

ANALISIS EFISIENSI BIAYA PEMUPUKAN KELAPA SAWIT: PERBANDINGAN METODE MANUAL DAN MEKANIS DI PT BUMI SAWIT KENCANA, KALIMANTAN TENGAH

Agus Riyanto¹, Jaka Santoso², Dindy Darmawati Putri³

¹ Magister Agribisnis, Pasca Sarjana, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

²Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Darwan Ali, Sampit

³Pasca Sarjana, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

Email: agus.riyanto.ckp@gmail.com

Abstrak

Pemupukan merupakan salah satu komponen biaya utama dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit dan berpengaruh terhadap kinerja produksi tanaman. Dalam praktiknya, pemupukan manual masih banyak diterapkan sehingga membutuhkan tenaga kerja besar dan biaya operasional yang tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi biaya pemupukan kelapa sawit melalui perbandingan metode pemupukan manual dan mekanis di PT Bumi Sawit Kencana, Kalimantan Tengah. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan analisis struktur biaya yang didukung oleh observasi lapangan, pengukuran waktu kerja, dan wawancara dengan operator serta pengawas pemupukan. Analisis difokuskan pada kebutuhan tenaga kerja, kapasitas kerja, kecepatan operasional, dan biaya pemupukan per hektare. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan mekanis mampu menurunkan kebutuhan tenaga kerja dan mempercepat penyelesaian pekerjaan sehingga berdampak pada penurunan biaya pemupukan. Temuan ini menegaskan bahwa mekanisasi pemupukan merupakan strategi manajerial yang efektif untuk meningkatkan efisiensi biaya dan produktivitas tenaga kerja pada perkebunan kelapa sawit berskala besar. Hasil ini dapat menjadi referensi praktis bagi manajemen dalam merancang kebijakan pemupukan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: Efisiensi Biaya, Manajemen Pemupukan, Mekanisasi, Produktivitas Tenaga Kerja, Perkebunan Kelapa Sawit

Abstract

Fertilization is a major cost component in oil palm plantation management and plays an important role in determining production performance. In many plantations, fertilization is still carried out manually, resulting in high labor dependency and increased operational costs. This study aims to analyze the cost efficiency of oil palm fertilization by comparing manual and mechanized application methods at PT Bumi Sawit Kencana, Central Kalimantan. A quantitative descriptive approach was applied using cost structure analysis supported by field observations, time measurements, and interviews with fertilization operators and supervisors. The analysis focused on labor requirements, work capacity, operational speed, and fertilization costs per hectare. The results show that mechanized fertilization reduces labor requirements and shortens work duration, leading to lower fertilization costs compared to manual methods. These findings indicate that fertilization mechanization is an effective managerial strategy to improve cost efficiency and labor productivity in large-scale oil palm plantations. The results also provide practical references for plantation management in formulating more efficient fertilization policies.

Keywords: cost efficiency, fertilization management, mechanization, labor productivity, oil palm plantation

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Sebagai produsen utama minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil* / CPO) dunia, Indonesia terus mengalami peningkatan luas areal dan volume produksi kelapa sawit. Data Badan Pusat Statistik (BPS, 2025) menunjukkan bahwa selama periode 2011–2021 produksi kelapa sawit nasional meningkat lebih dari 101 persen. Peningkatan produksi tersebut tidak hanya didorong oleh ekspansi lahan, tetapi juga oleh penerapan teknologi dan praktik budidaya yang lebih efisien. Ardana *et al.* (2017) menegaskan bahwa penggunaan teknologi dan input produksi yang tepat berperan penting dalam meningkatkan produktivitas kelapa sawit secara berkelanjutan.

Kontribusi produksi kelapa sawit tidak merata di seluruh wilayah Indonesia. Menurut BPS (2024), Provinsi Riau merupakan daerah dengan produksi CPO tertinggi pada tahun 2023, diikuti oleh Provinsi Kalimantan Tengah dengan produksi mencapai 8,47 juta ton. Hal ini menunjukkan bahwa Kalimantan Tengah merupakan salah satu pusat produksi strategis kelapa sawit nasional. Di wilayah ini, PT Bumi Sawit Kencana (BSK), sebagai bagian dari Wilmar Group, mengelola perkebunan kelapa sawit berskala besar dan dituntut untuk menjaga kinerja produksi melalui pengelolaan kebun yang efisien dan berorientasi pada pengendalian biaya.

Salah satu kegiatan pemeliharaan tanaman yang memiliki kontribusi besar terhadap biaya operasional perkebunan adalah pemupukan. Pemupukan berperan penting dalam menunjang pertumbuhan vegetatif, pembentukan buah, serta produktivitas tandan buah segar (TBS) (Prasetyo *et al.*, 2019). Pemupukan yang dilakukan secara tepat bertujuan memastikan tanaman memperoleh kecukupan hara untuk mencapai potensi produksi optimal (Monita, 2020). Namun, dalam praktiknya, kegiatan pemupukan sering kali menjadi beban biaya yang signifikan bagi perusahaan perkebunan.

Di PT BSK, pemupukan dilakukan melalui dua metode, yaitu metode manual dan metode mekanis. Pemupukan manual dilakukan dengan menaburkan pupuk secara langsung oleh tenaga kerja di lapangan. Metode ini relatif fleksibel dan dapat diterapkan pada berbagai kondisi lahan (Murphy *et al.*, 2021), namun memiliki beberapa keterbatasan, antara lain ketergantungan tinggi pada tenaga kerja, risiko kesalahan manusia dalam penentuan dosis dan sebaran pupuk, serta waktu penyelesaian pekerjaan yang relatif lebih lama. Misrianto (2017) menyatakan bahwa ketidakteragaman aplikasi pupuk pada metode manual dapat menyebabkan ketidakefisienan penggunaan input dan berdampak pada peningkatan biaya operasional.

Tingginya ketergantungan pada tenaga kerja menjadikan biaya pemupukan sebagai salah satu komponen terbesar dalam biaya pemeliharaan kebun. Johari *et al.* (2024) melaporkan bahwa pemupukan manual dapat menyerap hingga 60 persen dari total biaya pemeliharaan, dengan porsi terbesar dialokasikan untuk upah tenaga kerja. Kondisi ini semakin diperparah oleh meningkatnya upah minimum serta keterbatasan ketersediaan tenaga kerja di sektor perkebunan. Oleh karena itu, perusahaan perkebunan perlu mencari alternatif pengelolaan pemupukan yang mampu menekan biaya, meningkatkan produktivitas tenaga kerja, dan mempercepat penyelesaian pekerjaan.

Mekanisasi pemupukan menjadi salah satu pendekatan yang dinilai mampu menjawab tantangan tersebut. PT BSK telah mengadopsi pemupukan mekanis menggunakan Emdek

Fertilizer Spreader sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi operasional. Penggunaan alat mekanis ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja, meningkatkan kapasitas kerja, serta menghasilkan sebaran pupuk yang lebih seragam. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa mekanisasi pemupukan mampu meningkatkan produktivitas tenaga kerja dan mempercepat proses aplikasi pupuk dibandingkan metode manual (Shamsuri, 2018).

Selain peningkatan produktivitas, mekanisasi pemupukan juga berpotensi memberikan efisiensi biaya. APKASINDO (2020) melaporkan bahwa penerapan teknologi mekanis dapat menurunkan biaya pemupukan secara signifikan dibandingkan metode manual. Meskipun demikian, penerapan mekanisasi memerlukan investasi awal serta pengelolaan operasional yang baik agar manfaat ekonominya dapat tercapai secara optimal. Oleh karena itu, evaluasi empiris mengenai efisiensi biaya pemupukan mekanis menjadi penting sebagai dasar pengambilan keputusan manajerial.

Hingga saat ini, kajian empiris yang secara spesifik membandingkan efisiensi biaya antara metode pemupukan manual dan mekanis pada perkebunan kelapa sawit skala besar di Indonesia masih terbatas. Sebagian besar penelitian lebih menekankan aspek teknis alat, sementara analisis ekonomi dan implikasi manajerial dari penerapan mekanisasi belum banyak dikaji secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menitikberatkan pada efisiensi biaya dan produktivitas tenaga kerja sebagai dasar pengambilan keputusan manajerial.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi biaya pemupukan kelapa sawit melalui perbandingan metode pemupukan manual dan mekanis di PT Bumi Sawit Kencana, Kalimantan Tengah, serta mengevaluasi kelayakan ekonomi mekanisasi pemupukan sebagai strategi pengelolaan biaya yang lebih efisien di perkebunan kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada areal operasional PT Bumi Sawit Kencana (BSK) yang berlokasi di Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah. Perusahaan ini merupakan bagian dari Wilmar Group dan mengelola perkebunan kelapa sawit skala besar dengan karakteristik topografi, jarak tanam, dan pola pemeliharaan yang representatif untuk kajian mekanisasi pemupukan. Pemilihan lokasi dilakukan secara sengaja (*purposive*), dengan pertimbangan bahwa PT BSK menerapkan dua metode pemupukan manual dan mekanis menggunakan Emdek Fertilizer Spreader sehingga memungkinkan dilakukan perbandingan yang objektif terkait efisiensi biaya.

Kegiatan penelitian dilaksanakan selama periode Februari hingga Juli 2025, yang mencakup tahap pengumpulan data primer melalui observasi lapangan, pengukuran kapasitas kerja alat dan tenaga kerja, wawancara dengan operator dan pengawas pemupukan, serta dokumentasi biaya operasional. Rentang waktu tersebut dipilih agar proses pengambilan data mencerminkan kondisi operasional normal perusahaan dan memperoleh data yang stabil pada musim pemupukan utama.

2. Jenis Dan Sumber Data

Penelitian ini memanfaatkan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder, yang dikumpulkan untuk mendukung analisis efisiensi biaya pemupukan menggunakan

metode manual dan mekanis.

Data primer diperoleh melalui rangkaian kegiatan lapangan yang meliputi observasi langsung terhadap proses pemupukan, pengukuran waktu kerja, pencatatan kapasitas aplikasi pupuk oleh tenaga kerja dan oleh Emdek Fertilizer Spreader, serta wawancara terstruktur dengan operator, mandor, dan pengawas pemupukan. Informasi yang dikumpulkan mencakup jumlah tenaga kerja yang digunakan, volume pupuk yang diaplikasikan, jarak tempuh alat, konsumsi bahan bakar, serta biaya operasional lainnya yang relevan dengan kegiatan pemupukan. Data primer ini menjadi dasar utama dalam menghitung dan membandingkan efisiensi biaya antara metode manual dan mekanis.

Data sekunder diperoleh dari berbagai dokumen perusahaan, termasuk laporan kegiatan pemupukan, catatan biaya operasional, data historis pemeliharaan kebun, serta standar operasional prosedur (SOP) pemupukan yang diterapkan oleh PT Bumi Sawit Kencana. Selain dokumen internal, penelitian juga menggunakan literatur pendukung seperti buku, jurnal ilmiah, laporan penelitian terdahulu, dan statistik resmi yang berkaitan dengan produktivitas kelapa sawit, mekanisasi, serta efisiensi biaya dalam kegiatan perkebunan. Kombinasi data primer dan sekunder ini digunakan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kondisi lapangan dan mendukung analisis yang dilakukan dalam penelitian.

3. Teknik Sampling

Pemilihan sampel dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu teknik penentuan sampel secara sengaja berdasarkan pertimbangan tertentu yang berkaitan langsung dengan tujuan penelitian. Teknik ini dipilih karena penelitian membutuhkan responden dan unit analisis yang memiliki pengalaman serta keterlibatan langsung dalam kegiatan pemupukan, baik secara manual maupun mekanis menggunakan *Emdek Fertilizer Spreader*.

Sampel penelitian terdiri dari operator pemupukan manual, operator mekanisasi, serta pengawas lapangan (mandor dan kerani) yang memahami alur kerja, penggunaan alat, serta struktur biaya operasional pemupukan di PT Bumi Sawit Kencana. Selain tenaga kerja, sampel unit kerja pemupukan juga diperoleh melalui pengamatan langsung pada blok-blok areal yang menjadi lokasi pemupukan selama periode penelitian. Blok tersebut dipilih berdasarkan keseragaman kondisi topografi, umur tanaman, serta volume pupuk yang diaplikasikan sehingga memungkinkan perbandingan yang lebih objektif antara metode manual dan mekanis.

Dengan menggunakan teknik sampling ini, penelitian dapat menggali informasi yang relevan dan akurat dari sumber-sumber yang benar-benar memahami kegiatan operasional pemupukan. Pendekatan ini sekaligus memastikan bahwa data yang diperoleh representatif terhadap kondisi sebenarnya di lapangan.

4. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa metode yang disesuaikan dengan kebutuhan analisis efisiensi pemupukan manual dan mekanis di PT Bumi Sawit Kencana.

- a. Observasi Lapangan: Observasi langsung dilakukan pada saat kegiatan pemupukan berlangsung untuk mencatat jumlah tenaga kerja, pola kerja, kecepatan aplikasi, dan kondisi lapangan yang memengaruhi kinerja manual maupun mekanis.

- b. Pengukuran Waktu dan Kapasitas Kerja: Pengukuran waktu digunakan untuk mengetahui durasi kerja dan kapasitas aplikasi pupuk pada masing-masing metode, sehingga memungkinkan perhitungan efisiensi operasional.
- c. Wawancara Terstruktur: Wawancara dilakukan dengan operator manual, operator Emdek Fertilizer Spreader, serta mandor pemupukan untuk memperoleh informasi mengenai prosedur kerja, kendala operasional, dan persepsi terhadap efisiensi pemupukan.
- d. Dokumentasi Biaya: Data sekunder diperoleh dari laporan perusahaan terkait biaya tenaga kerja, bahan bakar, penggunaan pupuk, serta catatan operasional lainnya yang relevan dalam perhitungan efisiensi biaya.
- e. Studi Literatur: Literatur ilmiah dan statistik resmi digunakan sebagai pendukung analisis dan pembandingan dalam interpretasi hasil penelitian.

5. Metode Analisis

Analisis data dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel dan SPSS untuk memperoleh hasil perhitungan efisiensi biaya serta pemahaman terhadap karakteristik data operasional pemupukan. Terdapat tiga kelompok analisis yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu analisis biaya, analisis efisiensi, dan analisis statistik deskriptif.

a. Analisis Biaya (*Cost Analysis*)

Analisis biaya digunakan untuk menghitung total biaya pemupukan mekanis dan manual dalam satuan rupiah per hektare. Pada metode mekanis, komponen biaya yang dihitung meliputi biaya tenaga kerja, konsumsi bahan bakar, biaya perawatan alat, serta depresiasi alat.

Total biaya pemupukan mekanis dihitung dengan rumus:

$$TBPM = BTK + BB + BP + D \quad (1)$$

Keterangan:

TBPM = Total biaya pemupukan mekanis (Rp/ha)

BTK = Biaya tenaga kerja mekanis (Rp/ha)

BB = Biaya bahan bakar alat (Rp/ha)

BP = Biaya perawatan alat mekanis (Rp/ha)

D = Depresiasi alat (Rp/ha)

Untuk metode manual, komponen biaya yang dihitung lebih sederhana, yaitu:

$$BPM = BTK_m + BP_m \quad (2)$$

Keterangan:

BTK_m = Biaya tenaga kerja pemupukan manual (Rp/ha)

BP_m = Biaya peralatan manual (Rp/ha)

Selanjutnya, tingkat efisiensi biaya dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi Biaya (\%)} = \left(\frac{BPM - TBPM}{BPM} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Jika hasilnya positif, maka pemupukan mekanis dianggap lebih efisien dibandingkan pemupukan manual.

b. Analisis Efisiensi (Cost–Benefit Ratio / C–B Ratio)

Untuk melihat kelayakan ekonomi penggunaan alat mekanis, digunakan analisis *Cost–Benefit Ratio* (C–B Ratio), yang membandingkan manfaat ekonomi penggunaan *Emdek Fertilizer Spreader* dengan total biaya pemupukannya.

$$\text{C-B Ratio (unitless)} = \left(\frac{\text{Manfaat (Rp/ha)}}{\text{TBPM (Rp/ha)}} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

TBPM = Total biaya pemupukan mekanis

Interpretasi nilai:

>1 → penggunaan alat dinilai efisien secara ekonomi

=1 → berada pada titik impas

<1 → belum efisien secara ekonomi

Analisis ini membantu menentukan apakah mekanisasi layak diadopsi pada luasan tertentu.

c. Analisis Statistik Deskriptif

Analisis statistik deskriptif digunakan untuk memahami distribusi, variasi, dan kecenderungan data operasional pemupukan mekanis di PT Bumi Sawit Kencana. Variabel yang dianalisis meliputi: (1) Kapasitas kerja alat (ha/hari), (2) Biaya pemupukan per hektare, (3) Durasi waktu tidak beroperasi (*downtime*) alat, (4) Jumlah tenaga kerja, dan (5) Konsumsi bahan bakar.

Data diringkas menggunakan ukuran statistik: (1) mean, (2) standar deviasi, (3) minimum–maksimum, (4) frekuensi, dan (5) range. Visualisasi pendukung digunakan untuk memperjelas pola data, antara lain: (1) Boxplot untuk membandingkan biaya manual dan mekanis, dan (2) Scatter plot untuk melihat hubungan luas lahan vs keluaran (*output*) alat.

Selain analisis kuantitatif, dilakukan penelaahan terhadap lima faktor kritis yang memengaruhi efektivitas mekanisasi berdasarkan Ismail *et al.* (2024), yaitu: (1) Infrastruktur kebun, (2) Keterampilan operator, (3) Kualitas pupuk, (4) Waktu operasional alat, dan (5) Biaya pemeliharaan. Validasi hasil dilakukan melalui triangulasi data, yaitu menggabungkan: (1) temuan statistik, (2) wawancara operator, dan (3) catatan waktu tidak beroperasi (*downtime*) perusahaan.

Pendekatan analisis yang digunakan disesuaikan dengan karakteristik penelitian sosial ekonomi pertanian, dengan penekanan pada perbandingan biaya dan efisiensi sebagai dasar evaluasi ekonomi kegiatan pemupukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Responden

Responden dalam penelitian ini terdiri dari karyawan yang terlibat langsung dalam kegiatan pemupukan di PT Bumi Sawit Kencana, baik yang bekerja sebagai operator pemupukan manual maupun operator mekanis *Emdek Fertilizer Spreader*. Pengumpulan data mengenai karakteristik responden bertujuan untuk mengetahui profil dasar tenaga kerja yang berkontribusi dalam kegiatan pemupukan, sehingga dapat membantu memahami faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas dan efektivitas metode yang

digunakan. Karakteristik yang diamati mencakup usia, masa kerja, dan jabatan atau peran kerja. Informasi ini penting untuk dianalisis karena faktor pengalaman dan kompetensi operator sering kali berpengaruh pada kualitas hasil pemupukan, baik dalam metode manual maupun mekanis.

Tabel 1
 Karakteristik Responden Penelitian

Karakteristik	Kategori	Jumlah (Orang)	Persentase (%)
Usia	< 30 tahun	6	25.0
	30–40 tahun	12	50.0
	> 40 tahun	6	25.0
Masa Kerja	< 3 tahun	5	20.8
	3–7 tahun	11	45.8
	> 7 tahun	8	33.3
Jabatan/Peran	Operator Pemupukan Manual	10	41.7
	Operator Pemupukan Mekanis	8	33.3
	Mandor/Kerani Pemupukan	6	25.0
Total Responden		24	100

Sumber: Data Primer diolah, (2025)

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada rentang usia produktif 30–40 tahun (50%). Kelompok usia ini umumnya memiliki kemampuan fisik dan keterampilan teknis yang baik untuk melakukan kegiatan pemupukan yang membutuhkan ketelitian dan stamina kerja.

Dari segi masa kerja, responden dengan pengalaman 3–7 tahun merupakan kelompok terbesar (45,8%). Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar tenaga kerja telah memiliki pemahaman operasional yang cukup baik, baik dalam metode manual maupun mekanis.

Berdasarkan jabatan, operator pemupukan manual merupakan kelompok terbanyak (41,7%), disusul operator mekanis (33,3%) dan mandor/kerani pemupukan (25%). Komposisi ini mencerminkan struktur organisasi kegiatan pemupukan di lapangan, di mana tenaga manual masih digunakan secara luas meskipun perusahaan telah melakukan adopsi alat mekanis.

Secara keseluruhan, karakteristik responden dalam penelitian ini memberikan gambaran mengenai profil tenaga kerja yang terlibat langsung dalam kegiatan pemupukan di PT Bumi Sawit Kencana. Variasi usia, masa kerja, serta peran kerja responden menunjukkan adanya kombinasi pengalaman operasional yang beragam antara operator pemupukan manual, operator mekanis, dan pengawas lapangan. Informasi karakteristik ini digunakan untuk memberikan konteks deskriptif terhadap kondisi tenaga kerja yang menjadi objek penelitian, khususnya dalam memahami proses pelaksanaan pemupukan manual dan mekanis di lapangan. Oleh karena itu, data karakteristik responden dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk melakukan generalisasi terhadap seluruh populasi tenaga kerja perkebunan, melainkan untuk menggambarkan kondisi responden yang terlibat dalam kegiatan pemupukan pada lokasi penelitian. Mengingat responden dipilih menggunakan teknik purposive sampling, maka karakteristik yang disajikan pada bagian ini berfungsi sebagai deskripsi konteks penelitian dan tidak dimaksudkan untuk mewakili keseluruhan

populasi tenaga kerja perkebunan kelapa sawit.

2. Analisis Deskriptif Operasional Pemupukan

Analisis deskriptif operasional dilakukan untuk memberikan gambaran awal mengenai perbedaan karakteristik kerja antara metode pemupukan manual dan mekanis di PT Bumi Sawit Kencana. Informasi ini mencakup kapasitas kerja, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, durasi penyelesaian pekerjaan, serta biaya operasional dasar yang dikeluarkan pada masing-masing metode. Analisis ini penting dilakukan untuk mengetahui kondisi lapangan sebelum masuk pada perhitungan efisiensi biaya dan analisis kelayakan ekonomi. Perbedaan karakteristik ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2
Perbandingan Operasional Pemupukan Manual dan Mekanis

Indikator Operasional	Metode Manual	Metode Mekanis (Emdek Spreader)
Tenaga Kerja (orang/ha)	4–5 orang/ha	1–2 orang/ha
Kapasitas Kerja	± 0,40 ha/hari	± 0,90–1,20 ha/hari
Jumlah Karung/Hari	± 90–100 karung	± 140–160 karung
Durasi Pemupukan/Blok	1,5–2 hari/blok	0,5–1 hari/blok
Konsumsi Bahan Bakar	Tidak ada	± 2,5–3,0 liter/hari
Potensi Human Error	Tinggi (ketidaktepatan dosis/sebar)	Rendah (sebaran lebih seragam)
Konsistensi Aplikasi	Variatif antar pekerja	Stabil dan lebih seragam
Indikator Operasional	Metode Manual	Metode Mekanis (Emdek Spreader)

Sumber: Data Primer diolah, (2025)

Hasil deskriptif pada Tabel 2 menunjukkan adanya perbedaan operasional yang cukup signifikan antara kedua metode. Pada metode manual, kebutuhan tenaga kerja mencapai 4–5 orang per hektare, sedangkan pada metode mekanis angka ini jauh lebih rendah yakni hanya 1–2 orang. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisasi dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja hingga lebih dari 50%.

Dari segi kapasitas kerja, Emdek Fertilizer Spreader mampu menyelesaikan pemupukan antara 0,90 hingga 1,20 hektare per hari, lebih dari dua kali lipat kapasitas pemupukan manual yang rata-rata hanya sekitar 0,40 hektare per hari. Peningkatan kapasitas kerja ini berimplikasi pada percepatan penyelesaian pemupukan per blok, dari 1,5–2 hari pada metode manual menjadi hanya 0,5–1 hari pada metode mekanis.

Konsumsi bahan bakar pada metode mekanis merupakan komponen biaya tambahan yang tidak muncul pada metode manual. Meski demikian, beban biaya tersebut relatif kecil apabila dibandingkan dengan pengurangan tenaga kerja dan peningkatan produktivitas alat. Selain itu, pemupukan manual berpotensi menghasilkan ketidakseragaman sebaran pupuk karena dipengaruhi oleh perbedaan keterampilan pekerja. Sebaliknya, pemupukan mekanis mampu menghasilkan tingkat konsistensi yang lebih baik sehingga membantu meningkatkan efektifitas aplikasi pupuk.

3. Analisis Biaya Pemupukan Manual Dan Mekanis

Analisis biaya dilakukan untuk membandingkan total biaya pemupukan menggunakan metode manual dan mekanis (Emdek Fertilizer Spreader) dalam satuan rupiah per hektare. Perhitungan ini didasarkan pada struktur biaya aktual di PT Bumi Sawit Kencana, yang mencakup biaya tenaga kerja, bahan bakar, perawatan alat, serta depresiasi alat

untuk metode mekanis.

a. Biaya Pemupukan Mekanis

Biaya pemupukan mekanis dihitung dengan mengakumulasikan seluruh komponen biaya yang timbul selama pengoperasian *Emdek Fertilizer Spreader*, meliputi:

$$TBPM = BTK + BB + BP + D \quad (1)$$

Keterangan:

- BTK = Biaya tenaga kerja mekanis (Rp/ha)
- BB = Biaya bahan bakar alat (Rp/ha)
- BP = Biaya perawatan alat mekanis (Rp/ha)
- D = Depresiasi alat (Rp/ha)

Untuk memperoleh nilai biaya per hektar secara akurat, data diambil berdasarkan laporan operasional PT Bumi Sawit Kencana tahun 2025, dengan rincian per blok sebagai berikut:

Tabel 3
Biaya Pemupukan Mekanis, PT BSK (2025)

Blok	Dosis	Aplikasi Pupuk		TK	HM	Output (Ha/TK)	Costing Biaya (Rp)			
		(HA)	(Ton)				Biaya TK Aplikasi	Biaya Unit (Mesin)	Total Biaya	Biaya Per Ha
094	2,75	23,38	8,30	2	5	11,69	519.036	515.647	1.034.683	44.255
026	2,75	24,59	8,60	2	6	12,30	545.898	618.776	1.164.674	47.364
096	2,75	28,97	10,55	3	7	14,49	643.134	721.905	1.365.039	47.119
093	2,75	29,79	10,70	3	7	14,90	661.338	721.905	1.383.243	46.433
101	2,75	33,13	11,80	3	8	16,57	735.486	825.034	1.560.520	47.103
106	2,75	37,07	13,45	4	9	18,54	822.954	928.164	1.751.118	47.238
107	2,75	37,55	13,95	4	9	18,78	833.610	928.164	1.761.774	46.918
081	2,75	42,31	14,90	4	11	21,16	939.282	1.134.422	2.073.704	49.012
021	2,75	50,61	18,45	5	13	12,65	1.123.542	1.340.681	2.464.223	48.690
022	2,75	50,63	17,20	5	13	12,66	1.123.986	1.340.681	2.464.667	48.680
020	2,75	61,85	21,20	6	15	15,46	1.373.070	1.546.940	2.920.010	47.211
11 Blok		419,88	149,10	41	103	15,00	9.321.336	10.622.318	19.943.654	47.498

Sumber: Laporan operasional PT BSK, (2025)

Biaya pemupukan mekanis per hektar yang dihasilkan sebesar Rp 47.498/ha, berasal dari total biaya tenaga kerja dan biaya operasional mesin yang dijumlahkan pada keseluruhan blok. Produktivitas tenaga kerja mencapai 15 ha/TK, menunjukkan peningkatan efisiensi yang sangat signifikan dibanding metode manual (2,81 ha/TK). Data ini mengonfirmasi bahwa mekanisasi melalui penggunaan *Emdek Fertilizer Spreader* dapat memberikan penghematan biaya serta peningkatan keluaran (*output*) per satuan tenaga kerja.

b. Biaya Pemupukan Manual

Biaya pemupukan manual dihitung menggunakan struktur biaya yang lebih sederhana dibanding metode mekanis. Metode manual terutama mengandalkan tenaga kerja sebagai komponen biaya utama, sementara biaya perawatan alat relatif kecil karena hanya menggunakan peralatan sederhana seperti ember.

Perhitungan total biaya pemupukan manual adalah:

$$BPM = BTKm + BPm \quad (2)$$

BTKm = biaya tenaga kerja manual (Rp/ha)

BPm = biaya perawatan alat sederhana (Rp/ha).

Dalam praktiknya di PT Bumi Sawit Kencana, biaya perawatan alat manual sangat kecil dan telah terinkorporasi ke dalam biaya tenaga kerja harian. Oleh karena itu, nilai BPM pada operasional aktual ditentukan langsung berdasarkan biaya tenaga kerja aplikasi per hektar. Untuk menggambarkan biaya aktual di lapangan, rekap kegiatan pemupukan manual di 11 blok selama tahun 2025 disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4
Biaya Operasional Pemupukan Manual, PT BSK (2025)

Blok	Dosis	Aplikasi Pupuk		Tenaga Kerja (TK)	Output (Ha/Tenaga Kerja)	Costing Biaya (Rp)	
		(HA)	(Ton)			Biaya TK Aplikasi	Biaya Per Ha
046	2,75	23,33	8,00	8	2,92	1.262.153	54.100
035	2,75	24,89	9,05	9	2,77	1.346.549	54.100
038	2,75	28,32	9,95	10	2,83	1.532.112	54.100
099	2,75	29,54	10,70	11	2,69	1.598.114	54.100
039	2,75	33,93	11,85	12	2,83	1.835.613	54.100
028	2,75	36,97	13,90	13	2,84	2.000.077	54.100
029	2,75	37,56	13,65	13	2,89	2.031.996	54.100
019	2,75	41,48	14,35	15	2,77	2.244.068	54.100
075	2,75	50,77	18,45	18	2,82	2.746.657	54.100
024	2,75	50,80	17,20	18	2,82	2.748.280	54.100
036	2,75	61,75	21,20	22	2,81	3.340.675	54.100
11 Blok		419,34	148,30	149	2,81	22.686.294	54.100

Sumber: Laporan operasional PT BSK, 2025

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya pemupukan manual di PT BSK mencapai Rp 54.100/ha, dengan total biaya sebesar Rp 22.686.294 untuk 11 blok. Produktivitas tenaga kerja manual relatif rendah, yaitu hanya 2,81 ha per tenaga kerja, sehingga kebutuhan tenaga kerja cukup tinggi (149 pekerja). Kondisi ini menjadi salah satu faktor yang menjadikan biaya manual lebih mahal dibanding pemupukan mekanis.

Temuan ini menunjukkan bahwa mekanisasi pemupukan tidak hanya meningkatkan kapasitas kerja, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi melalui pengurangan biaya tenaga kerja dan percepatan penyelesaian pekerjaan.

c. Perbandingan Biaya Manual vs Mekanis

Perbandingan biaya dilakukan untuk menilai keunggulan ekonomis antara metode pemupukan manual dan mekanis menggunakan Emdek Fertilizer Spreader. Evaluasi dilakukan berdasarkan biaya operasional per hektare, total biaya dalam 11 blok, jumlah tenaga kerja yang diperlukan, serta produktivitas tenaga kerja pada masing-masing metode.

Pemupukan manual menunjukkan ketergantungan tinggi pada tenaga kerja dan memiliki produktivitas yang relatif rendah, sehingga biaya per hektare lebih besar. Sebaliknya, pemupukan mekanis mampu meningkatkan kapasitas kerja dan mengurangi kebutuhan tenaga kerja secara signifikan, sehingga menurunkan biaya aplikasi pupuk secara

keseluruhan. Perbandingan rinci disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 5
Perbandingan Biaya Pemupukan Manual dan Mekanis

Komponen	Manual	Mekanis	Keterangan
Jumlah Blok	11	11	Sama
Total Luas (ha)	419,34	419,88	Perbedaan kecil (<0,2%)
Total Pupuk (ton)	148,30	149,10	–
Tenaga Kerja (orang)	149	41	Mekanis mengurangi kebutuhan TK sebesar 72,5%
Hour Meter (HM)	–	103 jam	HM mesin
Output (ha/TK)	2,81 ha/TK	15,00 ha/TK	Mekanis +433% lebih produktif
Biaya TK (Rp)	22.686.294	9.321.336	Penurunan biaya TK sangat signifikan
Biaya Unit/Alat (Rp)	–	10.622.318	Termasuk BBM, sparepart, perawatan, depresiasi
Total Biaya Pemupukan (Rp)	22.686.294	19.943.654	Mekanis lebih murah Rp 2.742.640
Biaya per Ha (Rp/ha)	54.100	47.498	Mekanis lebih hemat Rp 6.602/ha
Efisiensi Biaya (%)	–	12,20% lebih hemat	Rumus $((54.100-47.498)/54.100 \times 100\%)$

Sumber: Perhitungan berdasarkan Tabel 3 & 4 Laporan Operasional PT BSK 2025

Hasil komparasi menunjukkan bahwa pemupukan mekanis dengan Emdek Fertilizer Spreader memberikan keunggulan biaya yang signifikan dibanding metode manual. Biaya pemupukan manual mencapai Rp 54.100/ha, sedangkan biaya mekanis hanya Rp 47.498/ha, menghasilkan penghematan sebesar Rp 6.602/ha atau 12,20%.

Selain efisiensi biaya, terdapat peningkatan produktivitas tenaga kerja yang sangat besar: pemupukan manual hanya mencapai 2,81 ha/TK, sedangkan mekanis mampu mencapai 15 ha/TK, atau meningkat lebih dari empat kali lipat (+433%). Hal ini membuktikan bahwa mekanisasi mampu mengurangi beban kerja, mempercepat proses aplikasi, dan menurunkan biaya secara konsisten.

Pengurangan tenaga kerja dari 149 orang menjadi 41 orang (pengurangan 72,5%) juga berkontribusi pada efisiensi biaya. Dengan meningkatnya kapasitas alat dan berkurangnya kebutuhan tenaga kerja, mekanisasi menjadi pilihan yang lebih ekonomis terutama pada luasan areal yang besar.

Secara keseluruhan, metode mekanis lebih unggul dalam hal: (a) Efisiensi biaya operasional, (b) Kapasitas kerja dan kecepatan aplikasi, (c) Stabilitas biaya dan konsistensi dosis aplikasi, dan (d) Pengurangan beban tenaga kerja dan risiko kesalahan manual. Temuan ini menunjukkan bahwa mekanisasi pemupukan tidak hanya meningkatkan kapasitas kerja, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi melalui pengurangan biaya tenaga kerja dan percepatan penyelesaian pekerjaan.

4. Analisis Efisiensi Biaya

Analisis efisiensi biaya dilakukan untuk menilai seberapa besar penghematan yang diperoleh melalui penggunaan Emdek Fertilizer Spreader dibandingkan metode pemupukan manual. Pendekatan ini menggunakan selisih biaya per hektare pada kedua metode untuk menghitung persentase efisiensi yang dicapai.

Efisiensi biaya dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi Biaya (\%)} = \left(\frac{BPM - TBPM}{BPM} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

BPM = Biaya Pemupukan Manual (Rp/ha)

TBPM = Total Biaya Pemupukan Mekanis (Rp/ha)

Berdasarkan hasil perhitungan biaya yang diperoleh dari operasional pemupukan di PT Bumi Sawit Kencana:

Biaya manual (BPM) = Rp 54.100/ha

Biaya mekanis (TBPM) = Rp 47.498/ha

Maka efisiensi biaya dihitung sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \left(\frac{54.100 - 47.498}{54.100} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = \left(\frac{6.602}{54.100} \right) \times 100\% = 12.20\%$$

Dengan demikian, penggunaan Emdek Fertilizer Spreader menghasilkan efisiensi biaya sebesar 12,20% per hektar dibandingkan metode manual.

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode pemupukan mekanis tidak hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga meningkatkan efektivitas penggunaan tenaga kerja. Penghematan sebesar 12,20% per hektar merupakan nilai yang signifikan, mengingat kegiatan pemupukan merupakan salah satu komponen biaya perawatan terbesar dalam budidaya kelapa sawit.

Beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap efisiensi biaya tersebut antara lain:

- 1) Pengurangan kebutuhan tenaga kerja
Metode manual memerlukan 149 pekerja, sedangkan mekanis hanya membutuhkan 41 pekerja. Penurunan kebutuhan tenaga kerja sebesar 72,5% memberikan dampak langsung terhadap penurunan biaya upah harian.
- 2) Produktivitas tenaga kerja lebih tinggi
Produktivitas meningkat dari 2,81 ha/TK (manual) menjadi 15 ha/TK (mekanis) atau meningkat lebih dari empat kali lipat. Peningkatan ini membuat biaya tenaga kerja per hektar menjadi jauh lebih rendah pada metode mekanis.
- 3) Konsistensi dan ketepatan aplikasi
Distribusi pupuk menggunakan mesin lebih seragam dan presisi, sehingga waktu aplikasi lebih singkat dan kebutuhan tenaga kerja berkurang.
- 4) Penggunaan alat yang efisien
Walaupun mekanis memiliki biaya tambahan berupa BBM, perawatan, dan depresiasi, penghematan biaya tenaga kerja serta percepatan waktu kerja tetap menjadikan total biaya mekanis lebih rendah.

5. Analisis Cost-Benefit Ratio (C-B Ratio)

Analisis Cost-Benefit Ratio (C-B Ratio) digunakan untuk menilai kelayakan ekonomi penggunaan Emdek Fertilizer Spreader dibandingkan pemupukan manual. Pendekatan ini tidak hanya melihat besarnya penghematan biaya, tetapi juga menilai apakah manfaat ekonomi yang diperoleh sebanding dengan biaya yang dikeluarkan untuk menjalankan sistem mekanis.

Dalam penelitian ini, C-B Ratio dirumuskan sebagai:

$$\text{C-B ratio} = \left(\frac{\text{Manfaat (Rp/Ha)}}{\text{TBPM (Rp/Ha)}} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

- 1) Manfaat (Rp/ha) = nilai ekonomi yang diperoleh dari penerapan pemupukan mekanis. Dalam konteks penelitian ini, manfaat didefinisikan sebagai biaya pemupukan manual per hektar yang dapat dihindari bila perusahaan beralih ke metode mekanis.
- 2) TBPM (Rp/ha) = total biaya pemupukan mekanis per hektar.

Kaidah interpretasi:

C–B Ratio > 1 → penggunaan alat menguntungkan / efisien secara ekonomi

C–B Ratio = 1 → berada pada titik impas

C–B Ratio < 1 → penggunaan alat tidak efisien (biaya lebih besar daripada manfaat)

Berdasarkan hasil perhitungan biaya:

Biaya pemupukan manual (BPM) = Rp 54.100/ha

Biaya pemupukan mekanis (TBPM) = Rp 47.498/ha

Dalam penelitian ini:

Manfaat=BPM=54.100 (Rp/ha)

Sehingga:

$$C-B \text{ ratio} = \left(\frac{54.100}{47.498} \right)$$

C-B Ratio \approx 1,14

Artinya, setiap Rp 1,00 biaya yang dikeluarkan untuk pemupukan mekanis memberikan manfaat setara Rp 1,14 dibandingkan bila pemupukan tetap dilakukan secara manual.

Nilai C–B Ratio sebesar $\pm 1,14$ (>1) menunjukkan bahwa penerapan Emdek Fertilizer Spreader layak secara ekonomi dan memberikan keuntungan finansial bagi perusahaan. Penggunaan alat ini tidak hanya menurunkan biaya pemupukan per hektar, tetapi juga menghasilkan surplus manfaat sebesar sekitar 14% dibandingkan biaya yang dikeluarkan untuk operasional pemupukan mekanis. Selain itu, mekanisasi mampu menurunkan ketergantungan terhadap tenaga kerja sehingga berpotensi mengurangi risiko peningkatan biaya tenaga kerja di masa mendatang. Penggunaan alat mekanis juga meningkatkan produktivitas kegiatan pemupukan yang tercermin dari meningkatnya kapasitas kerja serta lebih singkatnya waktu penyelesaian pekerjaan pada setiap blok. Dengan demikian, dari perspektif analisis biaya–manfaat, penerapan mekanisasi pemupukan menggunakan Emdek Fertilizer Spreader menunjukkan potensi sebagai alternatif pengelolaan pemupukan yang lebih efisien dalam kegiatan operasional perkebunan kelapa sawit di PT Bumi Sawit Kencana, khususnya pada areal dengan luasan kebun yang relatif besar. Selain memberikan efisiensi biaya, mekanisasi juga mendukung peningkatan konsistensi dan ketepatan aplikasi pupuk di lapangan sehingga berpotensi meningkatkan efektivitas pemupukan. Dalam jangka panjang, penerapan teknologi mekanisasi ini dapat menjadi bagian dari strategi peningkatan efisiensi operasional dan penguatan manajemen pemeliharaan tanaman pada perkebunan kelapa sawit modern. Temuan ini sekaligus memberikan dasar empiris bagi perusahaan dalam mempertimbangkan pengembangan sistem mekanisasi pemupukan yang lebih luas pada kegiatan operasional kebun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di PT Bumi Sawit Kencana, dapat disimpulkan bahwa pemupukan mekanis menggunakan Emdek Fertilizer Spreader lebih efisien dibandingkan metode manual, baik dari sisi biaya operasional maupun produktivitas tenaga kerja, yang tercermin dari biaya yang lebih rendah, peningkatan produktivitas yang signifikan, serta pengurangan kebutuhan tenaga kerja, dan diperkuat oleh nilai Cost-Benefit Ratio yang lebih besar dari satu sehingga menunjukkan kelayakan ekonomi. Selain memberikan penghematan biaya, mekanisasi juga meningkatkan ketepatan aplikasi, kecepatan kerja, dan konsistensi penyebaran pupuk, yang pada akhirnya mendukung efisiensi operasional perkebunan. Oleh karena itu, perusahaan disarankan untuk memperluas penerapan alat tersebut pada blok-blok yang sesuai, disertai penguatan pelatihan operator dan perawatan alat secara rutin guna menjaga kinerja dan umur pakai mesin, serta melakukan evaluasi investasi jangka panjang melalui analisis finansial lanjutan seperti NPV atau IRR. Di sisi lain, penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan faktor teknis dan eksternal, seperti kondisi topografi, jenis pupuk, keausan mesin, dan variasi cuaca, agar diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas mekanisasi pemupukan dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pimpinan PT Bumi Sawit Kencana beserta seluruh jajaran manajemen yang telah memberikan izin, dukungan, dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan atas keterbukaan informasi, bantuan teknis, serta kerja sama yang baik sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan lancar dan menghasilkan temuan yang bermanfaat bagi pengembangan pengelolaan operasional perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, I., & Kariyasa, K. (2017). Pengaruh inovasi teknologi dan penggunaan input terhadap produktivitas kelapa sawit di Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 22(3), 125–134.
- Arifin, B. (2023). Efisiensi biaya dalam agribisnis: Teori dan aplikasi. *AgroMedia*.
- Bakker, S., Arinze, P. O., & Liu, Y. (2021). Economic efficiency of mechanized fertilization systems in oil palm plantations. *Journal of Agricultural Engineering*, 8(4), 238–247.
- Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik perkebunan kelapa sawit Indonesia 2022. BPS.
- Darmawan, A., Siregar, H., & Putra, E. (2021). Dampak mekanisasi pemupukan terhadap produktivitas tenaga kerja di perkebunan kelapa sawit. *Agritech*, 40(1), 33–42.
- Dehghanian, P., Vossoughi, M., & Aliabadi, M. (2020). Economic benefits of mechanized fertilization in large-scale oil palm plantations. *Field Crops Research*, 248, 107667.
- Ismail, A., Osman, L. H., & Zakaria, K. (2024). Economic evaluation of mechanization in oil palm plantations: A cost-benefit analysis. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 59(3), 26–40.

- Johari, A., Rahman, K., & Ismail, M. (2024). Cost structure analysis of manual fertilization in oil palm plantations. *Journal of Oil Palm Research*, 36(1), 78–95.
- Liu, Y., Yang, J., & Wang, Y. (2021). Productivity improvement through mechanization: Evidence from fertilizer application in oil palm plantations. *Agricultural Systems*, 190, 103099.
- Misrianto, F., Susilawati, W., & Fikriman, F. (2017). Efisiensi aplikasi pupuk pada perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Agri Sains*, 1(1), 45–56.
- Monita, C. F., & Zebua, D. D. N. (2020). Faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas kelapa sawit. *Jurnal Sumberdaya Pertanian*, 27, 63–72.
- Mulyadi. (2016). Akuntansi biaya. Salemba Empat.
- Murphy, D. J., Shabani, J., & Nadarajah, R. (2021). Oil palm in the 2020s and beyond: Challenges and solutions. *CAB Reviews*, 16(12), 1–15.
- Prasetyo, A., et al. (2019). Performance of oil palm during dry season: Effect of fertilization on vegetative growth. *Journal of Oil Palm Research*, 31(1), 60–66.
- Ramli, N., Abdullah, R., & Ismail, S. (2019). Cost analysis of mechanized versus manual fertilization in oil palm plantations. *Journal of Oil Palm Research*, 31(2), 346–358.
- Ribeiro, M. S., Santos, J. M., & Lima, T. M. (2019). Agricultural mechanization as a tool to optimize production in oil palm plantations. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 23.
- Rochmiyati, S., Gultom, F. D., & Lubis, A. (2018). Efisiensi pemupukan manual dan mekanis pada perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Riset Akuntansi dan Bisnis*, 12(1), 45–60.
- Roundtable on Sustainable Palm Oil. (2022). Guidelines for infrastructure development in oil palm plantations. RSPO.
- Shamsuri, I. H. (2018). Comparison between mechanical and manual fertilization in oil palm plantations. *Journal of Oil Palm Research*, 30(2), 45–58.
- Sharma, R., Gill, A. S., & Ahuja, A. (2021). Mechanization and economic efficiency in agricultural fertilization systems. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 23(4), 56–68.
- Simons, R., Pinto, L., & Chaves, R. (2020). Mechanized fertilizer application in tropical agriculture. *Journal of Agronomy*, 12(4), 340–353.
- Siregar, T. H. (2020). Mekanisasi pertanian: Teori dan aplikasi. AgroMedia Pustaka.
- Susanto, A., Wijaya, B., & Siregar, T. H. (2022). Infrastructure optimization for mechanized operations in oil palm plantations. *Journal of Oil Palm Research*, 34(2), 45–60.
- Wibowo, A., et al. (2022). Performance evaluation of mechanical fertilizer spreaders in oil palm plantations. *Journal of Oil Palm Research*, 34(1), 55–70.