

Pengaruh Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Asam Humat pada Tanah dan Hara Daun Kelapa Sawit Fase Tanaman Menghasilkan

(The Effect of Oil Palm Empty Fruit Bunch Compost and Humic Acid on Soil and Leaf Nutrients of Oil Palm in the Yielding Phase)

Fatimah Az Zahra^{*}, Mira Ariyanti, Mochamad Arief Soleh, Santi Rosniawaty
Departemen Budidaya Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Jatinangor, Sumedang Km. 21, Jatinangor, Jawa Barat, 45363, Indonesia
E-mail: fatimah20002@mail.unpad.ac.id

ARTICLE INFO

Article history
Submitted: April 30, 2025
Accepted: July 9, 2025
Published: July 17, 2025

Keywords:
cation exchange capacity,
humic acid,
nutrient uptake,
organic fertilizer,
soil fertility

ABSTRACT

Soil fertility influences oil palm nutrient status, particularly its cation exchange capacity (CEC), which affects nutrient retention. This study aimed to evaluate the effect of different fertilizer treatments on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) soil CEC and leaf nutrient status in the yielding phase. The experiment was conducted using a randomized complete block design with four treatments and six replications: A = 2.5 kg NPKMg (12:12:17:2) per plant, B = 50 kg empty fruit bunch (EFB) compost per plant, C = 30 kg EFB compost + 300 mL humic acid per plant, and D = 10 kg EFB compost + 300 mL humic acid per plant. Observations included soil CEC and leaf N, P, and K levels. Results showed that the highest CEC value (45.89 cmol.kg⁻¹) was observed in treatment A, while treatment C had the lowest (20.58 cmol.kg⁻¹). Nitrogen content increased only in treatment A (+15.54%), whereas phosphorus content increased in all treatments, with the highest increase in treatment D (+92.59%). Potassium content generally decreased, except in treatment C (+2.63%). A strong positive correlation was found between soil CEC and leaf N ($r = 0.91$). In conclusion, inorganic fertilizer significantly enhanced CEC and leaf nitrogen, while humic acid with compost improved phosphorus uptake. However, potassium remained deficient across all treatments, indicating the need for better nutrient management strategies in oil palm plantations.



Copyright © 2025 Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Produktivitas kelapa sawit dipengaruhi oleh status hara tanah dan daun yang mencerminkan efisiensi serapan nutrisi oleh tanaman (Hutajulu, 2025). Salah satu indikator utama dalam menilai status kesuburan tanah adalah kapasitas tukar kation (KTK), yaitu kemampuan tanah untuk menahan dan menukar ion bermuatan positif seperti K⁺, Ca²⁺, dan Mg²⁺ yang esensial bagi pertumbuhan tanaman (Kareth et al., 2025). Tanah dengan nilai KTK yang tinggi cenderung memiliki ketersediaan hara yang lebih stabil, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Peningkatan KTK tanah dapat dicapai melalui aplikasi bahan organik, terutama kompos tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang menyediakan gugus

fungsional bermuatan negatif dan meningkatkan kandungan koloid tanah (Endriani et al., 2024). Selain itu, penambahan asam humat sebagai komponen bahan organik terdekomposisi lanjut juga diketahui berperan dalam meningkatkan aktivitas pertukaran kation dan efisiensi serapan unsur hara oleh akar tanaman (Aprilia et al., 2024).

Penggunaan kombinasi kompos TKKS dan asam humat diharapkan mampu memperkuat perbaikan sifat kimia tanah secara sinergis, khususnya dalam sistem perkebunan kelapa sawit. Namun, pemberian kompos TKKS secara tunggal seringkali tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan hara makro secara cepat, terutama pada fase pertumbuhan generatif (Ardian et al., 2024). Oleh karena itu, aplikasi pupuk anorganik seperti NPKMg tetap diperlukan sebagai sumber utama nitrogen, fosfor, kalium, dan magnesium yang tersedia secara cepat (Eli et al., 2020). Penelitian sebelumnya oleh Handayani (2019) menunjukkan bahwa aplikasi NPK dapat meningkatkan KTK tanah pada Andisol hingga 20% dalam satu musim tanam.

Hingga saat ini, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pengamatan di fase pembibitan dan tanaman belum menghasilkan (TBM) kelapa sawit. Studi mengenai interaksi antara kompos TKKS dan asam humat terhadap nilai KTK tanah dan status hara daun kelapa sawit, khususnya pada fase tanaman menghasilkan (TM), masih terbatas. Hasil penelitian terdahulu oleh Sembiring & Yulia (2016) hanya mengamati pengaruh aplikasi asam humat dan kompos TKKS pada kelapa sawit fase pembibitan utama. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kombinasi kompos TKKS, asam humat, dan pupuk NPKMg terhadap nilai KTK tanah dan kandungan hara makro daun kelapa sawit pada fase TM.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Percobaan dilakukan di Kebun Percobaan Ciparanje Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran dengan ketinggian tempat ± 750 mdpl, ordo tanah Inceptisol, dengan tipe curah hujan C menurut klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson. Analisis KTK tanah dan hara daun dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran. Percobaan dilaksanakan pada bulan Februari 2024 sampai dengan Agustus 2024.

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan-bahan percobaan yang digunakan meliputi pohon kelapa sawit Varietas Seu Supreme berumur 4 tahun dengan jarak tanam 8 m x 8 m, kompos TKKS, larutan asam humat (65,34%), dan pupuk majemuk NPKMg (12:12:17:2).

Metode Penelitian

Metode yang digunakan berupa metode eksperimen satu faktor dengan rancangan acak kelompok (RAK) dengan empat taraf perlakuan yang diulang sebanyak enam kali. Kombinasi perlakuan meliputi: A = pupuk NPKMg (12:12:17:2) 2,5 kg per tanaman, B = kompos TKKS 50 kg.tanaman⁻¹, C = kompos TKKS 30 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹, dan D = kompos TKKS 10 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹.

Pelaksanaan di Lapangan

Pengamatan dilakukan setiap minggu dimulai dari 0 minggu setelah perlakuan (MSP) hingga 20 MSP. Peubah yang diamati selama percobaan berlangsung meliputi analisis nilai kapasitas tukar kation (KTK) tanah, analisis kadar hara daun, serta analisis korelasi KTK tanah dengan serapan hara di daun.

Pada percobaan ini digunakan pupuk NPKMg, kompos tankos yang berasal dari PT. Tasmapuja dan asam humat yang berasal dari Laboraturim Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman Universitas Padjadjaran. Pengaplikasian pupuk dilakukan satu kali pada awal percobaan. Sebelum pupuk diaplikasikan, di sekitar tanaman dibuat larikan terlebih dahulu yang berfungsi untuk meminimalisir hilangnya kandungan hara pada pupuk. Pupuk NPKMg dan kompos tankos diaplikasikan dengan cara ditaburkan pada larikan yang sudah dibuat kemudian dibenamkan atau ditutup menggunakan tanah kembali. Aplikasi pupuk dilakukan dengan jarak sekitar 75 cm dari batang pohon. Asam humat diaplikasikan dengan cara disiram di sekitar perakaran tanaman. Setiap 300 mL asam humat diencerkan dengan 15.000 mL air dan dibagi menjadi tiga kali aplikasi selama 3 hari berturut-turut pada awal penelitian.

Analisis nilai KTK tanah dilakukan dengan mengambil sampel tanah dari sebidang tanah yang telah ditentukan sebelumnya pada kedalaman 30 cm dari permukaan tanah dengan cangkul. Analisis nilai KTK tanah awal diambil secara acak pada 4 titik dan dikompositkan dengan total bobot 1 kg kemudian dianalisis di laboratorium. Analisis nilai KTK tanah akhir diambil dari masing-masing media tanam perlakuan dengan total bobot 1 kg per perlakuan. Sampel tanah tersebut kemudian dianalisis di laboratorium.

Analisis hara daun dilakukan dengan mengambil sampel daun pada setiap tanaman, terletak pada anak daun pelepah ke-17 yang berjumlah tiga helai sebelah kanan dan tiga helai sebelah kiri. Anak daun yang dijadikan contoh dibagi menjadi tiga bagian. Sampel yang dibawa ke laboratorium adalah bagian tengah daun yaitu sepertiga bagian dari keseluruhan daun. Kadar hara jaringan daun yang diukur meliputi kadar N, P_2O_5 dan K_2O pada 0 MSP dan 20 MSP.

Analisis Data

Sampel tanah dan daun yang dianalisis di laboratorium terdiri empat perlakuan dan enam ulangan dan data tidak dianalisis secara statistika, penjelasan data berupa penjelasan deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis KTK Tanah

Kapasitas Tukar Kation (KTK) merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kesuburan tanah. KTK menunjukkan kemampuan tanah dalam menahan dan menukar kation-kation atau ion bermuatan positif yang diperlukan oleh tanaman, seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+), natrium (Na^+), dan amonium (NH_4^+) (Kareth et al., 2025). Nilai KTK sangat dipengaruhi oleh fraksi liat, kandungan bahan organik, pH tanah, dan tipe koloid tanah (Felix & Lias, 2020).

Tabel 1 menunjukkan bahwa KTK tanah awal memiliki nilai sebesar 34,30 $cmol.kg^{-1}$, termasuk dalam kategori tinggi menurut klasifikasi Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian (2012). Setelah perlakuan, nilai KTK tanah mengalami perubahan bervariasi sesuai jenis perlakuan yang diberikan. Nilai KTK tertinggi ditemukan pada perlakuan 2,5 kg pupuk NPKMg.tanaman⁻¹ sebesar 45,89 $cmol.kg^{-1}$ dan nilai KTK terendah pada

perlakuan 30 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ sebesar 20,58 cmol.kg⁻¹.

Tabel 1. Hasil analisis laboratorium nilai KTK tanah pada awal dan akhir penelitian

Parameter uji	Awal	Akhir			
		A	B	C	D
KTK (cmol.kg ⁻¹)	34,30	45,89	24,43	20,58	22,00

Sumber: Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman Unpad, 2024

Keterangan: Perlakuan A = pupuk NPKMg (12:12:17:2) 2,5 kg.tanaman⁻¹; B = kompos TKKS 50 kg.tanaman⁻¹; C = kompos TKKS 30 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹; D = kompos TKKS 10 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹.

Pada perlakuan 2,5 kg pupuk NPKMg.tanaman⁻¹, terdapat peningkatan pada nilai KTK tanah yang menunjukkan bahwa aplikasi pupuk NPKMg meningkatkan ketersediaan kation basa (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) di dalam tanah. Peningkatan ini terjadi karena pupuk anorganik, terutama yang mengandung Mg dan K, langsung menyediakan kation-kation yang dapat mengisi tempat pertukaran koloid tanah, sehingga menaikkan nilai KTK terukur (Yang et al., 2024). Unsur magnesium (Mg) pada perlakuan tersebut juga membantu menjaga kestabilan pH tanah, yang berperan dalam memperkuat muatan negatif pada permukaan koloid tanah (Shi & Xia, 2024). Hal ini memungkinkan lebih banyak kation tertahan dalam kompleks pertukaran. Penelitian oleh Handayani (2019) juga menunjukkan bahwa aplikasi NPK meningkatkan KTK pada tanah Andisol sebesar 15–20% dalam satu musim tanam.

Pada perlakuan 50 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹, nilai KTK mengalami penurunan menjadi 24,43 cmol.kg⁻¹. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian kompos TKKS belum memberikan efek positif terhadap peningkatan KTK dalam waktu pengamatan yang relatif singkat. Salah satu alasan utama adalah proses dekomposisi bahan organik yang belum optimal, sehingga menghasilkan senyawa organik sederhana seperti asam asetat atau asam laktat yang cenderung mengkelat kation-kation basa dan tidak stabil dalam kompleks pertukaran (Wang et al., 2016).

Pada perlakuan 30 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ dan perlakuan 10 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ menunjukkan penurunan nilai KTK yang besar, masing-masing menjadi 20,58 cmol.kg⁻¹ dan 22,00 cmol.kg⁻¹. Secara teoritis, adanya kombinasi asam humat dengan kompos TKKS berperan dalam meningkatkan KTK melalui gugus fungsional asam humat yang bermuatan negatif seperti –COOH dan –OH fenolik, yang mampu mengikat kation basa secara reversibel (Sembiring & Yulia, 2016). Namun, efektivitas kombinasi asam humat dengan kompos TKKS tersebut bergantung pada beberapa faktor, salah satunya stabilitas bahan organik tanah. Apabila tidak tersedia bahan organik stabil yang cukup, maka asam humat akan lebih cenderung membentuk senyawa kompleks organik yang mudah larut sehingga dapat membawa kation-kation penting ikut tercuci bersama aliran air (Wang et al., 2016). Hal ini yang terjadi pada perlakuan 10 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ yang memiliki dosis kompos TKKS terendah sehingga belum cukup menyediakan karbon organik stabil yang dibutuhkan untuk mendukung efektivitas kerja asam humat.

Analisis Hara Daun

Analisis hara daun merupakan salah satu metode diagnosis yang efektif untuk mengetahui status hara tanaman secara langsung. Menurut Fairhurst & Mutert (1999), analisis daun pada tanaman kelapa sawit merupakan pendekatan yang lebih representatif dibanding analisis tanah karena mencerminkan unsur hara yang benar-benar terserap dan terakumulasi di jaringan tanaman. Kandungan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dianalisis sebagai indikator status nutrisi tanaman kelapa sawit pada masing-masing perlakuan. Unsur-unsur ini sangat berperan dalam proses fisiologis, morfologis, dan biokimia tanaman, serta berkaitan langsung dengan produktivitas tanaman sawit.

Tabel 2. Konsentrasi hara dalam daun kelapa sawit pada kondisi defisiensi, optimum, dan berlebihan

Unsur hara	Kondisi defisiensi		Kondisi optimum		Kondisi berlebihan	
	Tanaman muda (< 6 tahun)	Tanaman tua (> 6 tahun)	Tanaman muda (< 6 tahun)	Tanaman tua (> 6 tahun)	Tanaman muda (< 6 tahun)	Tanaman tua (> 6 tahun)
N (%)	$< 2,50$	$< 2,30$	$2,60 - 2,90$	$2,40 - 2,80$	$> 3,10$	$> 3,00$
P (%)	$< 0,15$	$< 0,14$	$0,16 - 0,19$	$0,15 - 0,18$	$> 0,25$	$> 0,25$
K (%)	$< 1,00$	$< 0,75$	$1,10 - 1,30$	$0,90 - 1,20$	$> 1,80$	$> 1,90$

Sumber: Von Uexkull & Fairhurst (1991)

Penilaian status hara daun dilakukan berdasarkan hasil analisis kandungan unsur hara N, P, dan K yang diserap oleh daun kelapa sawit TM 1. Acuan penilaian kadar hara daun merujuk pada Tabel 2, yang mencantumkan standar kandungan unsur hara untuk tanaman muda (berumur kurang dari 6 tahun) dalam kondisi defisiensi, optimal, atau berlebih. Pada kajian ini, digunakan data analisis hara daun kelapa sawit TM 1 pada 0 BSP dan 16 BSP. Nilai kandungan hara daun pada 0 BSP digunakan sebagai acuan awal untuk mengetahui kondisi hara sebelum perlakuan, sehingga dapat diamati perubahan yang terjadi setelah perlakuan pada 16 BSP.

Tabel 3. Konsentrasi hara N dalam daun kelapa sawit fase TM

Perlakuan	N total (%)		ΔN (%)	Keterangan
	Awal	Akhir		
A	1,48	1,71	15,54	Naik
B	1,51	1,38	-8,61	Turun
C	1,60	1,41	-11,88	Turun
D	1,60	1,50	-6,25	Turun

Sumber: Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman Unpad, 2024

Keterangan: Perlakuan A = pupuk NPKMg (12:12:17:2) $2,5 \text{ kg.tanaman}^{-1}$; B = kompos TKKS $50 \text{ kg.tanaman}^{-1}$; C = kompos TKKS $30 \text{ kg.tanaman}^{-1} + 300 \text{ mL asam humat.tanaman}^{-1}$; D = kompos TKKS $10 \text{ kg.tanaman}^{-1} + 300 \text{ mL asam humat.tanaman}^{-1}$.

Berdasarkan Tabel 3, pada awal penelitian, kadar N total tertinggi terdapat pada perlakuan kompos TKKS $30 \text{ kg.tanaman}^{-1} + 300 \text{ mL asam humat.tanaman}^{-1}$ dan kompos TKKS $10 \text{ kg.tanaman}^{-1} + 300 \text{ mL asam humat.tanaman}^{-1}$ (1,60%), sedangkan perlakuan pupuk NPKMg (12:12:17:2) sebanyak $2,5 \text{ kg.tanaman}^{-1}$ dan kompos TKKS $50 \text{ kg.tanaman}^{-1}$ memiliki kadar N total yang lebih rendah (1,48% dan 1,51%). Pada akhir penelitian, kadar N total pada perlakuan

pupuk NPKMg (12:12:17:2) sebanyak 2,5 kg.tanaman⁻¹ mengalami peningkatan menjadi 1,71% (meningkat 15,54%). Hal yang berbeda terjadi pada perlakuan kompos TKKS 10 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹, kompos TKKS 50 kg.tanaman, dan kompos TKKS 30 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ yang mengalami penurunan kadar N total secara berturut-turut menjadi 1,50% (menurun 6,25%), 1,38% (menurun 8,61%), dan 1,41% (menurun 11,88%).

Peningkatan kadar nitrogen pada perlakuan pupuk NPKMg menunjukkan bahwa pupuk anorganik dengan formulasi seimbang mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam jaringan daun. Hal ini sesuai dengan pendapat Patria et al. (2018), yang menyatakan bahwa pupuk NPK merupakan sumber hara makro utama yang secara langsung diserap oleh tanaman dan meningkatkan kandungan hara jaringan tanaman dalam waktu relatif singkat.

Penurunan kadar N total pada perlakuan kompos dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti penggunaan nitrogen oleh tanaman untuk sintesis protein dan pertumbuhan vegetatif, atau kehilangan nitrogen melalui pencucian dan denitrifikasi. Menurut Brady & Weil (2017), nitrogen merupakan unsur yang sangat dinamis di dalam tanah, mudah tercuci dan mengalami volatilisasi, terutama jika tidak segera digunakan oleh tanaman atau jika kondisi tanah tidak mendukung stabilitas senyawa nitrogen. Pencucian nitrogen (leaching) merupakan salah satu faktor utama penurunan ketersediaan N, terutama karena bentuk nitrat (NO_3^-) yang sangat larut dalam air dan mudah terbawa ke lapisan tanah yang lebih dalam oleh air hujan atau irigasi. Hal ini didukung oleh Xu et al. (2020) yang melaporkan bahwa dari aplikasi kompos berbeda, 54–67 % dari total N yang hilang lewat larutan organik dan 30–42 % lewat nitrat, terutama sebagai bentuk NO_3^- yang mudah tercuci. Jika nitrogen tercuci sebelum sempat diserap oleh tanaman, maka ketersediaan N di zona perakaran menurun, yang berdampak langsung pada rendahnya kadar N dalam jaringan tanaman, termasuk daun (Brady & Weil, 2017). Hal ini menjelaskan mengapa meskipun kompos diberikan dalam jumlah besar, kadar nitrogen dalam daun tetap menurun.

Efektivitas kompos sebagai penyedia nitrogen bergantung juga pada rasio C/N dan tingkat dekomposisi bahan organik. Kompos TKKS memiliki kandungan lignin dan selulosa yang tinggi, sehingga proses mineralisasi nitrogen berlangsung lebih lambat (Mustangin et al., 2023). Akibatnya, nitrogen yang tersedia dari dekomposisi bahan organik belum mencukupi kebutuhan tanaman selama periode pengamatan. Hal ini didukung oleh pernyataan Lazicki et al. (2020) yang menemukan bahwa kompos berbahan kompleks seperti kulit kayu atau limbah tanaman, dengan rasio C/N tinggi mengalami fase imobilisasi awal, di mana mikroba menyerap N dari tanah, menyebabkan penurunan awal dalam N-mineral sebelum perlahan meningkat kembali.

Perlakuan pupuk NPKMg mampu meningkatkan kadar nitrogen daun dengan kadar hara N akhir sebesar 1,71%, namun masih berada di bawah ambang batas defisiensi untuk tanaman kelapa sawit muda (< 6 tahun), yaitu < 2,5% berdasarkan kriteria Von Uexkull & Fairhurst (1991) dalam Tabel 2. Secara umum, seluruh perlakuan dalam penelitian ini belum mampu meningkatkan kadar nitrogen daun hingga mencapai kisaran optimum (2,6–2,9%), yang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit secara optimal. Keadaan ini menunjukkan bahwa baik perlakuan tunggal pupuk organik maupun dosis pupuk anorganik yang digunakan masih perlu disesuaikan atau dikombinasikan agar dapat memenuhi kebutuhan hara nitrogen secara memadai.

Tabel 4. Konsentrasi hara P_2O_5 dalam daun kelapa sawit fase TM

Perlakuan	P total (%)		ΔP (%)	Keterangan
	Awal	Akhir		
A	0,26	0,41	57,69	Naik
B	0,29	0,42	44,83	Naik
C	0,37	0,42	13,51	Naik
D	0,27	0,52	92,59	Naik

Sumber: Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman Unpad, 2024

Keterangan: Perlakuan A = pupuk NPKMg (12:12:17:2) 2,5 kg.tanaman⁻¹; B = kompos TKKS 50 kg.tanaman⁻¹; C = kompos TKKS 30 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹; D = kompos TKKS 10 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹.

Berdasarkan Tabel 4, pada awal penelitian, kadar P total berkisar antara 0,26% hingga 0,37%. Pada akhir pengamatan, semua perlakuan mengalami peningkatan kadar P total. Peningkatan tertinggi terjadi pada perlakuan kompos TKKS 10 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ yaitu dari 0,27% menjadi 0,52% (meningkat 92,59%), diikuti oleh perlakuan pupuk NPKMg (12:12:17:2) sebanyak 2,5 kg.tanaman⁻¹ yaitu dari 0,26% menjadi 0,41% (meningkat 57,69%), serta perlakuan kompos TKKS 50 kg/tanaman dan kompos TKKS 30 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ yang menjadi 0,42% (masing-masing meningkat 44,83% dan 13,51%).

Peningkatan kadar P ini menunjukkan bahwa baik pupuk anorganik maupun kombinasi kompos dengan asam humat berkontribusi positif terhadap peningkatan fosfor dalam jaringan daun. Menurut Islam et al. (2016), fosfor sangat penting dalam metabolisme energi (ATP dan ADP) tanaman, sintesis asam nukleat, dan mendukung pertumbuhan akar serta pembentukan bunga dan buah. Namun, ketersediaannya dalam tanah sangat dipengaruhi oleh reaksi kimia tanah, terutama fiksasi oleh ion Fe^{3+} dan Al^{3+} .

Perlakuan D yang menggunakan dosis kompos terendah yaitu 10 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ dengan 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ menunjukkan kinerja terbaik dalam meningkatkan kadar P (92,59%). Hal ini disebabkan oleh peran asam humat yang mampu membentuk kompleks stabil dengan ion logam pengikat P seperti Fe^{3+} dan Al^{3+} , sehingga meningkatkan kelarutan dan ketersediaan P dalam tanah (Fahrunsyah et al., 2023). Bahan organik dalam kompos juga berperan sebagai sumber mikroorganisme pelarut fosfat, seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas*, yang menghasilkan enzim fosfatase untuk membantu memobilisasi fosfor terikat (Sonia & Seniawati, 2022).

Perlakuan C yang menggabungkan 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ dengan dosis kompos yang lebih tinggi yaitu 30 kg.tanaman⁻¹ tetapi menghasilkan peningkatan yang relatif kecil (13,51%), dapat mengindikasikan adanya fiksasi P ke bentuk tidak larut atau penggunaan fosfor oleh tanaman selama fase vegetatif aktif. Hal ini diperkuat oleh pendapat Sonia & Seniawati (2008) bahwa tidak semua fosfor yang tersedia secara kimia langsung dapat diserap tanaman karena terikat dalam bentuk tidak larut.

Berdasarkan klasifikasi status hara daun kelapa sawit pada Tabel 2, maka semua perlakuan pada akhir pengamatan telah melampaui kisaran optimal kadar hara P total dan masuk dalam kategori "berlebih". Perlakuan dengan dosis kompos rendah dan tambahan asam humat pada perlakuan D paling efektif meningkatkan serapan fosfor. Namun, peningkatan yang terlalu

tinggi juga perlu diwaspadai karena potensi terjadinya gangguan keseimbangan hara lain, terutama unsur mikro seperti zinc (Zn), besi (Fe), dan tembaga (Cu) karena terjadi antagonisme dalam proses penyerapan (Pulunggono et al., 2020).

Tabel 5. Konsentrasi hara K₂O dalam daun kelapa sawit fase TM

Perlakuan	K total (%)		ΔK (%)	Keterangan
	Awal	Akhir		
A	0,36	0,31	-13,89	Turun
B	0,38	0,19	-50,00	Turun
C	0,38	0,39	2,63	Naik
D	0,35	0,26	-25,71	Turun

Sumber: Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman Unpad, 2024

Keterangan: Perlakuan A = pupuk NPKMg (12:12:17:2) 2,5 kg.tanaman⁻¹; B = kompos TKKS 50 kg.tanaman⁻¹; C = kompos TKKS 30 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹; D = kompos TKKS 10 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹.

Berdasarkan Tabel 5, kadar K total mengalami fluktuasi yang bervariasi. Perlakuan kompos TKKS 30 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ merupakan satu-satunya yang mengalami peningkatan kadar K total dari 0,38% menjadi 0,39% (meningkat 2,63%). Pada perlakuan pupuk NPKMg (12:12:17:2) sebanyak 2,5 kg.tanaman⁻¹ dan kompos TKKS 10 kg.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹, kadar K total mengalami sedikit penurunan, masing-masing menjadi 0,31% (menurun 13,89%) dan 0,26% (menurun 25,71%). Perlakuan kompos TKKS 50 kg.tanaman⁻¹ mengalami penurunan kadar K total yang terbesar dari 0,38% menjadi 0,19% (menurun 50,00%).

Penurunan kadar K pada sebagian besar perlakuan mengindikasikan bahwa unsur kalium telah digunakan secara intensif oleh tanaman kelapa sawit selama periode pengamatan yaitu pertumbuhan dan pembentukan tandan buah segar (TBS). Kalium merupakan unsur yang sangat mobil dalam jaringan tanaman dan berperan dalam regulasi osmotik sel, pengaturan buka-tutup stomata, transpor hasil fotosintesis, aktivasi enzim, serta pembentukan dan akumulasi minyak dalam buah kelapa sawit (Ainun et al., 2021). Kelapa sawit yang sedang berada dalam fase pertumbuhan aktif atau pembentukan tandan buah segar (TBS), kebutuhan akan K sangat tinggi dan akan menyerap K dalam jumlah besar.

Kalium juga bersifat mudah tercuci, terutama pada tanah dengan tekstur berpasir atau pada curah hujan yang tinggi. Menurut Rosolem & Stainer (2017), kehilangan K melalui pencucian adalah salah satu tantangan utama dalam sistem pertanian tropis. Oleh karena itu, penurunan K yang cukup drastis pada perlakuan 50 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ dan 10 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ dapat disebabkan oleh rendahnya kapasitas penahan kation tanah. Sementara itu, pada perlakuan 30 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹, keberadaan bahan organik dalam kompos dalam jumlah cukup dan asam humat telah membantu menjaga retensi K di zona perakaran.

Peningkatan kecil pada perlakuan 30 kg kompos TKKS.tanaman⁻¹ + 300 mL asam humat.tanaman⁻¹ mengindikasikan bahwa penggunaan kombinasi bahan organik dalam dosis tepat bersama asam humat dapat menstabilkan ketersediaan kalium di zona perakaran. Asam humat diketahui mampu membentuk kompleks dengan kation seperti K⁺ sehingga mencegah

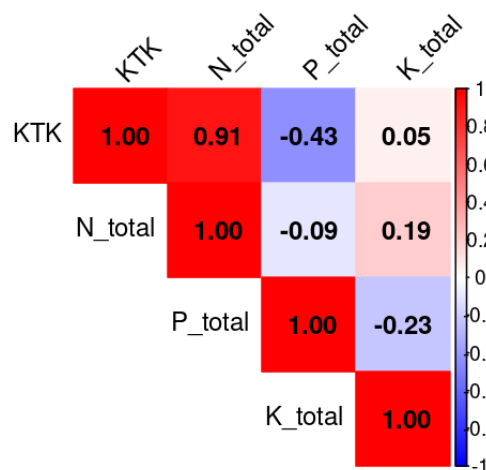
pencucian dan membantu mempertahankan K dalam bentuk tersedia bagi tanaman (Canellas et al., 2015).

Berdasarkan klasifikasi status hara daun kelapa sawit pada Tabel 2, maka semua perlakuan baik pada awal maupun akhir pengamatan, masih berada dalam kategori defisiensi kalium. Artinya, kadar K dalam daun belum mencapai tingkat yang mencukupi untuk mendukung pertumbuhan dan produksi optimal.

Secara umum, berdasarkan hasil penelitian ini, terlihat bahwa pemberian pupuk NPKMg (12:12:17:2) sebanyak 2,5 kg.tanaman⁻¹ efektif dalam meningkatkan kadar nitrogen jaringan daun, sedangkan kombinasi kompos TKKS dengan asam humat berkontribusi pada peningkatan fosfor dan stabilisasi kalium. Aplikasi kompos TKKS tanpa tambahan asam humat, terutama dalam jumlah besar (50 kg.tanaman⁻¹), cenderung menyebabkan penurunan kadar N dan K dalam jaringan daun yang mengindikasikan efektivitasnya sebagai sumber hara tunggal masih terbatas. Strategi pemupukan yang menggabungkan bahan organik dalam dosis tepat dengan asam humat dapat menjadi alternatif berkelanjutan dalam pengelolaan hara kelapa sawit, terutama dalam meningkatkan ketersediaan hara fosfor dan stabilitas kalium bagi tanaman.

Korelasi Nilai KTK Tanah dengan Serapan Hara di Daun

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan parameter penting dalam menilai kemampuan tanah dalam menahan dan menyediakan kation hara bagi tanaman, terutama unsur-unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Dalam penelitian ini, dilakukan uji korelasi antara nilai KTK tanah dengan kadar N, P, dan K total dalam jaringan daun kelapa sawit pada akhir pengamatan.



Gambar 1. Matriks korelasi Pearson antara nilai KTK tanah dengan serapan hara N, P, dan K total pada jaringan daun kelapa sawit fase TM. Warna merah menunjukkan korelasi positif, biru menunjukkan korelasi negatif, dan intensitas warna mencerminkan kekuatan hubungan. Nilai dalam kotak menunjukkan koefisien korelasi (r) antara masing-masing parameter.

Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif sangat kuat antara KTK tanah dan kadar nitrogen daun ($r = 0,91$), meskipun secara statistik tidak signifikan pada tingkat 5% ($p = 0,086$). Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan KTK cenderung diikuti oleh peningkatan kadar N dalam jaringan tanaman. Korelasi ini secara fisiologis dapat dijelaskan oleh

peran KTK dalam menjaga keberadaan ion amonium (NH_4^+), salah satu bentuk utama nitrogen yang diserap tanaman. Tanah dengan KTK tinggi mampu menahan lebih banyak ion amonium pada permukaan partikel liat dan bahan organik, sehingga mencegah pencucian dan memperpanjang ketersediaan nitrogen bagi tanaman (Brady & Weil, 2017).

Hasil uji korelasi antara KTK dan kadar fosfor (P) dalam daun menunjukkan arah yang negatif sedang ($r = -0,43$) dengan nilai $p = 0,568$. Korelasi ini bersifat tidak signifikan, menunjukkan bahwa peningkatan KTK tidak secara langsung memengaruhi peningkatan kadar P dalam jaringan tanaman. Hal ini dapat dijelaskan karena fosfor dalam tanah memiliki dinamika yang kompleks dan ketersediaannya sangat dipengaruhi oleh pH tanah, serta pembentukan senyawa tidak larut dengan ion besi (Fe^{3+}), aluminium (Al^{3+}), dan kalsium (Ca^{2+}) (Islam et al., 2024). Fosfor juga tidak berada dalam bentuk kation, sehingga tidak berinteraksi secara langsung dengan situs pertukaran kation dalam tanah.

Adapun untuk unsur kalium (K), hasil korelasi dengan KTK menunjukkan nilai koefisien yang sangat lemah ($r = 0,05$; $p = 0,948$), mengindikasikan tidak adanya hubungan antara KTK tanah dan kadar K dalam daun. Padahal, secara teori kalium adalah kation univalen (K^+) yang mestinya berinteraksi dengan situs pertukaran kation dalam tanah. Namun, dalam sistem tanah tropis dengan curah hujan tinggi dan tekstur tanah yang ringan, kalium sangat mudah tercuci (Rosolem & Stainer, 2017). Hal ini menyebabkan ketersediaan K dalam tanah dan kandungannya dalam jaringan tanaman lebih dipengaruhi oleh pencucian dan pengambilan oleh tanaman daripada oleh kapasitas tukar kation. Di sisi lain, pengaruh bahan organik dan asam humat pada perlakuan tertentu dapat membantu menjaga keberadaan K di zona perakaran, tetapi efek ini tidak cukup kuat untuk menunjukkan korelasi signifikan dengan nilai KTK.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa KTK tanah berperan penting dalam menjaga ketersediaan unsur nitrogen bagi tanaman, namun pengaruhnya terhadap fosfor dan kalium lebih kompleks dan tergantung pada faktor lain seperti bentuk ion, interaksi kimia, dan dinamika pencucian (*leaching*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pemberian pupuk NPKMg (12:12:17:2) sebanyak $2,5 \text{ kg.tanaman}^{-1}$ terbukti efektif dalam meningkatkan nilai KTK tanah dan kadar nitrogen daun kelapa sawit. Sementara itu, kombinasi asam humat dengan kompos, terutama pada dosis rendah (perlakuan D), memberikan kontribusi terhadap peningkatan kadar fosfor daun, meskipun kadar kalium cenderung menurun pada sebagian besar perlakuan. Korelasi yang sangat kuat antara KTK dan kadar nitrogen daun menunjukkan pentingnya peran KTK dalam mendukung ketersediaan hara, khususnya nitrogen. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemupukan terpadu antara bahan organik dan anorganik perlu disesuaikan secara proporsional untuk mencapai keseimbangan hara yang optimal pada tanaman kelapa sawit.

Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi pupuk organik dan anorganik dengan variasi dosis yang lebih luas, serta mempertimbangkan interaksi dengan

mikroorganisme tanah pelarut hara guna mengoptimalkan status hara dan produktivitas tanaman kelapa sawit secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainun, A., Walida, H., Dalimunthe, A., & Rizal, K. (2021). Status hara serapan kalium pada tanaman kelapa sawit di Desa Perlabian Kecamatan kampung rakyat Kabupaten Labuhanbatu Selatan. *Ziraa'ah*, 46(2), 193-198.
- Aprilia, I. B., Sasongko, P. E., & Siswanto, S. (2024). Aplikasi formulasi bahan pembenah tanah terhadap beberapa sifat kimia tanah berpasir dan produksi tanaman padi. *Jurnal Agrotropika*, 23(1), 89-98.
- Ardian, A., Hariani, D. Z., Pramana, A., & Idwar, I. (2024). The effect of oil palm empty fruit bunches (EFB) compost and N, P, K fertilizers on the growth and yield of lowland rice (*Oryza sativa* L.). *Agrisocionomics: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 8(2), 614-620.
- Badan Penelitaian dan Pengembangan Pertanian Kementrian Pertanian. (2012). *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils (Vol. 1104)*. Pearson.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15–27.
- Ely, E. O., Sofyan, E. T., & Sara, D. S. (2020). The effect of NPK+ Mg fertilizer application on potassium availability, potassium uptake, and yield of sweet corn (*Zea mays Saccharata* Sturt) in Inceptisols. *International Journal of Energy and Environmental Science*, 5(3), 47-50.
- Endriani, E., Farni, Y., Listyarini, D., & Fuadi, N. A. (2024). The Effectiveness of biochar, compost, and natural phosphate in improving soil quality in oil palm plantations. *Akta Agrosia*, 27(2), 71-80.
- Fahrunsyah, R., Jannah, R., & Utama, A. A. (2023). Perubahan pH, aluminium dapat tukar dan fosfor tersedia Ultisol karena pemberian pupuk organik batang pisang dan abu terbang batubara. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/210.35941/JATL>
- Fairhurst, T. H., & Mutert, E. (1999). Interpretation of soil and foliar analysis data in oil palm. *Better Crops International*, 13(1), 48–52.
- Felix, I., Neswati, R., & Lias, S. A. (2020). Karakterisasi lahan sawah bukaan baru hasil konversi lahan hutan di Desa Kalosi Kecamatan Towuti Kabupaten Luwu Timur. *Jurnal Ecosolum*, 9(1), 69-89.
- Handayani, N. W. (2019). *Efektivitas Pemberian Mikoriza dan Pupuk NPK terhadap Serapan Unsur Hara N, P, K Tanaman Kentang (Solanum tuberosum L.) di Andisol* (Unpublished undergraduate thesis, Universitas Brawijaya).
- Hutajulu, R. M. (2025). Kajian status hara pada tanah gambut dan mineral pengaruhnya terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit di PT. Eka Dura Indonesia (Unpublished undergraduate thesis, Instiper Yogyakarta).

- Islam, M., Siddique, K. H. M., Padhye, L. P., Pang, J., Solaiman, Z. M., Hou, D., Srinivasarao, C., Zhang, T., Chandana, P., Venu, N., Prasad, J. V. N. S., Srinivas, T., Singh, R., Kirkham, M. B., & Bolan, N. (2024). A critical review of soil phosphorus dynamics and biogeochemical processes for unlocking soil phosphorus reserves. *Advances in Agronomy*, 185, 153-249.
- Kareth, N., Osok, R. M., Kalay, A. M., & Talahaturuson, A. (2025). Karakteristik tanah dan status kesuburan lahan ladang berpindah di Kabupaten Maybrat Provinsi Papua Barat Daya. *AGROLOGIA: Jurnal Ilmu Budidaya Tanaman*, 14(1), 79-93.
- Lazicki, P., Geisseler, D., & Lloyd, M. (2020). Nitrogen mineralization from organic amendments is variable but predictable. *Journal of Environmental Quality*, 49(2), 483-495. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20030>
- Mustangin, A., Beni, Y., Sari, Y. S., & Yama, D. I. (2023). Pengaruh lama pengomposan terhadap sifat kimia kompos tandan kosong kelapa sawit dengan inokulum *Trichoderma*, *Azobacter*, dan limbah cair pabrik kelapa sawit. *Jurnal Agroekoteknologi*, 15(1), 16-29.
- Patria, W., T., Pradana, T. R., Irawan, A. F., & Gofar, N. (2022). Pertumbuhan dan kadar hara NPK tanaman kelapa sawit dengan dan tanpa aplikasi decanter solid. *Jurnal Agroekoteknologi*, 14(1), 31-45.
- Pulunggono, H. B., Zulfajrin, M., & Hartono, A. (2020). Distribusi sifat kimia gambut di perkebunan sawit dan hubungannya dengan kedalaman lapisan gambut dan jarak dari tanah mineral berbatuan induk batuan ultrabasa. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 22(1), 22-28.
- Rosolem, C. A., & Steiner, F. (2017). Effects of soil texture and rates of K input on potassium balance in tropical soil. *European Journal of Soil Science*, 68(5), 658-666.
- Sembiring, J. V., Nelvia, N., & Yulia, A. E. (2016). Pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di pembibitan utama pada medium sub soil Ultisol yang diberi asam humat dan kompos tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Agroteknologi*, 6(1), 25-32.
- Shi, L., & Xia, L. (2024). Study on the leaching status of magnesium nutrients in soil and its influencing factors. *Frontiers in Science and Engineering*, 4(2), 15-20.
- Sonia, A. V., & Setiawati, T. C. (2022). Aktivitas bakteri pelarut fosfat terhadap peningkatan ketersediaan fosfat pada tanah masam. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 15(1), 44-53.
- Von Uexkull, H. R., & Fairhurst, T. H. (1991). *Fertilizing for High Yield and Quality the Soil Palm*. International Potash Institute.
- Wang, Y., Whalen, J. K., Chen, X., Cao, Y., Huang, B., Lu, C., & Shi, Y. (2016). Mechanisms for altering phosphorus sorption characteristics induced by low-molecular-weight organic acids. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(3), 289-298.
- Yang, M., Zhou, D., Hang, H., Chen, S., Liu, H., Su, J., Huilin, L., V., Jia, H., & Zhao, G. (2024). Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation exchange capacity. *Agronomy*, 14(3), 629.
- Xu, Y., Ma, Y., Cayuela, M. L., Sánchez-Monedero, M. A., & Wang, Q. (2020). Compost biochemical quality mediates nitrogen leaching loss in a greenhouse soil under vegetable cultivation. *Geoderma*, 358, 113984.