



Dinamika Sifat Kimia Tanah pada Kronosekuensi Umur Tanaman Menghasilkan (TM) Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.)

*Soil Chemical Dynamics Across a Chronosequence of Oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Mature Stand Ages*

Retno Leodita Lubis^{1a}, Yaumil Khairiyah¹, R Ayu Chairunnisya¹, Laila Wijaya¹, Khusrizal², Halim Akbar²

¹Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

²Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh, Indonesia

ARTICLE INFO

| | | |
|---|--|--|
| Volume 17 Issue 1 (April 2026) e-ISSN 2550-1143 doi: https://doi.org/10.30997/jp.v17i1.24467 | Corresponding Author: Retno Leodita Lubis retnoleoditalubis128@usk.ac.id | Article history: Received: 03-15-2026 Accepted: 04-03-2026 Available online: 04-14-2026 |
|---|--|--|

How to Cite:

Lubis, R. L., Khairiyah, Y., Chairunnisya, R. A., Wijaya, L., Khusrizal, & Akbar, H. (2026). Dinamika Sifat Kimia Tanah pada Kronosekuensi Umur Tanaman Menghasilkan (TM) Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.). *Jurnal Pertanian*, 17(1), 110-122. <https://doi.org/10.30997/jp.v17i1.24467>

ABSTRACT

Soil chemical characteristics within oil palm plantation ecosystems are inherently dynamic and heavily influenced by plant age. This study aims to evaluate the dynamics of soil chemical properties across various age chrono sequences of Mature Stands at PT Langkat Nusantara Kepong, Padang Brahrang Estate. A descriptive survey method was employed, with soil sampling conducted at a depth of 0–20 cm across four maturity levels: 5, 7, 10, and 11 years after planting. Key parameters analyzed included pH, total Nitrogen (N-total), available Phosphorus (P-available), exchangeable Potassium (K-dd), and Cation Exchange Capacity (CEC). The results reveal that increasing plant age positively correlates with an upward trend in soil pH, shifting from acidic (<5,20) to a more neutral (>5,40) by age 11, primarily driven by the mineralization of base cations from organic residues. The Cation Exchange Capacity (CEC) reached its optimum at age 7 (20,22 cmol(+) kg^{-1}) before experiencing a decline at ages 10 and 11. Exchangeable Potassium (K-dd) exhibited a fluctuating pattern, characterized by a significant spike at age 10 (0,65 cmol(+) kg^{-1}). The observed decline in available P and K at age 11 suggests a nutrient deficit resulting from high nutrient removal rates during peak harvesting.

Keywords: Oil palm, soil chemistry, chronosequence, nutrient cycling, plant age.

ABSTRAK

Karakteristik kimia tanah pada ekosistem perkebunan kelapa sawit bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi oleh faktor umur tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika sifat kimia tanah pada berbagai kronosekuensi umur Tanaman Menghasilkan (TM) di PT Langkat Nusantara Kepong, Kebun Padang Brahrang. Penelitian menggunakan metode survei deskriptif dengan pengambilan sampel tanah pada kedalaman 0–20 cm di empat tingkatan umur tanaman menghasilkan: 5, 7, 10, dan 11 tahun. Parameter yang dianalisis meliputi pH, N-total, P-tersedia, K-dd, dan KTK. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertambahan umur tanaman berkorelasi positif terhadap peningkatan pH tanah dari kriteria masam (<5,20) menjadi lebih netral (>5,40) pada umur 11 tahun, yang disebabkan oleh mineralisasi basa-basa dari residu organik. Kapasitas Tukar Kation (KTK) mencapai nilai optimal pada umur 7 tahun (20,22 cmol(+) kg^{-1}) sebelum kemudian menurun pada umur 10 dan 11 tahun. Kalium (K-dd) menunjukkan pola fluktuatif dengan lonjakan signifikan pada umur 10 tahun (0,65 cmol(+) kg^{-1}). Penurunan ketersediaan P dan K pada umur 11 tahun menunjukkan terjadi penurunan yang disebabkan karena laju pemanenan yang tinggi.

Kata kunci: kelapa sawit, kimia tanah, kronosekuen, siklus hara, umur tanaman.





1. Pendahuluan

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas unggulan yang berkontribusi penting dalam penerimaan devisa negara (Gultom & Sinaga, 2023). Tanaman ini berperan sebagai salah satu produsen dan eksportir terbesar dunia (Rozi et al., 2023) yang menyebabkan ekspansi lahan perkebunan secara masif. Masifnya ekspansi lahan perkebunan di Indonesia menuntut perhatian serius terhadap aspek keberlanjutan ekologis, terutama terkait degradasi kualitas tanah. Keberlanjutan produktivitas lahan kelapa sawit ditentukan pada pemeliharaan fungsi tanah, di mana sifat kimia tanah bertindak sebagai indikator determinan bagi kesehatan tanah dan efisiensi serapan hara (Radulov & Berbecea, 2024). Sifat-sifat ini mempengaruhi kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman, memelihara keseimbangan ekologis, dan memastikan produktivitas pertanian berkelanjutan (Martínez et al., 2020; Siregar et al., 2025). Pemahaman mendalam mengenai dinamika sifat kimia tanah menjadi kunci dalam upaya pengelolaan lahan kelapa sawit yang efektif dan berkelanjutan.

Dinamika kesuburan tanah pada lahan kelapa sawit bersifat kompleks akibat interaksi antara vegetasi, iklim, manajemen pemupukan, serta umur tanaman (Suherman et al., 2024). Secara khusus, umur tanaman kelapa sawit memiliki peran krusial terhadap dinamika kesuburan tanah melalui mekanisme siklus hara. Pada fase awal pertumbuhan (TBM), tanaman kelapa sawit cenderung menyerap unsur hara dalam jumlah relatif kecil. Namun kebutuhan hara meningkat signifikan seiring dengan bertambahnya umur tanaman dan memasuki fase produktif. Ogbemudia dan Ogboghodo (2020), melaporkan adanya variasi kadar nutrisi yang lebih tinggi pada perkebunan tua (>10 tahun) dibandingkan lahan muda (3–6 tahun). Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan umur tanaman akan berimplikasi nyata terhadap perubahan sifat kimia tanah.

Tanaman kelapa sawit yang semakin tua memiliki sistem perakaran yang lebih luas dan tajuk tanaman yang lebih lebat, yang mempengaruhi karakteristik tanah di sekitarnya (Phalempin et al., 2025; Helliwell et al., 2019; Gregory, 2022). Kepadatan sistem perakaran tanah berperan signifikan dalam meningkatkan perkembangan bakteri penambat N (Tonkha & Dzyazko, 2014), dan aktivitas mikroba tanah (Paes et al., 2018), yang secara tidak langsung meningkatkan ketersediaan hara di dalam tanah. Akumulasi bahan organik lebih tinggi meningkat seiring dengan pertambahan umur tanaman, menyebabkan kadar C organik lebih tinggi pada lahan kelapa sawit yang lebih tua dibandingkan yang lebih muda (Wang et al., 2024). Dekomposisi serasah kelapa sawit dewasa melepaskan nutrisi cukup besar dengan mineralisasi mencapai 43% nitrogen dan 76% kalium dalam waktu 24 minggu (Kee and Chew, 1997). Mineralisasi ini tidak hanya meningkatkan ketersediaan hara, tetapi juga mempengaruhi pH tanah yang cenderung meningkat seiring dengan pertambahan umur tanaman.

Kajian terdahulu mengenai sifat kimia tanah pada perkebunan kelapa sawit sebagian besar difokuskan pada respons tanah terhadap pemupukan anorganik dan kebutuhan hara pada fase tertentu (Suherman et al., 2024; Ogbemudia & Ogboghodo,





2020). Meskipun beberapa studi telah melaporkan variasi sifat kimia tanah antar umur tegakan, kajian tersebut umumnya dilakukan pada rentang umur yang sempit, tanpa pendekatan kronosekuensi yang sistematis, dan jarang mengintegrasikan beberapa parameter kimia tanah secara bersamaan dalam satu kerangka analisis. Selain itu, penelitian yang mengeksplorasi mekanisme ekologis di balik perubahan sifat kimia tanah — seperti mineralisasi residu organik dan siklus hara internal — secara spesifik pada fase tanaman menghasilkan (TM) masih sangat terbatas dalam literatur internasional. Kesenjangan pengetahuan ini menyebabkan pemahaman tentang trajektori perubahan kesuburan tanah sepanjang siklus produktif tanaman belum dapat dirumuskan secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk mengisi gap tersebut dengan mengkaji dinamika sifat kimia tanah (pH, N-total, P-tersedia, K-dd, dan KTK) secara simultan pada empat kelas umur tanaman menghasilkan melalui pendekatan kronosekuensi. Kontribusi spesifik penelitian ini adalah menyediakan baseline data ilmiah yang dapat digunakan sebagai acuan pengelolaan kesuburan tanah yang adaptif terhadap tahap perkembangan tegakan kelapa sawit.

2. Materi dan Metode

Penelitian dilaksanakan di Kebun Padang Brahrang, PT. Langkat Nusantara Kepong, Kecamatan Selesai, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi penelitian dipilih dengan pertimbangan bahwa kebun tersebut memiliki representasi berbagai umur tanaman kelapa sawit yang dikelola secara intensif dengan sistem manajemen yang seragam.

Penelitian ini menggunakan metode survei deskriptif untuk mengkaji dinamika sifat kimia tanah pada lahan kelapa sawit dengan umur tanaman yang berbeda. Empat blok dengan umur tanaman menghasilkan (TM) dipilih secara purposive, yaitu blok dengan umur tanaman 5 tahun (TM 1), 7 tahun (TM 2), 10 tahun (TM 3), dan 11 tahun (TM 4). Pemilihan blok didasarkan pada representasi fase produktivitas tanaman kelapa sawit, dimana tanaman berumur 5 tahun mewakili fase awal produksi, 7-10 tahun mewakili fase produktif, dan 11 tahun mewakili fase produktif optimum. Perlu ditekankan bahwa pendekatan kronosekuensi yang digunakan dalam penelitian ini bersifat *space-for-time substitution*, di mana perbedaan antar blok umur diinterpretasikan sebagai proksi perubahan temporal. Oleh karena itu, interpretasi hubungan antara umur tanaman dan sifat kimia tanah dalam penelitian ini bersifat asosiatif, bukan kausal, mengingat adanya kemungkinan variasi antar blok yang tidak sepenuhnya dapat dikontrol seperti sejarah pemupukan spesifik per blok dan variabilitas tanah awal. Setiap blok memiliki kondisi topografi relatif datar, jenis tanah yang sama, dan mendapat perlakuan pemupukan sesuai rekomendasi standar perusahaan.

Pengambilan sampel tanah dilakukan menggunakan metode grid sampling dengan lima titik pengamatan pada setiap blok yang ditentukan berdasarkan representasi sebaran tanaman dan kondisi lahan. Pada setiap titik pengamatan, diambil





lima sub-sampel secara acak dalam radius 5 meter yang kemudian dikompositkan untuk memperoleh satu sampel komposit per titik. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-30 cm dengan pertimbangan bahwa lapisan tersebut merupakan zona perakaran aktif dan zona aplikasi pemupukan tanaman kelapa sawit. Pengambilan sampel dilakukan di antara barisan tanaman dengan jarak ± 2 meter dari pokok tanaman untuk menghindari pengaruh langsung dari batang tanaman. Sebanyak ± 1 kg sampel tanah komposit dari setiap titik dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel, sehingga total sampel yang dikumpulkan berjumlah 20 sampel komposit. Setiap blok umur tanaman diperlakukan sebagai satu unit pengamatan, dengan lima titik pengambilan sampel komposit yang berfungsi sebagai ulangan (*pseudo-replication*) dalam analisis statistik. Dengan demikian, setiap perlakuan umur tanaman diwakili oleh $n = 5$ unit sampel komposit independen.

Sampel tanah yang telah dikumpulkan dibersihkan dari sisa-sisa akar, serasah, dan bahan organik kasar, kemudian dikeringanginkan pada suhu ruang hingga mencapai kondisi kering udara. Sampel kering udara diayak menggunakan ayakan berukuran 2 mm untuk memisahkan fraksi tanah halus yang selanjutnya digunakan untuk analisis laboratorium. Preparasi sampel dilakukan secara hati-hati untuk mempertahankan kondisi alami sifat kimia tanah dan menghindari kontaminasi.

Parameter sifat kimia tanah yang dianalisis meliputi pH tanah, nitrogen total (N-total), fosfor tersedia (P-tersedia), kalium dapat ditukar (K-dd), dan kapasitas tukar kation (KTK). Pengukuran pH tanah dilakukan dengan metode elektrometrik menggunakan pH meter, Nitrogen total (Kjeldahl), Fosfor tersedia (Bray I), Kalium dapat ditukar (Morgan), Kapasitas tukar kation (ekstraksi menggunakan amonium asetat (NH_4OAc) 1 M pada pH 7). Data hasil analisis laboratorium ditabulasi dan dianalisis menggunakan dua pendekatan statistik. Pertama, analisis deskriptif komparatif dilakukan untuk mengidentifikasi pola perubahan sifat kimia tanah pada berbagai umur tanaman. Kedua, untuk menguji signifikansi perbedaan antar kelompok umur tanaman, dilakukan uji Kruskal-Wallis sebagai alternatif non-parametrik dari ANOVA satu arah, mengingat jumlah ulangan yang terbatas ($n = 5$ per kelompok) sehingga asumsi normalitas sulit dipenuhi secara robust. Apabila uji Kruskal-Wallis menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$). Selain itu, dilakukan analisis regresi sederhana antara umur tanaman (variabel independen) dan masing-masing parameter kimia tanah (variabel dependen) untuk mengevaluasi arah dan kekuatan hubungan antara kedua variabel tersebut. Seluruh analisis statistik dan visualisasi data dalam bentuk *boxplot* dilakukan menggunakan perangkat lunak R Studio. Pembahasan hasil analisis dilakukan dengan membandingkan temuan penelitian terhadap hasil-hasil penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi konsistensi dan perbedaan pola dinamika sifat kimia tanah pada perkebunan kelapa sawit.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini mengkaji dinamika lima parameter sifat kimia tanah — pH, Kapasitas Tukar Kation (KTK), Nitrogen Total (N-total), Fosfor Tersedia (P-tersedia),





dan Kalium dapat ditukar (K-dd) — pada empat kelas umur tanaman menghasilkan kelapa sawit (5, 7, 10, dan 11 tahun). Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa respons masing-masing parameter terhadap penambahan umur tanaman bervariasi, baik dalam arah maupun kekuatannya. Untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan antar kelompok umur secara statistik, dilakukan uji Kruskal-Wallis, disertai analisis regresi sederhana sebagai ukuran kekuatan hubungan linier antara umur tanaman dan masing-masing parameter, yang hasilnya dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil uji Kruskal-Wallis dan analisis regresi sederhana sifat kimia tanah pada berbagai umur tanaman kelapa sawit

| Parameter | Umur 5 th (mean ± SD) | Umur 7 th (mean ± SD) | Umur 10 th (mean ± SD) | Umur 11 th (mean ± SD) | H | p | R ² | p (regresi) |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|---------------|----------------|----------------|
| pH (H ₂ O) | 5,03 ± 0,23 | 5,22 ± 0,12 | 5,27 ± 0,16 | 5,36 ± 0,09 | 8,83 | 0,032* | 0,374 | 0,004* |
| KTK (me/100g) | 18,99 ± 1,17 | 19,19 ± 0,83 | 19,07 ± 1,09 | 18,94 ± 1,44 | 0,69 | 0,874 | 0,001 | 0,916 |
| N-Total (%) | 0,200 ± 0,012 | 0,192 ± 0,004 | 0,204 ± 0,011 | 0,200 ± 0,007 | 4,78 | 0,188 | 0,036 | 0,425 |
| P-Tersedia (ppm) | 20,38 ± 0,78 | 14,55 ± 1,12 | 20,46 ± 0,80 | 15,09 ± 0,71 | 14,36 | 0,002* | 0,066 | 0,274 |
| K-dd (me/100g) | 0,586 ± 0,17 | 0,274 ± 0,07 | 0,646 ± 0,35 | 0,508 ± 0,35 | 7,29 | 0,063 | 0,012 | 0,653 |

Keterangan: Data disajikan sebagai mean ± SD (n=5); * = signifikan pada $p < 0,05$; H = statistik uji Kruskal-Wallis; R² = koefisien determinasi regresi sederhana.

Berdasarkan Tabel 1, dari kelima parameter yang dianalisis, hanya pH tanah ($p = 0,032$) dan P-Tersedia ($p = 0,002$) yang menunjukkan perbedaan signifikan antar kelompok umur tanaman berdasarkan uji Kruskal-Wallis. Analisis regresi sederhana selanjutnya mengkonfirmasi bahwa hanya pH yang memiliki hubungan linier yang signifikan dengan umur tanaman ($R^2 = 0,374$; $p = 0,004$), sementara parameter lainnya — KTK, N-total, dan K-dd — tidak menunjukkan perbedaan antar kelompok umur maupun tren linier yang signifikan secara statistik. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengaruh umur tanaman terhadap sifat kimia tanah bersifat selektif, tidak seragam pada semua parameter, dan cenderung lebih kuat pada parameter yang terkait langsung dengan proses mineralisasi bahan organik. Pembahasan berikut menyajikan analisis per parameter secara lebih rinci.

3.1 pH Tanah

Hasil analisis menunjukkan adanya variasi pH tanah pada lahan kelapa sawit pada berbagai umur tanaman kelapa sawit (Gambar 1). Nilai pH tanah berkisar antara 4,64-5,46 dengan nilai terendah terdapat pada tegakan umur 5 tahun sedangkan nilai pH tertinggi terdapat pada lahan kelapa sawit umur 11 tahun. Uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pH yang signifikan antar kelompok umur tanaman ($H = 8,83$; $p = 0,032$). Uji perbandingan berganda Mann-Whitney dengan koreksi Bonferroni mengindikasikan bahwa perbedaan yang nyata terjadi antara umur 5 tahun dan 11 tahun ($p = 0,048$), sementara pasangan umur lainnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Analisis regresi sederhana menunjukkan hubungan positif yang signifikan antara umur tanaman dan pH ($R^2 = 0,374$; $p = 0,004$),

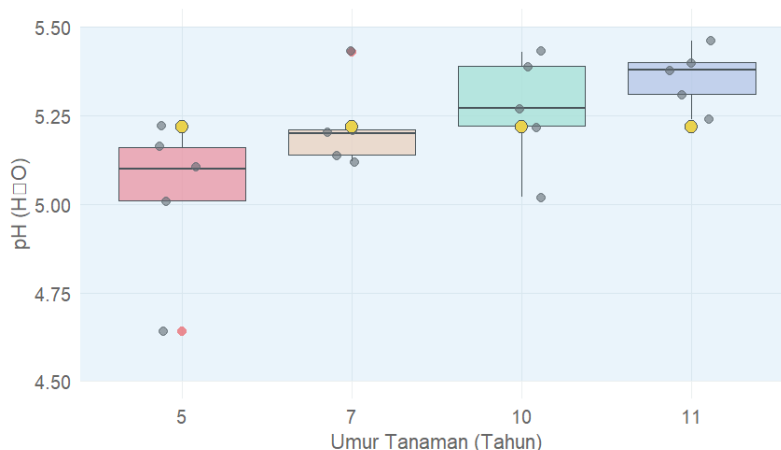




yang mengindikasikan bahwa sekitar 37,4% variasi pH tanah dapat dijelaskan oleh pertambahan umur tanaman. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hayadi *et al.*, (2014) yang melaporkan bahwa pH tanah meningkat seiring dengan pertambahan umur tanaman. Hal serupa juga terjadi pada penelitian (Osinuga, 2021), yang menunjukkan peningkatan pH tanah dari 5,86 pada tanaman muda (umur 5-10 tahun) menjadi 5,92 pada tanaman yang lebih tua (umur 10-15 tahun).

Peningkatan nilai pH seiring bertambahnya umur tanaman berkaitan erat dengan dinamika **rhizosfer** dan akumulasi bahan organik yang berasal dari pelapukan serasah (*frond stack*) serta biomassa akar tua. Secara teknis, dekomposisi residu organik pada tanaman yang lebih tua meningkatkan konsentrasi kation basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^{+}) di dalam larutan tanah. Pelepasan kation-kation tersebut melalui proses mineralisasi berfungsi sebagai agen penyangga (*buffering agent*) yang efektif dalam menetralkan aktivitas ion H^{+} serta menekan kelarutan aluminium (Al^{3+}) yang merupakan sumber utama keasaman pada tanah.

Mekanisme kenaikan pH ini didorong oleh mineralisasi bahan organik yang dimediasi oleh aktivitas mikroorganisme tanah. Selama dekomposisi, senyawa organik kompleks dipecah menjadi unsur anorganik yang melepaskan gugus fungsional pengikat proton (H^{+}) serta kation basa ke dalam kompleks pertukaran tanah (Reis & Rodella, 2002). Menurut Sulaiman *et al.*, (2023), pelapukan biomassa kelapa sawit mampu meningkatkan pH tanah rata-rata sebesar 12,4%. Hal ini diperkuat oleh (Hidayanti & Reflis, 2025) yang menyatakan bahwa akumulasi residu tanaman secara berkelanjutan efektif menurunkan tingkat keasaman tanah dari kondisi masam (pH 4,5) menuju kondisi yang lebih netral.



Gambar 1 pH tanah pada berbagai umur tanaman kelapa sawit

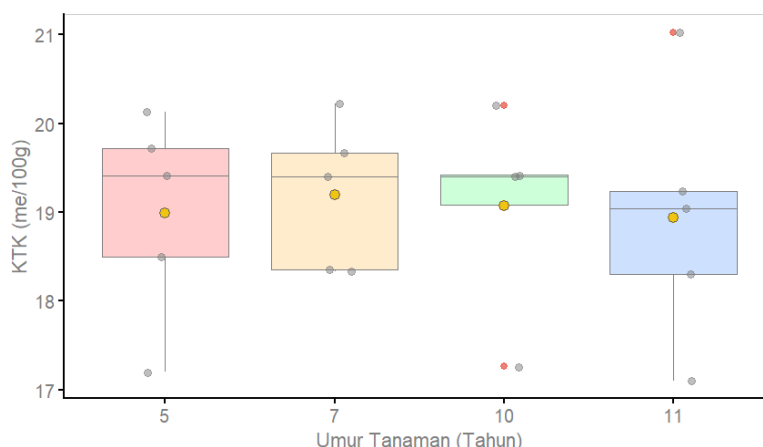
Akumulasi dan dekomposisi bahan organik berfungsi sebagai mekanisme ameliorasi alami yang secara konsisten menurunkan tingkat kemasaman tanah seiring bertambahnya umur tanaman. Hasil ini memiliki implikasi praktis bagi pengelolaan perkebunan, yaitu bahwa praktik pengembalian pelepah (*frond stacking*) ke lahan secara konsisten dapat dioptimalkan sebagai strategi ameliorasi keasaman tanah alami, sehingga berpotensi mengurangi kebutuhan pengapuran pada blok-blok dengan umur tanaman yang lebih muda.



3.2 Kapasitas Tukar Kation

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, nilai KTK tanah pada berbagai umur tanaman menunjukkan kisaran yang relatif sempit, yaitu antara 17,10–21,03 me/100 g. Uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa perbedaan KTK antar kelompok umur tanaman tidak signifikan secara statistik ($H = 0,69$; $p = 0,874$), demikian pula analisis regresi yang tidak menunjukkan hubungan linier yang bermakna antara umur tanaman dan KTK ($R^2 = 0,001$; $p = 0,916$). Meskipun demikian, secara deskriptif teramati adanya fluktuasi nilai median KTK, dengan nilai maksimum pada umur 7 tahun (19,40 me/100 g) dan nilai minimum pada umur 11 tahun (19,04 me/100 g) (Gambar 2).

Peningkatan KTK hingga fase produktif awal (umur 7 tahun) ini berkaitan erat dengan akumulasi bahan organik tanah yang sedang berada pada kondisi optimal. Pada periode ini, kontribusi dari *litterfall* (serasah daun) serta perkembangan sistem perakaran yang semakin luas memicu pembentukan humus dan fraksi koloid organik (Júnior et al., 2019). Secara kimiawi, koloid organik ini memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan kaya akan muatan negatif, sehingga secara langsung memperkuat kemampuan tanah dalam mengikat serta menyediakan kation-kation basa esensial seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^+ bagi tanaman (Kyaschenko et al., 2019; Paul, 2016; Trofimov, 1997).



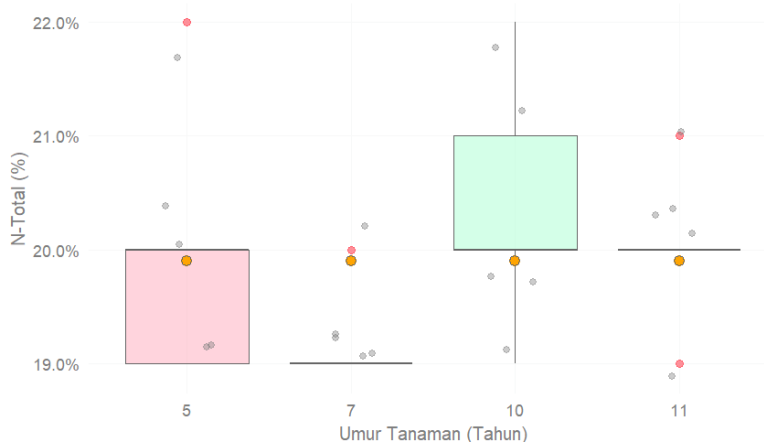
Gambar 2 KTK tanah pada berbagai umur tanaman kelapa sawit

Penurunan nilai KTK pada tanaman yang berumur lebih tua (11 tahun) diduga berkaitan dengan tingginya laju pengambilan hara melalui panen TBS pada fase produktif puncak (de Bortolli et al., 2024), namun mengingat perbedaan ini tidak signifikan secara statistik, interpretasi tersebut perlu dilakukan secara hati-hati. Kecenderungan penurunan KTK pada blok yang lebih tua mengindikasikan pentingnya pemantauan berkala terhadap status bahan organik tanah. Pengembalian residu organik secara konsisten, seperti aplikasi tandan kosong dan pelepah, direkomendasikan sebagai langkah preventif untuk mempertahankan kapasitas penyanga hara tanah pada fase produktif lanjut.



3.3 Nitrogen Total (N Total)

Berdasarkan hasil analisis, kandungan N-total tanah menunjukkan variasi yang relatif kecil antar kelompok umur tanaman, berkisar antara 0,190–0,220%. Uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa perbedaan N-total antar kelompok umur tidak signifikan secara statistik ($H = 4,78$; $p = 0,188$), dan analisis regresi juga tidak menemukan hubungan linier yang bermakna ($R^2 = 0,036$; $p = 0,425$). Meskipun demikian, secara deskriptif kandungan N-Total pada umur tanaman 5 tahun memiliki kisaran nilai yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan umur lainnya (Gambar 3). Hal ini mengindikasikan bahwa pada fase awal tersebut, kontribusi biomassa dari serasah dan aktivitas perakaran belum mampu membentuk cadangan hara yang stabil di dalam tanah. Secara pedologis, hal ini dapat dipahami karena sistem kanopi dan perakaran yang belum menutup sempurna mengakibatkan suplai bahan organik masih terbatas.



Gambar 3 N total tanah pada berbagai umur tanaman kelapa sawit

Secara deskriptif, terdapat indikasi peningkatan kandungan N-total pada blok umur 7, 10, hingga 11 tahun dibandingkan umur 5 tahun, meskipun perbedaan ini tidak mencapai taraf signifikansi statistik. Pola ini mengindikasikan kemungkinan bahwa akumulasi bahan organik dari residu tanaman pada umur yang lebih tua berpotensi mendukung proses mineralisasi nitrogen yang lebih stabil, sejalan dengan temuan Pulunggono *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa dekomposisi residu kelapa sawit mampu menyumbangkan sekitar 83% N kembali ke dalam tanah dalam dua tahun. Pelepasan nutrisi dari dekomposisi pelepah dan serasah secara bertahap ini berfungsi sebagai *slow-release fertilizer* alami yang krusial dalam menjaga neraca hara tanah.

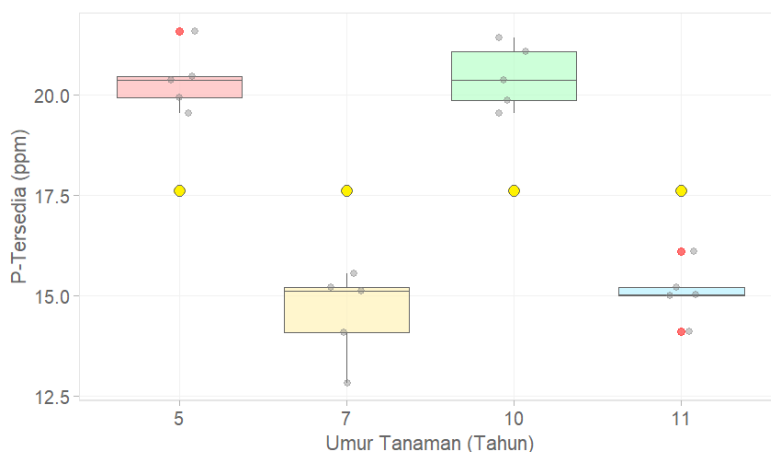
Stabilnya kandungan N-total pada seluruh kelas umur tanaman mengindikasikan bahwa siklus nitrogen internal melalui dekomposisi residu organik telah berjalan cukup efisien di lokasi penelitian. Hal ini mendukung penerapan strategi pemupukan N yang adaptif berdasarkan umur tegakan, di mana dosis N anorganik pada blok yang lebih tua berpotensi untuk dioptimalkan dengan mempertimbangkan kontribusi N dari residu organik.



3.4 Fosfor Tersedia (P- Tersedia)

Berbeda dengan parameter lainnya, profil P-tersedia dalam penelitian ini menunjukkan pola fluktuasi yang kompleks dan tidak berkorelasi linier dengan pertambahan umur tanaman (Gambar 4). Uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa perbedaan P-tersedia antar kelompok umur tanaman signifikan ($H = 14,36$; $p = 0,002$). Uji perbandingan berganda Mann-Whitney dengan koreksi Bonferroni mengungkapkan pola yang menarik: terdapat perbedaan nyata antara umur 5 vs 7 tahun ($p = 0,048$), umur 5 vs 11 tahun ($p = 0,048$), umur 7 vs 10 tahun ($p = 0,048$), dan umur 10 vs 11 tahun ($p = 0,048$). Namun demikian, analisis regresi tidak menunjukkan hubungan linier yang signifikan ($R^2 = 0,066$; $p = 0,274$), yang mengkonfirmasi bahwa pola perubahan P-tersedia bersifat non-linear.

Fenomena ini mengindikasikan bahwa ketersediaan fosfor di bawah tegakan kelapa sawit tidak hanya ditentukan oleh akumulasi umur biologis, melainkan hasil interaksi dinamis antara mineralisasi residu organik, laju imobilisasi oleh mikroba (Oksana et al., 2025), serta mekanisme fiksasi P oleh mineral liat tanah (Pulunggono et al., 2019). Dinamika yang muncul dalam penelitian ini memberikan gambaran bahwa pada fase-fase tertentu, terjadi kompetisi antara penyerapan oleh tanaman yang sedang produktif dengan proses imobilisasi oleh mikroorganisme tanah yang memanfaatkan karbon dari serasah tanaman (Nie et al., 2024; Sarkar & Sinha, 2024).



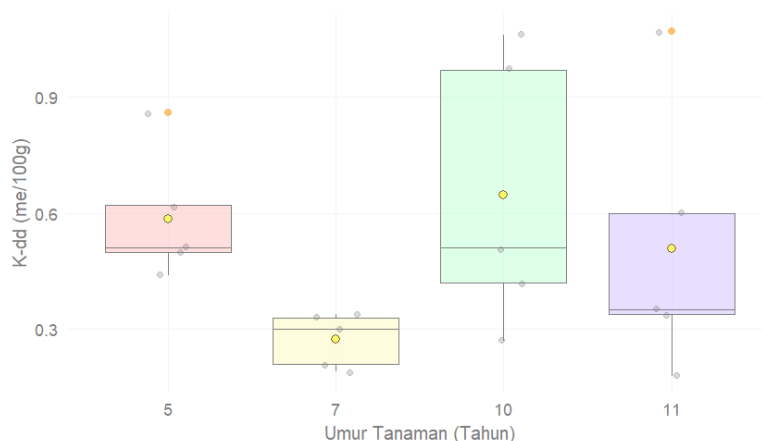
Gambar 4 P Tersedia tanah pada berbagai umur tanaman kelapa sawit

Pola fluktuasi P-tersedia yang signifikan secara statistik namun non-linear ini memiliki implikasi penting bagi manajemen pemupukan P. Pada blok umur 7 dan 11 tahun yang menunjukkan nilai P-tersedia lebih rendah, pemupukan P perlu mendapat perhatian lebih, sementara pada blok umur 5 dan 10 tahun yang relatif lebih tinggi, dosis P dapat dioptimalkan untuk menghindari pemupukan berlebih.



3.5 Kalium Dapat Dipertukarkan (K-dd)

Hasil analisis menunjukkan adanya variasi kandungan K-dd antar kelompok umur tanaman (Gambar 5). Meskipun secara deskriptif teramati fluktuasi nilai K-dd dengan nilai *mean* tertinggi pada umur 10 tahun (0,646 me/100 g) dan terendah pada umur 7 tahun (0,274 me/100 g), uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik ($H = 7,29$; $p = 0,063$).



Gambar 5 K dapat dipertukarkan tanah pada berbagai umur tanaman kelapa sawit

Penurunan nilai K-dd pada umur 7 tahun diduga berkaitan dengan tingginya laju serapan K oleh tanaman pada fase pembentukan Tandan Buah Segar (TBS) yang aktif, di mana kalium merupakan unsur hara makro utama yang dibutuhkan dalam jumlah besar untuk pengisian buah. Sementara itu, peningkatan nilai K-dd pada umur 10 tahun kemungkinan merupakan dampak akumulatif dari resirkulasi hara melalui mineralisasi serasah dan pelepah yang dipangkas. Sebagaimana dilaporkan oleh Kee & Chew (1997), mineralisasi kalium dari residu pelepah berlangsung sangat cepat, mencapai 76% dalam waktu hanya 24 minggu. Tumpukan pelepah pada perkebunan yang lebih mapan juga diketahui mengandung akumulasi hara yang tinggi, mencapai 18,9 g/m² K, 8,05 g/m² Ca, dan 2,73 g/m² Mg (Yusuyin et al., 2015).

Penurunan yang kembali terjadi pada umur 11 tahun diduga berkaitan dengan penurunan efisiensi serapan akar atau peningkatan pencucian kalium mengingat unsur K bersifat sangat mobil di dalam tanah. Temuan ini mengindikasikan bahwa ketersediaan K-dd di lahan kelapa sawit tidak bersifat permanen, melainkan sangat bergantung pada keseimbangan antara input residu organik dan laju pemanenan hara. Mengingat fluktuasi K-dd yang tinggi dan variabilitas data yang luas terutama pada umur 10 dan 11 tahun, pemantauan status K tanah secara berkala sangat direkomendasikan. Heterogenitas spasial yang ditunjukkan oleh sebaran data yang luas pada umur 10 tahun mengindikasikan perlunya pendekatan pemupukan K yang lebih presisi dan terlokalisasi berdasarkan posisi relatif terhadap tumpukan pelepah.



4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap kronosekuensi umur tanaman menghasilkan (TM) kelapa sawit menggunakan uji Kruskal-Wallis dan analisis regresi sederhana, penelitian ini menyimpulkan bahwa pengaruh umur tegakan terhadap dinamika sifat kimia tanah bersifat selektif dan tidak seragam antar parameter. Dari kelima parameter yang dikaji, hanya pH tanah yang menunjukkan perbedaan signifikan antar kelompok umur ($H = 8,83$; $p = 0,032$) sekaligus hubungan linier positif yang signifikan dengan umur tanaman ($R^2 = 0,374$; $p = 0,004$), dengan perbedaan nyata antara umur 5 dan 11 tahun. P-Tersedia juga menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok umur ($H = 14,36$; $p = 0,002$), namun dengan pola non-linear yang mencerminkan interaksi kompleks antara mineralisasi residu, imobilisasi mikroba, dan fiksasi mineral. Sementara itu, KTK, N-Total, dan K-dd tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik antar kelompok umur tanaman, meskipun secara deskriptif terdapat fluktuasi yang dapat dikaitkan dengan dinamika siklus hara internal.

Perubahan sifat kimia tanah yang teramati merupakan hasil interaksi antara intensitas serapan hara pada fase produktif, aplikasi pemupukan, dan efektivitas siklus hara internal melalui dekomposisi biomassa serasah. Temuan ini memiliki implikasi praktis bagi pengelolaan kesuburan tanah perkebunan kelapa sawit, antara lain: (1) optimalisasi praktik *frond stacking* sebagai strategi ameliorasi keasaman alami untuk mengurangi kebutuhan pengapuran pada blok muda; (2) pemantauan berkala status K dan bahan organik tanah terutama pada blok dengan umur di atas 10 tahun; serta (3) penyesuaian dosis pemupukan P berdasarkan pola fluktuasi non-linear yang ditemukan, dengan perhatian lebih pada blok umur 7 dan 11 tahun.

Penelitian ini menggunakan desain *single-block chronosequence* dengan ulangan spasial (*pseudo-replication*, $n = 5$), sehingga kesimpulan yang ditarik bersifat asosiatif dan perlu divalidasi lebih lanjut melalui studi longitudinal atau replikasi pada lokasi yang lebih beragam.

Daftar Pustaka

- de Bortolli, M. A., Assmann, T. S., de Bortolli, B. B., Maccari, M., Bernardon, A., Jamhour, J., Franzluebbbers, A. J., Soares, A. B., & Severo, I. K. (2024). Nutrient Dynamics in Integrated Crop–Livestock Systems: Effects of Stocking Rates and Nitrogen System Fertilization on Litter Decomposition and Release. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092009>
- Gregory, P. J. (2022). RUSSELL REVIEW Are plant roots only “in” soil or are they “of” it? Roots, soil formation and function. *European Journal of Soil Science*, 73(1). <https://doi.org/10.1111/ejss.13219>
- Gultom, L. S., & Sinaga, N. M. R. (2023). Indonesian Crude Palm Oil (CPO) Exports Through the Gravity Model Approach. *JPPIPA (Jurnal Penelitian Pendidikan IPA)*. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i8.4664>
- Hayadi, D., Wawan, & Amri, A. I. (2014). Sifat Kimia Ultisol di Bawah Tegakan Berbagai Umur Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). 1(1), 1–11.





<https://www.neliti.com/id/publications/189690/sifat-kimia-ultisol-di-bawah-tegakan-berbagai-umur-tanaman-kelapa-sawit-elaeis-g>

- Helliwell, J. R., Sturrock, C. J., Miller, A. J., Whalley, W. R., & Mooney, S. J. (2019). The role of plant species and soil condition in the structural development of the rhizosphere. *Plant Cell and Environment*, 42(6), 1974–1986. <https://doi.org/10.1111/pce.13529>
- Hidayanti, N., & Reflis, R. (2025). *Pemanfaatan Limbah Padat Industri Kelapa Sawit dalam Remediasi Tanah Marginal melalui Kajian Agronomis dan Sosial*. 1(3), 586–597. <https://doi.org/10.63822/ryc6vd45>
- Júnior, J. C. M., Torres, J. L. R., de Almeida Costa, D. D., e Silva, V. R., de Souza, Z. M., & Lemes, E. M. (2019). Production and Decomposition of Cover Crop Residues and Associations With Soil Organic Fractions. *The Journal of Agricultural Science*, 11(5), 58. <https://doi.org/10.5539/JAS.V11N5P58>
- Kee, K. K., & Chew, P. S. (1997). *Nutrients recycled from pruned fronds in mature oil palm (Elaeis guineensis Jacq.)* (pp. 601–602). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0047-9_192
- Kyaschenko, J., Ovaskainen, O., Ovaskainen, O., Ekblad, A., Hagenbo, A., Karlton, E., Clemmensen, K. E., & Lindahl, B. D. (2019). Soil fertility in boreal forest relates to root-driven nitrogen retention and carbon sequestration in the mor layer. *New Phytologist*, 221(3), 1492–1502. <https://doi.org/10.1111/NPH.15454>
- Martínez, C. J. V., García, A. M., & Barra, J. E. (2020). *Diagnosis of the chemical fertility of soils (Rhodic Paleudult) in agricultural and forest systems of the Eastern region of Paraguay*. 22(2), 92–99. <https://doi.org/10.18004/INVESTIG.AGRAR.2020.DICIEMBRE.2202658>
- Nie, H., You, C., & Gao, J. (2024). Effects of fertilization on litter decomposition dynamics and nutrient release in orchard systems. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1467689>
- Ogbemudia, I., & Ogboghodo, I. A. (2020). *Soil chemical properties and heterotrophic bacterial population in the rhizosphere of oil palm plantations under different ages*. <https://doi.org/10.36108/adanja/0202.10.0180>
- Oksana, O., Oktari, R. D., & Wirandanu, A. (2025). Differences in Soil Nutrient Levels in Oil Palm Plantations (*Elaeis guineensis* Jacq.) Planting Age 6 and 8 Years. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA)*, 7(2). <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i2.4677>
- Osinuga, O. A. (2021). Dynamics in Physico–chemical Properties of Soils under Oil Palm Plantations of Different Ages. *Nigerian Journal of Soil Science*, 2, 118–124. <https://doi.org/10.36265/njss.2021.310215>
- Paes, L. S. de O.-P., Lima, M. R. de, Kaschuk, G., & Machado-Vezzani, F. (2018). Root Development As an Indicator of Soil Sustainability of Cropping Systems in the Atlantic Forest Biome. *Cultivos Tropicales*, 39, 7–14.
- Paul, E. A. (2016). The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. *Soil Biology & Biochemistry*, 98(98), 109–126. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2016.04.001>





- Phalempin, M., Lippold, E., Vetterlein, D., & Schlüter, S. (2025). *Root-soil contact as a driver of rhizosphere structure development and root traits in two contrasting soil textures*. <https://doi.org/10.22541/au.175619717.76778966/v1>
- Pulunggono, H. B., Anwar, S., Mulyanto, B., & Sabiham, S. (2019). Decomposition of oil palm frond and leaflet residues. *Agrivita*, 41(3), 524–536. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i3.2062>
- Radulov, I., & Berbecea, A. (2024). *Nutrient management for sustainable soil fertility*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1006692>
- Reis, T. C., & Rodella, A. A. (2002). SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E VARIAÇÃO DO pH DO SOLO. *Revista Brasileira de Ciências Do Solo*, 26(2), 619–626. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n3/06.pdf>
- Rozi, F., Maulana, K., Sukiyono, & Sriyoto, N. (2023). Analysis of Indonesian Palm Oil Competitiveness in the Main Export Destination Countries. *Indonesian Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.32734/injar.v6i2.11420>
- Sarkar, S., & Sinha, T. P. (2024). *Litter Fall Decomposition and Its Effects on Nutrient Accretion to Soil Under Agroforestry Systems* (pp. 461–477). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7282-1_22
- Siregar, H., Harahap, F. S., Walida, H., & Yusmaidar, S. (2025). Analysis of Several Chemical Properties during The Incubation Period in the Agrotechnology Cultivation Land of Rantau Selatan District. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA)*, 7(1). <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.3941>
- Suherman, C., Supriatna, J., Nuraini, A., & Mubarok, S. (2024). Optimizing oil palm farming: Soil quality, fertilization and agro-environmental performance. *Research on Crops*. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2024.roc-1058>
- Sulaiman, S. L., Navaranjan, N., Hernandez-Ramirez, G., & Sulaiman, Z. (2023). Plant residues ameliorate pH of agricultural acid soil in a laboratory incubation: A meta-analysis. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 186(3), 330–338. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200332>
- Tonkha, O. L., & Dzyazko, Y. (2014). *Soils and Plant Roots* (pp. 221–249). Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6377-0_11
- Trofimov, S. Y. (1997). On the dynamics of organic matter in soils. *Eurasian Soil Science*, 30(9), 963–968.
- Wang, M., Zhao, J., Chen, J., Zhang, X., & Zhu, S. (2024). Soil Organic Carbon Content and Its Relationship with the Stand Age in Tea Plantations (*Camellia sinensis* L.) in Fujian Province, China. *Land*, 13(6), 834. <https://doi.org/10.3390/land13060834>
- Yusuyin, Y., Tan, N. P., Wong, M. K., Abdu, A., Iwasaki, K., & Tanaka, S. (2015). Nutrient Status of Frond Heaps and the Underlying Soils at An 18-Year-Old Oil Palm Field in Central Pahang, Malaysia. *Tropical Agriculture and Development*, 59(4), 212–220. <https://doi.org/10.11248/JSTA.59.212>

