

Formulasi Pupuk NPK Berdasarkan Profil Hara Makro Daun Kelapa Sawit

Andi Tenri Lestari¹, A. Sry Iryani²

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Fajar, Makassar

Koresponden email: atenri151@gmail.com¹, andisryani@unifa.ac.id²

Diterima: 3 Agustus 2026

Disetujui: 10 Agustus 2026

Abstract

The efficiency of oil palm production is greatly influenced by the precision of nutrient management through fertilization, which includes the largest operational costs. The unavailability of data on actual nutrient requirements often triggers the phenomenon of hidden starvation and economic losses due to decreased production. This research is based on the theory of plant nutritional physiology, nutrient diagnosis through leaf analysis (Leaf Sampling Unit/LSU), and the principles of chemical product engineering using mass balance. The objectives of this study were to disseminate actual macronutrient levels and design a custom compound NPK fertilizer formulation. The research method was descriptive-quantitative with the object of 8-year-old Mature Plants (TM) in the 17th frond year in Afdeling Alfa Block 2 and 3. The instantaneous data method involved wet destruction of leaf samples which were analyzed quantitatively using Continuous Flow Analyzer (CFA), UV-Vis Spectrophotometry, and Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) instrumentation. Data findings showed that Nitrogen (2.63% and 2.41%) and Potassium (0.96% and 0.93%) levels were at optimal levels. However, the Phosphorus levels were at low levels (0.147% and 0.144%) and the Magnesium levels showed low to deficient levels (0.22% and 0.20%) due to the presence of antagonistic cation nutrients. The conclusion of the study stated that the integration of total mass balance connectivity and components succeeded in designing a uniform custom fertilizer formula specification for synchronization to nutrient integration at both locations, namely with the NPK-Mg 13-6-19-5 grade specification.

Keywords: *leaf analysis (lsu), macro nutrients, mass balance, custom npk-mg, elaeis guineensis*

Abstrak

Efisiensi produksi kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh manajemen nutrisi yang presisi melalui pemupukan, yang mencakup biaya operasional terbesar. Ketidakterediaan data riil kebutuhan hara sering kali memicu fenomena hidden hunger dan kerugian ekonomi akibat penurunan produksi. Penelitian ini didasarkan pada teori fisiologi nutrisi tanaman, diagnosis nutrisi melalui analisis daun (*Leaf Sampling Unit/LSU*), serta prinsip rekayasa produk kimia menggunakan neraca massa. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi tingkat nutrisi hara makro aktual dan merancang formulasi pupuk NPK majemuk kustom. Metode penelitian dilakukan secara deskriptif-kuantitatif dengan objek Tanaman Menghasilkan (TM) umur 8 tahun pada pelepah ke-17 di Afdeling Alfa Blok 2 dan 3. Metode penggalan data melibatkan destruksi basah sampel daun yang dianalisis secara kuantitatif menggunakan instrumentasi *Continuous Flow Analyzer* (CFA), Spektrofotometri UV-Vis, dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Temuan data menunjukkan kadar Nitrogen (2,63% dan 2,41%) serta Kalium (0,96% dan 0,93%) berada pada tingkat optimal. Namun, kadar Fosfor berada pada tingkat rendah (0,147% dan 0,144%) dan kadar Magnesium menunjukkan tingkat rendah hingga defisiensi (0,22% dan 0,20%) akibat adanya antagonisme hara kation. Kesimpulan penelitian menetapkan bahwa integrasi perhitungan neraca massa total dan komponen berhasil merancang satu spesifikasi formula pupuk kustom yang seragam untuk mengoreksi ketidakseimbangan hara pada kedua lokasi, yaitu dengan spesifikasi grade NPK-Mg 13-6-19-5.

Kata Kunci: *analisis daun (lsu), hara makro, neraca massa, npk-mg kustom, elaeis guineensis*

1. Pendahuluan

Sektor perkebunan kelapa sawit merupakan pilar strategis ekonomi Indonesia, di mana efisiensi produksinya sangat bergantung pada manajemen nutrisi yang presisi. Pemupukan merupakan komponen biaya operasional terbesar, mencapai 40–60% dari total biaya pemeliharaan kebun [1]. Namun, kesenjangan hasil (*yield gap*) sering terjadi akibat aplikasi dosis pupuk yang bersifat generalisasi tanpa mempertimbangkan kebutuhan aktual setiap blok tanaman. Dalam kondisi fluktuasi harga komoditas global

yang dinamis, peningkatan efisiensi pemanfaatan hara (*Nutrient Use Efficiency*) menjadi parameter kritis untuk menjaga profitabilitas dan keberlanjutan ekonomi perusahaan [2].

Dalam perspektif Teknik Kimia, pohon kelapa sawit dapat dipandang sebagai sistem reaktor biologis kompleks di mana input hara diproses melalui metabolisme menjadi output produksi TBS (Tandan Buah Segar). Analisis daun (*Leaf Sampling Unit/LSU*) merupakan instrumen monitoring paling akurat untuk mengevaluasi status nutrisi aktual yang telah berhasil melewati fase absorpsi dan translokasi. Keakuratan data komposisi hara dalam daun merupakan alat kendali mutu (*quality control*) bagi sistem tersebut. Fenomena di industri menunjukkan bahwa kebijakan pemotongan biaya (*cost-cutting*) dengan meniadakan analisis LSU berkala sering kali menjadi bumerang finansial. Sebagai contoh kasus, terdapat perusahaan yang menghentikan program LSU dalam satu periode demi penghematan anggaran jangka pendek [3]. Akibat ketidaktersediaan data riil, dosis pemupukan tahun berikutnya terpaksa diaplikasikan secara status quo mengikuti rekomendasi tahun sebelumnya. Dampak fatal baru terlihat pada tahun berikutnya, di mana perusahaan mengalami penurunan produksi dan kerugian ekonomi yang signifikan akibat fenomena *hidden hunger* (lapar tersembunyi) yang tidak terdeteksi. Hal ini membuktikan bahwa penghematan biaya uji laboratorium justru memicu kerugian yang jauh lebih besar akibat kegagalan pencapaian berat janjang rata-rata (BJR) tanaman [4].

Selain kendala teknis tersebut, penggunaan pupuk tunggal secara terpisah (Urea, RP, KCl, dan Kieserite) menghadapi tantangan besar dalam efisiensi biaya operasional. Aplikasi pupuk tunggal menuntut pengulangan siklus penaburan hingga empat kali, yang secara langsung meningkatkan biaya tenaga kerja sebesar 75% dibandingkan penggunaan pupuk majemuk. Melalui pendekatan *Chemical Product Design*, konversi kebutuhan hara makro ke dalam satu formulasi pupuk majemuk (NPK) yang terukur menjadi solusi teknis dan ekonomis yang lebih efektif [5]. Dengan menerapkan prinsip Neraca Massa, rasio berat (*weight ratio*) antar unsur hara dapat ditentukan secara presisi berdasarkan basis massa pupuk tunggal penyusunnya guna meminimalisir kehilangan massa nutrisi akibat ketidakseimbangan komposisi [6].

Oleh karena itu, diperlukan sebuah metode perancangan formulasi pupuk NPK kustom yang berbasis pada data riil laboratorium. Dengan melakukan karakterisasi hara makro (N, P, K, Mg) melalui instrumentasi seperti *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), *UV-Vis Spectrophotometry*, serta *Continuous Flow Analyzer* (CFA), defisit hara dapat ditentukan dengan akurasi tinggi [7]. Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan data laboratorium tersebut ke dalam perhitungan Neraca Massa Total dan Komponen untuk menghasilkan spesifikasi formulasi pupuk majemuk yang *customized*. Pendekatan ini diharapkan mampu mengoptimalkan input nutrisi sesuai kebutuhan fisiologis tanaman sekaligus meningkatkan efisiensi biaya operasional pada perkebunan kelapa sawit [8].

2. Metode Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan kurang lebih kurang 3 bulan dari bulan April – Juni 2026, Tahap pengambilan sampel dan analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Kimia I.

Bahan dan Alat

1. Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi egrek, pisau, wadah sampel, oven, penggilingan, neraca analitik, gelas ukur, gelas piala, labu ukur, pipet volumetrik, diluter, corong kac/plastik, tabung destruksi kjedahl, *digestion block*, tabung reaksi, rak tabung reaksi, pipet tetes, serta alat instrumen laboratorium seperti *Continous Flow Analyzer* (CFA), Spektrofotometri UV-Vis, serta *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) yang digunakan untuk menentukan kandungan hara (N, P, K, Mg) pada sampel.

2. Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi aquades, sampel daun kelapa sawit pelepah ke-17 (*Leaf Sampling Unit*). Selain itu, digunakan pula bahan kimia pendukung untuk analisis parameter unsur hara makro seperti larutan standar nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg), serta larutan pereaksi lain yang diperlukan dalam proses analisis di laboratorium.

Proses Penelitian

Prosedur diawali dengan penentuan pokok contoh secara sistematis pada blok dan afdeling yang telah ditentukan, yaitu Afdeling Alfa Blok 2 dan 3. Sampel daun yang diambil dari blok 2 dan 3 merupakan tanaman menghasilkan yang telah berumur 8 tahun (TM-5). Pengambilan sampel daun dari pelepah ke-17 dilakukan menggunakan egrek. Anak daun yang telah terkumpul dari setiap pohon contoh di satu blok yang

sama dibersihkan dari kotoran, dipisahkan dari lidinya, lalu digabungkan menjadi satu sampel komposit untuk kemudian dicacah menggunakan pisau stainless steel. Hasil cacahan tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah sampel yang telah diberi label identitas lengkap, seperti kode blok dan afdeling, guna menjamin ketertelusuran data sebelum dilakukan analisis kadar hara di laboratorium [9].

Setelah proses pengambilan sampel selesai, seluruh sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan preparasi sampel, dimana sampel daun pelepah ke-17 dibersihkan lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C hingga berat konstan. Setelah itu, sampel digiling. Kemudian pertama, dilakukan analisa kadar air pada masing-masing sampel dengan cara sampel yang telah digiling ditimbang sebanyak 3 gram ke dalam cawan yang telah dikonstankan kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 4 jam kemudian didinginkan di dalam desikator setelah itu ditimbang, dicatat dan dihitung kadar air yang didapatkan [10].

Setelah itu masuk ke analisa unsur hara N, P, K, dan Mg. Sampel daun yang telah digiling, ditimbang sesuai dengan massa yang telah ditentukan, yaitu masing-masing 0,3 gram untuk analisa nitrogen dan 1,0 gram untuk analisa fosfor, kalium dan magnesium ke dalam tabung destruksi kjedahl. Setelah ditimbang, dilakukan destruksi basah dimana jika analisa nitrogen, sampel didestruksi menggunakan campuran selen (sodium sulfat anhydrous : selenium black (1:10)) dan larutan $H_2SO_{4(p)}$ dan jika analisa fosfor, kalium, dan magnesium didestruksi menggunakan larutan perklorat nitrat (1:12,5) untuk mengubah matriks organik menjadi larutan mineral jernih. Setelah didestruksi, sampel diencerkan ke dalam labu ukur 50 ml menggunakan aquadest [11].

Tahap selanjutnya adalah proses analisis parameter unsur hara makro (N, P, K dan Mg) pada setiap sampel daun menggunakan metode analisis laboratorium yang sesuai. Hasil analisis yang diperoleh kemudian dicatat dan diolah untuk mengetahui kadar hara aktual (%) yang terkandung dalam daun kelapa sawit di setiap lokasi pengambilan sampel. Data yang diperoleh selanjutnya dicocokkan dengan standar acuan yang ada pada tabel III.1. Angka dosis pada tabel ini merupakan standar teoritis yang digunakan sebagai pedoman untuk menentukan kebutuhan dosis pupuk tunggalnya dalam satuan gram/pohon/tahun berdasarkan kategori tingkat nutrisi hara tanaman (misal: Kurang, Rendah, Optimal atau berlebihan) [12].

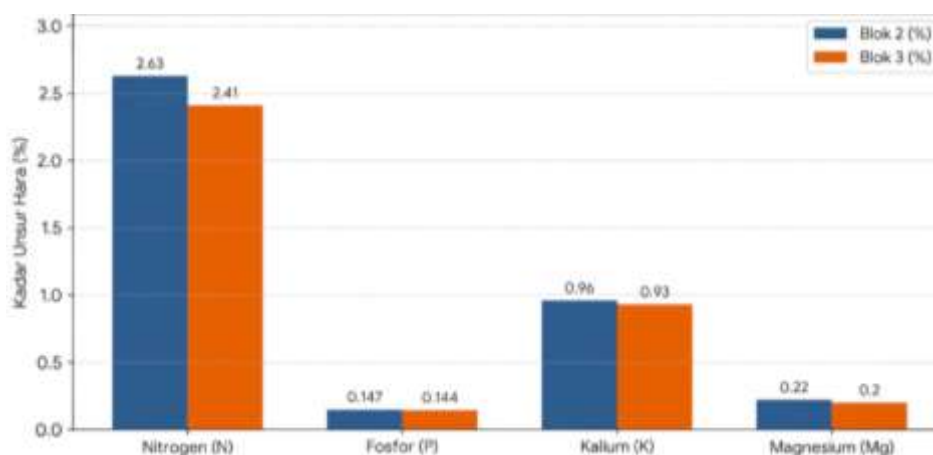
3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Kandungan Unsur Hara Makro pada Sampel Daun

Karakterisasi hara pada daun dilakukan untuk memantau tingkat nutrisi hara aktual tanaman di lapangan. Pelepah nomor 17 dipilih sebagai sampel indikator standar untuk tanaman menghasilkan (TM) karena pelepah ini paling representatif dalam mencerminkan status nutrisi seluruh pohon; tidak terlalu muda (yang konsentrasinya masih sangat fluktuatif) dan tidak terlalu tua (yang telah mengalami penuaan atau remobilisasi hara). Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap sampel daun pelepah ke-17 dari Afdeling Alfa Blok 2 dan 3, diperoleh data kadar air dan komposisi hara sebagai berikut:

Tabel 1. Data Kadar Air Sampel Daun

Sampel	Kadar Air (%)	Faktor Koreksi
Afdeling Alfa Blok 2	5,71	1,0571
Afdeling Alfa Blok 3	6,57	1,0657

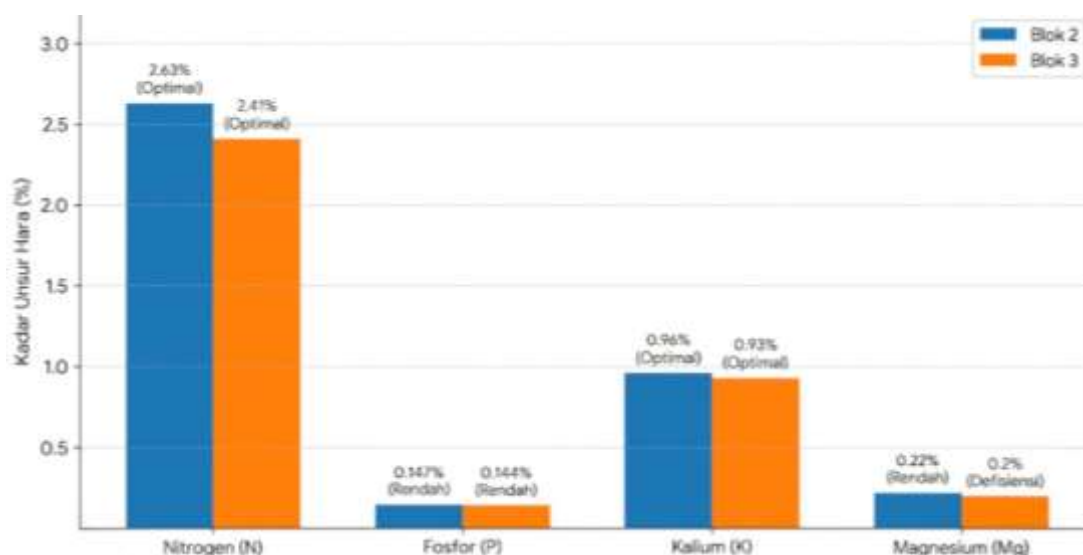


Gambar 1. Hasil Analisis Kadar Unsur Hara Makro Daun (Basis Berat Kering)

Berdasarkan **Gambar 1**, nilai kadar air pada Blok 2 sebesar 5,71% dan pada Blok 3 sebesar 6,57%. Angka ini digunakan sebagai faktor koreksi untuk mengonversi hasil analisis ke dalam basis berat kering. Hal ini bertujuan agar interpretasi konsentrasi hara didasarkan pada massa jaringan yang stabil dan tidak dipengaruhi oleh fluktuasi air. Dari Tabel 2, terlihat ketersediaan Unsur Nitrogen (N) tercatat berada pada 2,63% dan 2,41% yang berperan penting dalam mendukung pembentukan klorofil serta pertumbuhan vegetatif tanaman. Untuk unsur Fosfor (P), diperoleh angka yang cukup rendah yakni 0,147% dan 0,144% yang mengindikasikan adanya hambatan pada sistem transfer energi seluler (ATP). Sementara itu, Kalium (K) menunjukkan kadar 0,96% dan 0,93% yang berfungsi krusial dalam transportasi nutrisi serta pengaturan tekanan turgor sel. Terakhir, kadar Magnesium (Mg) tercatat pada angka 0,22% dan 0,20% yang menunjukkan indikasi kekurangan unsur pusat klorofil pada kedua blok tersebut [13].

Evaluasi Tingkat Nutrisi Hara Tanaman

Tingkat nutrisi hara tanaman ditentukan dengan membandingkan hasil laboratorium terhadap standar kadar kritis. Berdasarkan **Gambar 2**, diketahui bahwa kadar Fosfor (P) pada kedua blok berada pada tingkat nutrisi hara yang Rendah (<0,15%). Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun belum mencapai tahap defisiensi akut, tanaman telah mengalami keterbatasan dalam pembentukan energi ATP (*Adenosin Trifosfat*). Secara visual, kondisi ini mulai terlihat dari perubahan morfologi tanaman di lapangan. Pertumbuhan vegetatif mengalami hambatan yang ditandai dengan pelepah daun yang memendek dan pertumbuhan tinggi yang melambat, sehingga tanaman terlihat lebih kerdil. Gejala paling signifikan terlihat pada struktur batang yang menunjukkan bentuk piramid, yaitu diameter batang nampak lebar di bagian bawah namun meruncing secara drastis ke arah atas [14] [15].



Gambar 2. Evaluasi Tingkat Nutrisi Hara Daun

Kondisi yang lebih kritis ditemukan pada unsur Magnesium, di mana terdapat perbedaan tingkat nutrisi hara antara kedua blok. Blok 2 menunjukkan tingkat nutrisi hara yang Rendah (0,22%) yang secara visual berada pada fase *hidden hunger*. Pada fase ini, gejala klorosis jingga belum muncul secara eksplisit, namun ditandai dengan warna hijau daun yang cenderung memudar atau kusam dibandingkan tanaman dengan tingkat nutrisi hara yang optimal. Sebaliknya, Blok 3 telah mencapai tingkat Defisiensi (0,20%), di mana ambang batas kritis telah terlewati sehingga terjadi kerusakan fisiologis yang nyata. Hal ini terkonfirmasi melalui pengamatan visual pada Blok 3, di mana pinggiran anak daun menunjukkan perubahan warna menjadi jingga saat terpapar sinar matahari langsung. Gejala klorosis jingga ini merupakan bukti fisik kerusakan struktur klorofil, mengingat Magnesium adalah atom pusat molekul klorofil yang esensial dalam proses fotosintesis [16][17].

Rendahnya kadar hara ini diduga kuat dipengaruhi oleh interaksi faktor lingkungan dan kimia tanah. Berdasarkan penelitian Sutarta dkk. (2020), kondisi pH tanah yang terlalu asam dapat mengakibatkan terjadinya fiksasi Fosfor oleh unsur Aluminium (Al) atau Besi (Fe), yang membuat P menjadi tidak tersedia (*unavailable*) bagi akar meskipun keberadaannya di dalam tanah mencukupi.

Pada unsur Nitrogen (N) dan Kalium (K), hasil laboratorium menunjukkan tingkat nutrisi hara yang Optimal. Secara fisiologis, hubungan antara N dan K bersifat dinamis. Keduanya akan menunjukkan hubungan sinergisme yang kuat apabila berada dalam rasio yang seimbang, di mana N berperan dalam

membangun protein dan K mengaktifkan enzim untuk proses metabolisme tersebut. Namun, perlu dicatat bahwa hubungan ini dapat berbalik menjadi antagonis apabila salah satu unsur, terutama Nitrogen, diberikan secara berlebihan (dosis toksik). Kelebihan N yang ekstrem dapat memacu pertumbuhan vegetatif yang tidak terkendali sehingga menghambat efisiensi penyerapan K oleh akar. Dalam penelitian ini, tercapainya nutrisi hara yang optimal pada kedua unsur menunjukkan bahwa keseimbangan hara N-K masih terjaga dengan baik.

Kondisi yang berbeda ditemukan pada interaksi antara Kalium (K) dan Magnesium (Mg). Berbeda dengan N-K, hubungan antara K dan Mg di dalam tanah dan akar secara alami bersifat antagonisme murni. Hal ini terjadi karena ion K^+ dan Mg^{2+} merupakan kation yang bermuatan positif sehingga keduanya berkompetisi memperebutkan "pintu masuk" atau tapak jerapan yang sama pada permukaan akar untuk diserap (Putra & Hanum, 2018). Meskipun secara mekanisme penyerapan bersifat antagonis, kedua unsur ini tetap dapat saling mendukung dalam metabolisme tanaman untuk menghasilkan minyak sawit apabila rasio pemupukannya diatur secara tepat sesuai kebutuhan hara spesifik tanaman (Selawati dkk., 2026). Terjadinya defisiensi Mg pada Blok 3 (0,20%) dan rendahnya Mg di Blok 2 (0,22%) membuktikan bahwa dominasi K menekan penyerapan Mg. [18]

Perancangan Formulasi Pupuk NPK Majemuk

Tahap akhir adalah perancangan formulasi atau *grade* pupuk NPK majemuk kustom. Formulasi ini dirancang sebagai solusi teknis untuk memperbaiki kondisi rendahnya kadar hara Fosfor dan defisiensi Magnesium yang ditemukan pada sampel daun di lokasi penelitian, dengan tetap menjaga ketersediaan Nitrogen dan Kalium.

1. Penentuan Target Kadar Hara (*Grade*)

Perancangan *grade* dilakukan dengan mempertimbangkan status hara aktual tanaman dan target kecukupan hara optimal pada masing-masing lokasi. Meskipun terdapat perbedaan gradien kadar hara pada unsur tertentu (seperti Magnesium) antara Blok 2 dan Blok 3, konversi kebutuhan nutrisi ke dalam dosis pupuk tunggal menunjukkan rentang yang beririsan. Hal ini mengindikasikan bahwa defisit nutrisi pada kedua hamparan tersebut dapat diatasi melalui satu rancangan basis campuran yang seragam.

2. Spesifikasi Formulasi (*Final Grade*) Pupuk NPK Mg

Berdasarkan perhitungan neraca massa komponen (detail perhitungan terlampir pada Lampiran), diperoleh satu spesifikasi formulasi pupuk majemuk kustom yang representatif untuk mengoreksi status hara pada kedua lokasi, yaitu NPK-Mg 13-6-19-5.

4. Kesimpulan

Karakterisasi kandungan unsur hara makro pada daun kelapa sawit pelepah ke-17 menunjukkan adanya ketidakseimbangan nutrisi. Kadar Nitrogen (N) dan Kalium (K) berada pada rentang Optimal; Kadar N sebesar 2,63% di Blok 2 dan 2,41% di Blok 3, sedangkan Kadar K sebesar 0,96% di Blok 2 dan 0,93% di Blok 3. Kadar Fosfor (P) pada kedua blok berada pada tingkat nutrisi hara yang Rendah yakni di Blok 2 (0,147%) dan Blok 3 (0,144%). Sedangkan Kadar Magnesium (Mg) menunjukkan tingkat nutrisi hara yang Rendah (0,22%) di Blok 2 (*hidden hunger*) dan telah mencapai tingkat Defisiensi (0,20%) di Blok 3. Melalui perhitungan neraca massa total dan komponen, rancangan formulasi pupuk kustom yang direkomendasikan untuk mengoreksi ketidakseimbangan nutrisi di Afdeling Alfa (Blok 2 dan Blok 3) adalah pupuk majemuk dengan *grade* NPK-Mg 13-6-19-5

6. Referensi

- [1] F. Fauziati and E. Sampepana, "Kajian Karakteristik Kimia Asap Cair Cangkang Sawit, Tandan Kosong Sawit sebagai Bahan Antibakteri dan Aplikasinya," *J. Ris. Teknol. Ind.*, pp. 338–347, 2021, doi: 10.26578/jrti.v15i2.7294.
- [2] F. Fauziati and E. Sampepana, "Kajian Karakteristik Kimia Asap Cair Cangkang Sawit, Tandan Kosong Sawit sebagai Bahan Antibakteri dan Aplikasinya," *Indones. J. Ind. Res.*, pp. 338–347, 2021, doi: 10.26578/jrti.v15i2.7294.
- [3] A. A. Cahyaningtyas *et al.*, "Modifikasi dan Karakterisasi Pati Batang Kelapa Sawit secara Hidrolisis sebagai Bahan Baku Bioplastik," *Indones. J. Ind. Res.*, vol. 41, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.24817/jkk.v41i1.4623.
- [4] A. A. Cahyaningtyas *et al.*, "Modifikasi dan Karakterisasi Pati Batang Kelapa Sawit secara Hidrolisis sebagai Bahan Baku Bioplastik," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 41, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.24817/jkk.v41i1.4623.

- [5] A. Haitami and W. Wahyudi, "Pengaruh Berbagai Dosis Pupuk Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit Plus (Kotakplus) dalam Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol," *J. Ilm. Pertan.*, vol. 16, no. 1, pp. 56–63, 2019, doi: 10.31849/jip.v16i1.2351.
- [6] U. S. Asih, Y. Yaherwandi, and S. Efendi, "Keanekaragaman Laba-laba pada Perkebunan Kelapa Sawit yang Berbatasan dengan Hutan," *Indones. J. Entomol.*, vol. 18, no. 2, 2021, doi: 10.5994/jei.18.2.115.
- [7] R. Rosnina, S. Sapareng, and I. Idawati, "Optimalisasi Ukuran dan Jenis Polybag terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit di Pre Nursery," *Agrovital*, vol. 3, no. 2, pp. 47–50, 2018, doi: 10.35329/agrovital.v3i2.204.
- [8] L. M. Angraini, I. W. Sudiarta, N. Qomariyah, S. Alaa, and I. G. N. Y. Handayana, "Peningkatan Kompetensi Komputasi Fisika dan Kimia untuk Mahasiswa Program Studi Fisika Fmipa Universitas Mataram," *Selaparang*, vol. 2, no. 2, pp. 37–41, 2019, doi: 10.31764/jpmb.v2i2.886.
- [9] B. Pratomo, "Uji Variasi Konsentrasi Ekstrak Akar Tuba (Derris Elliptica) Dalam Pengendalian Hama Ulat Api (Setothosea Asigna) Pada Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.)," *Agroprimitech*, vol. 1, no. 2, pp. 64–71, 2018.
- [10] Y. Hafizrianda, R. Hidayat, M. A. Purwadi, and M. Kbarek, "Analisis Tingkat Kemiskinan Petani Kelapa Sawit di Kampung Yamara Kabupaten Keerom," *J. Kaji. Ekon. dan Stud. Pembang.*, vol. 7, no. 2, 2020, doi: 10.56076/jkesp.v7i2.2179.
- [11] N. Aswan and Y. W. Tanjung, "Analisis Faktor-faktor Pendapatan Petani Kelapa Sawit (Studi Kasus: Desa Terapung Raya Muara Batangtoru)," *J. Educ. Dev.*, vol. 9, no. 1, 2021.
- [12] W. K. Sembiring, E. D. I. Santosa, and H. Sukoco, "Penentuan Status Hara Daun pada Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat Determination of Leaf Nutrient Status in Smallholder Palm Oil Plantations," vol. 6, no. Dirjenbun 2017, pp. 11–17, 2024.
- [13] R. T. Juliawati *et al.*, "Status Unsur Hara Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq) Menghasilkan Pada Tanah Ultisol Di Desa Semuntai Kecamatan Mukok," pp. 516–524, 2025.
- [14] Nadhif, Iftikar Flour. *Kaji Eksperimental Torefaksi Limbah Kulit Ketela Berbasis Gelombang Mikro Untuk Produksi Bahan Bakar Padat Terbarukan*. Diss. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Magelang, 2024.
- [15] M. Hamzah, E. Mohamad, N. Suleman, I. Isa, and W. R. Kunusa, "Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq .) Sebagai Briket Bioarang," vol. 3, pp. 10–24, 2025.
- [16] N. L. K. Nisa', "Pemanfaatan limbah ampas kopi dan kulit kopi menjadi biobriket sebagai alternatif energi," *Skripsi*, 2023.
- [17] D. A. S. Pohan, B. Budiyono, and S. Syafrudin, "Analisis Kualitas Air Sungai Guna Menentukan Peruntukan Ditinjau Dari Aspek Lingkungan," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 14, no. 2, p. 63, 2017, doi: 10.14710/jil.14.2.63-71.
- [18] Safitri and L. Dwi, "Analisa Kadar Klorida Pada Air Sumur Di Desa Dalegan Kabupaten Gresik Dengan Penambahan Karbon Aktif Merek X," *Ayan*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.