E-ISSN: 2685-8959 P-ISSN: 2685-8967
Journal of Research and Education Chemistry (JREC)
http://journal.uir.ac.id/index.php/jrec

Studi Kualitas Tanah, Air, Dan Pupuk Perkebunan Kelapa Sawit Berdasarkan Parameter Hara Esensial

Sinta Novita[1], Ismail Marzuki[2*]

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar
*Corresponding author :
*Email: ismailmz@unifa.ac.id

Abstrak

Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian di Indonesia karena berperan dalam meningkatkan produksi minyak nabati, membuka lapangan kerja, serta memberikan kontribusi terhadap ekspor nasional. Komoditas kelapa sawit menghasilkan produk utama berupa minyak kelapa sawit yang banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, kosmetik, hingga energi terbarukan. Untuk mempertahankan produktivitas tanaman kelapa sawit yang optimal, diperlukan pengelolaan lahan dan nutrisi tanaman yang tepat, terutama melalui pengaturan kualitas tanah, air, dan pupuk yang digunakan dalam sistem budidaya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas tanah, air, dan pupuk pada perkebunan kelapa sawit berdasarkan parameter hara esensial serta pengaruhnya terhadap kesuburan lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air tergolong baik dengan pH 6,52–6,89 dan nilai Total Dissolved Solids (TDS) 745–850 ppm yang masih sesuai untuk pertanian. Sebaliknya, kondisi tanah bersifat asam (pH 5,10–5,50) dengan kandungan hara makro seperti N (0,09–0,11%), P (0,04–0,06%), Ca (0,11–0,12%), dan Mg (0,03–0,04%) yang tergolong rendah, meskipun kandungan K cukup tinggi (1,19–1,87%). Pupuk mengandung hara tinggi, namun penyerapannya oleh tanaman belum optimal, yang terlihat dari kandungan hara pada daun yang masih di bawah kisaran optimal. Secara keseluruhan, kesuburan lahan lebih dipengaruhi oleh kondisi tanah yang kurang baik, sehingga diperlukan perbaikan sifat kimia tanah untuk meningkatkan efisiensi pemupukan dan produktivitas tanaman kelapa sawit.

Kata kunci : Kelapa sawit, hara esensial, kesuburan tanah, kualitas air

Abstract

Oil palm plantations are a crucial sector in the Indonesian economy, contributing to increased vegetable oil production, job creation, and national exports. Palm oil is a key commodity, producing palm oil, which is widely used in the food, cosmetics, and renewable energy industries. Maintaining optimal oil palm productivity requires proper land management and plant nutrition, particularly through the management of soil, water, and fertilizer quality within the cultivation system. This study aims to analyze the quality of soil, water, and fertilizer in oil palm plantations based on essential nutrient parameters and their impact on soil fertility. The results indicate that water quality is considered good, with a pH of 6.52–6.89 and a Total Dissolved Solids (TDS) value of 745–850 ppm, which is still suitable for agriculture. In contrast, the soil conditions are acidic (pH 5.10–5.50) with macronutrient content such as N (0.09–0.11%), P (0.04–0.06%), Ca (0.11–0.12%), and Mg (0.03–0.04%) which are relatively low, although the K content is quite high (1.19–1.87%). Fertilizers contain high nutrients, but their absorption by plants is not optimal, which is seen from the nutrient content in the leaves which is still below the optimal range. Overall, land fertility is more influenced by poor soil conditions, so it is necessary to improve the chemical properties of the soil to increase the efficiency of fertilization and the productivity of oil palm plants..

Keywords : *Oil palm, essential nutrients, soil fertility, water quality*

Pendahuluan

Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian di Indonesia karena berperan dalam meningkatkan produksi minyak nabati, membuka lapangan kerja, serta memberikan kontribusi terhadap ekspor nasional. Komoditas kelapa sawit menghasilkan produk utama berupa minyak kelapa sawit yang banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, kosmetik, hingga energi terbarukan. Untuk mempertahankan produktivitas tanaman kelapa sawit yang optimal, diperlukan pengelolaan lahan dan nutrisi tanaman yang tepat, terutama melalui pengaturan kualitas tanah, air, dan pupuk yang digunakan dalam sistem budidaya (Haitami & Wahyudi, 2019).

Tanah merupakan media tumbuh utama bagi tanaman kelapa sawit karena berfungsi sebagai penyedia unsur hara, tempat perakaran, serta penyimpan air yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan tanaman. Kualitas tanah sangat dipengaruhi oleh kandungan hara esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan unsur mikro lainnya yang berperan penting dalam proses fisiologis tanaman. Apabila kandungan hara dalam tanah tidak seimbang, maka dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak optimal serta menurunkan produktivitas hasil panen(Pratiwi et al., 2020).

Selain tanah, kualitas air juga memiliki peranan penting dalam sistem perkebunan kelapa sawit. Air digunakan untuk mendukung proses metabolisme tanaman, pelarutan unsur hara, serta sebagai media transportasi nutrisi dari tanah menuju jaringan tanaman. Air yang memiliki kandungan kimia tertentu, seperti tingkat keasaman (pH), kandungan mineral, maupun zat pencemar, dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara dalam tanah dan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman(Tomia & Pelia, 2021).

Penggunaan pupuk juga menjadi faktor penting dalam menjaga keseimbangan unsur hara pada lahan perkebunan kelapa sawit. Pupuk berfungsi untuk menambah atau menggantikan unsur hara yang berkurang akibat proses penyerapan oleh tanaman maupun pencucian oleh air hujan. Namun, penggunaan pupuk yang tidak tepat, baik dari segi jenis maupun dosis, dapat menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara dalam tanah, menurunkan efisiensi pemupukan, serta berpotensi mencemari lingkungan sekitar(Sopian, 2021).

Beberapa penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada analisis kesuburan tanah, efektivitas pemupukan, atau status hara daun secara terpisah. Informasi mengenai hubungan kualitas tanah, air, pupuk, dan status hara tanaman dalam satu sistem evaluasi pada perkebunan kelapa sawit masih relatif terbatas. Padahal, keterkaitan antar komponen tersebut sangat menentukan efisiensi penyerapan unsur hara dan produktivitas tanaman.

Penelitian ini menawarkan pendekatan evaluasi terpadu dengan membandingkan kualitas tanah, air, pupuk, dan status hara daun pada tiga lokasi pengamatan dalam satu areal perkebunan. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan unsur hara pada tanaman kelapa sawit.

Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian atau studi mengenai kualitas tanah, air, dan pupuk pada perkebunan kelapa sawit berdasarkan parameter hara esensial. Analisis terhadap parameter tersebut dapat memberikan informasi mengenai kondisi kesuburan tanah, kualitas air yang digunakan dalam sistem perkebunan, serta kesesuaian pupuk yang diaplikasikan. Hasil studi ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengelolaan nutrisi tanaman kelapa sawit secara lebih efektif dan berkelanjutan sehingga mampu meningkatkan produktivitas tanaman serta menjaga kelestarian lingkungan di area perkebunan

Metode

Penelitian ini menggunakan variabel bebas berupa lokasi pengambilan sampel pada perkebunan kelapa sawit, yang dibedakan menjadi tiga titik pengamatan, yaitu: Lokasi 1 di area sekitar tanaman kelapa sawit bagian depan perkebunan, Lokasi 2 di area tengah perkebunan kelapa sawit, dan Lokasi 3 di area belakang perkebunan kelapa sawit. Pada masing-masing lokasi dilakukan pengambilan sampel tanah, air, pupuk, daun sawit dengan pupuk, dan daun sawit tanpa pupuk untuk dianalisis berdasarkan parameter hara esensial.

Adapun variabel tetap dalam penelitian ini meliputi jumlah sampel yang digunakan pada setiap pengujian, yaitu massa sampel tanah sebesar 10 gram, massa sampel pupuk sebesar 5 gram, dan volume sampel air sebesar 100 mL. Seluruh sampel dianalisis dengan fokus pada kandungan unsur hara, yaitu TDS, N, P, K, Ca, Mg, Cu, dan Zn.

Secara umum, proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah penentuan lokasi penelitian, yaitu membagi area perkebunan kelapa sawit menjadi tiga bagian: depan, tengah, dan belakang. Tahap kedua adalah pengambilan sampel dari setiap lokasi, meliputi sampel tanah, air, pupuk, daun sawit yang diberi pupuk, dan daun sawit tanpa pupuk. Tahap ketiga adalah persiapan sampel, yaitu menimbang atau mengukur sampel sesuai ketetapan, dengan 10 gram untuk tanah, 5 gram untuk pupuk, dan 100 mL untuk air. Sampel daun kemudian dipersiapkan sesuai prosedur analisis laboratorium yang digunakan.

Tahap berikutnya adalah analisis laboratorium untuk menentukan kadar unsur hara esensial pada masing-masing sampel. Parameter yang dianalisis meliputi Total Dissolved Solids (TDS), nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Hasil analisis dari setiap jenis sampel pada ketiga lokasi kemudian dibandingkan untuk melihat pengaruh lokasi terhadap kandungan unsur hara di perkebunan kelapa sawit.

Pada tahap akhir dilakukan pengolahan dan interpretasi data. Data hasil analisis disusun dalam bentuk tabel atau grafik, kemudian dianalisis untuk mengetahui perbedaan kandungan hara antara lokasi depan, tengah, dan belakang perkebunan, serta antara daun sawit dengan pupuk dan daun sawit tanpa pupuk.

Analisis pH dilakukan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4,00 dan 7,00. Nilai Total Dissolved Solids (TDS) dianalisis menggunakan TDS meter. Analisis nitrogen total dilakukan menggunakan metode Kjeldahl, sedangkan fosfor dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kandungan kalium, kalsium, magnesium, tembaga, dan seng dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Seluruh analisis dilakukan sesuai prosedur standar laboratorium yang berlaku.

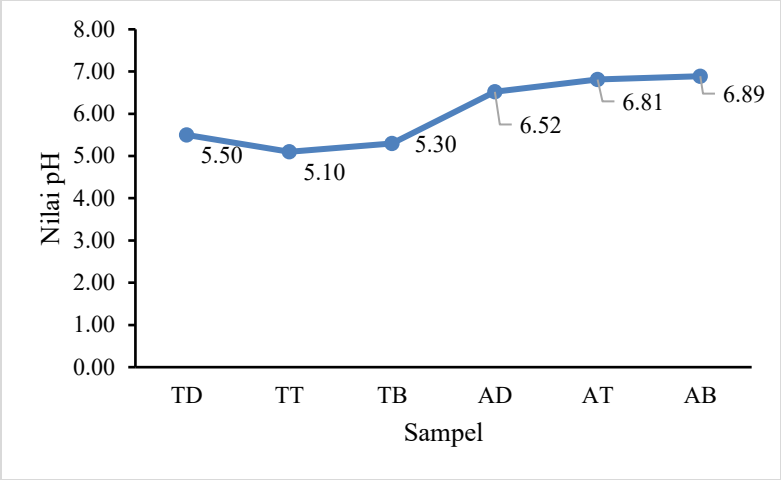
Hasil dan Pembahasan

Dalam upaya meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan perkebunan kelapa sawit, diperlukan pemahaman yang komprehensif terhadap faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan adalah kondisi media tumbuh dan input yang digunakan, khususnya kualitas tanah, air, dan pupuk. Ketiga komponen tersebut memiliki peran strategis dalam menentukan ketersediaan dan keseimbangan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Oleh karena itu, evaluasi terhadap kualitas tanah, air, dan pupuk menjadi langkah penting untuk mendukung pengelolaan perkebunan yang optimal

Keterangan Sampel:

Tabel 1. Keterangan Sampel

Jenis Sampel	Lokasi Pengambilan	Kode Sampel
Tanah	Area depan perkebunan	TD
	Area tengah perkebunan	TT
	Area belakang perkebunan	TB
Air	Area depan perkebunan	AD
	Area tengah perkebunan	AT
	Area belakang perkebunan	AB
Pupuk	Area depan perkebunan	PD
	Area tengah perkebunan	PT
	Area belakang perkebunan	PB
Daun Sawit + Pupuk	Area depan perkebunan	DPD
	Area tengah perkebunan	DPT
	Area belakang perkebunan	DPB
Daun Sawit	Area depan perkebunan	DD
	Area tengah perkebunan	DT
	Area belakang perkebunan	DB



Gambar 1. Hasil Analisis pH

Nilai pH merupakan indikator penting dalam menentukan tingkat keasaman atau kebasaan suatu media, yang sangat berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara esensial bagi tanaman kelapa sawit. Berdasarkan grafik, terdapat perbedaan nilai pH antara sampel tanah (TD, TT, TB) dan sampel air (AD, AT, AB) pada tiga lokasi berbeda, yaitu depan, tengah, dan belakang perkebunan.

Pada sampel tanah, nilai pH menunjukkan kondisi sebagai berikut:

1. TD (tanah depan) memiliki pH 5,50
2. TT (tanah tengah) memiliki pH 5,10
3. TB (tanah belakang) memiliki pH 5,30

Berdasarkan nilai tersebut, seluruh sampel tanah tergolong asam (pH < 7). Tanah di area tengah (TT) memiliki tingkat keasaman paling tinggi (pH terendah), yang menunjukkan kondisi tanah kurang ideal dibandingkan lokasi lainnya. Tanah yang terlalu asam dapat menyebabkan beberapa unsur hara seperti fosfor (P), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) menjadi kurang tersedia bagi tanaman. Selain itu, pada kondisi sangat asam, unsur seperti aluminium (Al) dapat menjadi lebih larut dan bersifat toksik bagi akar tanaman.

Sementara itu, pada sampel air, diperoleh nilai pH sebagai berikut:

1. AD (air depan) memiliki pH 6,52
2. AT (air tengah) memiliki pH 6,81
3. AB (air belakang) memiliki pH 6,89

Nilai pH air pada ketiga lokasi berada pada kisaran mendekati netral (pH 6–Kondisi ini tergolong baik karena air dengan pH netral umumnya tidak menghambat penyerapan unsur hara oleh tanaman. Air di area belakang (AB) memiliki pH tertinggi (paling mendekati netral), sedangkan air di depan (AD) sedikit lebih asam, namun masih dalam batas normal.

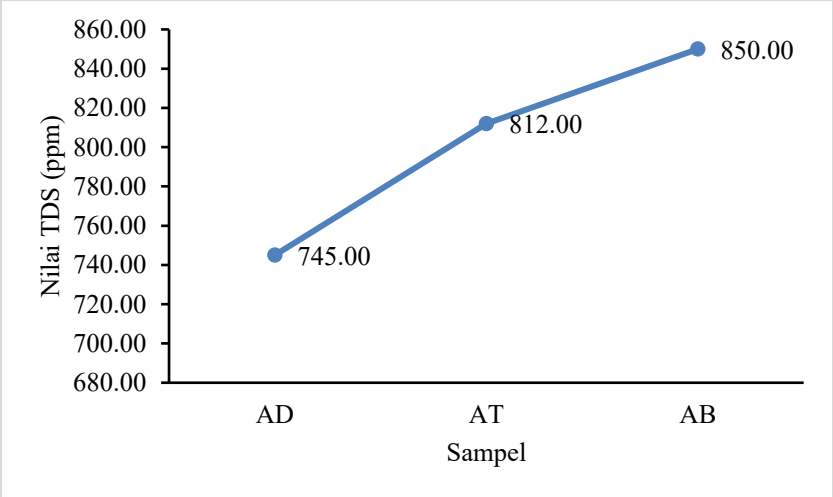
Jika dibandingkan antara tanah dan air pada lokasi yang sama:

1. Di depan perkebunan, pH tanah (5,50) lebih rendah dibanding air (6,52)
2. Di tengah perkebunan, pH tanah (5,10) jauh lebih rendah dibanding air (6,81)
3. Di belakang perkebunan, pH tanah (5,30) lebih rendah dibanding air (6,89)

Hal ini menunjukkan bahwa tanah secara konsisten lebih asam dibandingkan air di semua lokasi. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti:

1. Akumulasi bahan organik yang terdekomposisi di dalam tanah
2. Pencucian unsur basa (leaching) akibat curah hujan
3. Penggunaan pupuk tertentu yang bersifat asam

Secara keseluruhan, kondisi pH air sudah cukup baik untuk mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit. Namun, pH tanah yang cenderung asam, terutama di area tengah (TT), perlu mendapatkan perhatian khusus karena dapat memengaruhi ketersediaan hara esensial. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan seperti pengapuran (penambahan kapur) atau pemilihan pupuk yang sesuai untuk meningkatkan pH tanah menuju kondisi yang lebih optimal (sekitar pH 5,5–6,5 untuk kelapa sawit).



Gambar 2. Hasil Analisis TDS

Total Dissolved Solids (TDS) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah total zat terlarut dalam air, baik berupa mineral, garam, maupun bahan organik. Nilai TDS sangat penting dalam menentukan kualitas air, terutama dalam kaitannya dengan ketersediaan unsur hara yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman kelapa sawit.

Berdasarkan grafik, nilai TDS pada sampel air di tiga lokasi perkebunan menunjukkan variasi sebagai berikut:

1. AD (air depan) memiliki nilai TDS sebesar 745 ppm
2. AT (air tengah) memiliki nilai TDS sebesar 812 ppm
3. AB (air belakang) memiliki nilai TDS sebesar 850 ppm

Dari data tersebut, terlihat bahwa nilai TDS *meningkat* dari area depan ke belakang perkebunan. Sampel AB (belakang) memiliki nilai TDS tertinggi, sedangkan AD (depan) memiliki nilai terendah.

Nilai TDS yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kandungan zat terlarut dalam air juga lebih banyak. Zat terlarut ini dapat berupa unsur hara seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), serta ion lainnya yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, air di area belakang perkebunan (AB) berpotensi memiliki kandungan mineral yang lebih tinggi dibandingkan area lainnya.

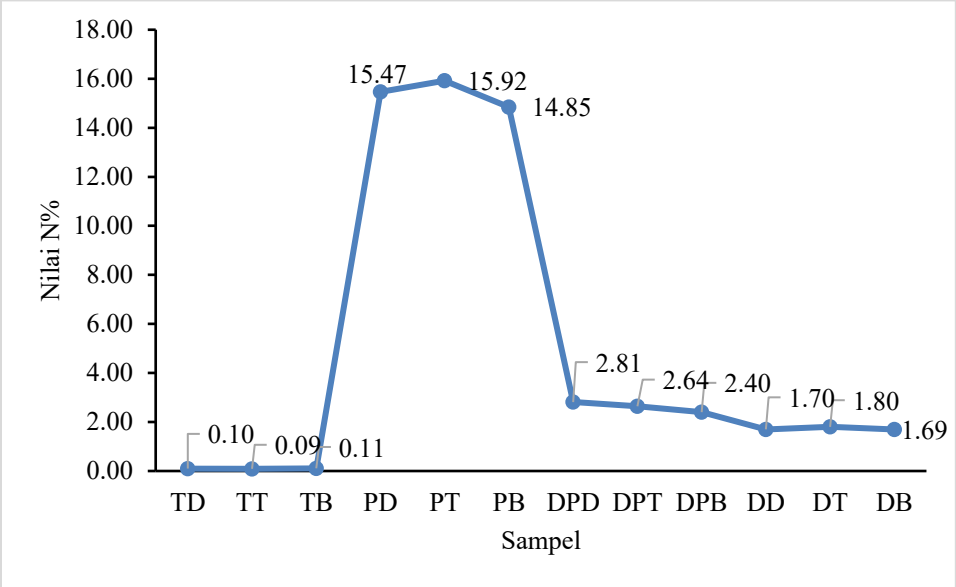
Namun demikian, nilai TDS yang terlalu tinggi juga perlu diperhatikan. Secara umum, air dengan TDS di bawah 1000 ppm masih tergolong *layak* untuk pertanian, sehingga nilai TDS pada ketiga lokasi ini masih dalam kategori aman. Akan tetapi, peningkatan TDS yang cukup signifikan dari depan ke belakang dapat mengindikasikan adanya:

1. Akumulasi mineral atau residu pupuk di area belakang
2. Aliran air yang membawa zat terlarut dari area lain
3. Perbedaan kondisi tanah atau aktivitas pengelolaan lahan

Jika dikaitkan dengan nilai pH sebelumnya, terlihat bahwa air dengan TDS lebih tinggi (AB) juga memiliki pH yang lebih mendekati netral. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan mineral dalam air dapat berkontribusi terhadap kestabilan pH.

Secara keseluruhan, kualitas air di perkebunan kelapa sawit ini masih tergolong baik dan mendukung pertumbuhan tanaman. Namun, *tren peningkatan TDS* dari depan ke belakang perlu menjadi perhatian dalam pengelolaan lahan, agar tidak terjadi

penumpukan zat terlarut yang berlebihan yang dapat berdampak negatif dalam jangka panjang.



Gambar 3. Hasil Analisis Nitrogen

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman kelapa sawit, terutama dalam pembentukan daun, batang, serta proses fotosintesis. Berdasarkan grafik, nilai N (%) dianalisis pada beberapa jenis sampel, yaitu tanah (TD, TT, TB), pupuk (PD, PT, PB), daun sawit + pupuk (DPD, DPT, DPB), dan daun sawit (DD, DT, DB).

Pada sampel tanah, nilai N tergolong sangat rendah, yaitu:

1. TD (tanah depan): 0,10%
2. TT (tanah tengah): 0,09%
3. TB (tanah belakang): 0,11%

Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan nitrogen dalam tanah di seluruh lokasi masih rendah dan relatif seragam. Kondisi ini dapat membatasi pertumbuhan tanaman karena nitrogen berperan penting dalam pembentukan klorofil. Rendahnya nitrogen dalam tanah dapat disebabkan oleh pencucian (*leaching*), penguapan, atau rendahnya kandungan bahan organik.

Pada sampel pupuk, nilai N jauh lebih tinggi dibandingkan tanah, yaitu:

1. PD (pupuk depan): 15,47%
2. PT (pupuk tengah): 15,92%

3. PB (pupuk belakang): 14,85%

Hal ini menunjukkan bahwa pupuk yang digunakan memiliki kandungan nitrogen yang tinggi dan berpotensi meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman. Nilai tertinggi terdapat pada PT (tengah), yang mengindikasikan kemungkinan aplikasi pupuk yang lebih optimal atau komposisi pupuk yang lebih kaya nitrogen di area tersebut.

Pada sampel daun sawit + pupuk, diperoleh nilai:

1. DPD: 2,81%
2. DPT: 2,64%
3. DPB: 2,40%

Nilai ini menunjukkan bahwa nitrogen dari pupuk telah terserap oleh tanaman, namun dalam jumlah yang lebih rendah dibandingkan kandungan awal pada pupuk. Hal ini wajar karena tidak semua nitrogen dari pupuk dapat diserap secara efisien oleh tanaman, sebagian dapat hilang melalui proses pencucian atau volatilisasi.

Selanjutnya, pada sampel daun sawit, nilai N adalah:

1. DD: 1,70%
2. DT: 1,80%
3. DB: 1,69%

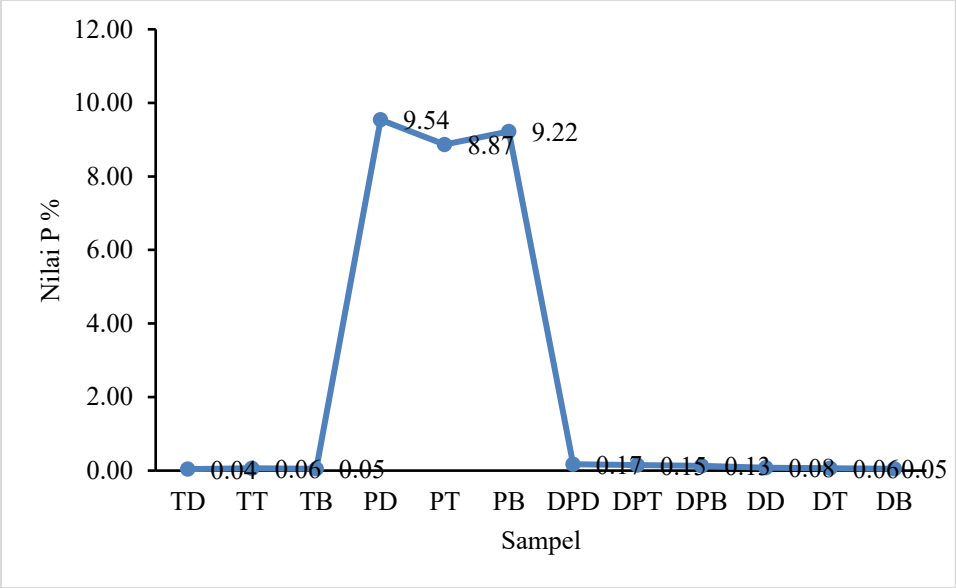
Nilai nitrogen pada daun relatif lebih rendah dibandingkan sampel daun + pupuk, namun menunjukkan kondisi yang cukup stabil di semua lokasi. Hal ini mencerminkan status hara nitrogen dalam tanaman yang relatif seragam. Nitrogen pada daun menunjukkan tingkat kecukupan hara yang telah dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman.

Jika dilihat secara keseluruhan, dapat diketuai bahwa:

1. Kandungan N sangat rendah pada tanah
2. Sangat tinggi pada pupuk
3. Menurun pada daun + pupuk
4. Lebih rendah lagi pada daun

Pola ini menunjukkan adanya proses penyerapan dan distribusi nitrogen dari pupuk ke tanaman. Namun, rendahnya kandungan nitrogen dalam tanah mengindikasikan bahwa tanah belum mampu menyediakan nitrogen secara alami dalam jumlah yang cukup, sehingga sangat bergantung pada input pupuk.

Dengan demikian, pengelolaan pemupukan nitrogen perlu dilakukan secara optimal agar efisiensi penyerapan meningkat dan kehilangan nitrogen dapat diminimalkan. Selain itu, penambahan bahan organik juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kandungan nitrogen dalam tanah secara berkelanjutan.



Gambar 4. Hasil Analisis Fosfor

Fosfor (P) merupakan unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam proses pembentukan energi (*ATP*), pertumbuhan akar, serta perkembangan bunga dan buah pada tanaman kelapa sawit. Berdasarkan grafik, kandungan fosfor dianalisis pada berbagai jenis sampel, yaitu tanah (TD, TT, TB), pupuk (PD, PT, PB), daun sawit + pupuk (DPD, DPT, DPB), dan daun sawit (DD, DT, DB).

Pada sampel tanah, kandungan fosfor tergolong sangat rendah, yaitu:

1. TD (tanah depan): 0,04%
2. TT (tanah tengah): 0,06%
3. TB (tanah belakang): 0,05%

Nilai ini menunjukkan bahwa ketersediaan fosfor dalam tanah masih terbatas. Rendahnya kandungan fosfor pada tanah dapat disebabkan oleh sifat tanah yang asam (seperti pada hasil pH sebelumnya), di mana fosfor cenderung terikat oleh unsur aluminium (Al) dan besi (Fe) sehingga sulit diserap oleh tanaman.

Pada sampel pupuk, kandungan fosfor jauh lebih tinggi, yaitu:

1. PD (pupuk depan): 9,54%
2. PT (pupuk tengah): 8,87%
3. PB (pupuk belakang): 9,22%

Hal ini menunjukkan bahwa pupuk merupakan sumber utama fosfor bagi tanaman. Kandungan fosfor tertinggi terdapat pada PD (depan), sedangkan yang terendah pada PT (tengah), meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan.

Pada sampel daun sawit + pupuk, diperoleh nilai:

1. DPD: 0,17%
2. DPT: 0,15%
3. DPB: 0,13%

Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian fosfor dari pupuk telah diserap oleh tanaman, namun jumlahnya relatif kecil dibandingkan kandungan dalam pupuk. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi penyerapan fosfor tidak terlalu tinggi, kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi tanah yang asam sehingga fosfor terfiksasi.

Selanjutnya, pada sampel daun sawit, kandungan fosfor adalah:

1. DD: 0,08%
2. DT: 0,06%
3. DB: 0,05%

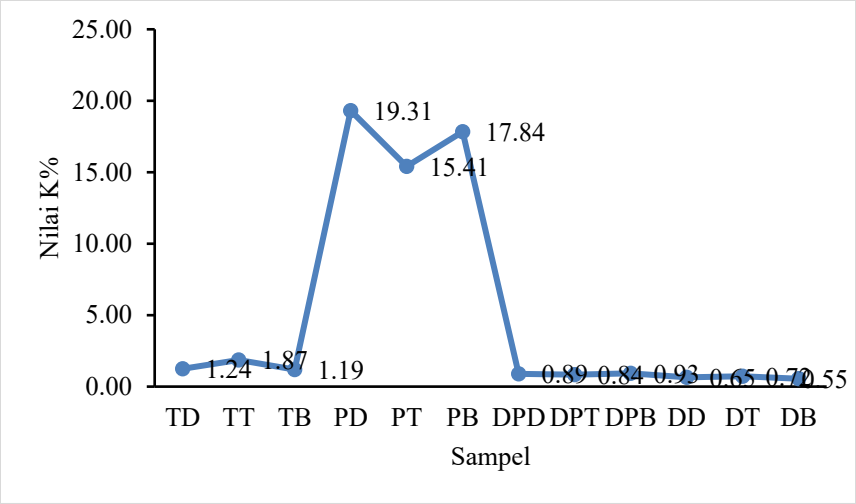
Nilai ini lebih rendah dibandingkan sampel daun + pupuk, yang menunjukkan bahwa fosfor yang tersedia dalam jaringan tanaman relatif terbatas. Hal ini dapat berdampak pada pertumbuhan akar dan efisiensi metabolisme energi dalam tanaman.

Secara keseluruhan yang terlihat adalah:

1. Kandungan P sangat rendah pada tanah
2. Tinggi pada pupuk
3. Menurun pada daun + pupuk
4. Paling rendah pada daun

Pola ini menunjukkan bahwa meskipun pupuk menyediakan fosfor dalam jumlah cukup tinggi, namun tidak seluruhnya dapat diserap oleh tanaman. Hal ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kondisi tanah yang asam, sehingga terjadi fiksasi fosfor.

Dengan demikian, diperlukan strategi pengelolaan yang tepat, seperti pengapuran untuk meningkatkan pH tanah, serta penggunaan pupuk fosfor yang lebih mudah tersedia (*available P*), agar efisiensi penyerapan fosfor oleh tanaman kelapa sawit dapat meningkat.



Gambar 5. Hasil Analisis Kalium (K)

Kalium (K) merupakan unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam pengaturan keseimbangan air, aktivasi enzim, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres dan penyakit. Pada tanaman kelapa sawit, kalium juga berperan dalam pembentukan buah dan peningkatan kualitas hasil.

Berdasarkan grafik, kandungan kalium dianalisis pada beberapa jenis sampel, yaitu tanah (TD, TT, TB), pupuk (PD, PT, PB), daun sawit + pupuk (DPD, DPT, DPB), dan daun sawit (DD, DT, DB).

Pada sampel tanah, kandungan kalium adalah:

1. TD (tanah depan): 1,24%
2. TT (tanah tengah): 1,87%
3. TB (tanah belakang): 1,19%

Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan kalium dalam tanah relatif rendah hingga sedang, dengan nilai tertinggi terdapat pada TT (tengah). Hal ini berbeda dengan unsur N dan P yang sangat rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa kalium dalam tanah masih lebih tersedia dibandingkan kedua unsur tersebut.

Pada sampel pupuk, kandungan kalium sangat tinggi, yaitu:

1. PD (pupuk depan): 19,31%
2. PT (pupuk tengah): 15,41%
3. PB (pupuk belakang): 17,84%

Hal ini menunjukkan bahwa pupuk merupakan sumber utama kalium bagi tanaman. Kandungan tertinggi terdapat pada PD (depan), yang mengindikasikan variasi komposisi pupuk di setiap lokasi.

Pada sampel daun sawit + pupuk, diperoleh nilai:

1. DPD: 0,89%
2. DPT: 0,84%
3. DPB: 0,93%

Nilai ini menunjukkan bahwa kalium dari pupuk telah terserap oleh tanaman, meskipun tidak seluruhnya. Dibandingkan dengan unsur P, penyerapan kalium terlihat lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa kalium lebih mudah tersedia dan diserap oleh tanaman.

Selanjutnya, pada sampel daun sawit, kandungan kalium adalah:

1. DD: 0,65%
2. DT: 0,72%
3. DB: 0,55%

Nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan daun + pupuk, namun masih menunjukkan adanya distribusi kalium dalam jaringan tanaman. Nilai tertinggi terdapat pada DT (tengah), yang mengindikasikan kondisi penyerapan yang cukup baik di area tersebut.

Secara keseluruhan, yang terlihat adalah:

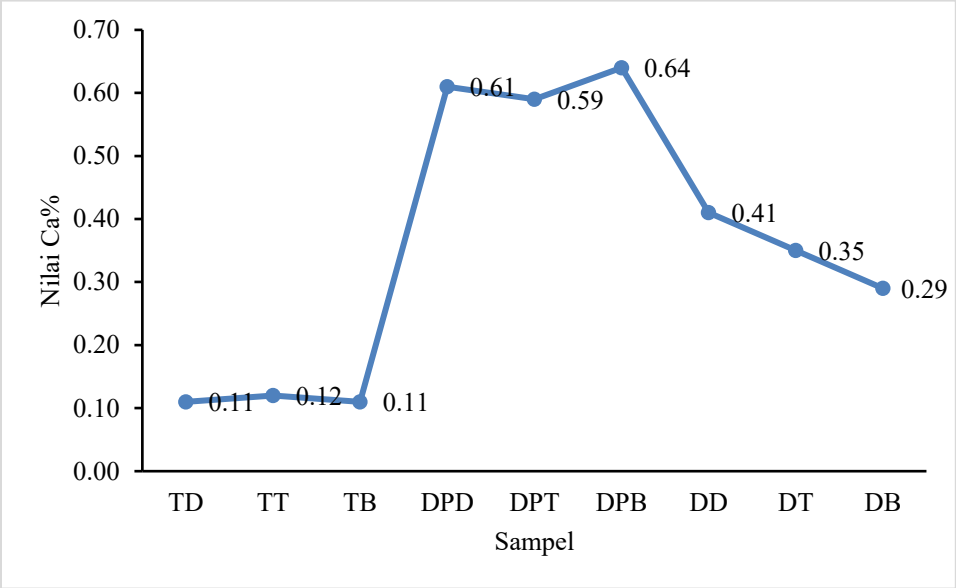
1. Kandungan K cukup tersedia pada tanah
2. Sangat tinggi pada pupuk
3. Menurun pada daun + pupuk
4. Lebih rendah pada daun

Pola ini menunjukkan bahwa kalium dari pupuk dapat diserap oleh tanaman dengan lebih baik dibandingkan fosfor. Hal ini disebabkan karena kalium bersifat lebih mobil dalam tanah dan tidak mudah terfiksasi seperti fosfor.

Jika dikaitkan dengan kondisi pH tanah yang asam, kalium umumnya masih tetap tersedia dibandingkan fosfor, sehingga tidak terlalu terpengaruh oleh keasaman tanah.

Namun demikian, pengelolaan kalium tetap perlu diperhatikan agar tidak terjadi kehilangan akibat pencucian (*leaching*), terutama pada daerah dengan curah hujan tinggi.

Secara keseluruhan, ketersediaan kalium di perkebunan ini tergolong cukup baik, namun tetap memerlukan pengelolaan pemupukan yang tepat agar keseimbangan unsur hara (N, P, dan K) dapat terjaga secara optimal untuk mendukung pertumbuhan kelapa sawit.



Gambar 6. Hasil Analisis Kalsium

Kalsium (Ca) merupakan unsur hara makro sekunder yang berperan penting dalam pembentukan dinding sel, pertumbuhan akar, serta meningkatkan kekuatan jaringan tanaman. Selain itu, kalsium juga berperan dalam menetralkan keasaman tanah dan membantu meningkatkan ketersediaan unsur hara lainnya.

Berdasarkan grafik, kandungan kalsium dianalisis pada sampel tanah (TD, TT, TB), daun sawit + pupuk (DPD, DPT, DPB), dan daun sawit (DD, DT, DB).

Pada sampel tanah, kandungan kalsium adalah:

1. TD (tanah depan): 0,11%
2. TT (tanah tengah): 0,12%
3. TB (tanah belakang): 0,11%

Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan kalsium dalam tanah tergolong rendah dan relatif seragam di seluruh lokasi. Rendahnya kalsium ini sejalan dengan hasil pH tanah sebelumnya yang bersifat asam, karena pada kondisi tanah asam, unsur kalsium cenderung rendah akibat pencucian (*leaching*) dan kurangnya suplai dari bahan kapur.

Pada sampel daun sawit + pupuk, diperoleh nilai:

1. DPD: 0,61%
2. DPT: 0,59%
3. DPB: 0,64%

Nilai ini menunjukkan bahwa kalsium dari pupuk telah terserap oleh tanaman dalam jumlah yang cukup signifikan. Kandungan tertinggi terdapat pada DPB (belakang), yang mengindikasikan bahwa penyerapan kalsium di area belakang lebih baik dibandingkan lokasi lainnya.

Selanjutnya, pada sampel daun sawit, kandungan kalsium adalah:

1. DD: 0,41%
2. DT: 0,35%
3. DB: 0,29%

Nilai ini lebih rendah dibandingkan sampel daun + pupuk, yang menunjukkan bahwa kalsium yang tersimpan dalam jaringan tanaman mengalami distribusi atau pemanfaatan lebih lanjut. Nilai tertinggi terdapat pada DD (depan), sedangkan terendah pada DB (belakang).

Secara keseluruhan, yang terlihat adalah:

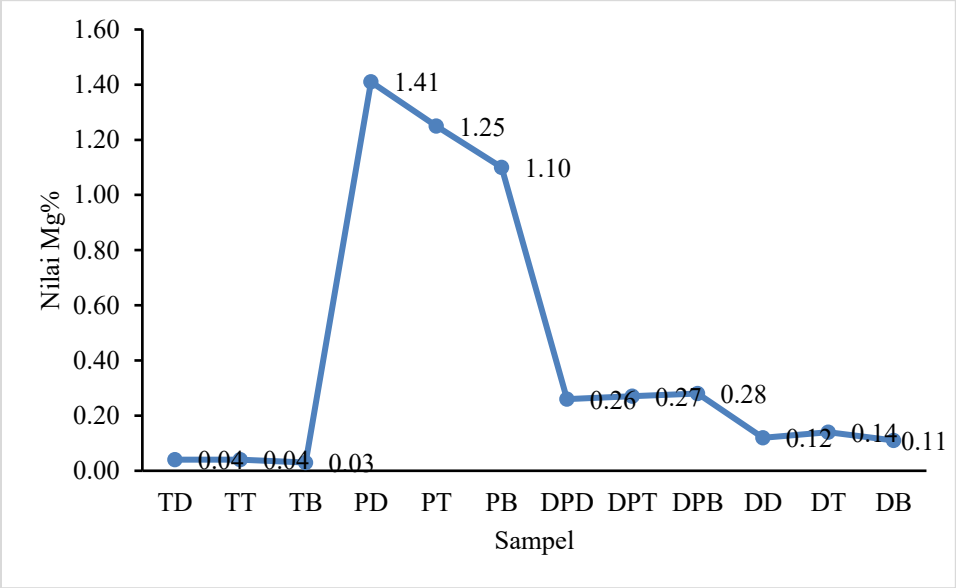
1. Kandungan Ca rendah pada tanah
2. Lebih tinggi pada daun + pupuk
3. Menurun pada daun

Pola ini menunjukkan bahwa sumber utama kalsium berasal dari pupuk, bukan dari tanah. Rendahnya kandungan kalsium dalam tanah memperkuat indikasi bahwa tanah membutuhkan penambahan bahan amelioran seperti kapur untuk meningkatkan kandungan Ca sekaligus memperbaiki pH tanah.

Jika dikaitkan dengan kondisi pH tanah yang asam, rendahnya kalsium dalam tanah menjadi faktor penyebab utama keasaman tersebut. Penambahan kalsium melalui

pengapuran tidak hanya meningkatkan pH, tetapi juga membantu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara lain seperti fosfor.

Secara keseluruhan, meskipun tanaman mampu menyerap kalsium dari pupuk, namun kondisi tanah yang miskin kalsium perlu diperbaiki agar ketersediaan hara menjadi lebih seimbang dan berkelanjutan bagi pertumbuhan kelapa sawit.



Gambar 7. Hasil Analisis Magnesium

Magnesium (Mg) merupakan unsur hara makro sekunder yang berperan penting sebagai penyusun utama klorofil serta berfungsi dalam proses fotosintesis dan aktivasi enzim. Pada tanaman kelapa sawit, magnesium sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan daun dan efisiensi produksi energi.

Berdasarkan grafik, kandungan magnesium dianalisis pada sampel tanah (TD, TT, TB), pupuk (PD, PT, PB), daun sawit + pupuk (DPD, DPT, DPB), dan daun sawit (DD, DT, DB).

Pada sampel tanah, kandungan magnesium tergolong sangat rendah, yaitu:

1. TD (tanah depan): 0,04%
2. TT (tanah tengah): 0,04%
3. TB (tanah belakang): 0,03%

Nilai ini menunjukkan bahwa ketersediaan magnesium dalam tanah sangat terbatas dan relatif seragam di seluruh lokasi. Kondisi ini dapat disebabkan oleh pencucian (*leaching*)

serta rendahnya kandungan bahan induk tanah yang mengandung magnesium, terutama pada tanah yang bersifat asam.

Pada sampel pupuk, kandungan magnesium jauh lebih tinggi, yaitu:

1. PD (pupuk depan): 1,41%
2. PT (pupuk tengah): 1,25%
3. PB (pupuk belakang): 1,10%

Hal ini menunjukkan bahwa pupuk merupakan sumber utama magnesium bagi tanaman. Kandungan tertinggi terdapat pada PD (depan), sedangkan yang terendah pada PB (belakang).

Pada sampel daun sawit + pupuk, diperoleh nilai:

1. DPD: 0,26%
2. DPT: 0,27%
3. DPB: 0,28%

Nilai ini menunjukkan bahwa magnesium dari pupuk telah diserap oleh tanaman. Menariknya, nilai magnesium pada daun + pupuk relatif meningkat dari depan ke belakang, dengan nilai tertinggi pada DPB (belakang), yang mengindikasikan adanya penyerapan yang cukup baik di area tersebut.

Selanjutnya, pada sampel daun sawit, kandungan magnesium adalah:

1. DD: 0,12%
2. DT: 0,14%
3. DB: 0,11%

Nilai ini lebih rendah dibandingkan daun + pupuk, yang menunjukkan bahwa magnesium telah dimanfaatkan dalam proses fisiologis tanaman. Nilai tertinggi terdapat pada DT (tengah), sedangkan terendah pada DB (belakang).

Secara keseluruhan, pola yang terlihat adalah:

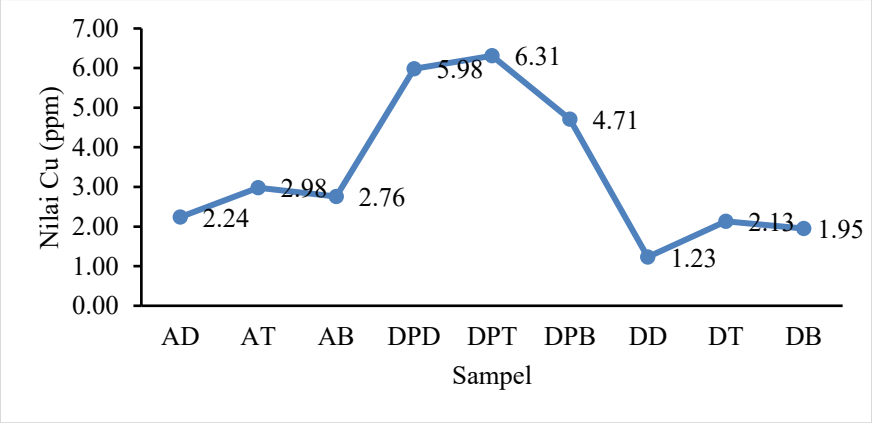
1. Kandungan Mg sangat rendah pada tanah
2. Tinggi pada pupuk
3. Menurun pada daun + pupuk
4. Lebih rendah lagi pada daun

Pola ini menunjukkan bahwa tanaman sangat bergantung pada pupuk sebagai sumber magnesium. Rendahnya kandungan magnesium dalam tanah juga sejalan dengan

kondisi pH tanah yang asam, di mana unsur Mg mudah tercuci dan tidak tersedia dalam jumlah cukup.

Jika dibandingkan dengan unsur Ca sebelumnya, keduanya sama-sama merupakan unsur hara sekunder yang rendah di tanah, namun cukup tersedia melalui pemupukan. Oleh karena itu, pengelolaan hara sekunder seperti Ca dan Mg perlu diperhatikan, terutama melalui pengapuran dolomit yang dapat одновременно meningkatkan pH tanah serta menambah kandungan Ca dan Mg.

Secara keseluruhan, meskipun magnesium dari pupuk dapat diserap oleh tanaman, kondisi tanah yang miskin Mg perlu diperbaiki agar ketersediaan unsur hara menjadi lebih seimbang dan mendukung pertumbuhan kelapa sawit secara optimal.



Gambar 8. Hasil Analisis Tembaga

Tembaga (Cu) merupakan unsur hara mikro esensial yang berperan dalam aktivitas enzim, proses fotosintesis, serta pembentukan lignin pada tanaman. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah kecil, keberadaan Cu sangat penting untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman kelapa sawit.

Berdasarkan grafik, kandungan Cu dianalisis pada sampel air (AD, AT, AB), daun sawit + pupuk (DPD, DPT, DPB), dan daun sawit (DD, DT, DB).

Pada sampel air, kandungan Cu adalah:

1. AD (air depan): 2,24 ppm
2. AT (air tengah): 2,98 ppm
3. AB (air belakang): 2,76 ppm

Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan Cu dalam air tergolong rendah hingga sedang, dengan nilai tertinggi pada AT (tengah). Hal ini mengindikasikan bahwa air dapat menjadi salah satu sumber Cu bagi tanaman, meskipun dalam jumlah terbatas.

Pada sampel daun sawit + pupuk, diperoleh nilai:

1. DPD: 5,98 ppm
2. DPT: 6,31 ppm
3. DPB: 4,71 ppm

Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan Cu meningkat secara signifikan setelah adanya perlakuan pupuk. Nilai tertinggi terdapat pada DPT (tengah), yang mengindikasikan bahwa penambahan pupuk berperan besar dalam meningkatkan ketersediaan Cu yang dapat diserap oleh tanaman.

Selanjutnya, pada sampel daun sawit, kandungan Cu adalah:

1. DD: 1,23 ppm
2. DT: 2,13 ppm
3. DB: 1,95 ppm

Nilai ini lebih rendah dibandingkan daun + pupuk, yang menunjukkan bahwa Cu yang terserap telah dimanfaatkan dalam proses metabolisme tanaman. Nilai tertinggi terdapat pada DT (tengah), sedangkan terendah pada DD (depan).

Secara keseluruhan, pola yang terlihat adalah:

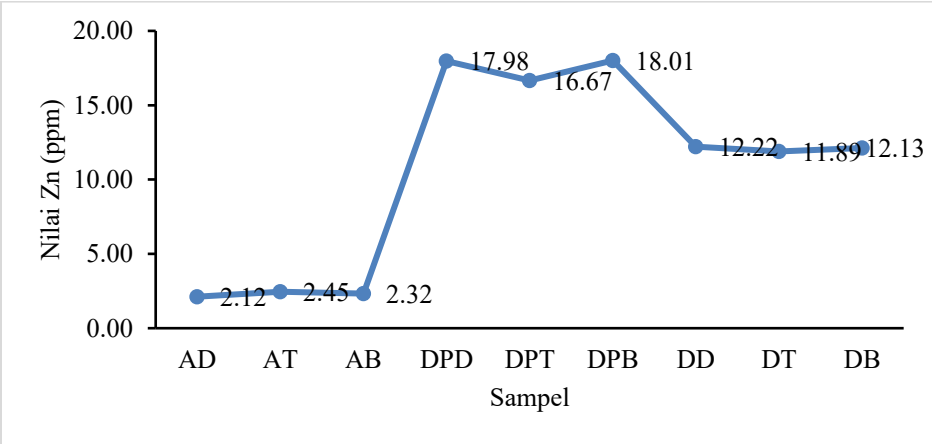
1. Kandungan Cu cukup rendah pada air
2. Meningkat signifikan pada daun + pupuk
3. Menurun kembali pada daun

Pola ini menunjukkan bahwa pupuk berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan Cu bagi tanaman. Namun, tidak seluruh Cu yang tersedia dapat tersimpan dalam jaringan tanaman, karena sebagian digunakan dalam proses fisiologis.

Jika dikaitkan dengan parameter sebelumnya, seperti pH yang cenderung asam, unsur mikro seperti Cu umumnya lebih mudah tersedia pada kondisi tersebut. Hal ini dapat menjelaskan mengapa Cu masih dapat diserap dengan cukup baik oleh tanaman meskipun kondisi tanah kurang optimal.

Secara keseluruhan, kandungan Cu pada tanaman kelapa sawit masih berada dalam kisaran yang mendukung pertumbuhan. Namun, pengelolaan unsur mikro tetap

perlu diperhatikan agar tidak terjadi kekurangan maupun kelebihan yang dapat mengganggu keseimbangan hara.



Gambar 9. Hasil Analisis Seng

Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro esensial yang berperan penting dalam sintesis hormon pertumbuhan (*auxin*), aktivitas enzim, serta pembentukan protein pada tanaman. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah kecil, keberadaan Zn sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit.

Berdasarkan grafik, kandungan Zn dianalisis pada sampel air (AD, AT, AB), daun sawit + pupuk (DPD, DPT, DPB), dan daun sawit (DD, DT, DB).

Pada sampel air, kandungan Zn adalah:

1. AD (air depan): 2,12 ppm
2. AT (air tengah): 2,45 ppm
3. AB (air belakang): 2,32 ppm

Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan Zn dalam air tergolong rendah hingga sedang, dengan nilai tertinggi pada AT (tengah). Hal ini menunjukkan bahwa air hanya memberikan kontribusi terbatas terhadap ketersediaan Zn bagi tanaman.

Pada sampel daun sawit + pupuk, diperoleh nilai:

1. DPD: 17,98 ppm
2. DPT: 16,67 ppm
3. DPB: 18,01 ppm

Nilai ini menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan dibandingkan sampel air. Kandungan Zn tertinggi terdapat pada DPB (belakang), yang mengindikasikan bahwa

pemberian pupuk berperan besar dalam meningkatkan ketersediaan Zn yang dapat diserap oleh tanaman.

Selanjutnya, pada sampel daun sawit, kandungan Zn adalah:

1. DD: 12,22 ppm
2. DT: 11,89 ppm
3. DB: 12,13 ppm

Nilai ini lebih rendah dibandingkan daun + pupuk, namun masih tergolong cukup tinggi dan relatif stabil di semua lokasi. Hal ini menunjukkan bahwa Zn telah terserap dan dimanfaatkan dalam jaringan tanaman untuk mendukung proses pertumbuhan.

Secara keseluruhan, pola yang terlihat adalah:

1. Kandungan Zn rendah pada air
2. Sangat tinggi pada daun + pupuk
3. Sedikit menurun pada daun

Pola ini menunjukkan bahwa pupuk merupakan sumber utama Zn bagi tanaman, dan unsur ini dapat diserap dengan cukup baik oleh tanaman kelapa sawit. Berbeda dengan fosfor yang cenderung terfiksasi di tanah, Zn sebagai unsur mikro lebih mudah tersedia terutama pada kondisi tanah yang agak asam.

Jika dikaitkan dengan kondisi pH tanah sebelumnya yang bersifat asam, hal ini justru mendukung ketersediaan Zn, karena unsur mikro seperti Zn umumnya lebih larut dan mudah diserap pada pH rendah. Hal ini menjelaskan mengapa kandungan Zn dalam jaringan tanaman relatif tinggi.

Secara keseluruhan, kandungan Zn pada tanaman kelapa sawit di lokasi penelitian tergolong cukup baik dan mendukung pertumbuhan tanaman. Namun, pengelolaan unsur mikro tetap perlu diperhatikan agar tidak terjadi ketidakseimbangan hara yang dapat memengaruhi produktivitas tanaman.

Berdasarkan pembahsan diatas dapat dikatakan bahwa:

1. pH Tanah dan Air

Nilai pH tanah (5,10–5,50) menunjukkan kondisi asam dan berada sedikit di bawah kisaran optimal pertumbuhan kelapa sawit yaitu sekitar 5,5–6,5. Kondisi tanah masam diketahui dapat menurunkan ketersediaan unsur hara karena terjadi fiksasi oleh Al dan Fe. Sementara itu, pH air (6,52–6,89) berada dalam kondisi netral dan masih sesuai

untuk irigasi pertanian. Studi terbaru menunjukkan bahwa pH netral hingga sedikit asam mendukung ketersediaan hara dan aktivitas mikroorganisme tanah (Sembiring et al., 2024)

2. *Total Dissolved Solids* (TDS)

Nilai TDS air (745–850 ppm) masih berada dalam batas aman untuk irigasi (<1000 ppm). Air dengan TDS pada kisaran ini tidak menimbulkan masalah salinitas dan masih mendukung penyerapan hara oleh tanaman. Penelitian terbaru juga menyebutkan bahwa kualitas air dengan kandungan zat terlarut sedang masih aman untuk sistem pertanian intensif (Sembiring et al., 2024)

3. Nitrogen (N)

Kandungan N tanah (0,09–0,11%) tergolong rendah dibandingkan tanah subur yang umumnya di atas 0,2%. Kandungan N daun (1,69–1,80%) juga berada di bawah kisaran optimal tanaman kelapa sawit sekitar 2–3%. Studi tahun 2024 menunjukkan bahwa defisiensi nitrogen masih menjadi masalah umum pada perkebunan sawit rakyat dan berdampak langsung pada penurunan produktivitas (Sembiring et al., 2024)

4. Fosfor (P)

Kandungan P tanah (0,04–0,06%) tergolong rendah dan berada di bawah standar kecukupan. Kandungan P daun (0,05–0,08%) juga di bawah kisaran optimal tanaman. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pada tanah masam, fosfor cenderung terfiksasi sehingga tidak tersedia bagi tanaman meskipun jumlah totalnya cukup (Juliawati et al., 2025)

5. Kalium (K)

Kandungan K tanah (1,19–1,87%) tergolong tinggi, namun kandungan K daun (0,55–0,72%) masih di bawah kisaran optimal sekitar 0,8–1,2%. Hal ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara ketersediaan dan penyerapan. Penelitian menunjukkan bahwa meskipun K tersedia dalam tanah, faktor lingkungan dan interaksi hara dapat membatasi serapan oleh tanaman (Juliawati et al., 2025)

6. Kalsium (Ca)

Kandungan Ca tanah (0,11–0,12%) tergolong rendah dibandingkan kondisi optimal (>0,5%). Kandungan Ca daun (0,29–0,41%) juga masih di bawah kisaran kecukupan.

Studi terbaru menyebutkan bahwa rendahnya Ca berkaitan erat dengan kondisi tanah masam dan pencucian unsur basa (Juliawati et al., 2025)

7. Magnesium (Mg)

Kandungan Mg tanah (0,03–0,04%) tergolong sangat rendah, sedangkan Mg daun (0,11–0,14%) juga berada di bawah kisaran optimal (0,2–0,4%). Penelitian menunjukkan bahwa Mg pada tanah ultisol dan tanah masam umumnya rendah akibat proses pencucian dan rendahnya bahan induk (Juliawati et al., 2025)

8. Tembaga (Cu)

Kandungan Cu pada daun (1,23–2,13 ppm) berada di bawah kisaran kecukupan umum tanaman (sekitar 5–20 ppm). Hal ini menunjukkan adanya potensi defisiensi Cu. Studi agronomi modern menyebutkan bahwa kekurangan unsur mikro seperti Cu dapat menghambat aktivitas enzim dan pertumbuhan tanaman (Juliawati et al., 2025)

9. Seng (Zn)

Kandungan Zn pada daun (11,89–12,22 ppm) sedikit di bawah kisaran optimal (15–50 ppm). Namun nilainya masih mendekati batas kecukupan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa Zn pada tanaman kelapa sawit sering berada pada kondisi marginal terutama pada tanah masam (Juliawati et al., 2025)

Maka dapat dikatakan bahwa:

1. Memenuhi baku mutu: pH air dan TDS
2. Mendekati standar: Zn
3. Di bawah standar (defisiensi): N, P, Ca, Mg, Cu
4. Tersedia tinggi tapi tidak terserap optimal: K

Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa kendala utama terdapat pada kesuburan tanah yang rendah dan kondisi tanah yang asam, sehingga memengaruhi efisiensi penyerapan hara oleh tanaman kelapa sawit.

Berdasarkan analisis secara teknik kimia, meskipun pupuk mengandung unsur hara tinggi, penyerapan oleh tanaman kelapa sawit belum optimal akibat kondisi tanah yang cenderung asam (pH 5,10–5,50) yang menyebabkan terjadinya fiksasi unsur hara seperti fosfor oleh Fe dan Al menjadi senyawa tidak larut, serta meningkatkan kelarutan Al yang bersifat toksik bagi akar sehingga menghambat absorpsi. Jika dibandingkan antar lokasi, tanah bagian tengah (TT) memiliki pH paling rendah (5,10) sehingga berpotensi

mengalami hambatan serapan hara paling besar, sedangkan bagian depan (TD, pH 5,50) dan belakang (TB, pH 5,30) sedikit lebih baik namun tetap dalam kondisi asam. Selain itu, nilai TDS air menunjukkan peningkatan dari depan (745 ppm) ke belakang (850 ppm), yang mengindikasikan adanya akumulasi zat terlarut di area belakang yang dapat memengaruhi dinamika hara. Kandungan K tanah yang relatif tinggi terutama di tengah (1,87%) tidak sebanding dengan kadar K pada daun, yang menunjukkan adanya ketidakseimbangan serapan akibat kompetisi ion dengan Ca dan Mg yang rendah. Unsur Ca dan Mg juga mengalami kehilangan melalui proses leaching, sementara nitrogen mudah hilang melalui volatilisasi dan pencucian, sehingga efisiensi pemupukan menurun. Dari sisi perpindahan massa, rendahnya bahan organik dan kapasitas tukar kation menyebabkan hara tidak tertahan dalam tanah dan sulit tersedia dalam larutan tanah untuk diserap akar. Oleh karena itu, perbaikan lahan yang disarankan meliputi pengapuran atau dolomit untuk meningkatkan pH dan menambah Ca-Mg, penambahan bahan organik untuk meningkatkan CEC dan retensi hara, serta pemupukan bertahap agar kehilangan hara dapat diminimalkan.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi tanah merupakan faktor utama yang membatasi efisiensi penyerapan unsur hara meskipun kandungan hara dalam pupuk relatif tinggi. Temuan ini dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi pengelolaan tanah melalui pengapuran, penambahan bahan organik, dan pengelolaan pemupukan yang lebih efisien. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan parameter C-organik, kapasitas tukar kation, tekstur tanah, dan analisis statistik sehingga hubungan antarparameter dapat dijelaskan secara lebih komprehensif.

Daftar Referensi

Bella, S. E., & Padrikal, R. (2018). Pemanfaatan Biochar Cangkang Kelapa Sawit sebagai Substitusi Pupuk NPK dalam Peningkatan Kualitas Lahan Pertanian. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, *2*(1), 27–34.

Daroyn, M. (2021). Sistem Informasi Pendistribusian Pupuk Kelapa Sawit pada Pelanggan Berbasis Web. *Jurnal Perencanaan, Sains, Teknologi, Dan Komputer*,

4(1), 167–175.

Gusti, D. R., Permana, E., Puspitasari, R. D., & Tarigan, I. L. (2021). Pemanfataan Biji Karet sebagai Bahan Pembuatan Pupuk Organik Cair di Kud Karya Mukti Kecamatan Jujuhan Ilir Kabupaten Bungo. *Logista*, *5*(1), 259–265. https://doi.org/10.25077/logista.5.1.259-265.2021

HAITAMI, A., & WAHYUDI, W. (2019). Pengaruh Berbagai Dosis Pupuk Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit Plus (Kotakplus) dalam Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, *16*(1), 56–63. https://doi.org/10.31849/jip.v16i1.2351

Hesky, A. (2021). Analisa Pengaruh Migrasi Warga Transmigrasi Terhadap Masyarakat Desa Situgal Kecamatan Logas Tanah Darat. *Jurnal Perencanaan, Sains, Teknologi, Dan Komputer*, *4*(1), 583–592.

Ibnusina, F., Satria, P., & Afrizal, R. (2019). Analisis Risiko Panen Tandan Buah Segar Kelapa Sawit di PT. Perkebunan Nusantara III Kebun Batang Toru Afdeling II Sipisang Tapanuli Selatan Sumatera Utara. *Journal of Agribusiness and Community Empowerment*, *2*(1), 33–40.

Juliawati, R. T., Manurung, R., Studi, P., Tanah, I., Pertanian, F., Tanjungpura, U., Hara, S. U., & Ultisol, T. (2025). *Status Unsur Hara Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq) Menghasilkan Pada Tanah Ultisol Di Desa Semuntai Kecamatan Mukok*. 516–524.

Junedi, U., Tambunan, S., & Sebayang, N. S. (2018). Pengaruh Media Tanam Dan Pemberian Pupuk Posfat Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Gueneensis Jacg) Yang Berumur 0-3 Bulan. *Bionatural*, *5*(1).

Karim, H. A., Nurlaeli, N., & Yamin, M. (2021). Pembuatan Trichokompos dari Limbah Jerami. *Jurnal Sipissangngi*, *1*(2), 26–30. https://doi.org/10.35329/sipissangngi.v1i2.2032

karosekali, A. (2018). Hubungan Faktor Sosial, Persepsi Harga dan Sikap Konsumen terhadap Niat Membeli Bibit Bersertifikasi pada Petani Rakyat. *Agriprimatech*, *2*(1), 9–18.

Lukas, A., Ngudiwaluyo, S., Mulyono, H., Rosyadi, I., Noor, I. M., & La Teng, P. N. (2018). Analisis Finansial Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Biokar untuk Media Tanam. *Indonesian Journal of Industrial Research*, *13*(1), 37–

42. https://doi.org/10.33104/jihp.v13i1.3733

Marian, E., & Tuhuteru, S. (2019). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Sebagai Pupuk Organik Cair Pada Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Sawi Putih (Brasica Pekinensis). *Agritrop*, *17*(2), 134–144. https://doi.org/10.32528/agritrop.v17i2.2663

Misrianto, F., Susilawati, W., & Fikriman, F. (2017). Analisis Efektivitas Pemupukan Menggunakan Pesawat Udara di Kebun Batang Gading PT. Satya Kisma Usaha Kabupaten Bungo. *Jurnal Agri Sains*, *1*(1). https://doi.org/10.36355/jas.v1i1.113

nasution, myrna pratiwi. (2018). Analisis Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi Kelapa Sawit (Elaeisguineensis Jacq) di PT. Perkebunan Nusantara IV Unit Kebun Adolina Berdasarkan Data Tahun 2008 – 2017. *Agriprimatech*, *2*(1), 1–8.

Novianto, N., Bahri, S., & Sumini, S. (2021). Pengujian Pemberian Macam Dosis Pupuk Organik Cair (POC) dan NPK terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kecipir (Psophocarpus Tetragonolobus L.). *Agroteknika*, *4*(2), 68–74. https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i2.102

Pratiwi, H., Sari, K. P., & Kuntyastuti, H. (2020). Pengaruh Pemupukan Kalsium dan Varietas terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Ketahanan Hama Kacang Tanah. *Agrista: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agribisnis UNS*, *4*(1), 615–621.

Purba, mahardika. (2019). Intensitas Serangan Ganoderma Boninense pada Fase Tanaman Menghasilkan di Perkebunan Kelapa Sawit Tanah Mineral dan Gambut. *Agroprimatech*, *3*(1), 27–30.

Purwati, P., Nugrahini, T., & Noor, R. B. (2022). Identifikasi Mikroba Agens Hayati pada Lahan Kelapa Sawit (Elaeis Jackuenensis Jack.) Belum Menghasilkan di Kecamatan Marang Kayu - Kutai Kartanegara. *Agrifor*, *21*(1), 141–146. https://doi.org/10.31293/agrifor.v21i1.5936

Rahmawati, R., Putir, P. E., Damiri, M., Tanduh, Y., & Nursiah, N. (2020). Keragaman Fungi Mikoriza Arbuskula (Fma) Di Lahan Gambut Konversi Hutan Alam Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit: Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Fma) in Peatland Conversion Forest Nature Become A Palm Oil Plantation. *Jurnal Hutan Tropika*, *15*(1), 8–19. https://doi.org/10.36873/jht.v15i1.1710

Rianti, suratniaf. (2019). Karakteristik Sifat Fisika Tanah pada Berbagai Kelas Umur Tegakan Kelapa Sawit di PT. Pp. London Sumatera Indonesia, Tbk Unit Sei Merah

Estate. *Agroprimatech*, *2*(2), 86–91.

Rusdiana, R. (2021). Trend Produksi dan Produktivitas Kelapa Sawit Provinsi Kalimantan Selatan. *Rawa Sains*, *11*(2), 77–83. https://doi.org/10.36589/rs.v11i2.193

Safi'i, S., Berliana, Y., & Zulkifli, T. B. H. (2019). Ragam Media Tanam dan Pupuk Organik Cair (POC) terhadap Pertumbuhan Vegetatif Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq) di Pembibitan Awal. *Agrinula*, *2*(1), 13–16. https://doi.org/10.36490/agri.v2i1.126

Sembiring, W. K., Santosa, E. D. I., & Sukoco, H. (2024). *Penentuan Status Hara Daun pada Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat Determination of Leaf Nutrient Status in Smallholder Palm Oil Plantations*. *6*(Dirjenbun 2017), 11–17.

Sopian, A. (2021). Analisis Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Bawang Merah dengan Pemberian Pupuk Mono Kalim Phosphate pada Tanah Sub Obtimal. *Agrifor*, *20*(1), 17–24. https://doi.org/10.31293/agrifor.v20i1.5169

Syifa, T., Isnaeni, S., & Rosmala, A. (2020). Pengaruh Jenis Pupuk Anorganik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Pagoda (Brassicae Narinosa L). *Agroscript*, *2*(1), 21–33. https://doi.org/10.36423/agroscript.v2i1.452

Tomia, L. M., & Pelia, L. (2021). Pengaruh Pupuk Organik Cair Daun Kelor Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Terong Ungu. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Pertanian*, *1*(3), 77–81. https://doi.org/10.52045/jimfp.v1i3.193

Trivana, L., Pradhana, A. Y., & Manambangtua, A. P. (2017). Optimalisasi Waktu Pengomposan Pupuk Kandang Dari Kotoran Kambing Dan Debu Sabut Kelapa Dengan Bioaktivator EM4. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, *9*(1), 16–24.

Wahyuni, M., & Manurung, R. (2020). Hubungan Sifat Sinergis Hara N – P dan Pengaruhnya terhadap Kadar Hara Daun Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Guinensis Jacq): Indonesia. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, *17*(1), 43–50. https://doi.org/10.31849/jip.v17i1.3275

Yosephine, I. O., Gunawan, H., & Kurniawan, R. (2021). Pengaruh Pemakaian Jenis Biochar pada Sifat Kimia Tanah P dan K terhadap Perkembangan Vegetatif Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) pada Media Tanam Ultisol. *Agroteknika*, *4*(1), 1–10. https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.74