



PENGARUH LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN ABU BOILER TERHADAP BIBIT KELAPA SAWIT (*Elaeis Guineensis Jacq.*)

Amalia Malik^{1*}, Canggih Nailil Maghfiroh², Nur Halimah³, Dian Rizky⁴, Helda Jaya Puspita⁵

^{1,5}Program Studi Manajemen Agroindustri, Politeknik Negeri Jember, Indonesia

^{2,4}Program Studi Manajemen Agribisnis, Politeknik Negeri Jember, Indonesia

³Program Studi Bisnis Digital, Universitas dr. Soebandi, Indonesia

Email: canggih_nailil@polije.ac.id

Abstract

Oil palm is one of the plantation commodities with high economic value. Post-harvest processing at an industrial scale generates substantial waste, which requires proper management to prevent environmental pollution. Oil palm waste contains organic materials that can be utilized to help improve soil fertility. This study aims to determine the effectiveness of applying oil palm waste in enhancing the growth of oil palm seedlings. The research used a Completely Randomized Factorial Design (3 x 3 x 3), indicating the presence of three factors, each consisting of three levels. Factor 1 was Empty Fruit Bunches (EFB) of oil palm, Factor 2 was the dosage of boiler ash, and Factor 3 was the dosage of nitrogen element from urea fertilizer, resulting in 27 treatment combinations. Each treatment was replicated five times, bringing the total number of plants in this study to 135. Data were analyzed with and F-test; at a 5% significance level, further analysis was using Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT). The results indicated that the application of solid oil palm waste, such as EFB, boiler ash, and nitrogen supplementation, did not significantly affect plant growth. The most effective and optimal dosage for promoting oil palm seedling growth was found in the treatment N2P2Q1 (30 g EFB + 30 g boiler ash + 2 g nitrogen). Based on these findings, increasing the dosage of EFB is recommended to further maximize the growth of oil palm seedlings. The results of this study can be utilized by the palm oil industry to integrate waste such as empty fruit bunches (EFB) and boiler ash into site-specific sustainable fertilization systems, thereby helping to reduce dependence on inorganic fertilizers, improve soil fertility, and support better environmental management.

Keywords: Boiler Ash, Empty Fruit Bunches (EFB), Oil Palm, Plant Height, Seedlings

Abstrak

Kelapa sawit adalah komoditas tanaman perkebunan dengan nilai ekonomi tinggi. Pengolahan pascapanen dalam skala industri memiliki limbah yang cukup besar sehingga perlu adanya tindak lanjut supaya tidak menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah kelapa sawit memiliki kandungan bahan organik yang bisa dimanfaatkan untuk membantu peningkatan kesuburan lahan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui tingkat efektivitas dalam pengaplikasian limbah kelapa sawit dalam meningkatkan pertumbuhan bibit. Metode penelitian menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap Faktorial 3 x 3 x 3 yang artinya terdapat 3 faktor, dengan setiap faktor terdiri dari 3 taraf. Untuk faktor 1 (Tandan Kosong Kelapa Sawit), faktor 2 (Dosis Abu Boiler), faktor 3 (Dosis Unsur Nitrogen dari Pupuk Urea). Total tanaman yang akan ditanam pada penelitian ini adalah sebanyak 135 tanaman. Analisis data dilakukan dengan uji F, tingkat signifikansi 5% dengan uji lanjut menggunakan DNMRT (*Duncan's Multiple Range Test*). Hasil penelitian menunjukkan

bahwa pemberian limbah tandan kosong kelapa sawit, abu boiler dan pemberian unsur nitrogen tidak berpengaruh pada pertumbuhan tanaman. Dosis yang paling baik dan optimal dalam memberi respon pertumbuhan kecambah kelapa sawit yakni pada dosis perlakuan N2P2Q1 (30 g tandan kosong kelapa sawit + 30 g abu boiler + 2 g unsur nitrogen). Dari hasil tersebut diperlukan peningkatan dosis penggunaan tandan kosong kelapa sawit agar bisa memaksimalkan pertumbuhan kecambah kelapa sawit.

Kata Kunci: Abu Boiler, Kelapa Sawit, Tandan Kosong Kelapa Sawit, Tinggi Tanaman, Bibit

1. Pendahuluan

Kelapa sawit adalah tanaman perkebunan yang menjadi salah satu sektor penting di Indonesia karena mampu menghasilkan nilai ekonomi yang besar bagi Indonesia dengan lahan yang ditanami kelapa sawit sangat luas 15.435,70 (Ribu Hektar) (S. H. Nasution et al., 2014). Produksi minyak kelapa sawit di Indonesia saat ini terus mengalami kenaikan, sejalan dengan pertambahan luas perkebunan kelapa sawit (Ananda et al., 2023). Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat yang didapatkan dari adanya proses pengolahan minyak kelapa sawit di pabrik. Setiap hektar perkebunan kelapa sawit dapat menghasilkan sekitar 23,3 ton TKKS per tahun. Pemanfaatan TKKS banyak digunakan sebagai pupuk organik (Husna et al., 2023). Limbah cair dan padat jumlahnya akan berbanding lurus dengan banyaknya pabrik pengolahan dari kelapa sawit. Bahan organik dengan kandungan yang tinggi juga akan membantu menjaga kesuburan tanah. Limbah padat lainnya dari pengolahan tersebut adalah cangkang dan *sludge*. Kelapa sawit pada setiap ton mengantong 23% TKKS, cangkang 6,5%, dan hanya mengandung lumpur sawit yaitu 4%. Pemanfaatan limbah kelapa sawit telah banyak dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan penggunaan limbah kelapa sawit sebagai kompos lebih ekonomis untuk biaya produksinya (Aryanti et al., 2023). Limbah tersebut bisa bermanfaat untuk tanaman dengan unsur hara : N,P,K, dan Mg, dan melewati proses dekomposisi bahan organik. Pengolahan dari TKKS menyelesaikan masalah limbah padat dan juga limbah cair dari industri tersebut dan tanaman bisa memanfaatkan unsur hara dari limbah tersebut (S. H. Nasution et al., 2014). Penggunaan limbah TKKS mendukung perkembangan dari teknologi terbarukan dengan produk pupuk, selulosa, serta bahan bakar (Siregar, 2018).

Sumber bahan organik lainnya dengan menggunakan abu boiler yang mengandung silika tinggi. Abu boiler juga kaya akan unsur hara yang memiliki manfaat sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk tambahan maupun sebagai pengganti pupuk anorganik. Pemanfaatan abu boiler sebagai pupuk tidak hanya memberikan keuntungan secara ekonomi dan ramah lingkungan, tetapi juga diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah, sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman menjadi lebih optimal. Abu boiler adalah residu padat yang berasal dari proses pembakaran cangkang serta serat kelapa sawit di mesin boiler pada pabrik kelapa sawit. Sebagai bahan amelioran, abu ini terbukti mampu memperbaiki karakteristik fisik dan kimia tanah. Pemanfaatan abu boiler juga bermanfaat untuk menetralisasi keasaman tanah dan meningkatkan kadar unsur hara di dalamnya.

Eksplorasi jangka panjang lahan sawit sering menyebabkan degradasi tanah, seperti meningkatnya keasaman, penurunan unsur hara, dan kerusakan struktur tanah. Abu boiler, sebagai limbah hasil pembakaran di pabrik kelapa sawit, memiliki potensi besar sebagai amelioran. Kandungan senyawa basa seperti kalsium dan magnesium di dalamnya dapat menetralkan keasaman tanah serta meningkatkan ketersediaan hara, pertumbuhan akar, dan aktivitas mikroba. Abu ini juga mengandung unsur hara makro dan mikro yang penting bagi kesuburan tanah. Selain itu, abu boiler mampu memperbaiki sifat fisik tanah, seperti porositas dan daya serap air. Penggunaannya juga mendukung prinsip pertanian berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah sebagai sumber daya, namun aplikasinya perlu dikendalikan karena adanya risiko akumulasi logam berat dan ketidakseimbangan hara. Oleh karena itu, penggunaan abu boiler sebaiknya dilakukan secara bijak dan berdasarkan hasil uji tanah serta pemantauan secara berkala.

Bibit harus diberikan pupuk yang tepat, termasuk memperhatikan dari segi efektivitas dan efisiensinya untuk meningkatkan produktivitas tanaman saat dewasa. Pupuk dasar, cara pemberian, dan ketepatan dalam memilih jenis pupuk menjadi hal yang penting untuk diperhatikan untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Pembibitan menjadi salah satu penentu keberhasilan dalam proses budidaya kelapa sawit (Daryono, 2020). Bibit kelapa sawit ditanam dalam polybag sampai dengan umur 3 bulan. Pembibitan dilakukan untuk mendapatkan kondisi bibit yang seragams ebelum dipindah ke lapangan.

Bibit merupakan produk dari pembelian bahan tanam dan dapat berdampak pada pencapaian tujuan produksi di masa mendatang. Salah satu upaya untuk mendapatkan hasil terbaik dalam perluasan usahatani kelapa sawit adalah dengan memberikan benih yang baik di pembibitan pertama dan pembibitan utama dengan pemupukan dalam jumlah yang tepat (Fikri, 2014). Pembibitan awal dilakukan dengan cara menanam kecambah. Pembibitan awal termasuk dalam step up yang dilakukan dalam upaya mendapatkan bibit sehat (Nurhadi et al., 2023). Pertumbuhan bibit kelapa sawit akan dipengaruhi oleh kandungan unsur hara dalam tanah dan juga kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya, suhu, dan kelembaban (Nurhadi et al., 2023). Aplikasi Kompos yang berbasis TKKS dilakukan untuk meningkatkan kesuburan tanah, terutama kesuburan fisik tanah dan kesuburan biologis tanah. TKKS dapat memberikan produk sampingan pada jumlah besar, namun biaya yang ekonomis dengan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan tanah dan tanaman, serta dapat digunakan sebagai sumber pupuk organik. Kompos TKKS dapat meningkatkan kesuburan tanah secara fisik dengan memperbaiki kondisi aerasi, kapasitas retensi air, dan struktur tanah tanah. Dalam pengaplikasian perlu dianalisis efektivitasnya agar maksimal dalam meningkatkan pertumbuhan kecambah kelapa sawit.

Pemanfaatan limbah padat kelapa sawit seperti TKKS dan abu boiler sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan mendukung transisi dari sistem pertanian konvensional menuju sistem yang lebih berkelanjutan. Dalam pendekatan ini, limbah tidak lagi dianggap sebagai beban, melainkan dimanfaatkan kembali sebagai bahan pemupukan atau amelioran. Hal ini membantu mengurangi ketergantungan pada input kimia, meningkatkan kesuburan tanah, menutup siklus hara, serta menekan pencemaran lingkungan. Dengan demikian, integrasi limbah ini menjadi langkah nyata menuju pertanian yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan di sektor perkebunan.

2. Bahan dan Metode

Lokasi pelaksanaan penelitian di Kabupaten Lamandau dimulai pada bulan November 2024 – Januari 2025. Beberapa alat yang digunakan adalah parang, cangkul, pisau, terpal, ember, sekop, gembor, oven, timbangan digital, saringan, penggaris, jangka sorong, gunting, gelas takar. Bahan yang digunakan penelitian ini adalah tanah *top soil*, Dithane M-45, kecambah kelapa sawit varietas DxP BAH LIAS 7 produksi CV Sidonata Jaya Mandiri, tandan kosong kelapa sawit, abu boiler dari PT Khatulistiwa Sinergi Omnidaya, arang sekam padi, *molase*, *Effective Microorganism 4* (EM4), pupuk urea, polybag, paranet dan alat tulis. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial, 3 faktor, dimana masing – masing faktor terdiri dari 3 taraf. Untuk faktor 1 (Tandan Kosong Kelapa Sawit), faktor 2 (Dosis Abu Boiler), faktor 3 (Dosis Unsur Nitrogen dari Pupuk Urea), dengan 27 kombinasi, 5 ulangan, total 135 tanaman. Rancangan ini dipilih untuk mengkaji pengaruh tiga faktor, masing-masing terdiri atas tiga taraf, terhadap keseragaman media tanam pada fase prapenakaran kelapa sawit. Pendekatan faktorial memungkinkan analisis tidak hanya terhadap pengaruh tunggal masing-masing faktor, tetapi juga interaksi antar faktor, sehingga lebih efisien dibandingkan uji perlakuan secara terpisah. Rancangan ini juga memberikan gambaran yang lebih komprehensif dalam menentukan kombinasi media tanam yang optimal bagi pertumbuhan awal bibit secara seragam.

Dosis tandan kosong kelapa sawit terdiri atas N0, N1, N2. Dosis Abu Boiler terdiri atas P0, P1, P2. Dan dosis unsur nitrogen (pupuk urea) terdiri atas Q0, Q1, Q2. Dosis setiap perlakuan dapat dilihat sebagai berikut : N0 = 0 g tandan kosong kelapa sawit; N1 = 15 g tandan kosong kelapa sawit; N2 = 30 g tandan kosong kelapa sawit; P0 = 0 g abu boiler; P1 : 15 g abu boiler; P2 = 30 g abu boiler; Q0 = 0 g unsur nitrogen (pupuk urea); Q1 = 2 g unsur nitrogen (pupuk urea) / liter air; Q2 = 4 g unsur nitrogen (pupuk urea) / liter air. Keseragaman media tanam dijaga dengan menggunakan media dari sumber dan komposisi yang sama, serta perlakuan awal seperti penyiraman, pemupukan dasar, dan wadah tanam yang seragam. Faktor lingkungan seperti kelembapan dan pencahayaan dikendalikan melalui penempatan unit percobaan di area dengan intensitas cahaya merata dan penyiraman teratur dengan volume air yang sama. Pengendalian ini bertujuan memastikan bahwa respons tanaman yang diamati murni akibat perlakuan, bukan pengaruh lingkungan.

Tabel 1. Layout penelitian di lapangan

		N		
		0	1	2
0	0	0P0Q0	1P0Q0	2P0Q0
		N	N	N
	1	0P0Q1	1P0Q1	2P0Q1
		N	N	N
	2	0P0Q2	1P0Q2	2P0Q2
		N	N	N
1	0	0P1Q0	1P1Q0	2P1Q0
		N	N	N
	1	0P1Q1	1P1Q1	2P1Q1
		N	N	N
	2	0P1Q2	1P1Q2	2P1Q2
		N	N	N
2	0	0P2Q0	1P2Q0	2P2Q0

	0	N 1	N 2	N
1	0P2Q1	1P2Q1	2P2Q1	N
2	0P2Q2	1P2Q2	2P2Q2	N

Analisis yang digunakan uji F, tingkat signifikansi 5%, dengan uji lanjut menggunakan *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT). Parameter pengamatan pada penelitian ini adalah Tinggi Tanaman (cm) pengukuran dari leher akar sampai ujung tanaman. Pengamatan tinggi bibit mulai 2 minggu setelah tanam (mst) kemudian diulang setiap 1 minggu sampai akhir penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

Penggunaan kedua jenis limbah ini bertujuan untuk memanfaatkan sumber daya lokal yang tersedia secara melimpah di industri kelapa sawit serta mendukung pertanian berkelanjutan melalui pengurangan limbah. Tinggi tanaman merupakan indikator penting dalam menilai keberhasilan fase pembibitan. Oleh karena itu, pengamatan terhadap parameter ini menjadi dasar untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing perlakuan yang diberikan dalam mendukung pertumbuhan bibit kelapa sawit.

Tabel 2. Tinggi tanaman 3 mst

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Model	2905.192 ^a	27	107,6	229,623	0,078
N	2,443	2	1,222	2,607	0,114
P	2,107	2	1,054	2,248	0,374
Q	0,931	2	0,465	0,993	0,704
N * P	1,02	4	0,255	0,544	0,202
N * Q	2,844	4	0,711	1,517	0,067
P * Q	4,244	4	1,061	2,264	0,463
N * P * Q	3,637	8	0,455	0,97	
Error	50,608	108	0,469		
Total	2955,8	135			

a. R Squared = .983 (Adjusted R Squared = .979)

Pada minggu ke-3 (Tabel 2), diketahui perlakuan memberikan hasil yang sangat baik dengan nilai R^2 sebesar 0,983 dan Adjusted R^2 sebesar 0,979, model percobaan yang dilakukan menjelaskan 97,9% variasi data yang diamati. Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari perlakuan tandan kosong kelapa sawit (N), abu boiler (P), maupun pupuk urea (Q), baik secara individu maupun kombinasi, terhadap tinggi kecambah kelapa sawit pada minggu ke-3. Hasil yang tidak signifikan pada minggu ke-3 adalah disebabkan tanaman masih berada dalam fase awal pertumbuhan yang masih bergantung pada cadangan makanan dalam biji kecambah. Keterlambatan respons pertumbuhan akibat

lambatnya dekomposisi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat memengaruhi penilaian efektivitas perlakuan dalam penelitian jangka pendek. Karena unsur hara dari TKKS dilepaskan secara bertahap, respons tanaman mungkin belum terlihat pada awal pengamatan. Hal ini dapat menyebabkan perlakuan dinilai kurang efektif, padahal manfaat sebenarnya baru muncul dalam jangka panjang. Oleh karena itu, interpretasi hasil perlu mempertimbangkan waktu pelepasan hara agar kesimpulan yang diambil lebih akurat.

Akar tanaman belum berkembang optimal untuk menyerap unsur hara dari media tanam. Unsur nitrogen dari pupuk urea mudah larut, namun penyerapan efektifnya tergantung kondisi media dan kemampuan akar tanaman (Gunawan et al., 2024). Pada media tanam yang masih awal terpapar pupuk organik (TKKS) dan abu boiler, kandungan unsur hara kemungkinan belum mengalami dekomposisi sempurna sehingga belum tersedia dalam bentuk yang siap serap oleh tanaman (Yulianingsih, 2024). Penggunaan TKKS sebagai bahan organik memang menjanjikan dalam jangka panjang, karena dapat mempengaruhi kondisi struktur tanah dan meningkatkan KTK (Husna et al., 2023), namun efek agronomisnya cenderung baru terlihat pada fase pertumbuhan lanjut. Hasil ini juga sejalan dengan studi oleh Irma et al. (2018) yang melaporkan pertumbuhan awal bibit kelapa sawit oleh faktor genetik dan kondisi lingkungan mikro dalam media, bukan semata-mata dari pemberian pupuk (Kasim et al., 2024).

Tabel 3. Tinggi tanaman 5 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	9640.818 ^a	7	1377.259	39,191	,000
N	3,285	2	1,643	,56	,215
P	4,401	1	4,401	,09	,129
Q	5,049	5	1,010	,398	,096
N * P	3,907	7	,558	,928	,451
N * Q	1,168	2	,584	,277	,892
P * Q	2,378	5	,476	,565	,689
N * P * Q	5,782	3	1,927	,687	,703
Error	113,692	08	14,212		
Total	9754,51	35			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .985)

Hasil analisis varians (ANOVA) menunjukkan bahwa model secara keseluruhan signifikan ($F = 339,191$; $Sig. = 0,000$) dengan nilai R^2 sebesar 0,988, yang berarti bahwa kombinasi perlakuan tandan kosong kelapa sawit (N), abu boiler (P), dan pupuk urea (Q), serta interaksinya, mampu menjelaskan 98,8% variasi tinggi tanaman pada minggu ke-5. Namun, tidak ada satu pun faktor utama yang menunjukkan pengaruh signifikan secara statistik terhadap tinggi tanaman, karena nilai signifikansi seluruhnya di atas 0,05. Respons tanaman terhadap pupuk organik dan anorganik sangat bergantung pada dosis dan lama aplikasi. Tandan kosong kelapa sawit sebagai pupuk organik memerlukan waktu

dekomposisi untuk dapat memberikan efek nyata terhadap pertumbuhan tanaman (Maghfiroh et al., 2020). Penelitian oleh Siregar dan Nasution (2019) menunjukkan bahwa efektivitas pupuk urea sangat tergantung pada metode aplikasi dan kondisi lingkungan. Pentingnya pemilihan jenis dan dosis pupuk yang tepat dalam sistem pertanian organik untuk mencapai hasil yang optimal (Maghfiroh & Putra, 2020). Dalam penelitian lainnya, Maghfiroh et al. (2020) mengevaluasi karakter morfologi akar dan hasil tiga klon kakao di lapangan dengan metode rorak, yang menunjukkan bahwa pengelolaan sistem perakaran dan pemupukan yang sesuai mendukung pertumbuhan bibit. Oleh karena itu, meskipun model secara umum baik, perlakuan yang digunakan belum mampu memberikan pengaruh signifikan dalam waktu lima minggu.

Tabel 4. Tinggi tanaman pada 7 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	ig.
Model	19565.608 ^a	7	2793.654	62,306	3
N	4,828	4	1,207	,207	1,303
P	12,888	4	3,222	,222	3,044
Q	57,119	59	0,968	28,5	1,4279
N * P	8,362		2,09	,045	1,387
N * Q	19,139	5	3,828	4,78	2,055
P * Q	10,959		2,74	,37	1,249
N * P * Q	7,515	9	0,835	0,93	0,875
Error	216,012	08	27,001	2	
Total	19781,62	35			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .986)

Model kombinasi perlakuan TKKS (N), abu boiler (P), dan pupuk urea (Q) sangat signifikan dalam menjelaskan variasi tinggi tanaman pada minggu ke-7 dengan nilai R^2 sebesar 0,989. Hal ini menandakan bahwa perlakuan yang diberikan mampu memprediksi hampir seluruh variasi pertumbuhan tanaman, menegaskan efektivitas perlakuan tersebut dalam meningkatkan tinggi tanaman dalam jangka waktu yang relatif singkat (Rahman et al., 2019). Abu boiler (P) dan pupuk urea (Q) memberikan pengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman, dimana abu boiler berperan sebagai sumber unsur hara mikro dan makro yang memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Pupuk urea mengandung nitrogen berperan dalam proses fotosintesis dan pembentukan biomassa tanaman. Tandan kosong kelapa sawit (N) tidak menunjukkan efek signifikan, karena proses dekomposisinya yang lambat sehingga belum berdampak nyata pada pertumbuhan tanaman. Interaksi antar faktor (NP, NQ, PQ, dan NP*Q) yang tidak signifikan mengindikasikan bahwa masing-masing perlakuan bekerja secara independen tanpa adanya efek sinergis maupun antagonis yang berarti terhadap tinggi tanaman. Temuan ini menyarankan bahwa optimalisasi pemberian abu boiler dan pupuk urea dapat dilakukan secara terpisah untuk hasil terbaik, sementara penggunaan tandan kosong kelapa sawit mungkin perlu dipertimbangkan sebagai bahan

organik jangka panjang yang membutuhkan waktu lebih lama untuk berkontribusi pada pertumbuhan bibit kelapa sawit.

Tabel 5. Tinggi tanaman 9 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	30554.106 ^a	27	1131,634	413,279	0
N	0,35	2	0,175	0,064	0,938
P	13,878	2	6,939	2,534	0,084
Q	134,722	2	67,361	24,601	0
N * P	6,104	4	1,526	0,557	0,694
N * Q	35,243	4	8,811	3,218	0,015
P * Q	4,722	4	1,18	0,431	0,786
N * P * Q	11,081	8	1,385	0,506	0,85
Error	295,724	108	2,738		
Total	30849,83	135			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .988)

Berdasarkan hasil analisis variabilitas data tinggi tanaman pada minggu ke-9, sebanyak 99% variasi tinggi tanaman dapat dijelaskan oleh kombinasi perlakuan yang dimasukkan dalam model. Hasil ini menunjukkan bahwa model sangat layak dan akurat dalam memprediksi hasil pertumbuhan tanaman (Montgomery, 2017). Jenis tanaman atau perlakuan Q mempengaruhi hasil pertumbuhan tanaman pada minggu ke-9. Penggunaan pupuk P (fosfor) dapat memengaruhi tinggi tanaman meskipun belum mencapai tingkat signifikansi 5%. Di sisi lain, faktor N (nitrogen) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi tanaman ($p = 0,938$). Pemberian nitrogen dalam perlakuan ini tidak memberikan perbedaan nyata terhadap pertumbuhan tanaman (Gomez & Gomez, 1984). Dari hasil interaksi antar faktor, hanya interaksi antara N dan Q yang menunjukkan pengaruh yang signifikan ($F = 3,218$; $p = 0,015$), mengindikasikan bahwa respons tanaman terhadap nitrogen bergantung pada jenis tanaman atau perlakuan Q. Sementara interaksi lainnya, seperti NP, PQ, dan NPQ tidak menunjukkan pengaruh nyata. Kombinasi faktor-faktor tersebut tidak memberikan perbedaan tinggi tanaman yang berarti secara statistik. Hal ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan faktor interaktif dalam penelitian pertumbuhan tanaman, terutama antara jenis tanaman dan jenis pupuk atau perlakuan (Steel & Torrie, 1997).

Tabel 6. Tinggi tanaman 11 mst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	39257.170 ^a	27	1453,969	415,025	0
N	10,308	2	5,154	1,471	0,234
P	26,552	2	13,276	3,79	0,026
Q	103,952	2	51,976	14,836	0
N * P	4,956	4	1,239	0,354	0,841
N * Q	46,888	4	11,722	3,346	0,013
P * Q	5,986	4	1,496	0,427	0,789
N * P * Q	12,922	8	1,615	0,461	0,881
Error	378,36	108	3,503		
Total	39635,53	135			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .988)

Hasil analisis varians menunjukkan bahwa model statistik yang digunakan memiliki kemampuan sangat baik dalam menjelaskan variasi tinggi tanaman pada minggu ke-11. Hal ini mengindikasikan bahwa 99% variasi tinggi tanaman dapat dijelaskan oleh

kombinasi faktor perlakuan yang diuji, menunjukkan bahwa model ini sangat layak digunakan dalam mengevaluasi pengaruh faktor-faktor terhadap pertumbuhan tanaman.

Secara individual, faktor P (fosfor) dan Q (jenis tanaman atau perlakuan utama) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi tanaman. Aplikasi pupuk fosfor secara signifikan mendukung peningkatan pada pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai, mendukung temuan ini. Sebaliknya, faktor N (nitrogen) tidak menunjukkan pengaruh signifikan ($p = 0,234$). Dalam hal interaksi antar faktor, hanya interaksi antara N dan Q yang menunjukkan pengaruh signifikan ($p = 0,013$), mengindikasikan bahwa efek nitrogen terhadap tinggi tanaman bergantung pada jenis tanaman atau perlakuan Q yang digunakan. Penggunaan pupuk jenis lain dari nitrogen anorganik yaitu dengan pupuk hijau memberikan respon pertumbuhan yang berbeda tergantung pada varietas tanaman kailan yang digunakan. Interaksi lainnya seperti $N * P$, $P * Q$, dan $N * P * Q$ tidak menunjukkan pengaruh signifikan, menunjukkan bahwa kombinasi faktor-faktor tersebut tidak memberikan perbedaan tinggi tanaman yang berarti secara statistik.

Pemberian kombinasi pupuk TKKS, Abu Boiler, dan unsur nitrogen (pupuk urea) terhadap tinggi tanaman tidak mampu memberikan pengaruh, hal ini diduga perlakuan kombinasi tersebut masih belum cukup memenuhi kebutuhan unsur Nitrogen memiliki peran dalam meningkatkan tinggi tanaman sehingga pengaplikasiannya masih belum optimal (Nafery et al., 2022). Kandungan abu boiler terdiri dari N 0,74%, Fosfor dalam bentuk sebanyak P_2O_5 0,84%, Kalium dalam K_2O 2,07%, serta Mg 0,62% yang dapat bermanfaat sebagai pupuk untuk bibit kelapa sawit. Nitrogen dapat memicu hormon auksin yang bisa mendukung peningkatan tinggi tanaman.

Nitrogen banyak terdapat dalam klorofil dan juga protein tanaman. Proses pertumbuhan vegetatif banyak membutuhkan nitrogen, di samping itu juga tetap perlu untuk mendapatkan faktor lingkungan yang mendukung. Ketersediaan air, cahaya matahari, dan suhu yang sesuai membuat tanaman bisa melakukan metabolisme dengan baik, terutama proses fotosintesis yang menghasilkan fotosintat (Aang, 2019). Daya serap akar menjadi salah satu penyebab yang paling mungkin untuk adanya tingkat signifikansi yang rendah dalam perlakuan yang diberikan. Unsur hara yang tersedia bisa diserap tanaman jika daya serapnya baik, sehingga Nitrogen yang ada dialirkan untuk pertumbuhan perakaran serta tajuk tanaman (Nasution et al., 2019). Genetik tanaman menjadi salah satu faktor yang menentukan dari tingginya bibit tanaman. Pada beberapa kondisi cekaman, bibit tetap bisa tumbuh dengan baik jika memiliki sifat genetic tahan. Pemilihan jenis varietas yang cocok untuk setiap lahan menjadi penentu keberhasilan dari produktivitas jangka panjang dari tanaman kelapa sawit (Irma et al., 2018). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat berfungsi sebagai fungisida sehingga mampu menjaga bibit tanaman dari serangan hama (Mahmud et al., 2021).

Dampak manajerial dari interaksi yang tidak signifikan antar faktor perlakuan dalam program pemupukan di pembibitan kelapa sawit menunjukkan bahwa masing-masing faktor bekerja secara independen dan tidak saling memengaruhi. Konsekuensinya, pengambilan keputusan manajerial dapat dilakukan secara lebih sederhana, di mana setiap faktor (seperti jenis media, jenis pupuk, atau dosis bahan organik) dapat dioptimalkan secara terpisah tanpa harus mempertimbangkan kombinasi tertentu. Hal ini mempermudah

formulasi program pemupukan karena tidak diperlukan pendekatan khusus untuk sinergi antar perlakuan. Selain itu, efisiensi operasional dapat ditingkatkan karena penggunaan bahan dan perlakuan dapat disesuaikan berdasarkan efektivitas individu, bukan interaksi, sehingga lebih fleksibel dan ekonomis dalam implementasi di tingkat pembibitan.

4. Simpulan

Pemberian limbah padat kelapa sawit seperti TKKS, abu boiler dan pemberian unsur nitrogen tidak berpengaruh pada pertumbuhan tanaman. Dosis yang paling baik dan optimal dalam memberi respon pertumbuhan kecambah kelapa sawit yakni pada dosis perlakuan N₂P₂Q₁ (30 g tandan kosong kelapa sawit + 30 g abu boiler + 2 g unsur nitrogen). Strategi peningkatan dosis dari N₂P₂Q₁ dapat dilakukan secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman dan kondisi tanah, sambil memantau respons pertumbuhan dan kandungan hara. Monitoring berkala terhadap akumulasi unsur hara dan gejala toksisitas penting untuk mencegah dampak negatif. Kombinasi bahan organik dan anorganik juga disarankan untuk menjaga keseimbangan nutrisi dan keberlanjutan lingkungan. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan industri kelapa sawit untuk mengintegrasikan limbah seperti TKKS dan abu boiler ke dalam sistem pemupukan berkelanjutan berbasis lokasi, sehingga membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik, memperbaiki kesuburan tanah, dan mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

5. Referensi

- Aang Kuvaini, R. Br. S. (2019). Uji Aplikasi Abu Boiler dan Arang Kayu Sebagai Media Tumbuh Alternatif Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Pembibitan Awal. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 11(1), 11–20.
- Aryanti, E., Oksana, Canggih, Y. I., & Irfan, M. (2023). EFEKTIFITAS PENGGUNAAN LIMBAH KELAPA SAWIT DALAM MENINGKATKAN KANDUNGAN HARA TANAH GAMBUT Effectiveness of Oil Palm Waste Use in Increasing Peat Soil Nutrient Content Ervina Aryanti*, Oksana, Yufan Istika Canggih, & Mokhammad Irfan. *Seminar Nasional Integrasi Pertanian Dan Peternakan*, 1(1), 155–164.
- Daryono. (2020). Respon Pemberian Pupuk Rock Phosphate terhadap Pertumbuhan Biji Kecambah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Buletin Loupe*, 15(02), 24. <https://doi.org/10.51967/buletinloupe.v15i02.37>
- Dwi Putri Ananda, R., Nurul Komariah, L., Pralisa Putri, N., Arita, S., Kunci, K., Sawit, A., & Kosong Kelapa Sawit, T. (n.d.). Potensi dan karakteristik abu tandan kosong kelapa sawit sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel Potential and characteristics of oil palm empty fruit bunches as a heterogeneous catalyst for biodiesel production. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 29, Issue 1).
- Fikri, K. (2014). Pengaruh Volume Media Dalam Polybag Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Pertanian*, 1(1), 1–8.
- Gunawan, D. S., Pardosi, R., Widodo, T., Iqbal, M., Dwi Africia, N., Sandi, A., & Saputri, L. H. (2024). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit dari produksi pabrik kelapa sawit cikasungka sebagai alternatif pembuatan tinta printer. 18, 137–143. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.15659>
- Husna, R., Yana, D., Kusmawati, I., Aisah, N., Ginting, D., & Syahputra, R. F. (2023). Fabrikasi Papan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Penambahan Bahan Fluoresensi Fosfor. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 7(2), 176–185. <https://doi.org/10.18196/jmpm.v7i2.19615>
- Irma, V., Program, S., Budidaya, S., Kelapa, P., Politeknik, S., Sawit, K., & Widya Edukasi -Bekasi, C. (2018). Pertumbuhan Morfologi Bibit Kelapa Sawit Pre Nursery dengan Penanaman Secara Vertikultur. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, X(2), 139–146.
- Kasim, N., Nasaruddin, Widiyani, N., Andi Syaiful, S., & Ningsih, S. R. (2024). Growth of cocoa seedlings (*Theobroma cacao* L.) in application of cow manure compost and density of *Bacillus subtilis* bacteria.

- Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 52(2), 187–195. <https://doi.org/10.24831/jai.v52i2.51505>
- Maghfiroh, C. N., & Putra, E. T. S. (2020). Morphological characters of root and yield of three cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones in the field with dead-end trench. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 5(2), 58. <https://doi.org/10.22146/ipas.51284>
- Maghfiroh, C. N., Putra, E. T. S., & Hs, E. S. D. (2020). Root detection by resistivity imaging and physiological activity with the dead-end trench on three clones of cocoa (*Theobroma cacao*). *Biodiversitas*, 21(6), 2794–2803. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210656>
- Mahmud, Y., Lististio, D., Irfan, M., & Zam, S. I. (2021). Efektivitas Asap Cair Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Mengendalikan Ganoderma Boninese Dan Curvularia Sp. in Vitro. *Jurnal Pertanian Presisi (Journal of Precision Agriculture)*, 5(1), 24–39. <https://doi.org/10.35760/jpp.2021.v5i1.3629>
- Nafery, R., Trinawaty, M., & Wahyuna, D. (2022). RESPON PERTUMBUHAN BIBIT KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) DI PRE NURSERY TERHADAP PEMBERIAN LIMBAH LUMPUR KERING CRUDE PALM OIL. *Agroekotek*, 33(1), 1–12.
- Nasution, A., Nadhira, A., & Zulkifli, T. B. H. (2019). RESPON PEMBERIAN PUPUK UREA DAN URINE SAPI TERHADAP PERTUMBUHAN BIBIT KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) DI PEMBIBITAN Asari Nasution Tengku Boumedine Hamid Zulkifli Abstrak. *AgriNula*, 2(2), 28–32.
- Nasution, S. H., Hanum, C., & Ginting, J. (2014). Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Pada Berbagai Perbandingan Media Tanam Solid Decanter dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Sistem Single Stage. *Jurnal Online Agroteknologi*, 2(2), 691–701.
- Nurhadi, F., Theresia, Y., Astuti, M., & Ginting, C. (2023). Pengaruh Aplikasi Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Pupuk NPK terhadap Pembibitan Kelapa Sawit di Pre Nursery. *Agroforetech*, 1(3), 1382–1386.
- Siregar, B. (2018). Desain Efisiensi Dan Efektivitas Pengurai Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Sebagai Perangkat Pelatihan. *Semnastek Uisu*, 1–23.
- Yulianingsih, R., & Studi Agroteknologi Universitas Kapuas Sintang, P. (2024). APLIKASI ABU BOILER TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN TERUNG UNGU (*Solanum melongena*) APPLICATION OF BOILER ASH ON THE GROWTH AND YIELD OF PURPLE EGGPLANT (*Solanum melongena*). 20. <http://jurnal.unka.ac.id/index.php/piper>