

PERBANDINGAN JUMLAH SAMPEL BERONDOLAN DARI METODE SUB-SAMPLING SPIKELET DALAM PENENTUAN RENDEMEN CPO DAN KERNEL

Ilmi Fadhilah Rizki*, Donald Siahaan, Heri Adriwan Siregar, dan Rhozi Akbar Siregar

Abstrak - Penentuan rendemen minyak sawit mentah *Crude Palm Oil* (CPO) dan inti sawit (kernel) dari tandan buah segar (TBS) perlu menggunakan metode tepat dan efisien agar diperoleh hasil yang cepat dan akurat. Petunjuk teknis analisa rendemen CPO dan kernel yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Perkebunan mensyaratkan pengambilan sampel sebanyak 5 spikelet pada TBS dari tanaman umur 10-30 tahun dan seluruh berondolan dari sub sampling diiris sehingga membutuhkan waktu lama. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan jumlah sampel berondolan dari metode sub-sampling terhadap rendemen CPO dan kernel, yaitu dengan menganalisa: 1) sebagian saja berondolan dari 5 spikelet (metode sebagian) dan 2) seluruh berondolan dari 5 spikelet (metode total). Sampel TBS yang digunakan berasal dari tanaman varietas Tenera umur 10–30 tahun. Analisa sebagian berondolan dibandingkan dengan analisa total berondolan menggunakan uji-t berpasangan dan koefisien korelasi Pearson. Hasil analisis keseluruhan menunjukkan adanya perbedaan signifikan secara statistik antara kedua metode ($p = 0,000$), namun dengan korelasi yang sangat kuat ($r = 0,945$ untuk CPO; $r = 0,999$ untuk Inti). Analisis per kelompok umur mengungkapkan bahwa pada tanaman berumur 10–13 tahun ($p = 0,203$) dan 21–23 tahun ($p = 0,223$), tidak terdapat perbedaan signifikan. Korelasi yang konsisten tinggi di semua kelompok umur ($r = 0,920$ hingga $0,987$) menunjukkan bahwa metode analisa sebagian berondolan mampu merefleksikan tren rendemen yang sama dengan metode total berondolan. Dengan demikian, metode Sebagian berondolan dapat diadopsi sepenuhnya untuk tanaman umur 10–13 dan 21–23 tahun, serta tetap andal sebagai alat estimasi relatif yang efisien untuk pengambilan keputusan cepat di lapangan pada rentang umur lainnya.

Kata kunci: berondolan, kelapa sawit, rendemen CPO dan kernel, sub-sampling spikelet, umur tanaman

PENDAHULUAN

Sektor perkebunan kelapa sawit merupakan pilar agribisnis vital yang berkontribusi signifikan terhadap perekonomian global dan nasional. Efisiensi dan profitabilitas sektor ini, baik di tingkat perkebunan maupun Pabrik Kelapa Sawit (PKS), sangat bergantung pada produktivitas yang diukur melalui rendemen minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil* - CPO) dan inti sawit (*kernel*). Penentuan rendemen secara akurat merupakan aspek krusial dalam program pemuliaan, evaluasi praktik kultur teknis

agronomi, serta penjaminan mutu di tingkat PKS= (Nasution & Ningsih, 2025; Radwitya et al., 2023). Nilai rendemen ini menjadi indikator utama keberhasilan pengelolaan kebun dan efisiensi pengolahan di pabrik (Muflihani et al., 2024), di mana industri kelapa sawit Indonesia menargetkan pencapaian rendemen CPO hingga 26% (Hasibuan, 2023).

Proses penentuan rendemen umumnya melibatkan serangkaian tahapan laboratorium yang kompleks, mulai dari pengambilan sampel Tandan Buah Segar (TBS), *sub-sampling* butiran buah, hingga tahap ekstraksi minyak (Mandal & Babu, 2008b, 2008a). Kualitas buah yang dihasilkan sendiri dipengaruhi secara sinergis oleh varietas tanaman, praktik kultur teknis, dan ketepatan kriteria matang panen (Huesesan & Khoiri, 2025). Salah satu tahapan paling kritis dalam analisis potensi minyak adalah sub-sampling butiran buah, yang bertujuan memperoleh

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Ilmi Fadhilah Rizki* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia
Email : ilmifadhilahrizki@iopri.org

sampel yang representatif karena karakteristik buah sawit dalam satu tandan bersifat tidak homogen (Hasibuan et al., 2014). Berbagai metode *sub-sampling* telah dikembangkan oleh para peneliti terdahulu, meliputi penggunaan alat partitor, pengambilan sampel acak butiran buah, hingga penggunaan *spikelet* secara acak (Azhari Rizal et al., 2022; Kumala Sari & Rusmanida, 2023).

Pengambilan sampel menggunakan unit *spikelet* telah terbukti menjadi metode yang efektif dan representatif untuk mempercepat durasi analisis dibandingkan memproses seluruh berondolan satu tandan penuh. Penelitian oleh Hasibuan et al., 2014 menunjukkan bahwa teknik *sub-sampling* 3 *spikelet* yang diambil secara acak pada bagian tengah tandan sudah cukup akurat dalam memprediksi kadar minyak ($R^2 = 0,85$) dan inti ($R^2 = 0,80$) terhadap kontrol tandan utuh. Meskipun terdapat variabilitas kadar minyak berdasarkan posisi buah dalam *spikelet*—di mana buah luar cenderung lebih besar dengan mesokarp lebih tebal dan kadar minyak lebih tinggi dibanding buah tengah dan dalam (Hasibuan, 2014; Lai et al., 2023), komposisi asam lemak utamanya diketahui relatif seragam di seluruh bagian buah. Secara fisiologis, buah-buah yang terletak pada garis ekuator (bagian tengah) tandan mengalami laju akumulasi lipid dan pembentukan komponen sink-source yang paling stabil dan homogen dibandingkan bagian basal (pangkal) atau apikal (ujung) tandan (Mandal & Babu, 2008b; Sujadi et al., 2016). Oleh karena itu, area ekuator dipilih sebagai zona sampling standar karena variabilitas kematangan antar-berondolannya paling rendah, sehingga memantapkan justifikasi ilmiah bahwa komponen *spikelet* pada area garis ekuator tandan mampu merepresentasikan kualitas buah dan potensi rendemen tandan secara keseluruhan (Lestari et al., 2025; Hasibuan, 2023).

Sesuai dengan Petunjuk Teknis Analisa Rendemen CPO dan Kernel yang dirilis oleh Direktorat Jenderal Perkebunan, prosedur standar operasional saat ini mensyaratkan pengambilan sampel sebanyak 5 *spikelet* pada TBS dari populasi tanaman komersial berumur produktif hingga lanjut (10–30 tahun) yang diambil dari garis ekuator (Syamsuri et al., 2024). Namun, prosedur standar ini masih menghadapi kendala praktis yang signifikan pada tahap preparasi sampel di laboratorium. Kendala utama terletak pada lamanya durasi pengirisan (*ricis*) seluruh berondolan yang berasal dari kelima *spikelet* tersebut, sebuah

proses konvensional yang sangat menyita waktu, tenaga, dan ruang pengeringan oven sehingga membatasi kapasitas *throughput* harian laboratorium. Dalam manajemen operasional laboratorium PKS, tahapan preparasi fisik sampel sering kali menjadi *bottleneck* (kemacetan) utama yang menurunkan efisiensi utilitas tenaga kerja dan memperpanjang *turnaround time* analisis mutu ((Nasution & Ningsih, 2025; Radwitya et al., 2023). Hambatan operasional ini tidak hanya meningkatkan biaya tenaga kerja per sampel tetapi juga menunda ketersediaan data real-time yang diperlukan oleh manajemen PKS untuk mengevaluasi efisiensi ekstraksi pabrik secara harian (Mandal & Babu, 2008a, 2008b). Padahal, di sisi lain, analisis rendemen kelapa sawit yang akurat sangat memerlukan data presisi tinggi dari berbagai komponen buah, meliputi rasio buah per tandan (F/B), mesokarp per buah (wM/F), hingga minyak per mesokarp kering ($0/dM$). Hambatan efisiensi pada skala sampel yang besar inilah yang mendasari urgensi digunakannya metode alternatif yang lebih cepat tanpa mengorbankan ketepatan data analisis (Hasibuan, 2020; Mhanhmad et al., 2011). Berdasarkan urgensi efisiensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi optimasi metode *sub-sampling* dengan memodifikasi kuantitas volume massa berondolan yang diproses pada tahap preparasi laboratorium. Fokus penelitian difokuskan untuk menguji apakah reduksi volume sampel melalui metode analisis sebagian berondolan (pembagian massa homogen rasio 1:1) tetap mampu menghasilkan nilai Rendemen CPO dan Kernel yang akurat, presisi, dan konsisten dibandingkan dengan metode analisis total berondolan (kontrol standar). Tingkat validitas dan reliabilitas metode alternatif ini dievaluasi secara ketat melalui pendekatan stratifikasi statistik pada lima kelompok interval umur tanaman (10–30 tahun) guna menjamin keandalannya di berbagai fase perkembangan fisiologis buah kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Rancangan Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi efisiensi metode *sub-sampling* berondolan kelapa sawit dalam penentuan Rendemen CPO dan Inti. Fokus utama adalah modifikasi pada tahap preparasi sampel guna mengurangi durasi pengirisan tanpa

mengorbankan akurasi data. Prosedur dasar mengacu pada standar analisis komponen buah di Laboratorium Pelayanan Medan, Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Sampel TBS yang digunakan berasal dari tanaman kelapa sawit varietas Tenera (*DxP*) dari perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Barat. Sampel TBS dipreparasi secara fisik dilakukan di kebun dan selanjutnya dianalisa kadar minyaknya dilakukan di Laboratorium Pelayanan Medan, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). Penelitian dilakukan pada periode Agustus 2024 – Maret 2025.

Sampel TBS

Sampel TBS diambil dari tanaman berumur 10 hingga 30 tahun. Rentang umur ini dipilih secara sengaja untuk mencakup variabilitas karakteristik morfologi buah (seperti ketebalan mesokarp dan

ukuran biji) yang berubah secara fisiologis seiring pertambahan usia tanaman, dari fase produktivitas optimal hingga fase lanjut. Total sampel yang dianalisis sebanyak 34 tandan, yang diambil secara purposif untuk mewakili kondisi populasi di lapangan tanpa menimbulkan bias data. Metode pengambilan sampel mengadopsi prosedur dalam laporan (Hasibuan, 2023; Siahaan & Manurung, 2021).

Pengambilan dan Preparasi Sampel Spikelet

Pada setiap TBS, sebanyak 5 *sikelet* diambil secara acak dari garis ekuator tandan (Gambar 1). Pemilihan di area ekuator didasarkan pada tingkat kematangan buah yang paling representatif dalam satu tandan (Siahaan & Manurung, 2021). Seluruh berondolan dilepaskan secara manual dari *sikelet* tersebut. Seluruh berondolan segar (termasuk buah *partenokarp* dan *normal*) ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g untuk mendapatkan Berat Berondolan Total.



Gambar 1. Proses pengambilan sampel spikelet secara acak dari bagian garis ekuator TBS dan sampel spikelet kelapa sawit yang telah dipisahkan dari tandan

Metode Percobaan Sub-sampling

Untuk mengatasi kendala efisiensi waktu, dilakukan teknik pembagian sampel (Gambar 2) yang dimulai dengan tahap homogenisasi, di mana seluruh berondolan dari lima *sikelet* diaduk secara merata dalam wadah sampel. Selanjutnya, dalam metode 'sebagian berondolan', massa total berondolan tersebut dibagi menjadi dua sub-sampel (bagian 'a' dan 'b') dengan perbandingan berat 1:1 menggunakan

panduan timbangan digital guna memastikan kedua bagian memiliki massa yang identik. Proses pengirisan hanya dilakukan pada mesokarp dari kedua sub-sampel tersebut secara manual (*ricis*) untuk memperluas permukaan sampel, sehingga proses pengeringan menjadi lebih optimal. Tahap ekstraksi dilakukan dengan mengeringkan mesokarp dalam oven pada suhu 105°C hingga mencapai berat konstan, kemudian kadar minyak ditentukan melalui metode soxhletasi menggunakan pelarut n-heksana

(Aravind et al., 2020). Selain metode Sebagian berondolan, dilakukan juga analisis pada total berondolan yaitu data yang merepresentasikan

analisis seluruh berondolan yang diperoleh melalui pengolahan data gabungan secara kalkulatif dan laboratorium.



Gambar 2. Sub-sampling 5 spikelet siap untuk proses penimbangan dan preparasi sampel; Proses pengirisan (ricis) berondolan secara manual menunjukkan metode preparasi sampel; Berondolan yang telah diricis masuk ke tahap pengeringan

Analisis Statistik

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel melalui beberapa tahapan sistematis. Pertama, data dikategorikan ke dalam lima interval umur tanaman (10–13, 14–20, 21–23, 24–26, dan 27–30 tahun) untuk mengamati konsistensi metode pada berbagai profil rendemen yang berbeda secara fisiologis. Selanjutnya, dilakukan Uji t Berpasangan (*Paired t-test*) pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) guna mendeteksi ada tidaknya perbedaan nyata antara nilai absolut rata-rata metode analisa 'sebagian berondolan' dan 'total berondolan'. Kekuatan hubungan linear antar kedua metode dievaluasi menggunakan koefisien korelasi Pearson (r), yang berfungsi untuk menentukan konsistensi metode analisa 'sebagian berondolan' dalam mengikuti tren metode analisa 'total berondolan' meskipun terjadi pergeseran nilai rata-rata. Terakhir, analisis regresi linear diterapkan untuk menghitung koefisien determinasi (R^2) guna mengukur sejauh mana variabilitas data pada metode analisa 'total berondolan' dapat diprediksi secara akurat oleh metode analisa 'sebagian berondolan'.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengevaluasi efisiensi metode analisis Rendemen CPO dan kernel dengan membandingkan hasil dari analisis setengah bagian berondolan (metode analisa 'sebagian berondolan') terhadap analisis seluruh bagian berondolan (metode analisa 'total berondolan'). Pendekatan ini didasarkan pada kebutuhan mendesak akan protokol laboratorium yang lebih cepat tanpa mengorbankan integritas data yang diperlukan untuk program seleksi dan pengendalian mutu. Hasil analisis disajikan secara komprehensif, baik pada skala keseluruhan data maupun berdasarkan stratifikasi lima kelompok umur tanaman (10–13, 14–20, 21–23, 24–26, dan 27–30 tahun) untuk menangkap variabilitas biologis yang terjadi selama siklus hidup komersial kelapa sawit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengevaluasi efisiensi metode analisis Rendemen CPO dan kernel dengan membandingkan hasil dari analisis setengah bagian berondolan (metode analisa 'sebagian berondolan') terhadap analisis seluruh bagian berondolan (metode analisa 'total berondolan'). Pendekatan ini didasarkan

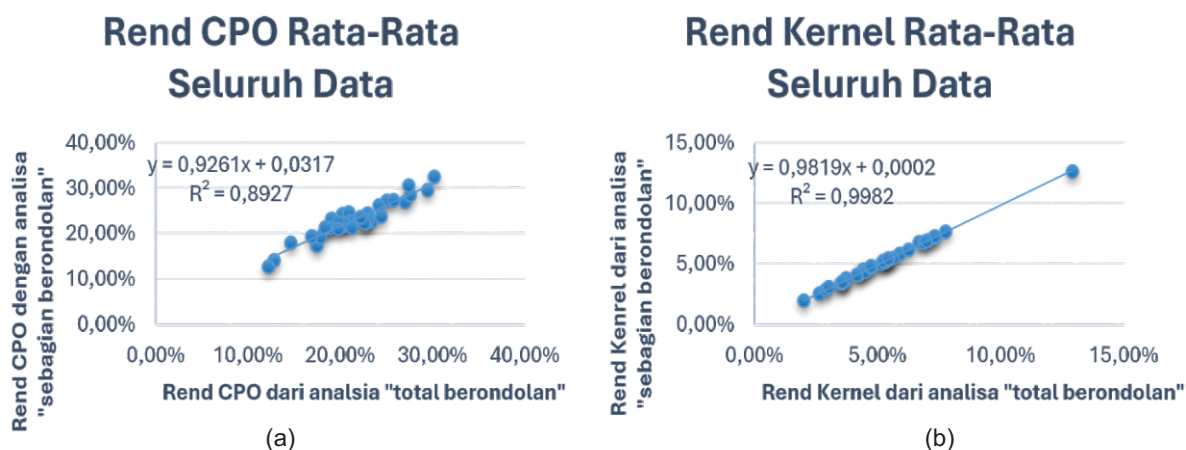
pada kebutuhan mendesak akan protokol laboratorium yang lebih cepat tanpa mengorbankan integritas data yang diperlukan untuk program seleksi dan pengendalian mutu. Hasil analisis disajikan secara komprehensif, baik pada skala keseluruhan data maupun berdasarkan stratifikasi lima kelompok umur tanaman (10–13, 14–20, 21–23, 24–26, dan 27–30 tahun) untuk menangkap variabilitas biologis yang terjadi selama siklus hidup komersial kelapa sawit.

Perbandingan Rendemen CPO dan Inti Keseluruhan Data

Berdasarkan pengujian terhadap seluruh basis data sampel, hasil Uji t berpasangan menunjukkan p -value sebesar 0,000 ($p < 0,05$). Secara statistik, hal ini mengindikasikan adanya perbedaan nyata antara nilai rata-rata Rendemen CPO dan Inti yang diperoleh dari metode analisa 'sebagian berondolan' dibandingkan metode analisa 'total berondolan'. Namun, dalam konteks penelitian metode alternatif, signifikansi statistik ini harus ditinjau secara paralel dengan kekuatan hubungan linear antar variabel. Koefisien

korelasi Pearson menunjukkan angka yang sangat impresif, yaitu 0,945 untuk CPO dan 0,999 untuk kernel.

Korelasi yang mendekati sempurna ini, terutama pada Rendemen Kernel, menandakan bahwa metode analisa 'sebagian berondolan' memiliki presisi yang sangat tinggi dalam mengikuti fluktuasi data pada metode standar. Analisis regresi yang divisualisasikan pada Gambar 3 memperkuat temuan ini. Persamaan regresi untuk Rendemen CPO ($y = 0,9261x - 0,0317$; $R^2 = 0,8927$) dan Rendemen Inti ($y = 0,9819x + 0,0002$; $R^2 = 0,9982$) membuktikan kemampuan prediksi metode analisa 'sebagian berondolan' yang melampaui ambang batas validitas riset pada umumnya. Meskipun terdapat bias rata-rata absolut sebesar 1,58% untuk CPO dan hanya 0,06% untuk kernel, metode analisa 'sebagian berondolan' terbukti tetap mempertahankan sensitivitas dalam mengidentifikasi variasi kualitas antar sampel. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini sangat andal untuk membedakan antara pohon dengan performa rendemen tinggi dan rendah, yang merupakan fungsi utama dalam kegiatan pemuliaan dan evaluasi kebun.



Gambar 3. Scatter Plot Hubungan Linear (a) Rendemen CPO dan (b) Rendemen Kernel antara Metode analisa 'total berondolan' dan Metode analisa 'sebagian berondolan' dari Seluruh Data

Analisis Berdasarkan Kelompok Umur

Untuk memahami pengaruh fisiologis tanaman, data dipecah menjadi lima interval umur. Strategi ini bertujuan meningkatkan homogenitas data dan mendeteksi titik transisi produktivitas yang

mungkin memengaruhi akurasi sub-sampling. Penentuan interval umur dirancang untuk mengidentifikasi fase produktivitas optimal (10–20 tahun) serta mendeteksi transisi penurunan produktivitas bertahap. Selain itu, pengelompokan ini memungkinkan analisis yang lebih sensitif terhadap

variabilitas karakteristik buah dalam kondisi yang lebih homogen, sehingga rekomendasi dapat diberikan

secara lebih spesifik bagi praktisi di lapangan maupun pabrik.

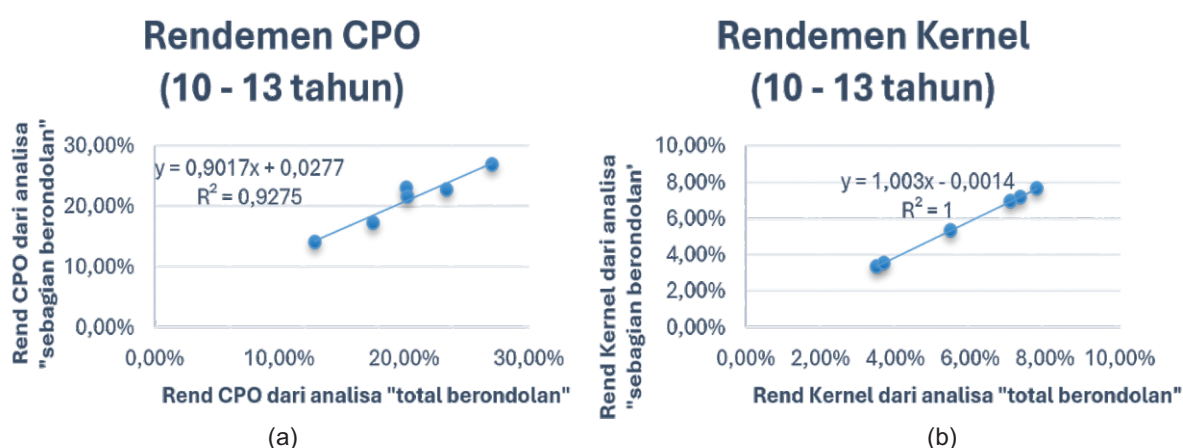
Tabel 2. Ringkasan Hasil Uji t Berpasangan dan Korelasi per Kelompok Umur

Kelompok Umur	Rendemen CPO				Rendemen Kernel			
	Sebagian (%)	Total (%)	<i>p</i> -value (Uji <i>t</i>)	Koefisien Korelasi (<i>r</i>)	Sebagian (%)	Total (%)	<i>p</i> -value (Uji <i>t</i>)	Koefisien Korelasi (<i>r</i>)
10 – 13 tahun	20,98%	20,19%	0,203	0,963	5,8%	5,7%	0,000	1,000
14 – 20 tahun	24,82%	22,41%	0,022	0,950	4,4%	4,3%	0,006	1,000
21 – 23 tahun	22,84%	22,31%	0,223	0,987	7,7%	7,6%	0,105	0,999
24 – 26 tahun	25,25%	23,02%	0,001	0,980	4,6%	4,6%	0,780	0,983
27 – 30 tahun	21,21%	19,56%	0,026	0,952	4,7%	4,7%	0,855	0,998

Fase Produktif Awal (Kelompok Umur 10 – 13 Tahun)

Hasil analisis statistik untuk kelompok umur ini menunjukkan perbedaan kinerja antar parameter. Rendemen CPO dengan analisa Sebagian berondolan tidak berbeda signifikan secara statistik dari metode analisa 'total berondolan' (20,19%), dibuktikan dengan nilai *p*-value Uji *t* sebesar 0,203 ($p > 0,05$). Namun, Rendemen Kernel memiliki perbedaan yang signifikan

($p = 0,000$), meskipun perbedaan absolut rata-rata sangat kecil (5,80% vs 5,70%). Terlepas dari perbedaan tersebut, hubungan linear sangat kuat dengan korelasi Pearson 0,963 (CPO) dan 1,000 (Kernel). Visualisasi pada Gambar 4 dengan R^2 sebesar 0,9275 (CPO) dan 1,000 (Kernel) menegaskan bahwa metode analisa 'sebagian berondolan' dapat diadopsi sepenuhnya pada fase ini untuk menghemat waktu tanpa mengorbankan akurasi hasil.

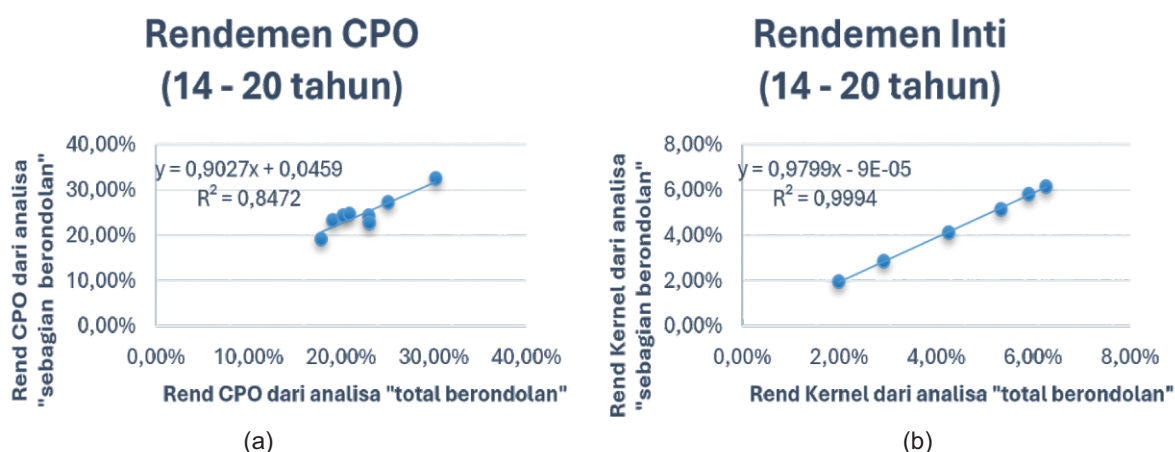


Gambar 4. Hubungan Linear dan Korelasi Rendemen (a) CPO dan (b) Kernel antara Metode analisa 'sebagian berondolan' dan 'total berondolan' pada Tanaman Berumur 10 – 13 Tahun

Fase Produktivitas Puncak (Kelompok Umur 14 – 20 Tahun)

Pada fase produktivitas puncak, hasil menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik ($p = 0,022$ untuk CPO dan $p = 0,006$ untuk Inti). Rata-rata Rendemen CPO dan Inti metode analisis 'sebagian berondolan' (24,82% dan 4,4%) secara statistik lebih

tinggi dibandingkan metode 'Gabung' (22,41% dan 4,3%). Meskipun nilai absolutnya bergeser, korelasi tetap sangat kuat (Gambar 5, $r = 0,920$ untuk CPO dan 1,000 untuk Inti). Hal ini mengindikasikan bahwa metode analisis 'sebagian berondolan' tetap konsisten merefleksikan tren rendemen, sehingga tetap menjadi alat efektif untuk estimasi relatif dan identifikasi tren pada periode produktivitas puncak.



Gambar 5. Hubungan Linear dan Korelasi Rendemen (a) CPO dan (b) Inti antara Metode analisa 'total berondolan' dan 'sebagian berondolan' pada Tanaman Berumur 14 – 20 Tahun

Fase Penurunan Produktivitas (Kelompok 21 – 30 Tahun)

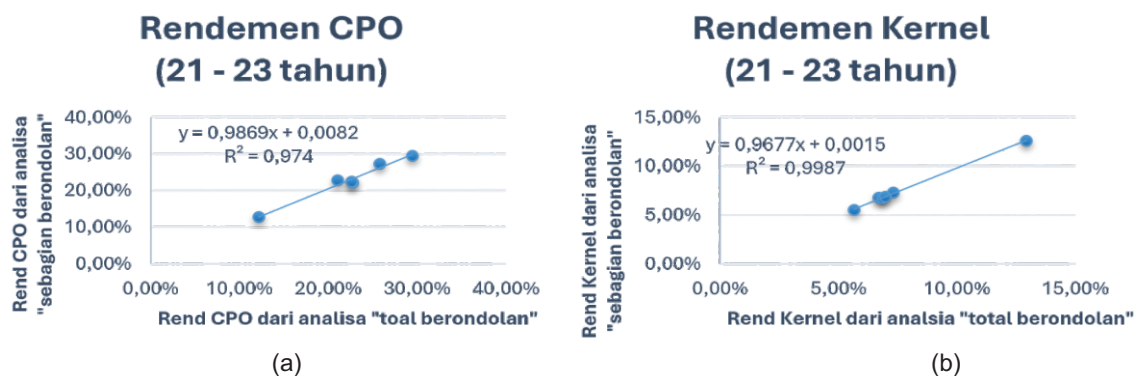
Fase transisi dan penurunan produktivitas yang mencakup rentang umur 21 hingga 30 tahun menunjukkan dinamika yang menarik antara kedua metode. Pada kelompok umur 21–23 tahun, hasil analisis sangat mendukung efisiensi metode analisis 'sebagian berondolan' (Gambar 6), di mana tidak ditemukan perbedaan signifikan secara statistik antara kedua metode ($p = 0,223$ untuk CPO dan 0,105 untuk Inti). Korelasi pada kelompok ini tercatat sebagai yang terkuat di antara semua kategori ($r = 0,987$ untuk CPO), menunjukkan hubungan yang hampir sempurna. Memasuki kelompok umur 24–26 tahun, pola yang terlihat serupa dengan fase puncak (Gambar 7); meskipun terdapat perbedaan signifikan pada Rendemen CPO ($p = 0,001$), parameter Rendemen Inti tetap menunjukkan hasil yang tidak signifikan secara statistik ($p = 0,0780$). Timbulnya variabilitas absolut pada rendemen CPO di kelompok umur ini erat kaitannya dengan perubahan morfologi

fisiologis buah kelapa sawit seiring bertambahnya usia tanaman. Pada tanaman kelapa sawit berumur lanjut (di atas 20–24 tahun), terjadi kecenderungan penurunan ketebalan mesokarp secara bertahap yang dibarengi dengan peningkatan rasio cangkang (*shell*) serta bobot rata-rata buah per spikelet (Hasibuan, 2020). Penurunan ketebalan mesokarp pada buah usia tua ini menyebabkan distribusi volume daging buah dalam satu spikelet menjadi lebih sensitif terhadap efek heterogenitas posisi buah (luar, tengah, dalam). Akibatnya, metode pembagian homogen setengah berondolan (massa 1:1) pada fase umur ini memunculkan deviasi nilai absolut CPO yang sedikit berbeda dari metode total, meskipun tren linearitasnya tetap terjaga sangat kuat akibat stabilitas proporsi kadar minyak per mesokarp kering ($0/dM$). Konsistensi pengukuran pada fase ini tetap luar biasa dengan korelasi Pearson di atas 0,98.

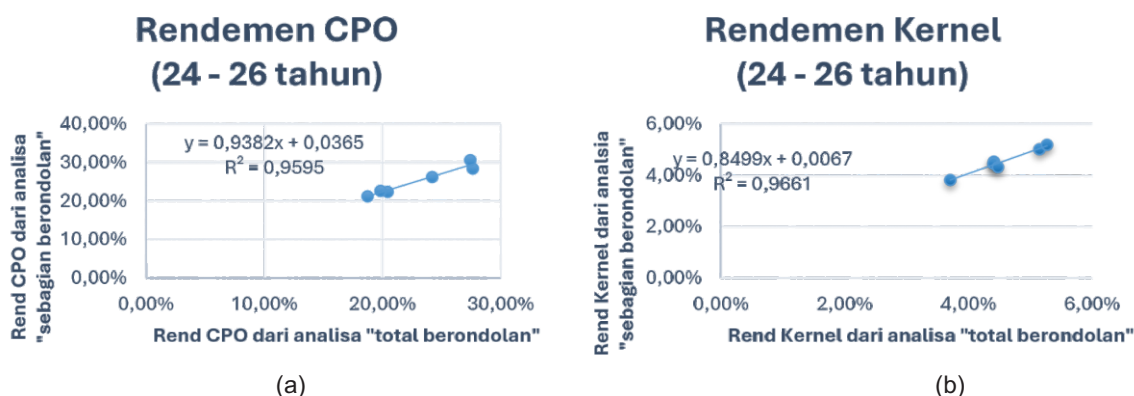
Akhirnya, pada fase akhir produktivitas (27–30 tahun), Rendemen Inti menunjukkan akurasi yang sangat impresif dengan rata-rata yang identik (4,7%)

dan nilai p -value yang tinggi (0,855) sebagaimana terlihat pada Gambar 8. Walaupun parameter CPO menunjukkan perbedaan statistik ($p = 0,026$), nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8969 tetap

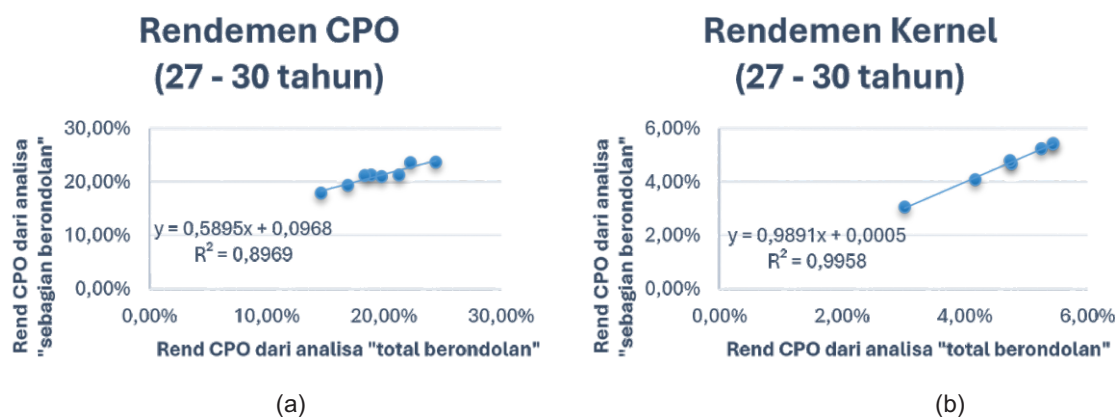
menegaskan bahwa metode analisis 'sebagian berondolan' memiliki kemampuan prediksi yang sangat andal dan konsisten bahkan pada tanaman usia tua.



Gambar 6. Hubungan Linear dan Korelasi Rendemen (a) CPO dan (b) Kernel antara Metode dari analisa 'total berondolan' dan 'sebagian berondolan' pada Tanaman Berumur 21 – 23 Tahun



Gambar 7. Hubungan Linear dan Korelasi Rendemen (a) CPO dan (b) Inti antara Metode dari analisa 'total berondolan' dan 'sebagian berondolan' pada Tanaman Berumur 24 – 26 Tahun



Gambar 8. Hubungan Linear dan Korelasi Rendemen (a) CPO dan (b) Inti antara Metode dari analisa 'total berondolan' dan 'sebagian berondolan' pada Tanaman Berumur 27 – 30 Tahun

Implikasi Praktis dan Diskusi Umum

Penelitian ini menggunakan 5 *spikelet* sebagai basis pengambilan sampel di lapangan untuk menjaga keterwakilan area ekuator tandan, namun melakukan optimasi pada tahap preparasi laboratorium melalui pembagian massa berondolan. Dengan metode ini, integritas data tetap terjaga (dibuktikan dengan korelasi $r > 0,94$) sementara durasi pengirisan mesokarp, yang merupakan kendala utama, dapat dikurangi secara signifikan.

Secara keseluruhan, hasil ini sangat substansial. Tidak adanya perbedaan signifikan pada kelompok umur 10–13 dan 21–23 tahun memvalidasi adopsi penuh metode analisis 'sebagian berondolan'. Untuk kelompok umur lainnya, besaran perbedaan rata-rata (1,65% hingga 2,41%) masih dalam batas toleransi operasional jika dibandingkan dengan penghematan waktu preparasi 'ricis' yang besar. Penggunaan metode analisis 'sebagian berondolan' dapat secara signifikan meningkatkan *throughput* analisis rendemen skala besar.

Hasil ini sejalan dengan prinsip *sub-sampling* representatif (Sujadi et al., 2016) dan kaitan fisiologis rendemen dengan umur serta faktor lingkungan (Hoong & Donough, 1998). Penting untuk dicatat bahwa fluktuasi OER (*Oil Extraction Rate*) di tingkat pabrik sangat dipengaruhi oleh rendemen CPO hasil analisis lapangan yang dibahas dalam penelitian ini. Dengan korelasi kuat yang konsisten, metode analisis 'sebagian berondolan' menjadi alat andal untuk pengambilan keputusan cepat di lapangan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode analisis 'sebagian berondolan' dapat diadopsi sebagai alternatif prosedural penentuan rendemen CPO dan kernel pada TBS untuk tanaman berumur 10–13 tahun dan 21–23 tahun, karena tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik ($p > 0,05$) dengan tingkat korelasi yang sangat kuat ($r > 0,96$). Pada kelompok umur lainnya (14–20, 24–26, dan 27–30 tahun), meskipun terdapat perbedaan nilai rata-rata absolut, koefisien korelasi Pearson yang tinggi ($r = 0,920$ hingga $0,987$) dan nilai R^2 yang signifikan menegaskan bahwa metode analisis 'sebagian berondolan' tetap mampu merefleksikan tren rendemen secara konsisten. Metode alternatif ini tidak hanya

menawarkan efisiensi waktu, tetapi adanya bias nilai absolut yang muncul pada rentang umur tertentu dapat dieliminasi secara praktis dengan mengaplikasikan persamaan regresi linear linier atau faktor koreksi (seperti persamaan $y = 0,9261x - 0,0317$ untuk CPO) yang telah dirumuskan dalam kajian ini. Implementasi metode ini menawarkan solusi substansial bagi laboratorium pelayanan dan unit pemuliaan untuk meningkatkan kapasitas analisis (*throughput*) dengan mengurangi waktu preparasi sampel secara signifikan tanpa mengorbankan kemampuan identifikasi pohon berpotensi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhari Rizal, Susilawardani, & Hartini. (2022). Analisis Rendemen Tandan Buah Sawit Berdasarkan Tahun Tanam Dan Varietas Di Provinsi Riau. *Jurnal Agro Fabrika*, 4(2), 74–82. <https://doi.org/10.47199/jaf.v4i2.108>
- Hasibuan, H. A. (2014). Analisa Mutu Biodiesel Sawit menggunakan Spektroskopi Near Infrared. *Warta PPKS*, 19(51), 135–140.
- Hasibuan, H. A. (2020). Penentuan Rendemen Cpo Dan Kernel Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Di Lahan Gambut, Pasir, Dan Dataran Tinggi. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 25(2), 7 – 2 – 7 – 7 . <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v25i2.11>
- Hasibuan, H. A. (2023). PENENTUAN RENDEMEN CPO DAN KERNEL PADA BUAH SAWIT PETANI SWADAYA (Studi Kasus di Jambi). *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 28(1), 7 – 14 . <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v28i1.85>
- Hasibuan, H. A., Rahmadi, H. Y., & Faizah, R. (2014). Teknik sampling yang representatif dan akurat dalam penentuan kadar minyak dan inti pada tandan buah sawit segar. *Warta PPKS*, 19(2), 49–55.
- Huesesan, A., & Khoiri, M. A. (2025). *Kajian Komponen Produksi Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq .)* yang diberi Pupuk Boron dan NPK. 36(1), 168–181.

- Kumala Sari, W., & Rusmanida. (2023). Perbandingan Rendemen Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di Perkebunan Rakyat dan Perkebunan PT Tidar Kerinci Agung. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 7–15.
- Lai, J. W., Ramli, H. R., Ismail, L. I., & Hasan, W. Z. W. (2023). Oil Palm Fresh Fruit Bunch Ripeness Detection Methods: A Systematic Review. *Agriculture*, 13(156), 1–16.
- Lestari, F., Suhud, K., & Hasibuan, H. A. (2025). Pengaruh Waktu Penyimpanan terhadap Kualitas Crude Palm Oil (CPO) dari Tandan Buah Segar yang Diolah secara Sederhana (Studi Kasus: Perkebunan Kelapa Sawit (PKS) Aek Pancur, Adolina dan Rambutan Sumatera Utara). *Jurnal Agroteknologi*, 12(2), 21–29.
- Mandal, P. K., & Babu, M. K. (2008a). Technical Bulletin No. 8: Bunch Analysis of Oil Palm. *ICAR-Indian Institute of Oil Palm Research (ICAR-IIOPR)*, 1–8.
- Mandal, P. K., & Babu, M. K. (2008b). Technical Bulletin No. 9: ESTIMATION OF MESOCARP OIL FROM OIL PALM FRUITS A MODIFIED METHOD FOR LARGE NUMBER OF SAMPLES. *ICAR-Indian Institute of Oil Palm Research (ICAR-IIOPR)*, 1–4.
- Mhanhmad, S., Leewanich, P., Punsuvon, V., Chanprame, S., & Srinives, P. (2011). Seasonal effects on bunch components and fatty acid composition in dura oil palm (*elaeis guineensis*). *African Journal of Agricultural Research*, 6(7), 1835–1843. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.922>
- Muflihani, A. R., Mulyasari, G., Yuliarso, M. Z., & Sulistyowati, E. (2024). ANALISIS SISTEM AGRIBISNIS PADA TANAMAN KELAPA SAWIT RAKYAT. *Jurnal Agricultural Review*, 3(2), 82–95.
- Nasution, E. W., & Ningsih, T. (2025). *Optimalisasi Manajemen Rantai Pasok dalam Agribisnis: Studi Kasus Produksi Kelapa Sawit di Negara Berkembang*.
- Radwitya, E., Nopriyanti, M., & Septiani, N. (2023). Analisis Produktifitas Pada Mesin Empty Bunch Press Untuk Meningkatkan Jumlah Oil Extraction Rendemen (OER) Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Industri Perkebunan (L I P I D A)*, 3 (1) , 29 – 39 . <https://doi.org/10.58466/lipida.v3i1.1141>
- Siahaan, D., & Manurung, A. I. (2021). Evaluasi tandan buah segar dan hasil minyak sawit rakyat di provinsi Sumatera Utara, Jambi, Kalimantan Utara dan Sulawesi Tenggara. *Jurnal Penelitian Bidang Ilmu Pertanian*, 19(1), 1–14.
- Sujadi, Hasibuan, H. A., Rivani, M., & Purba, A. R. (2016). Kadar dan Komposisi Kimia Minyak Pada Bagian-Bagian Buah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq .) dari Delapan Varietas PPKS. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 24(2), 67–76.
- Syamsuri, P., Naibaho, P. M., Siahaan, D., Hasibuan, H. A., Prasetyo, A. E., Nainggolan, E. T., Wahyuningsih, A., Ginting, T. P., Marianto, Pane, S., Sibuea, R., Rahmadsyah, Wandri, R., Siregar, F. A., & Siregar, R. A. (2024). *Pedoman Teknis Pengujian Rendemen CPO dan Palm Kernel Kelapa Sawit*. Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.