

Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit dari Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 30 Ton/Jam dan 60 Ton/Jam sebagai Penyedia Unsur Hara di Perkebunan Kelapa Sawit

Rando Kelvin Silalahi^{1✉}, Ika Ucha Pradifta Rangkuti²

(1,2) Departement of Plantation Product Preprocessing Technology, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, Indonesia

Abstract: Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB) are one of the major solid wastes generated from the processing of Fresh Fruit Bunches (FFB) in palm oil mills. This study aims to evaluate the potential of EFB produced from palm oil mills with processing capacities of 30 tons/hour and 60 tons/hour as a nutrient source for oil palm plantations. The study employed a quantitative descriptive approach using mass balance analysis, laboratory testing, and the Independent Sample T-Test using IBM SPSS version 25. The parameters analyzed included macronutrients, micronutrients, and the physicochemical properties of EFB. The results showed that the mill with a capacity of 60 tons/hour produced a higher amount of EFB, reaching 13.80 tons/hour, compared to 6.90 tons/hour from the 30 tons/hour mill. EFB from the 60 tons/hour mill contained higher levels of nitrogen, potassium, phosphorus, copper, and iron, while EFB from the 30 tons/hour mill showed higher values of zinc, pH, organic carbon, organic matter, and C/N ratio. Statistical analysis revealed significant differences in several nutrient parameters between the two mill capacities at a 5% significance level. Overall, EFB demonstrates strong potential as an organic fertilizer source to improve soil fertility and support sustainable oil palm plantation systems.

Abstrak: Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat utama yang dihasilkan dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) di pabrik kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi TKKS dari pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam sebagai sumber hara bagi tanaman kelapa sawit di perkebunan. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif melalui analisis neraca massa, analisis laboratorium, serta uji Independent Sample T-Test menggunakan IBM SPSS versi 25. Parameter yang dianalisis meliputi unsur hara makro, unsur hara mikro, serta sifat fisikokimia TKK. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pabrik dengan kapasitas 60 ton/jam menghasilkan produksi TKKS lebih tinggi yaitu sebesar 13,80 ton/jam dibandingkan pabrik 30 ton/jam sebesar 6,90 ton/jam. TKKS dari pabrik 60 ton/jam memiliki kandungan Nitrogen, Kalium, Fosfor, Tembaga, dan Besi yang lebih tinggi, sedangkan TKKS dari pabrik 30 ton/jam memiliki nilai Zinc, pH, karbon organik, bahan organik, dan rasio C/N yang lebih tinggi. Hasil uji statistik menunjukkan terdapat perbedaan signifikan pada beberapa parameter unsur hara antara kedua kapasitas pabrik pada tingkat signifikansi 5%. Secara keseluruhan, TKKS memiliki potensi yang kuat sebagai sumber pupuk organik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung sistem perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan.

Article history:

Received: 30 May 2026

Revised: 28 June 2026

Accepted: 01 July 2026

Published: 03 July 2026

Keyword: Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB), Nutrient Content, Organic Fertilizer, Palm Oil Mill, Oil Palm Plantation

Kata Kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit, Kandungan Hara, Pupuk Organik, Pabrik Kelapa Sawit, Perkebunan Kelapa Sawit

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](#).



How to cite: Silalahi, R. K., & Rangkuti, I. U. P. (2026). Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit dari Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 30 Ton/Jam dan 60 Ton/Jam sebagai Penyedia Unsur Hara di Perkebunan Kelapa Sawit. *RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik*, 4(3), 206-216. <https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.561>

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor agribisnis strategis yang memiliki kontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia. Indonesia dikenal sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia dengan luas areal perkebunan mencapai lebih dari 14 juta hektar dan produksi crude palm oil (CPO) yang terus meningkat setiap tahunnya. Tingginya aktivitas pengolahan tandan buah segar (TBS)

✉ Corresponding author: randokelvin961@gmail.com

di pabrik kelapa sawit (PKS) menyebabkan meningkatnya jumlah limbah padat dan cair yang dihasilkan selama proses produksi (Jenderal & Kementerian, 2022). Pabrik kelapa sawit menghasilkan berbagai jenis limbah biomassa seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat (fiber), cangkang (shell), lumpur sawit, dan limbah cair pabrik kelapa sawit (Palm Oil Mill Effluent/POME). Di antara limbah tersebut, TKKS merupakan limbah padat terbesar dengan proporsi sekitar 22–23% dari total berat TBS yang diolah (Ucha et al., 2023). Jumlah limbah TKKS yang sangat besar sering kali menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik, seperti penumpukan limbah di sekitar pabrik, pencemaran lingkungan, dan peningkatan emisi gas rumah kaca (Sitorus et al. 2024).

Di sisi lain, TKKS memiliki kandungan bahan organik dan unsur hara yang cukup tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai pupuk organik pada perkebunan kelapa sawit. TKKS mengandung unsur hara makro seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), dan Kalsium (Ca) yang dibutuhkan tanaman dalam proses pertumbuhan dan produksi buah (Harahap et al., 2020). Selain itu, TKKS juga mengandung unsur mikro seperti Besi (Fe), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Boron (B), dan Mangan (Mn) yang berperan penting dalam aktivitas metabolisme tanaman (Hayat & Andayani, 2014). Kalium merupakan unsur hara dominan yang terkandung dalam TKKS dan berperan penting dalam pembentukan buah, translokasi hasil fotosintesis, serta peningkatan produksi minyak kelapa sawit (Sakiah et al., 2020). Selain itu, kandungan karbon organik yang tinggi pada TKKS mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, serta meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air (Rangkuti & Ginting, 2021). Pemanfaatan TKKS sebagai pupuk organik juga dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik yang harganya semakin meningkat setiap tahun (Mahmud & Chong, 2021).

Pemanfaatan TKKS sebagai sumber unsur hara alternatif menjadi bagian penting dalam mendukung konsep pertanian berkelanjutan dan ekonomi sirkular pada industri kelapa sawit. Limbah biomassa yang sebelumnya dianggap tidak bernilai dapat dimanfaatkan kembali menjadi produk yang bermanfaat bagi sektor perkebunan sehingga mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah industri (Judijanto, 2025). Aplikasi TKKS pada lahan perkebunan juga dilaporkan mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, serta meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit (Wibowo et al., 2024).

Karakteristik TKKS dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya kapasitas pengolahan pabrik kelapa sawit. PKS dengan kapasitas berbeda diduga menghasilkan karakteristik TKKS yang berbeda pula, baik dari segi kuantitas maupun kandungan unsur hara. Perbedaan kapasitas pengolahan dapat mempengaruhi intensitas sterilisasi, efisiensi proses perontokan, serta jumlah biomassa yang dihasilkan selama proses pengolahan TBS (Munawir, 2018). PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam merupakan kapasitas yang umum digunakan pada industri kelapa sawit di Indonesia sehingga menarik untuk dibandingkan karakteristik limbah TKKS yang dihasilkannya.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan TKKS sebagai pupuk organik dan bahan amelioran tanah. Saragih et al. (2020) melaporkan bahwa TKKS memiliki kandungan unsur Kalium yang cukup tinggi sehingga potensial digunakan sebagai sumber pupuk organik pada perkebunan kelapa sawit. Penelitian lain oleh Hatta et al. (2021) menunjukkan bahwa aplikasi TKKS mampu meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Namun demikian, penelitian yang membandingkan kandungan unsur hara TKKS berdasarkan kapasitas pabrik kelapa sawit masih relatif terbatas.

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan potensi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai sumber bahan organik dan unsur hara bagi tanaman, informasi mengenai pengaruh kapasitas pabrik kelapa sawit terhadap karakteristik dan kandungan unsur hara TKKS masih terbatas. Perbedaan kapasitas pengolahan diduga memengaruhi jumlah biomassa yang dihasilkan, efisiensi proses

pengolahan, serta karakteristik limbah yang terbentuk. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan dalam membandingkan kandungan unsur hara dan sifat fisikokimia TKKS yang berasal dari pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai potensi pemanfaatan TKKS berdasarkan kapasitas pabrik sebagai sumber pupuk organik alternatif pada perkebunan kelapa sawit. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji potensi TKKS dari PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam sebagai penyedia unsur hara pada perkebunan kelapa sawit. Penelitian ini difokuskan pada analisis kandungan unsur hara makro dan mikro, estimasi produksi TKKS berdasarkan neraca massa, serta analisis statistik menggunakan Independent Sample T-Test untuk mengetahui perbedaan kandungan unsur hara antara kedua kapasitas PKS. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan limbah TKKS secara berkelanjutan serta mendukung pemanfaatan pupuk organik pada sistem perkebunan kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di dua pabrik kelapa sawit dengan kapasitas pengolahan berbeda, yaitu Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Adolina kapasitas 30 ton TBS/jam dan PKS Bah Jambi kapasitas 60 ton TBS/jam. Analisis kandungan unsur hara dilakukan di Laboratorium Research and Development Centre PT. Nusa Pusaka Kencana Analytical and QC Bahilang, Tebing Tinggi, Sumatera Utara yang telah terakreditasi KAN (Komite Akreditasi Nasional) dengan standar mutu ISO/IEC 17025:2017. Penelitian dilaksanakan pada periode April 2025 hingga Januari 2026. PKS Adolina dan PKS Bah Jambi dipilih sebagai lokasi penelitian karena mewakili dua kapasitas pengolahan yang umum digunakan pada industri kelapa sawit di Indonesia, yaitu 30 ton TBS/jam dan 60 ton TBS/jam. Pemilihan kedua pabrik tersebut bertujuan untuk mengevaluasi kemungkinan adanya perbedaan karakteristik tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dihasilkan akibat perbedaan kapasitas pengolahan.

Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk menganalisis potensi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai penyedia unsur hara pada perkebunan kelapa sawit. Metode deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan tingkat kandungan unsur hara pada TKKS dari dua kapasitas pabrik yang berbeda secara sistematis dan objektif menggunakan data numerik hasil analisis laboratorium (Rohmah, 2019). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kapasitas pabrik kelapa sawit, yaitu PKS kapasitas 30 ton/jam dan PKS kapasitas 60 ton/jam, sedangkan variabel terikat berupa kandungan unsur hara TKKS yang meliputi unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro yang dianalisis terdiri atas Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), dan Kalsium (Ca), sedangkan unsur hara mikro meliputi Boron (B), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Besi (Fe), dan Mangan (Mn). Selain itu dianalisis pula sifat fisikokimia berupa karbon organik, bahan organik, pH, dan rasio C/N.

Pengambilan sampel TKKS dilakukan menggunakan metode purposive sampling pada kondisi operasional normal pabrik (Rezki et al., 2023). Sampel diambil secara acak dari tumpukan TKKS pada PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam sebanyak tiga kali ulangan. Setiap ulangan diambil dari lima titik berbeda untuk memperoleh sampel yang representatif. Sampel kemudian dicampur hingga homogen dan dibuat menjadi sampel komposit dengan berat sekitar 2–5 kg. Sampel yang telah diperoleh dimasukkan ke dalam kantong plastik bersih dan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan preparasi dan analisis kandungan unsur hara.

Preparasi sampel dilakukan mengacu pada metode standar preparasi sampel tanah dan pupuk (Mulwandari et al., 2018). Sampel TKKS dibersihkan dari material asing, kemudian dicacah menjadi ukuran kecil sekitar 1–3 cm untuk mempercepat proses pengeringan. Sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60–70°C hingga mencapai berat konstan untuk mengurangi kadar air. Sampel kering kemudian digiling menggunakan grinder hingga berbentuk serbuk halus dan diayak

menggunakan ayakan 40 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang homogen. Sampel yang telah homogen disimpan dalam wadah kedap udara sebelum dilakukan analisis laboratorium.

Analisis kandungan Nitrogen (N) dilakukan menggunakan metode Kjeldahl yang terdiri atas tahap destruksi, destilasi, dan titrasi. Sampel TKKS sebanyak $\pm 0,5$ g ditambahkan 10 ml H_2SO_4 pekat dan campuran katalis $\text{K}_2\text{SO}_4 : \text{CuSO}_4$ (10 : 1), kemudian dipanaskan hingga larutan jernih. Hasil destruksi didestilasi menggunakan NaOH 40% dan amonia yang terbentuk ditangkap menggunakan larutan H_3BO_3 4%, kemudian dititrasi menggunakan HCl 0,1 N untuk menentukan kadar Nitrogen total. Analisis unsur Fosfor (P) dilakukan menggunakan metode UV-Visible Spectrophotometry (Malis et al., 2022). Sampel didestruksi menggunakan campuran $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ (4 : 1) hingga larutan jernih. Larutan hasil destruksi direaksikan menggunakan asam molibdat dan asam askorbat hingga membentuk kompleks biru (phosphomolybdenum blue). Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 882 nm menggunakan UV-Visible Spectrophotometer untuk menentukan konsentrasi Fosfor berdasarkan kurva standar NaH_2PO_4 .

Analisis unsur Kalium (K), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Besi (Fe), Tembaga (Cu), dan Seng (Zn) dilakukan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Sampel TKKS didestruksi menggunakan campuran $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ (4 : 1) kemudian dipanaskan hingga larutan jernih. Larutan hasil destruksi dianalisis menggunakan AAS berdasarkan kemampuan atom menyerap cahaya spesifik pada panjang gelombang tertentu. Konsentrasi unsur ditentukan berdasarkan kurva standar masing-masing logam. Analisis Boron (B) dilakukan menggunakan metode kolorimetri, sedangkan pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan buffer pH 4, 7, dan 10. Karbon organik dan bahan organik dianalisis menggunakan metode Walkley-Black, sedangkan rasio C/N dihitung berdasarkan perbandingan karbon organik terhadap kandungan Nitrogen total. Perhitungan potensi produksi TKKS dilakukan menggunakan pendekatan neraca massa berdasarkan jumlah tandan buah segar (TBS) yang diolah pada masing-masing pabrik kelapa sawit (Apriando et al., 2025). Estimasi produksi TKKS dihitung menggunakan faktor konversi sebesar 23% dari total TBS yang diolah. Prinsip neraca massa mengikuti hukum kekekalan massa yang menyatakan bahwa jumlah massa bahan yang masuk ke dalam sistem sama dengan jumlah massa bahan yang keluar ditambah kehilangan selama proses pengolahan.

Data hasil analisis laboratorium disajikan dalam bentuk nilai rata-rata dan standar deviasi dari tiga kali ulangan pada masing-masing sampel. Analisis data dilakukan dalam dua tahap, yaitu analisis deskriptif dan analisis inferensial. Uji Independent Samples T-Test digunakan karena penelitian bertujuan membandingkan nilai rata-rata kandungan unsur hara dan sifat fisikokimia antara dua kelompok sampel yang independen, yaitu TKKS dari PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam. Analisis inferensial dilakukan menggunakan uji Independent Samples T-Test pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ menggunakan perangkat lunak IBM SPSS versi 25 untuk mengetahui perbedaan kandungan unsur hara antara TKKS PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat utama yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar (TBS) di pabrik kelapa sawit. Jumlah TKKS yang dihasilkan dipengaruhi oleh kapasitas pengolahan pabrik dan jumlah TBS yang diolah setiap harinya. Berdasarkan neraca massa pengolahan kelapa sawit, setiap 1 ton TBS menghasilkan sekitar 23% TKKS. Hasil perhitungan produksi TKKS pada PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam disajikan pada Tabel 1.

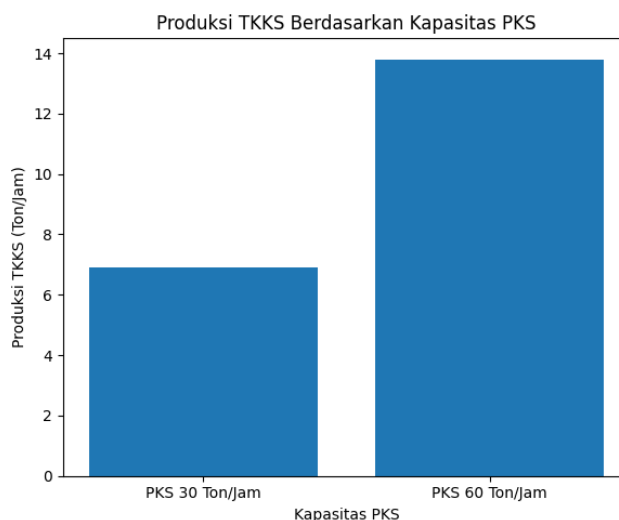
Tabel 1. Produksi TKKS Berdasarkan Kapasitas PKS

Kapasitas PKS	Produksi TKKS (Ton/Jam)
PKS 30 Ton/Jam	6,90
PKS 60 Ton/Jam	13,80

(Sumber: Processed research data, 2025)

Berdasarkan Tabel 1, PKS kapasitas 60 ton/jam menghasilkan TKKS sebesar 13,80 ton/jam, sedangkan PKS kapasitas 30 ton/jam menghasilkan 6,90 ton/jam. Produksi TKKS pada PKS kapasitas 60 ton/jam hampir dua kali lebih besar dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam. Hal ini disebabkan oleh tingginya jumlah tandan buah segar (TBS) yang diolah pada pabrik dengan kapasitas lebih besar.

Perbedaan kapasitas pengolahan pabrik secara langsung mempengaruhi jumlah limbah biomassa yang dihasilkan. Volume TKKS yang besar menunjukkan bahwa limbah ini memiliki potensi tinggi untuk dimanfaatkan kembali sebagai sumber bahan organik dan penyedia unsur hara alternatif pada perkebunan kelapa sawit. Perbandingan produksi TKKS pada kedua kapasitas pabrik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram batang Produksi TKKS Berdasarkan Kapasitas PKS

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa produksi TKKS pada PKS kapasitas 60 ton/jam lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam. Tingginya produksi TKKS menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit sangat penting untuk mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan mengurangi pencemaran lingkungan di sekitar pabrik kelapa sawit.

Kandungan Unsur Hara Makro TKKS

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dari kedua kapasitas pabrik mengandung unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman kelapa sawit, yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), dan Kalsium (Ca). Unsur hara tersebut berperan penting dalam pertumbuhan vegetatif, pembentukan buah, proses fotosintesis, dan peningkatan produktivitas tanaman kelapa sawit. Kandungan unsur hara makro pada TKKS dari PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Kandungan unsur hara makro TKKS

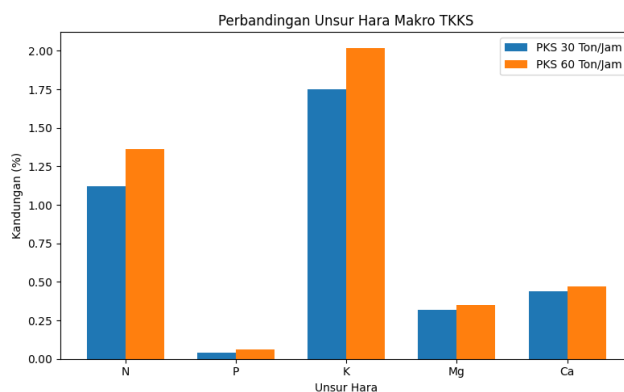
Parameter	Satuan	PKS 30 Ton/Jam	PKS 60 Ton/Jam
Nitrogen (N)	%	1,12	1,36
Fosfor (P)	%	0,04	0,06
Kalium (K)	%	1,75	2,02
Magnesium (Mg)	%	0,32	0,35
Kalsium (Ca)	%	0,44	0,47

(Sumber: Processed research data, 2025)

Berdasarkan Tabel 2, kandungan unsur hara makro pada TKKS PKS kapasitas 60 ton/jam cenderung lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam. Kandungan Nitrogen pada PKS kapasitas 60 ton/jam sebesar 1,36%, sedangkan pada PKS kapasitas 30 ton/jam sebesar 1,12%. Kandungan Nitrogen yang tinggi menunjukkan bahwa TKKS berpotensi mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman karena Nitrogen merupakan unsur utama penyusun protein dan klorofil tanaman.

Kandungan Fosfor dan Kalium pada TKKS PKS kapasitas 60 ton/jam juga lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam. Kalium merupakan unsur hara dominan pada TKKS yang sangat penting dalam pembentukan buah, translokasi hasil fotosintesis, dan peningkatan produksi minyak sawit. Kandungan Kalium yang cukup tinggi menunjukkan bahwa TKKS memiliki potensi besar sebagai sumber pupuk organik alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik.

Selain itu, kandungan Magnesium dan Kalsium pada TKKS juga berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah. Magnesium merupakan unsur penyusun klorofil yang mendukung proses fotosintesis, sedangkan Kalsium berfungsi memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Perbandingan kandungan unsur hara makro pada TKKS dari kedua kapasitas pabrik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram batang Perbandingan Unsur Hara Makro TKKS.

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa unsur Kalium (K) memiliki kandungan tertinggi dibandingkan unsur hara makro lainnya pada kedua kapasitas PKS. Hal ini menunjukkan bahwa TKKS sangat potensial dimanfaatkan sebagai sumber Kalium organik pada perkebunan kelapa sawit. Selain itu, kandungan unsur hara makro pada PKS kapasitas 60 ton/jam secara umum lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam, yang diduga dipengaruhi oleh intensitas pengolahan dan karakteristik bahan baku yang diolah pada masing-masing pabrik.

Dari sudut pandang praktis, kandungan Nitrogen, Fosfor, dan Kalium yang lebih tinggi pada TKKS PKS kapasitas 60 ton/jam menunjukkan bahwa limbah tersebut berpotensi memberikan kontribusi unsur hara yang lebih besar ketika diaplikasikan sebagai bahan organik di perkebunan kelapa sawit. Pemanfaatan TKKS dapat membantu mengurangi kebutuhan pupuk anorganik, terutama pupuk berbasis Kalium yang memiliki biaya relatif tinggi dalam budidaya kelapa sawit. Hasil penelitian ini

sejalan dengan laporan Sakiah et al. (2020) yang menyatakan bahwa TKKS memiliki kandungan Kalium yang relatif tinggi dibandingkan unsur hara lainnya. Selain itu, penelitian Hatta, Dan, et al. (2014) juga menunjukkan bahwa aplikasi TKKS mampu meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Temuan penelitian ini memperkuat bahwa TKKS tidak hanya berfungsi sebagai limbah biomassa, tetapi juga berpotensi sebagai sumber hara alternatif yang mendukung sistem perkebunan berkelanjutan.

Kandungan Unsur Hara Mikro TKKS

Selain mengandung unsur hara makro, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) juga mengandung unsur hara mikro yang berperan penting dalam metabolisme tanaman, pembentukan klorofil, aktivitas enzim, dan proses fotosintesis. Unsur hara mikro yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi Boron (B), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Besi (Fe), dan Mangan (Mn). Hasil analisis kandungan unsur hara mikro pada TKKS dari PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam disajikan pada Tabel 3.

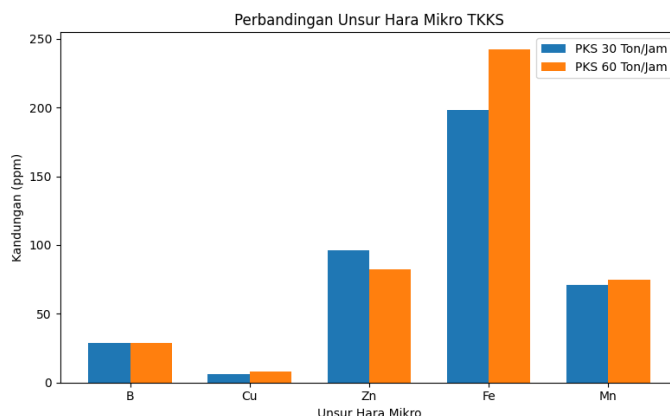
Tabel 3. Kandungan unsur hara mikro TKKS

Parameter	Satuan	PKS 30 Ton/Jam	PKS 60 Ton/Jam
Boron (B)	ppm	28,54	29,11
Tembaga (Cu)	ppm	6,12	7,79
Seng (Zn)	ppm	95,95	82,14
Besi (Fe)	ppm	198,45	242,56
Mangan (Mn)	ppm	71,23	74,88

(Sumber: Processed research data, 2025)

Berdasarkan Tabel 3, kandungan unsur hara mikro pada TKKS dari PKS kapasitas 60 ton/jam cenderung lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam, terutama pada unsur Besi (Fe), Tembaga (Cu), dan Mangan (Mn). Kandungan Besi pada PKS kapasitas 60 ton/jam mencapai 242,56 ppm, sedangkan pada PKS kapasitas 30 ton/jam sebesar 198,45 ppm. Besi merupakan unsur mikro penting yang berperan dalam pembentukan klorofil dan proses respirasi tanaman.

Kandungan Mangan dan Tembaga pada PKS kapasitas 60 ton/jam juga lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam. Mangan berfungsi sebagai aktivator enzim pada proses metabolisme tanaman, sedangkan Tembaga berperan dalam proses pembentukan lignin dan aktivitas fotosintesis. Sebaliknya, kandungan Seng (Zn) pada TKKS PKS kapasitas 30 ton/jam lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 60 ton/jam. Seng berperan penting dalam sintesis hormon pertumbuhan tanaman dan aktivitas enzim. Perbedaan kandungan unsur mikro antar kapasitas PKS diduga dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku, kondisi pengolahan, dan tingkat kematangan tandan buah segar yang diolah pada masing-masing pabrik. Perbandingan kandungan unsur hara mikro pada TKKS dari kedua kapasitas pabrik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram batang perbandingan unsur hara mikro TKKS

Berdasarkan Gambar 3, kandungan Besi (Fe) menunjukkan nilai tertinggi dibandingkan unsur mikro lainnya pada kedua kapasitas PKS. Hal ini menunjukkan bahwa TKKS memiliki potensi sebagai sumber unsur mikro bagi tanaman kelapa sawit. Secara umum, kandungan unsur mikro pada PKS kapasitas 60 ton/jam lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam, sehingga TKKS dari PKS kapasitas besar berpotensi memberikan kontribusi unsur hara yang lebih tinggi pada lahan perkebunan kelapa sawit.

Sifat Fisiokimia TKKS

Analisis sifat fisikokimia tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dilakukan untuk mengetahui karakteristik TKKS sebagai bahan pupuk organik dan sumber bahan organik tanah. Parameter yang dianalisis meliputi pH, karbon organik, bahan organik, dan rasio C/N. Karakteristik fisikokimia sangat berpengaruh terhadap proses dekomposisi bahan organik dan kemampuan TKKS dalam memperbaiki kesuburan tanah. Hasil analisis sifat fisikokimia TKKS dari PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam disajikan pada Tabel 4.

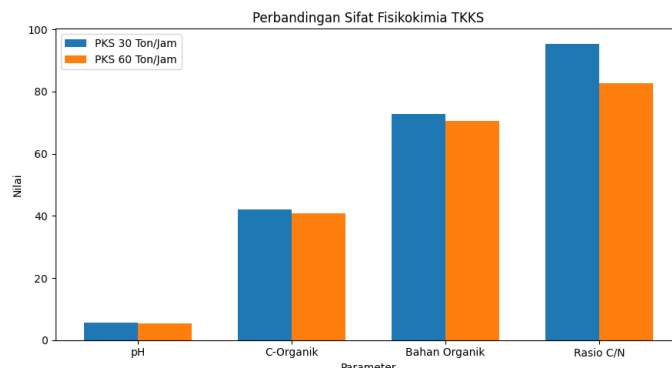
Tabel 4. Sifat Fisikokimia TKKS

Parameter	PKS 30 Ton/Jam	PKS 60 Ton/Jam
pH	5,68	5,32
Karbon Organik (%)	42,15	40,88
Bahan Organik (%)	72,67	70,48
C/N	95,44	82,67

(Sumber: Processed research data, 2025)

Berdasarkan Tabel 4, nilai pH TKKS pada kedua kapasitas PKS tergolong agak asam. Nilai pH pada PKS kapasitas 30 ton/jam lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 60 ton/jam. Kondisi pH yang relatif asam dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dan proses dekomposisi alami pada TKKS. Kandungan karbon organik dan bahan organik pada kedua sampel menunjukkan nilai yang cukup tinggi. Tingginya kandungan bahan organik menunjukkan bahwa TKKS memiliki potensi besar dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, dan meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan air. Karbon organik juga berperan penting dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah sehingga mendukung kesuburan tanah pada perkebunan kelapa sawit.

Nilai rasio C/N pada kedua sampel masih tergolong tinggi, yaitu 95,44 pada PKS kapasitas 30 ton/jam dan 82,67 pada PKS kapasitas 60 ton/jam. Rasio C/N yang tinggi menunjukkan bahwa TKKS masih memerlukan proses pengomposan atau dekomposisi lebih lanjut sebelum diaplikasikan langsung ke lahan agar pelepasan unsur hara dapat berlangsung lebih optimal. Perbandingan sifat fisikokimia TKKS pada kedua kapasitas pabrik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Batang Sifat Fisikokimia TKKS

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa nilai karbon organik, bahan organik, dan rasio C/N pada TKKS PKS kapasitas 30 ton/jam lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 60 ton/jam. Hal ini menunjukkan bahwa TKKS dari PKS kapasitas 30 ton/jam masih memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi sehingga proses dekomposisinya berlangsung lebih lambat.

Meskipun memiliki kandungan bahan organik yang tinggi, rasio C/N TKKS yang masih besar menunjukkan bahwa bahan tersebut belum sepenuhnya terdekomposisi. Oleh karena itu, penggunaan TKKS secara langsung di lapangan perlu mempertimbangkan proses pengomposan terlebih dahulu agar mineralisasi unsur hara berlangsung lebih optimal dan tidak menyebabkan imobilisasi Nitrogen di dalam tanah.

Hasil Uji Independent Samples T-Test

Analisis statistik menggunakan uji Independent Sample T-Test dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada kandungan unsur hara dan sifat fisikokimia TKKS antara PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam. Pengujian dilakukan pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ menggunakan perangkat lunak IBM SPSS versi 25. Hasil uji Independent Sample T-Test disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji Independent Samples T-Test kandungan unsur hara TKKS

Parameter	Sig. (p)	Keterangan
N	<0,05	berbeda nyata
P	<0,05	berbeda nyata
K	<0,05	berbeda nyata
Mg	>0,05	tidak berbeda nyata
Ca	>0,05	tidak berbeda nyata
Zn	<0,05	berbeda nyata
Fe	<0,05	berbeda nyata
pH	<0,05	berbeda nyata
C/N	<0,05	berbeda nyata

(Sumber: Processed research data, 2025)

Berdasarkan Tabel 5, hasil uji statistik menunjukkan bahwa beberapa parameter unsur hara dan sifat fisikokimia memiliki perbedaan nyata antara TKKS PKS kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam. Parameter Nitrogen, Fosfor, Kalium, Seng, Besi, pH, dan rasio C/N menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 sehingga dinyatakan berbeda nyata. Sebaliknya, parameter Magnesium dan Kalsium menunjukkan nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 sehingga dinyatakan tidak berbeda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan Magnesium dan Kalsium pada TKKS relatif stabil meskipun berasal dari kapasitas PKS yang berbeda.

Perbedaan kandungan unsur hara antara kedua kapasitas pabrik diduga dipengaruhi oleh kapasitas pengolahan, intensitas sterilisasi, efisiensi proses pengolahan, serta karakteristik tandan buah segar yang diolah pada masing-masing pabrik. PKS kapasitas 60 ton/jam cenderung menghasilkan TKKS dengan kandungan unsur mineral lebih tinggi dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas pengolahan pabrik mempengaruhi karakteristik kimia dan kualitas TKKS yang dihasilkan. Dengan kandungan unsur hara yang cukup tinggi, TKKS berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber pupuk organik alternatif untuk mendukung sistem perkebunan kelapa sawit berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik.

KESIMPULAN

TKKS dari Pabrik Kelapa Sawit kapasitas 30 ton/jam dan 60 ton/jam memiliki potensi sebagai sumber pupuk organik alternatif pada perkebunan kelapa sawit. PKS kapasitas 60 ton/jam menghasilkan TKKS lebih tinggi dan memiliki kandungan beberapa unsur hara makro dan mikro yang lebih besar dibandingkan PKS kapasitas 30 ton/jam. Hasil uji Independent Samples T-Test menunjukkan bahwa beberapa parameter unsur hara dan sifat fisikokimia berbeda nyata pada taraf signifikansi 5%.

Secara praktis, pemanfaatan TKKS dapat mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan serta membantu mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik di perkebunan kelapa sawit. Namun demikian, tingginya rasio C/N menunjukkan bahwa TKKS masih memerlukan proses pengomposan sebelum diaplikasikan secara luas di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriando, E. Y., Mardawati, E., & Hanifah, A. (2025). An Analysis on Mass Balance Calculation and Potential Processing Waste of The Conversion of Crude Palm Oil (CPO). *Biomass, Biorefinery and Bioeconomy*, 3(2). <https://journals.unpad.ac.id/tribio/article/view/66084>
- Harahap, F. S., Walida, H., Rahmaniah, R., Rauf, A., Hasibuan, R., & Nasution, A. P. (2020). Pengaruh Aplikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Arang Sekam Padi terhadap beberapa Sifat Kimia Tanah pada Tomat. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v4i1.41121>
- Hatta, M., Dan, J., Permana, D., Pengkajian, B., Pertanian, T., Barat, K., & Budi, J. (2014). Pemanfaatan Tandan Kosong Sawit Untuk Pupuk Organik Pada Intercropping Kelapa Sawit Dan Jagung. *Jurnal Pengkajian Dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 17(1), 27–35. <https://doi.org/10.21082/jpptp.v17n1.2014.p%p>
- Hatta, M., Jafri, & Permana, D. (2014). Pemanfaatan Tandan Kosong Sawit untuk Pupuk Organik pada Intercropping Kelapa Sawit dan Jagung. *Jurnal Pengkajian Dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 17(1), 27–35. <https://doi.org/10.21082/jpptp.v17n1.2014.p%p>
- Hayat, E. S., & Andayani, S. (2014). Pengelolaan limbah tandan kosong kelapa sawit dan aplikasi biomassa *Chromolaena odorata* terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi serta sifat tanah sulfaquent. *Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah*, 17(2), 44–51. <https://www.neliti.com/publications/219545/pengelolaan-limbah-tandan-kosong-kelapa-sawit-dan-aplikasi-biomassa-chromolaena>
- Judijanto, L. (2025). Pengelolaan Limbah Pertanian Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Indonesia*, 3(2), 61–70. <https://sociohum.net/index.php/PROSIDINGNASIOANAL/article/view/55>
- Mahmud, S., & Chong, K. P. (2021). Journal of King Saud University – Science Formulation of biofertilizers from oil palm empty fruit bunches and plant growth-promoting microbes : A

- comprehensive and novel approach towards plant health. *Journal of King Saud University - Science*, 33(8), 101647. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101647>
- Malis, E., Findari, H., & Susanti, R. E. E. (2022). Penentuan Kadar Nitrogen, Organik Hasil Fermentasi menggunakan Starter EM4 dan Promol dan dengan Metode Kjeldhal. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia Dan Terapannya*, 4(1), 25–31. <https://doi.org/10.36526/jc.v4i1.2439>
- Mulwandari, M., Supriadi, H., & Fajarwati, F. I. (2018). Penentuan Kadar Logam B3 Dalam Pupuk Cair Dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN). *INDONESIAN JOURNAL OF CHEMICAL RESEARCH*, 3(2), 59–66. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol3.iss2.art3>
- Munawir. (2018). Potensi Tandan Kosong Sawit Untuk Memproduksi Kompos. *Equilibrium Point*, 1(1), 11–16. <https://doi.org/10.46975/ebp.v1i1.362>
- Nugroho, P.A Istianto., M.J.Rosyid., dan T. W. (2017). Peran Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Pupuk Anorganik Dalam Meningkatkan Serapan Hara N, P, K dan Pertumbuhan Tanaman Kanaf. *Pertanian Tropik*, 2(2), 200–210.
- Rangkuti, I. U. P., & Ginting, M. H. (2021). Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit: Pelepah Kelapa Sawit Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Jurnal Agro Fabrica*, 3(2), 52–63. <https://doi.org/10.47199/jaf.v3i2.224>
- Rezki, A. S., Wulandari, Y. R., Alvita, L. R., & Sari, N. P. (2023). Potensi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Bioenergi pada Produksi Bio-Oil dengan Metode Pirolisis: Efek Temperatur: Potential of Empty Fruit Bunches (EFB) Waste as Bioenergy to Produce Bio-Oil Using Pyrolysis Method: Temperature Effects. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 7(1), 22–29.
- Rohmah, N. U. R. (2019). PEMANFAATAN AIR LIMBAH TAHU MENURUNKAN KADAR KALIUUM PADA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN PROSES PENCUCIAN (LEACHING) [FAKULTAS PERTANIAN]. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/56753>
- Sakiah, Saragih, D. A., & Sinaga, R. P. (2020). Karakteristik kompos bahan baku tandan kosong dan pelepah kelapa sawit dengan komposisi yang berbeda. *Agrium*, 22(3), 162–165. <https://doi.org/10.30596/agrium.v22i3.4688>
- Sitorus, U. A., Dewi, Perangin-angin, Indah, M., Wahyudi, D., Studi, P., Perkebunan, P., Pembangunan, P., & Medan, P. (2024). Persepsi Pekebun dalam Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Pupuk Organik. (September), 1470–1484. <https://doi.org/10.47687/snppvp.v5i1.1213>
- Ucha, I., Rangkuti, P., Syukri, M., & Harahap, M. S. (2023). FORMULASI PEMBUATAN MEDIA TANAM BERBASIS LIMBAH KELAPA SAWIT SEBAGAI MEDIA TANAMAN HIAS (*Aglonema*) FORMULATION FOR MAKING PLANTING MEDIA BASED ON PALM OIL WASTE AS A MEDIA FOR ORNAMENTAL PLAN. 7(2), 21–29. <https://doi.org/10.47199/jae.v7i2.195>
- Wibowo, V. A., Santoso, H., & Sutanto, A. (2024). PENGGUNAAN PUPUK KOMPOS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN DAN KUALITAS TANAH: STUDI LITERATUR. *Biolova*, 5(2), 141–151. <https://doi.org/10.24127/biolova.v5i2.6480>