

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan tanaman industri tropis yang menghasilkan buah penghasil minyak, baik minyak inti (*kernel oil*) maupun minyak daging buah (*crude palm oil*), yang memiliki peran strategis dalam perekonomian negara-negara tropis, khususnya Indonesia dan Malaysia. Tanaman ini dibudidayakan dalam skala luas karena tingkat produktivitasnya per satuan luas relatif lebih tinggi dibandingkan tanaman penghasil minyak nabati lainnya; selain itu, kelapa sawit juga menjadi sumber mata pencaharian bagi jutaan petani serta tenaga kerja pada sektor industri hilir. Namun demikian, keberlanjutan produksinya sangat bergantung pada penerapan praktik pengelolaan lahan yang tepat, kecukupan input nutrisi, serta penanganan limbah pabrik yang terkelola dengan baik (Nabila *et al.*, 2023).

Manfaat kelapa sawit tidak hanya terbatas pada produksi minyak untuk kebutuhan pangan dan non-pangan, seperti bioenergi, bahan baku industri kimia, dan kosmetik, tetapi juga mencakup aspek sosial-ekonomi, antara lain penciptaan lapangan kerja, peningkatan pendapatan daerah, serta penyediaan bahan baku bagi industri hilir. Dari sisi lingkungan dan agronomi, kelapa sawit yang dikelola secara berkelanjutan mampu menyediakan biomassa dalam jumlah besar yang berpotensi untuk didaur ulang menjadi bahan organik atau sumber energi; kondisi ini sekaligus menjadi peluang dan tantangan mengingat volume limbah yang dihasilkan juga sangat besar (Nabila *et al.*, 2023).

Industri kelapa sawit menghasilkan dua kelompok limbah utama, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat meliputi tandan kosong (*empty fruit bunches*, EFB/TKKS), serat, cangkang inti, pelepah, serta batang, sedangkan limbah cair berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Limbah padat umumnya bersifat berserat dan kaya akan bahan organik, sementara POME merupakan suspensi berwarna cokelat yang mengandung bahan organik terlarut, unsur hara seperti N, P, K, Ca, dan Mg, serta padatan tersuspensi. Apabila tidak dikelola secara tepat, kedua jenis limbah tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan, antara lain pencemaran air, peningkatan emisi gas rumah kaca, serta degradasi kualitas tanah (simatupang *et al.*, 2023).

Meskipun memiliki potensi ekonomi yang besar, produktivitas kebun kelapa sawit kerap mengalami penurunan seiring waktu. Fenomena ini dipengaruhi oleh kombinasi berbagai faktor, antara lain penurunan kesuburan tanah akibat deplesi unsur hara esensial seperti K dan N, perubahan sifat fisik tanah berupa perkerasan dan penurunan kapasitas menahan air, kelelahan lahan, serangan hama dan penyakit, praktik pemupukan yang kurang tepat, serta tekanan iklim seperti variabilitas curah hujan dan kejadian El Niño maupun La Niña. Selain itu, keterbatasan tata kelola dan penerapan teknologi budidaya yang

belum optimal, khususnya pada perkebunan rakyat, turut mempercepat laju penurunan produktivitas (Swaray et al., 2025; Wulandari et al., 2025).

Salah satu pendekatan solusi yang semakin banyak mendapat perhatian adalah pemanfaatan limbah padat dan cair kelapa sawit sebagai input agronomis untuk memperbaiki kondisi tanah dan menambah ketersediaan nutrisi, yang sekaligus berkontribusi dalam mengurangi beban pencemaran lingkungan. Limbah padat seperti TKKS/EFB dapat diolah menjadi kompos atau dimanfaatkan sebagai mulsa, maupun diproses melalui perlakuan termokimia menjadi biochar. Sementara itu, POME yang telah melalui proses pengolahan atau stabilisasi dapat dimanfaatkan sebagai sumber hara organik serta agen peningkat kelembapan tanah. Pendekatan sirkular ini berupaya mengubah permasalahan limbah menjadi sumber nilai tambah yang mendukung peningkatan produktivitas tanaman apabila diaplikasikan secara tepat (Lau et al., 2024).

Biochar TKKS merupakan produk hasil pirolisis atau perlakuan termal tidak sempurna dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS/EFB) yang menghasilkan arang biomassa stabil dengan struktur berpori. Biochar memiliki sifat relatif stabil karena kandungan karbonnya yang tahan lama, serta berfungsi meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), kemampuan tanah dalam menyimpan air, perbaikan porositas dan struktur tanah, serta menyediakan habitat bagi mikroorganisme tanah yang menguntungkan. Karakteristik biochar sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan kondisi pirolisis, seperti suhu dan lama proses, sehingga biochar yang berasal dari TKKS banyak dikaji potensinya sebagai bahan pembenah tanah yang sesuai untuk kebun kelapa sawit (Maulana et al., 2025).

Berbagai hasil penelitian dan uji lapang menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang berasal dari limbah kelapa sawit mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah serta mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman, meskipun tingkat responsnya bervariasi tergantung kondisi awal tanah dan dosis aplikasi. Studi terbaru di Indonesia melaporkan adanya respons positif pada kebun rakyat setelah aplikasi biochar TKKS (Utami et al., 2025).

POME (*Palm Oil Mill Effluent*) merupakan limbah cair yang kaya bahan organik dan unsur hara. Setelah melalui proses pengolahan yang tepat, POME dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair. Namun demikian, pemanfaatannya harus dilakukan secara terkontrol untuk menghindari dampak negatif terhadap lingkungan dan tanaman (Imam et al., 2025).

Kombinasi aplikasi biochar TKKS dan POME berpotensi memberikan efek sinergis dalam meningkatkan efisiensi pemupukan, memperbaiki kualitas tanah, serta mendukung keberlanjutan produksi kelapa sawit. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengkaji dosis dan waktu aplikasi yang optimal agar diperoleh rekomendasi pengelolaan yang aplikatif dan berkelanjutan (Sihombing & Haris, 2025).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana interaksi dosis biochar TKKS dan interval pengaplikasian limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) terhadap peningkatan produktivitas tanaman kelapa sawit dewasa?
2. Bagaimana pengaruh pengaplikasian dosis biochar TKKS terhadap terhadap peningkatan produktivitas tanaman kelapa sawit dewasa?
3. Bagaimana pengaruh interval pengaplikasian limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) terhadap terhadap peningkatan produktivitas tanaman kelapa sawit dewasa?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui interaksi dosis biochar TKKS dan interval pengaplikasian limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit dewasa.
2. Untuk mengetahui pengaruh dosis biochar TKKS terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit dewasa.
3. Untuk mengetahui pengaruh pengaruh interval pengaplikasian limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit dewasa.

1.4 Hipotesis

1. Terdapat interaksi antara pemberian biochar tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan fermentasi limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) dalam meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit.
2. Terdapat salah satu dosis biochar tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang memberikan pengaruh terbaik dalam meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit.
3. Terdapat salah satu interval pemberian LCPKS yang memberikan pengaruh terbaik dalam meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan waktu

Penelitian ini dilaksanakan di kebun kelapa sawit PKS Burau PT Perkebunan Nusantara IV (Persero) Afdeling Burau di desa Lagego, Kecamatan Burau, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan pada titik koordinat -2,616722 LS ; 120,653611 BT, suhu udara rata-rata tahunan sekitar 27–28 °C, kelembapan relatif 80–82 %, dan curah hujan sekitar 2.800–2.900 mm per tahun. Penelitian ini dilaksanakan Desember 2024 hingga Juli 2025.

2.2 Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pencacah, parang, dodos, cangkul, lingis, drum, ember, plang perlakuan, bimetal thermometer, pH meter, hygrometer, timbangan duduk, timbangan analitik, gelas ukur, saringan, alat tulis, kaca preparat, selotip bening, gunting, meteran, kamera, mikroskop dan CCM 200+.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman sawit umur 7 tahun varietas Tenera, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS, bakteri *actinomyces* , molases, enzim, mikrobat, kuteks bening dan gula aren.

2.3 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam bentuk percobaan faktorial 2 faktor yang disusun dalam rancangan acak kelompok (RAK) sebagai rancangan lingkungannya. Faktor pertama adalah dosis biochar tandan kosong kelapa sawit TKKS (B) yang terdiri dari 4 taraf yaitu ;

b0 = kontrol (0 kg/pohon),

b1 = 15 kg/pohon,

b2 = 30 kg/pohon,

b3 = 45 kg/pohon.

Faktor kedua adalah interval pengaplikasian limbah cair pabrik kelapa sawit LCPKS (L) yang terdiri dari 3 taraf yaitu ;

I0 = tanpa pengaplikasian limbah cair (Kontrol),

I1 = 2 bulan sekali

I2 = 4 bulan sekali

Berdasarkan kedua faktor tersebut diperoleh 12 kombinasi perlakuan, dan tiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Setiap unit percobaan terdiri atas 2 pohon tanaman menghasilkan (TM Muda) sehingga digunakan sebanyak 72 pohon unit percobaan.

2.4 Pelaksanaan penelitian

2.4.1 Pembuatan biochar

1. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dicacah menjadi ukuran lebih kecil, kemudian dikeringkan menggunakan sinar matahari langsung hingga kadar air bahan mencapai kisaran 6–10%.
2. Proses pirolisis dilakukan menggunakan alat pirolisis sederhana yang terbuat dari drum bekas. Drum dimodifikasi dengan pembuatan lubang sirkulasi udara pada bagian bawah, tengah, dan atas untuk menunjang proses pembakaran.
3. TKKS dimasukkan secara bertahap ke dalam drum yang telah dinyalakan. Setelah nyala api stabil, bahan baku terus ditambahkan secara perlahan. Proses pembakaran berlangsung pada suhu 300–400 °C selama $\pm 3,5$ jam. Suhu pembakaran dipantau menggunakan termometer bimetal yang dipasang pada bagian tengah alat pirolisis.
4. Biochar yang telah terbentuk dikeluarkan dari alat pirolisis dan segera didinginkan dengan penyemprotan air guna mencegah oksidasi lanjutan yang dapat menyebabkan biochar berubah menjadi abu.
5. Biochar TKKS selanjutnya diperkaya dengan penambahan bakteri *Actinomycetes* pada konsentrasi 10^{-8} CFU/ml sebagai upaya peningkatan kualitas biochar.



Gambar 1. Alat pirolisis sederhana

2.4.2 Pembuatan fermentasi Limbah cair

1. Limbah cair kelapa sawit dimasukkan ke dalam wadah penampung dengan kapasitas total 500 L.
2. Volume limbah cair yang digunakan dalam proses fermentasi sebanyak 425 L.
3. Enzim sebanyak 5% (25 L) dan molase 10% (50 L) dimasukkan ke dalam wadah penampung, kemudian campuran difermentasi selama 1 bulan.

2.4.3 Pembuatan piringan aplikasi Biochar TKKS

Pembuatan piringan dilakukan dengan menggunakan cangkul dan linggis. piringan dibuat dengan jarak 1 meter dari batang pohon dengan kedalaman 30 cm.

2.4.4 Pengaplikasian biochar TKKS dan Hasil Fermentasi Limbah Cair Kelapa Sawit

Aplikasi perlakuan dilakukan pada area piringan tanaman kelapa sawit yang disiapkan pada jarak 1 m dari batang dengan kedalaman 30 cm. Biochar TKKS diaplikasikan satu kali pada awal penelitian dengan cara ditebarkan secara merata pada area piringan sesuai dengan dosis perlakuan. LCPKS diaplikasikan secara berkala dengan volume 10 L per pohon pada setiap aplikasi. Perlakuan I1 diberikan sebanyak tiga kali dengan interval dua bulan sehingga menghasilkan volume kumulatif 30 L per pohon, sedangkan perlakuan I2 diberikan sebanyak dua kali dengan interval empat bulan dengan total volume 20 L per pohon.

2.5 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman kelapa sawit merupakan salah satu hal penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal, pemeliharaan yang dilakukan yaitu membersihkan gulma di sekitar tanaman pada area piringan (lingkaran di bawah tajuk) secara manual, serta pemangkasan daun tua dan yang tidak produktif untuk memudahkan panen dan memperbaiki aerasi. Pengaplikasian pupuk dolomit dilakukan ketika intensitas hujan cukup tinggi.

2.6 Parameter Penelitian

1. Berat tandan (kg)
Berat tandan diperoleh dengan menimbang seluruh tandan buah segar (TBS) yang dipanen dari setiap tanaman sampel. Penimbangan dilakukan menggunakan timbangan lapangan dengan satuan kilogram, diamati setiap bulan
2. Jumlah tandan buah segar (TBS)
Jumlah tandan buah segar ditentukan dengan menghitung seluruh tandan yang ada pada pohon sampel, diamati setiap bulan.
3. Rata-rata jumlah tandan dipanen
Rata-rata jumlah tandan dipanen per bulan dihitung berdasarkan total jumlah TBS yang dipanen dari setiap tanaman sampel, diamati setiap bulan.
4. Rata-rata jumlah tunas terbentuk
Dihitung jumlah tunas yang terbentuk dibagian tengah dan seperti tombak, lurus dan runcing. Daunnya masih terlipat dan belum terbuka sempurna, diamati 4 minggu sekali.

5. Klorofil

Pengamatan komponen klorofil daun diamati menggunakan Content Chlorofil Meter (CCM 200+) daun yang diambil adalah daun pada pelepah ke 17. Pengamatan dilakukan pada akhir penelitian terhadap kandungan klorofil a, klorofil b dan total klorofil daun, dengan menggunakan rumus : Kandungan klorofil daun = $a + b(CCI)c$, dimana a, b, dan c adalah konstanta dan CCI adalah data indeks klorofil daun yang terbaca pada CCM 200+ dimana:

Tabel 1. Rumus dan Kostanta Kadar Klorofil

Parameter	Kostanta		
	A	b	C
Chl a	- 421.35	375.02	0.1863
Chl b	38.23	4.03	0.88
Chl total	- 283.2	269.96	0.277

Sumber: Goncalves, 2008 dalam Nasaruddin, 2022.

6. Stomata

Pengamatan komponen stomata daun yaitu kerapatan stomata dan luas bukaan stomata dilakukan dengan metode kuteks. Pengambilan sampel stomata dilakukan pada pagi hari sekitar pukul 08.00 - 10.00 WITA. Daun yang diukur yaitu daun pelepah ke 17 (bagian bawah daun). Pengamatan dilakukan pada akhir penelitian.

Kerapatan stomata (stomata/mm^2) dan luas bukaan stomata (μm^2) dihitung dengan menggunakan rumus kerapatan stomata (Nasaruddin, 2022).

a. Kerapatan stomata = $\frac{\text{Jumlah stomata}}{\text{Luas Bidang Pandang}}$

Luas bukaan stomata (μm^2) dapat dihitung menggunakan rumus Nasaruddin (2018), yaitu sebagai berikut:

b. Luas bukaan stomata = $\pi \times r1 \times r2$

Keterangan : $\pi = 3,14$

$r1 = \text{panjang bukaan stomata}$

$r2 = \text{lebar bukaan stomata}$

c. Luas bidang pandang = πr^2

Untuk mengukur kerapatan stomata menggunakan mikroskop pada perbesaran 40 kali dan pengukuran luas bukaan stomata menggunakan perbesaran 100 kali.

7. Analisis kadungan Tanah

Pengambilan sampel tanah 100 gram secara acak di 5 bagian lahan penelitian kemudian diuji di laboratorium kimia dan kesuburan tanah untuk menentukan kandungan hara. Sampel tanam diambil sebelum dan sesudah penelitian

2.7 Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis sidik ragam menggunakan Microsoft Excel. Hasil analisis sidik ragam yang menunjukkan berpengaruh nyata, maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji beda nyata jujur (BNJ) dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).