ini mengandung bahan aktif bakteri penambat nitrogen dan bakteri pelarut fosfat. Adapun parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah:

Populasi bakteri

Analisis populasi bakteri dilakukan dengan cara mengisolasi bakteri dari beberapa seri pengenceran menggunakan metode cawan tuang (*pour plate*) pada media spesifik (Jaweria dan Qayum 2020; Xu et al., 2018). Selanjutnya, *plate* diinkubasi selama dua hari dan dilanjutkan dengan penghitungan jumlah koloni yang terbentuk (*total plate count*). Total populasi bakteri tanah dihitung dengan rumus berikut (Saraswati et al., 2007):

$$\text{Total populasi (CFU) g-1 tanah kering} = \frac{(\text{jumlah koloni}) \times (\text{fp})}{\text{bk tanah}} \quad (1)$$

Keterangan:

fp = faktor pengenceran pada cawan petri yang koloninya dihitung

bk = berat kering contoh tanah (g) = 1 – kadar air/100

Pertumbuhan vegetatif tanaman

Pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit dilakukan untuk mengetahui nilai luas daun atau *leaf area* (LA) dan estimasi biomassa tanaman.

Produktivitas tanaman

Produktivitas tanaman kelapa sawit meliputi jumlah tandan (JT/pohon), Produktivitas (ton/ha), dan rerata berat tandan (RBT,kg) di masing-masing plot penelitian.

Analisis data

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis statistik untuk mengetahui signifikansi pengaruh aplikasi perlakuan pada tingkat kepercayaan 95%. Uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) digunakan untuk mengetahui perlakuan yang berbeda nyata secara statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan populasi bakteri

Hasil analisis populasi bakteri pada plot perlakuan disajikan pada Tabel 1. Secara umum, populasi bakteri pada awal pengamatan di seluruh plot perlakuan memiliki kerapatan yang seragam yaitu berkisar $4,2 \times 10^5$ cfu/g hingga $9,7 \times 10^5$ cfu/g. Selanjutnya setelah tiga tahun aplikasi perlakuan, populasi bakteri pada plot yang hanya diaplikasikan pupuk anorganik tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Sebaliknya, plot

yang diaplikasikan pupuk hayati ($S_{50}B_1$, $S_{50}B_2$, $S_{75}B_1$ dan $S_{75}B_2$) mengalami peningkatan kerapatan bakteri dibandingkan kondisi awal yaitu menjadi $>10^8$ cfu/g. Hal serupa ditunjukkan pada populasi bakteri penambat nitrogen (BPN) dan bakteri pelarut fosfat (BPF) yang cenderung lebih tinggi pada seluruh plot aplikasi pupuk hayati. Zainuddin *et al.* (2022) dalam penelitiannya melaporkan bahwa penggunaan pupuk hayati pada tanaman kelapa sawit dapat meningkatkan biodiversitas mikroba tanah dan

ketahanan (*survivability*) bakteri bermanfaat di dalam tanah.

Aplikasi pupuk hayati yang mengandung bakteri bermanfaat dapat meningkatkan kesehatan tanah untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Hermans *et al.* (2017) dimana komunitas bakteri penting untuk kesehatan dan produktivitas ekosistem tanah dan memiliki potensi besar sebagai indikator kesehatan tanah.

Tabel 1. Perbandingan total bakteri, populasi bakteri penambat nitrogen, dan populasi bakteri pelarut fosfat antar perlakuan

Table 1. Comparison of total bacteria, nitrogen-fixing bacteria, and phosphate-solubilizing bacteria populations among the treatments

Perlakuan	Total bakteri (cfu/g)		Populasi BPN (cfu/g)	Populasi BPF (cfu/g)
	Awal	3 tahun		
S_{100}	$8,0 \times 10^5$	$7,5 \times 10^5$	$6,2 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$
$S_{75}B_1$	$5,7 \times 10^5$	$2,0 \times 10^8$	$5,7 \times 10^7$	$1,2 \times 10^8$
$S_{50}B_1$	$4,2 \times 10^5$	$1,3 \times 10^8$	$1,3 \times 10^8$	$6,7 \times 10^7$
$S_{75}B_2$	$4,5 \times 10^5$	$1,7 \times 10^8$	$4,2 \times 10^8$	$5,1 \times 10^7$
$S_{50}B_2$	$9,7 \times 10^5$	$2,2 \times 10^8$	$6,3 \times 10^7$	$4,5 \times 10^8$

Keterangan: BPN (bakteri penambat nitrogen); BPF (bakteri pelarut fosfat)

Notes: BPN (nitrogen-fixing bacteria); BPF (phosphate-solubilizing bacteria)

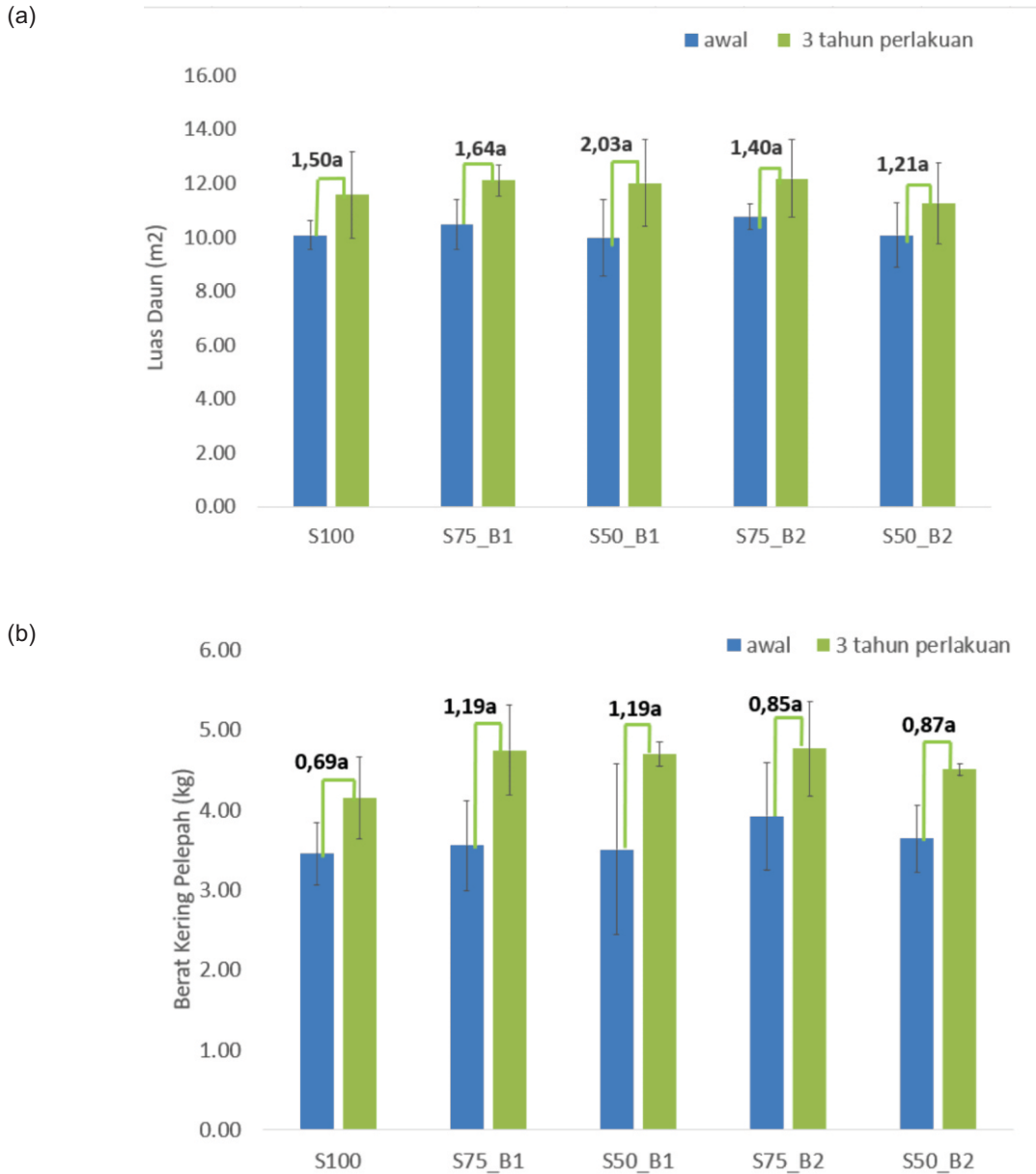
Pertumbuhan vegetatif tanaman

Hasil pengamatan pertumbuhan tanaman kelapa sawit yang direpresentasikan dengan parameter luas daun dan estimasi bobot kering pelepah ke-17 disajikan pada Gambar 1. Analisis statistik menunjukkan bahwa luas daun dan bobot kering pelepah setelah aplikasi pupuk hayati di demplot Kebun Dawas tidak berbeda nyata antar perlakuan dengan nilai berkisar 11,27-12,17 m² (luas daun) dan 4,15 - 4,76 kg (bobot kering pelepah) pada tingkat kepercayaan 95%.

Secara umum, pertumbuhan vegetatif tanaman (luas daun dan estimasi bobot kering pelepah ke-17) pada seluruh perlakuan mengalami peningkatan dibandingkan dengan kondisi awal. Angka pada histogram di Gambar 1 menunjukkan selisih pada awal perlakuan dan setelah tiga tahun perlakuan. Dari

angka tersebut dapat dilihat bahwa peningkatan luas daun dan bobot kering pelepah cenderung lebih tinggi pada aplikasi pupuk hayati ($S_{75}B_1$, $S_{50}B_1$, $S_{75}B_2$, $S_{50}B_2$) dibandingkan dengan perlakuan kontrol (S_{100}). Aplikasi pupuk hayati dapat meningkatkan performa vegetatif tanaman sekitar 8,5-17,2% (luas daun) dan 8,6-14,9% (berat kering pelepah) lebih tinggi dibandingkan kontrol (100% anorganik). Temuan serupa diamati oleh Adiprasetyo *et al.* (2014) dimana pupuk hayati multi mikroba mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit dibandingkan dengan perlakuan tunggal dengan pupuk kimia. Sementara itu, Zainudin *et al.* (2022) juga melaporkan pengaruh positif aplikasi pupuk hayati dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kelapa sawit terutama pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, luas daun, dan biomassa kering daun. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, strain bakteri yang terkandung

dalam pupuk hayati yang terdapat pada penelitian ini dapat mempertahankan pertumbuhan vegetatif bahkan setelah dilakukan pengurangan pupuk anorganik.



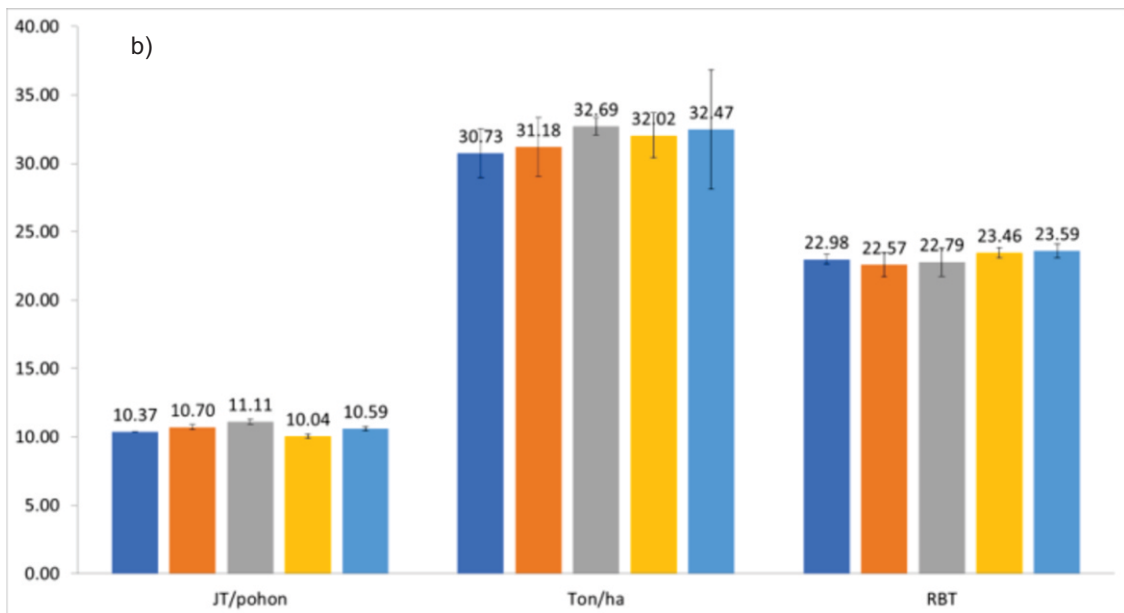
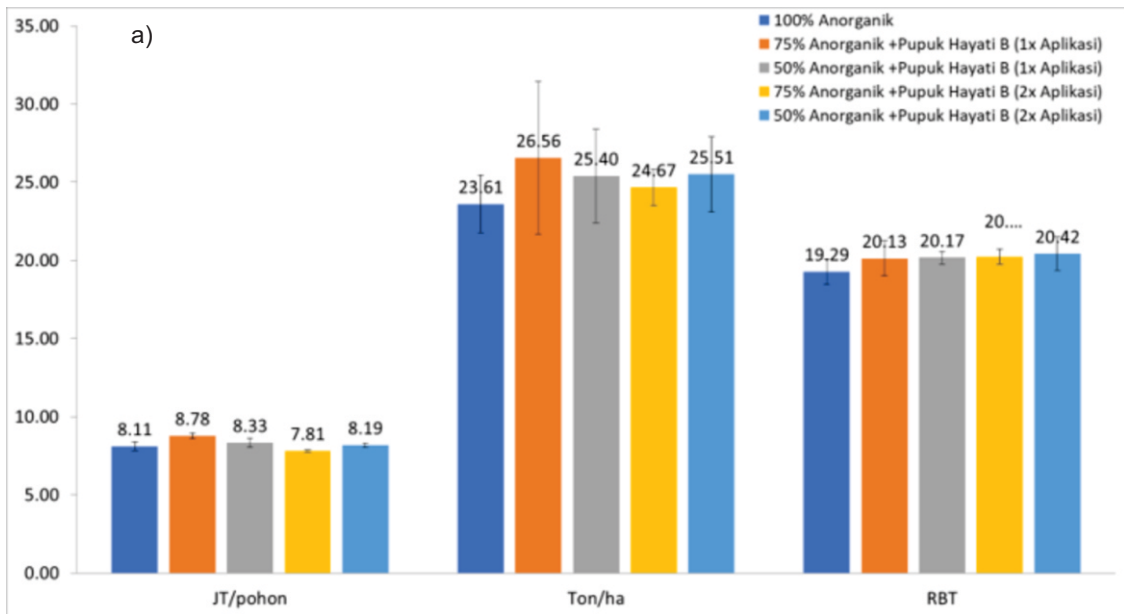
Gambar 1. Perbandingan luas daun (a) dan estimasi berat kering pelepah ke-17 (b) pada kondisi awal dan tiga tahun setelah aplikasi perlakuan. Angka di atas bar (peningkatan pertumbuhan tanaman) yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%.

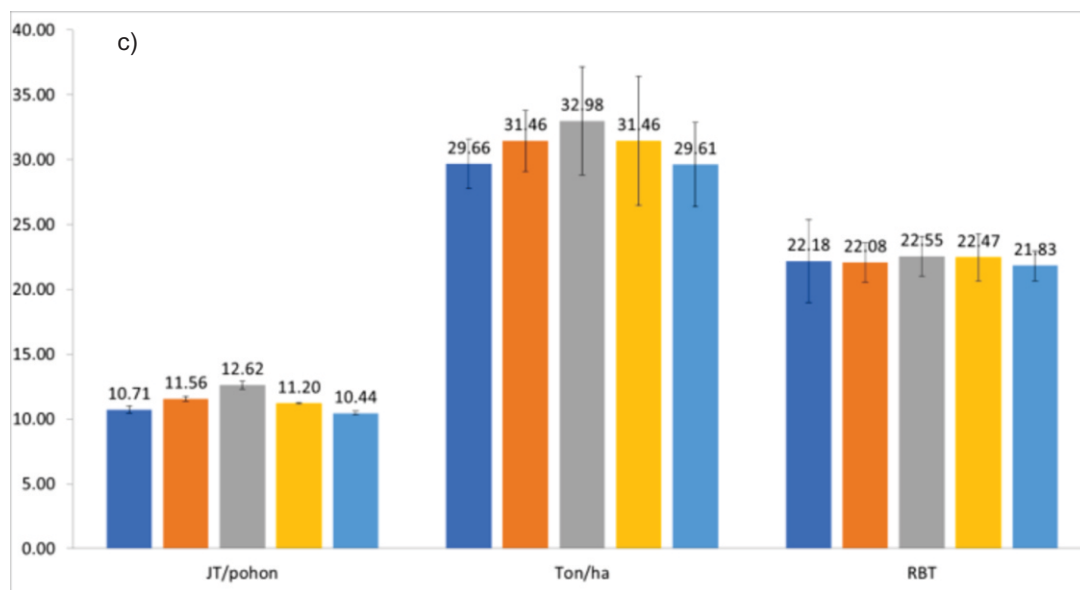
Figure 1. Comparison of leaf area (a) and estimation of dry biomass of frond no. 17 (b) between the initial and three years after treatment. No significant difference ($p < 0.05$) in plant growth improvement values indicated by the same letter above the bar.

Produktivitas tanaman kelapa sawit

Perbandingan keragaan generatif berupa jumlah tandan (JT/pohon), produktivitas (ton/ha) dan rerata berat tandan demplot pupuk hayati disajikan pada Gambar 2. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa jumlah tandan, produktivitas, dan rerata berat tandan

antar perlakuan tidak berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95%. Namun demikian, perlakuan pupuk anorganik yang dikombinasikan dengan pupuk hayati menunjukkan produktivitas yang tidak berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan dengan pupuk anorganik saja (100% anorganik).





Gambar 2. Produktivitas tanaman kelapa sawit pada berbagai aplikasi perlakuan (a) tahun pertama, (b) tahun kedua, dan (c) tahun ketiga.

Figure 2. Comparison of oil palm productivity among the treatments at the first year (a), second year (b), and third year (c)

Produktivitas tanaman kelapa sawit pada perlakuan dengan pupuk hayati ($S_{75}B_1$, $S_{75}B_2$, $S_{50}B_1$, dan $S_{50}B_2$) telah menunjukkan peningkatan sejak tahun pertama (Gambar 2a), kemudian pada tahun kedua dan ketiga produktivitas pada plot perlakuan tersebut mulai menunjukkan konsistensi dengan nilai produktivitas yang tidak berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan 100% anorganik. Rata-rata peningkatan nilai JT/pohon, produktivitas TBS (ton/ha), dan RBT pada plot yang diaplikasi pupuk hayati dibandingkan dengan 100% pupuk anorganik berturut-turut yaitu 2-10%, 4-11% dan 1-3%. Pada penelitian Adiwiganda dan Goenadi (2002) menyebutkan bahwa penggunaan pupuk hayati yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik 50-75% menghasilkan hasil panen yang sama dengan dosis aplikasi normal (100%) pupuk kimia standar. Kartika *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa penggunaan pupuk hayati mikoriza yang dikombinasikan dengan 75% pupuk anorganik dapat meningkatkan produksi bunga betina hingga 29,33%. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati dapat mereduksi penggunaan pupuk anorganik dengan mempertahankan produktivitas dan meningkatkan kesehatan tanah.

Selanjutnya, pada perlakuan interval aplikasi pupuk hayati juga tidak berbeda nyata antara perlakuan dengan aplikasi pupuk hayati 6 bulan sekali dan aplikasi pupuk hayati 12 bulan sekali pada taraf kepercayaan 95%. Hal ini dapat disebabkan oleh bakteri pada pupuk hayati merupakan bakteri yang diisolasi dari daerah perakaran tanaman kelapa sawit, sehingga bakteri tersebut memiliki kemampuan tumbuh dan beradaptasi yang baik. Pada penelitian Pandey *et al.* (2019) juga disebutkan bahwa mikroorganisme yang diisolasi dari rizosfer dapat mengkolonisasi dengan efektif pada areal perakaran tanaman. Oleh sebab itu, aplikasi pupuk hayati dapat dilakukan hanya sekali dalam setahun.

Perbandingan nilai ekonomi dari aplikasi pupuk hayati

Asumsi yang digunakan perhitungan analisis finansial aplikasi pupuk hayati adalah sebagai berikut :

- 1) Harga sarana produksi, upah tenaga kerja, dan harga *output* didasarkan pada harga yang berlaku.
- 2) Harga pupuk NPK: Rp 8.300,- per kg (berdasarkan harga rata-rata tahun 2019-2022)

- 3) Harga pupuk hayati B: Rp 4.500,- per kg
- 4) Harga pupuk Dolomit: Rp 1.000,- per kg
- 5) Harga TBS: Rp 2.000,- per kg
- 6) Biaya langsir pupuk: Rp 150,- per kg

Tabel 2 menunjukkan nilai ekonomi dari masing-masing perlakuan pada uji efikasi (demplot) Pupuk hayati di Kebun Dawas, Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Berdasarkan tabel tersebut, diperoleh data akumulasi keuntungan yaitu sebesar 22%-63% yang diperoleh dari efisiensi biaya pemupukan sebesar 9%-34% dan peningkatan pendapatan sebesar 9%-29%.

Hasil kajian ekonomi terhadap seluruh perlakuan memberikan gambaran bahwa biaya pemupukan dapat ditekan sekitar Rp 901.731,-/ha/tahun hingga Rp 3.355.138,-/ha/tahun melalui aplikasi pupuk hayati.

Lebih lanjut lagi, aplikasi pupuk hayati dapat meningkatkan produksi sehingga berimplikasi pada peningkatan pendapatan sekitar Rp 3.080.885,-/ha hingga Rp 10.001.709,-/ha.

Hasil kajian yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Adiwiganda *et al.* (2006) bahwa penggunaan biofertilizer pada perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu cara untuk menekan biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk kimia. Efisiensi biaya pemupukan yang diperoleh dari aplikasi pupuk hayati juga sangat tergantung pada dosis pupuk standar dan penerapan kultur teknis di kebun. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa teknologi pupuk hayati dapat digunakan dan dimanfaatkan pada perkebunan kelapa sawit untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, meningkatkan pertumbuhan, dan produktivitas tanaman kelapa sawit.

Tabel 2. Analisis finansial perlakuan kombinasi pupuk anorganik dan pupuk hayati yang dibandingkan dengan 100 pupuk anorganik

Table 2. Comparison of the financial analysis between combination treatments (inorganic fertilizer + biofertilizer) and 100% inorganic fertilizer

No	Item	Harga Satuan	100% anorganik	75% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	50% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	75% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	50% anorganik + Pupuk Hayati B 2x
1	NPK majemuk (7.5 kg/pohon/tahun)	8.300	62.250	46.688	31.125,0	46.688	31.125,0
2	Dolomit (2 kg/pohon/tahun)	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
3	Pupuk Hayati B (1-1,5 kg/pohon/tahun)	4.500	-	6.750	6.750	6.750	6.750
4	Biaya tenaga pemupukan NPK (2 HK/ha)	1.250	1250	1250	1250	1250	1250
5	Biaya tenaga pemupukan Dolomit (2 HK/ha)	1.250	1250	1250	1250	1250	1250
6	Biaya tenaga pemupukan Pupuk Hayati (2 HK/ha)	1.250	-	1250	1250	2500	2500
7	Biaya langsir pupuk NPK, Dolomit, Pupuk Hayati (per kg)	150	1.425	1.368,8	1.088	1.368,8	1.088
Total Biaya Pemupukan per Pohon (Rp)			68.175	60.556	44.713	61.806	45.963
Total Biaya Pemupukan per Ha (Rp)			9.749.025	8.659.544	6.393.888	8.838.294	6.572.638
Penghematan biaya pemupukan per Ha (Rp)			-	1.089.481	3.355.138	910.731	3.176.388
Penghematan biaya pemupukan (%)			-	11	34	9	33
Produktivitas (kg/ha)			29.661	31.458	32.985	31.456	29.614
Pencapaian produksi terhadap 100% pupuk anorganik (%)			-	106	111	106	100
Penerimaan produksi (Rp)			59.322.596	62.915.413	65.969.167	62.912.996	59.227.093
Pendapatan (Rp/ha)			34.950.033	39.632.332	44.951.742	39.451.164	38.030.918
Peningkatan Pendapatan (Rp)			-	4.682.299	10.001.709	4.501.131	3.080.885
Peningkatan Pendapatan (%)			-	13	29	13	9
Akumulasi benefit (%)			-	25	63	22	41

Hasil analisis sensitivitas pada Tabel 3 menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati masih layak di tengah kenaikan biaya tenaga kerja (TK) maupun penurunan harga TBS. Pada asumsi penurunan harga TBS hingga 20% dan 25%, aplikasi 100% pupuk organik memiliki nilai B/C <1, sementara aplikasi pupuk anorganik dan pupuk hayati masih memberikan *net benefit* yang ditunjukkan dengan nilai B/C >1. Hal ini dikarenakan penghematan biaya pupuk dan peningkatan produktivitas dari aplikasi pupuk hayati.

KESIMPULAN

Aplikasi pupuk hayati dapat meningkatkan efisiensi pemupukan melalui pengurangan dosis pupuk anorganik dengan tetap mempertahankan pertumbuhan tanaman dan bobot tandan. Pertumbuhan tanaman kelapa sawit dapat meningkat pada kisaran 8,5-17,2% (luas daun) dan 8,6-14,9% (berat kering pelepah) tidak berbeda nyata dibandingkan kontrol (100% anorganik). Produktivitas tanaman kelapa sawit pada perlakuan aplikasi pupuk

hayati meningkat pada kisaran 2-11%. Selain itu, aplikasi pupuk hayati dengan kandungan konsorsium bakteri dapat memberikan nilai ekonomi yang lebih pada budidaya kelapa sawit melalui efisiensi biaya pemupukan dan peningkatan pendapatan.

Pengamatan lanjutan sangat diperlukan untuk mengetahui konsistensi hasil dan dampak positif penggunaan pupuk hayati dalam jangka panjang sebagai upaya mendukung kelapa sawit berkelanjutan.

Tabel 3. Analisis sensitivitas perlakuan kombinasi pupuk anorganik dan pupuk hayati yang dibandingkan dengan 100% pupuk anorganik

Table 3. Comparison of the sensitivity analysis between combination treatments (inorganic fertilizer + biofertilizer) and 100% inorganic fertilizer

Kondisi	Simulasi	Penghematan biaya pemupukan (%)	Pendapatan (Rp/ha/tahun)	Peningkatan Pendapatan (Rp/ha/tahun)	Peningkatan Pendapatan (%)	B/C
Kondisi awal	100% anorganik	-	34.950.033	-	-	1,43
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	11	39.632.332	4.682.299	13	1,70
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	34	44.951.742	10.001.709	29	2,14
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	9	39.451.164	4.501.131	13	1,68
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	33	38.030.918	3.080.885	9	1,79
Biaya TK naik 20%	100% anorganik	-	34.771.283	-	-	1,42
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	11	39.417.832	4.646.549	13	1,68
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	34	44.737.242	9.965.959	29	2,11
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	9	39.200.914	4.429.631	13	1,65
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	32	37.780.668	3.009.385	9	1,76
Biaya TK naik 30%	100% anorganik	-	34.681.908	-	-	1,41
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	11	39.310.582	4.628.674	13	1,67
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	33	44.629.992	9.948.084	29	2,09
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	8	39.075.789	4.393.881	13	1,64
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	31	37.655.543	2.973.635	9	1,75
Harga TBS turun 20%	100% anorganik	-	23.085.514	-	-	0,95
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	11	27.049.249	3.963.735	17	1,16
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	34	31.757.909	8.672.395	38	1,51
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	9	26.868.565	3.783.051	16	1,15
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	33	26.185.500	3.099.986	13	1,24
Harga TBS turun 25%	100% anorganik	-	20.119.384	-	-	0,83
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	11	23.903.479	3.784.095	19	1,03
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 1x	34	28.459.451	8.340.066	41	1,35
	75% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	9	23.722.915	3.603.531	18	1,01
	50% anorganik + Pupuk Hayati B 2x	33	23.224.145	3.104.761	15	1,10

DAFTAR PUSTAKA

- Adiprasetyo, T., Purnomo, B., Handajningsih, M., Hidayat, H. 2014. The usage of BIOM3G-Biofertilizer to improve and support sustainability of land system of independent oil palm smallholders. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 4, 345–348.
- Adiwiganda, Y. T., & Goenadi, D. H. 2002. The use of EMA Bio Fertilizer for Oil Palm. *In International Oil Palm Conference. Nusa Dua. Bali.*
- Adiwiganda, Y. T., Nusantara, P. B. I., Tarigan, B., PT Perkebunan Nusantara IV, M., Purba, B., & PT Perkebunan Nusantara V, P. 2006. Effect of bio fertilizer on mature oil palm in North Sumatra and Riau. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 7(1), 2006: 20-26
- Alatas, A. 2015. Trend produksi dan ekspor minyak sawit (CPO) Indonesia. *Jurnal Agraris*, 1(2): 114-124.
- Barea, J. M. 2015. Future challenges and perspectives for applying microbial biotechnology in sustainable agriculture based on a better understanding of plant-microbiome interactions. *Journal of Soil*



- Science and Plant Nutrition*, 15(2), 261-282.
- Gaskell, J.C. 2015. The Role of Markets, Technology, and Policy in Generating Palm-Oil Demand in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 51(1), 29–45. doi:10.1080/00074918.2015.1016566.
- Hagi, Hadi Syaiful, dan Tety Ermi, 2012. Analisis Daya Saing Ekspor Minyak Sawit Indonesia dan Malaysia di Pasar Internasional. *Jurnal Pendidikan Ekonomi dan Bisnis (PEKBIS)*, 4(3), 180- 191.
- Hakeem, K. R., Bhat, R. A., & Qadri, H. (Eds.). (2020). *Bioremediation and Biotechnology*. pp 189-213. doi:10.1007/978-3-030-35691-0.
- Hermans, S. M., Buckley, H. L., Case, B. S., Curran-Cournane, F., Taylor, M., & Lear, G. 2017. Bacteria as emerging indicators of soil condition. *Applied and environmental microbiology*, 83(1), e02826-16.
- Hidayat, F., Sapalina, F., Pane, R.D.P. dan Winarna. 2022. Peluang dan tantangan pemanfaatan produk hayati di perkebunan kelapa sawit. *Warta PPKS*, 27(1): 1-8.
- Itelima, J. U., Bang, W. J., Onyimba, I. A., Sila, M. D., and Egbere, O. J. 2018. Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A Review. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 6(3), pp. 73-83. <https://doi.org/10.26765/DRJAFS.2018.4815>.
- Jaweria, R. and Qayum, P. 2020. Evaluation and Assessment of Azotobacter Rhizobium and Phosphate Solubilizing Bacteria with Potential Biofertilizer Production. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 4(6), 1605-1610.
- Kartika, E., M.D. Duaja and G. Gusniwat . 2022. Production of oil palm (*Elais guineensis* Jacq.) flower bunches in ultisol on application of biofertilizers and in organic fertilizers. *AGRIC*. 34 (2), 155-170.
- Kumar, A., Bahadur, I., Maurya, B.R., Raghuwanshi, R., Meena, V.S., Singh, D. K., and Dixit, J. 2015. Does a Plant Growth Promoting Rhizobacteria Enhance Agricultural Sustainability?. *Journal Of Pure and Applied Microbiology*, 9(1), p. 715-724.
- Kumar, S., Diksha, Satyavir S., Sindhu, Kumar, R. 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>.
- Moreau, D., Richard D. B., Roger D. F., David L. J., Philippot, L. 2019. A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. *Functional Ecology*, 33, pp 540–552. doi: 10.1111/1365-2435.13303.
- Nosheen, S. Ajmal, I. Song, Y. 2021. Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability* 13, 1868. <https://doi.org/10.3390/su13041868>.
- Pandey, D., Kehri, H. K., Zoomi, I., Akhtar, O., & Singh, A. K. (2019). Mycorrhizal fungi: Biodiversity, ecological significance, and industrial applications. *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi: Volume 1: Diversity and Enzymes Perspectives*, 181-199.
- Rashid, M.I., Mujawar, Hamid, L., Shahzad, Tanvir, Almeelbi, Talal, Ismail, Iqbal M.I., Oves, Mohammad. 2015. *Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. Microbiological Research*, S 0 9 4 4 5 0 1 3 1 5 3 0 0 2 8 8 – . doi:10.1016/j.micres.2015.11.007.
- Saraswati, R., Husen, E., & Simanungkalit, R. D. . (2007). *Soil Biological Analysis Methods*.
- Savci, S. 2012. An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*,

- 3(1), 73–80.
<https://doi.org/10.7763/ijesd.2012.v3.191>
- Situngkir, D.I. 2022. Daya saing minyak kelapa sawit Indonesia di pasar global. *Jurnal Agrotristek*, 1(1): 7-11.
- Xu, J., Kloepper, Joseph W. Huang, P., McInroy, J. A., Hu, C. H. 2018. Isolation and characterization of N -fixing bacteria from giant reed and switchgrass for plant growth promotion and nutrient uptake. *Journal of Basic Microbiology*, 1 - 13 .
doi:10.1002/jobm.201700535.
- Zainuddin, N., M.F. Kenni, Ibrahim, S.A.S. and Masri, M.M.M. 2022. Effect of integrated biofertilizers with chemical fertilizers on the oil palm growth and soil microbial diversity. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 39.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102233>
7

