

## PENDEKATAN MULTIVARIAT UNTUK EVALUASI KEUNGGULAN VARIETAS BARU KLON KELAPA SAWIT PPKS: NUSAKLON 1 DAN NUSAKLON 2

Fathur Rachman<sup>1\*</sup>, Ernayunita<sup>1</sup>, Triningsih<sup>1</sup>, Yuli Setiawati<sup>1</sup>, Yurna Yenni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Jl. Brigjen Katamso No. 51, Medan 20158, Indonesia

\*Penulis korespondensi: [fathurrachman@iopri.org](mailto:fathurrachman@iopri.org)

### ABSTRAK

Kelapa sawit merupakan komoditas strategis dan berperan dalam perekonomian nasional sebagai penyumbang devisa. Produktivitas kelapa sawit sangat erat kaitannya dengan penggunaan varietas unggul kelapa sawit yang performa varietasnya sangat dipengaruhi oleh keragaman karakter agronomis dan kualitas minyak. Untuk mendukung pengembangan varietas unggul baru, diperlukan evaluasi keragaman karakter secara menyeluruh agar hubungan antar karakter dapat dipahami dan menghasilkan kesimpulan yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keragaan dua varietas klon baru (NUSAKlon 1 dan NUSAKlon 2) dan beberapa varietas kelapa sawit komersial lainnya milik Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) melalui pendekatan analisis multivariat. Sejumlah karakter produksi, komponen tandan, dan kualitas minyak dianalisis menggunakan analisis korelasi, analisis komponen utama, dan analisis kluster. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang jelas antar varietas. Bahkan, kedua varietas klon baru memperlihatkan keunggulan pada beberapa karakter penting seperti potensi produksi dan kualitas minyak. Analisis komponen utama dan kluster juga secara konsisten mampu memisahkan varietas klonal dari varietas komersial lainnya berdasarkan karakter agronomis penting pada kelapa sawit. Secara keseluruhan, pendekatan multivariat efektif dalam mengungkap keragaman dan karakteristik penting antar varietas kelapa sawit, serta mendukung penilaian terhadap potensi keunggulan varietas klonal baru milik PPKS untuk peningkatan produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit nasional.

**Kata kunci:** Euclidean, keragaman fenotipik, kultur jaringan, pemuliaan tanaman.

### 1 PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas strategis yang memegang peranan penting dalam perekonomian nasional serta menjadi sumber utama bahan baku minyak nabati dunia (USDA, 2025). Keberlanjutan produksi kelapa sawit ditentukan oleh varietas unggul yang produktif dan memiliki kualitas minyak yang baik. Salah satu strategi yang semakin banyak dikembangkan saat ini adalah penggunaan varietas klonal. Corley & Tinker (2016) melaporkan bahwa klon kelapa sawit mampu meningkatkan produksi hingga 35% dibandingkan varietas yang berasal dari hasil persilangan konvensional (DxP). Hasil penelitian Ernayunita et al. (2024) menemukan bahwa varietas klon memiliki keunggulan berupa stabilitas genetik dan performa yang lebih seragam.

Paradigma industri kelapa sawit saat ini mengalami pergeseran dari peningkatan tonase tandan buah segar ke peningkatan kualitas minyak (Chao et al., 2023). Pasar global saat ini menuntut varietas dengan karakter kualitas minyak yang spesifik. Karakter kualitas minyak saat

ini yang memiliki peluang untuk ditingkatkan adalah vitamin E dan karoten total. Selain itu, komponen lain yang saat ini perlu untuk ditingkatkan dalam memenuhi permintaan minyak kelapa sawit dengan kualitas premium adalah kandungan asam oleat (C18:1) dan asam linoleat (C18:2) (Zheng et al., 2025). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai keragaman genetik dan karakter agronomis varietas kelapa sawit menjadi sangat penting sebagai dasar dalam pengembangan varietas unggul yang berdaya saing tinggi.

Evaluasi varietas secara parsial sering gagal menggambarkan kompleksitas hubungan antar karakter agronomis. Studi terdahulu menunjukkan adanya hubungan yang kompleks antara komponen produksi dan kualitasnya sehingga memerlukan pendekatan seleksi secara simultan (Okoye et al., 2007). Varietas klonal umumnya membawa banyak sifat unggul sekaligus, sehingga evaluasi satu karakter berpotensi menimbulkan bias dalam penentuan keunggulan varietas. Hal ini menunjukkan pentingnya pendekatan multivariat yang komprehensif. Analisis komponen utama dan analisis kluster membantu pemulia memetakan posisi varietas klon baru di antara varietas komersial dan memahami hubungan antar karakter secara objektif (Popet et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa dan keunggulan dua varietas klon baru kelapa sawit milik Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), yaitu NUSAKlon 1 dan NUSAKlon 2, melalui pendekatan multivariat sebagai dasar pengembangan varietas unggul berbasis produktivitas dan kualitas minyak.

## **2 METODE**

### **2.1 Material Genetik**

Penelitian ini menggunakan varietas klon kelapa sawit baru, yaitu NUSAKlon 1 dan NUSAKlon 2, serta enam varietas DxP komersial lainnya milik Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Seluruh material genetik ditanam di Kebun Percobaan Balai Benih Adolina, PT. Perkebunan Nusantara IV Regional 2, Sumatra Utara, Indonesia. Pengamatan dilakukan terhadap tanaman yang berumur 8 tahun setelah tanam dan telah memasuki fase tanaman menghasilkan (TM). Seluruh tanaman diberi perlakuan pemupukan serta pengendalian hama dan penyakit sesuai dengan standar. Pemeliharaan juga dilakukan dengan seragam sesuai rekomendasi dan standar operasional kebun setempat untuk meminimalisir bias lingkungan.

### **2.2 Analisis Data**

Sebanyak 22 karakter diamati pada penelitian ini, meliputi karakter produksi, komponen tandan, dan kualitas minyak. Karakter produksi yang diamati meliputi jumlah tandan (*bunch number*, BN), rerata berat tandan (*average bunch weight*, ABW), berat tandan total per pohon (*fresh fruit bunch*, FFB), produktivitas tandan buah segar (PRODTBS), produktivitas minyak sawit mentah (*crude palm oil*, CPO), produktivitas minyak inti sawit (*palm kernel oil*, PKO), dan produktivitas minyak total (PALMPROD). Selain itu, komponen tandan yang diamati meliputi buah per tandan (*fruit-to-bunch*, FB), mesokarp per buah (*mesocarp-to-fruit*, MF), inti per buah (*kernel-to-fruit*, KF), cangkang per buah (*shell-to-fruit*, SF), minyak per mesokarp segar (*oil-to-wet mesocarp*, OWM), minyak per mesokarp kering (*oil-to-dry mesocarp*, ODM), minyak per tandan (*oil-to-bunch*, OB), inti per tandan (*kernel-to-bunch*, KB), dan rendemen (*oil extraction rate*, OER). Pengumpulan data komponen tandan mengacu pada metode NIFOR (Corley & Tinker, 2016). Di sisi lain, analisis kualitas minyak juga dilakukan untuk melengkapi karakter yang diamati. Kualitas minyak yang diamati meliputi komposisi asam lemak (asam palmitat, C16:0; asam stearat, C18:0; asam oleat, C18:1; asam linoleat, C18:2), kandungan karotenoid total (KAR), dan bilangan iodin (*iodine value*, IV). Seluruh analisis kualitas minyak tersebut dilakukan dengan

mengacu pada AOCS Official Method Ce 1b-89:2005, MPOB p2.6:2004 dan PORIM 1995, serta AOCS Official Method Cd 1b-87, berturut-turut. Data dianalisis dengan analisis deskriptif dan analisis multivariat. Pendekatan multivariat yang digunakan yaitu analisis korelasi, analisis komponen utama, dan analisis kluster. Seluruh analisis data dilakukan dengan perangkat lunak RStudio menggunakan paket ‘FactoMineR’, ‘factoextra’, ‘ggdendro’, dan ‘metan’ (de Vries & Ripley, 2025; Kassambara & Mundt, 2020; Lê et al., 2008; Olivoto & Lúcio, 2020).

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Keragaman dan Korelasi antar Karakter Produksi dan Kualitas Minyak

Analisis deskriptif meliputi nilai minimum, maksimum, rerata, simpangan baku, dan koefisien keragaman (Tabel 1). Berdasarkan hasil analisis, terlihat bahwa keragaman fenotipik muncul cukup jelas pada hampir seluruh karakter utama. Karakter produksi seperti jumlah tandan (BN), rerata berat tandan (ABW), dan produksi tandan buah segar (FFB) menunjukkan rentang nilai yang relatif lebar. Nilai BN berkisar antara 11,20–18,00 dengan rata-rata 14,10 tandan, sedangkan ABW berada pada kisaran 10,70–16,90 dengan rata-rata 14,60 kg per tandan. Keragaman komponen produksi ini sejalan dengan temuan Rafii et al. (2013) yang melaporkan bahwa kedua karakter tersebut umumnya memiliki koefisien keragaman yang luas. Keragaman ini kemudian tercermin langsung pada FFB yang berkisar antara 175,00–241,00 kg/pohon/tahun serta produktivitas per satuan luas (PRODTBS) sebesar 25,40–34,50 ton/ha/tahun. Produktivitas ini relatif tinggi jika dibandingkan dengan rata-rata nasional dan standar varietas konvensional yang umumnya berkisar 25–30 ton/ha/tahun (Woittiez et al., 2017). Pola ini menunjukkan bahwa perbedaan antar varietas dalam komponen produksi cukup nyata dan berpotensi memberikan kontribusi yang berbeda terhadap total produksi.

Pada komponen tandan, karakter buah per tandan (FB) dan mesokarp per buah (MF) memiliki nilai rata-rata yang relatif tinggi dengan koefisien keragaman yang rendah, masing-masing hanya sebesar 3,89% dan 2,60%. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua karakter tersebut cenderung stabil secara fenotipik di antara varietas yang diuji. Rendahnya keragaman karakter mesokarp per buah diduga karena materi genetik yang diuji telah mengalami seleksi intensif untuk varietas komersial, yaitu buah tipe tenera (Corley & Tinker, 2016). Sebaliknya, cangkang per buah (SF) dan inti per buah (KF) memperlihatkan keragaman yang lebih besar dengan koefisien keragaman masing-masing mencapai 19,30% dan 12,30%. Di sisi lain, rendemen minyak (OER) memiliki rata-rata sebesar 24,10% dengan kisaran 22,50–25,90% dan keragaman yang relatif rendah (4,82%). Nilai OER ini sudah tergolong dalam standar industri yang baik, mengingat OER pabrik komersial umumnya berada di kisaran 20–23% (Hadi et al., 2025; Sari & Rusmanida, 2023). Produksi CPO, PKO, dan PALMPROD (CPO+PKO) masing-masing berkisar antara 5,69–8,15 ton/ha/tahun, 1,23–1,80 ton/ha/tahun, dan 6,92–9,88 ton/ha/tahun. Rendemen dan produksi CPO+PKO ini juga memenuhi ketentuan standar dalam Keputusan Menteri Pertanian Nomor 4 Tahun 2025 tentang Pedoman Produksi, Sertifikasi, Peredaran, dan Pengawasan Benih Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) (2025), yaitu minimal 23% dan 6 ton/ha/tahun, berturut-turut.

Karakter kualitas minyak juga menunjukkan keragaman yang menarik. Komposisi asam lemak (C16:0, C18:0, C18:1, C18:2) menunjukkan variasi sedang (5,93–15,40%). Kandungan asam oleat maksimum ditemukan pada populasi uji yang mencapai 45,30%, lebih tinggi dibandingkan profil standar minyak sawit konvensional pada 39–40% (Mba et al., 2015). Hal ini mencerminkan adanya perbedaan komposisi minyak antar varietas yang berpotensi memengaruhi sifat fisik dan fungsional minyak sawit. Karakter yang menunjukkan keragaman paling tinggi

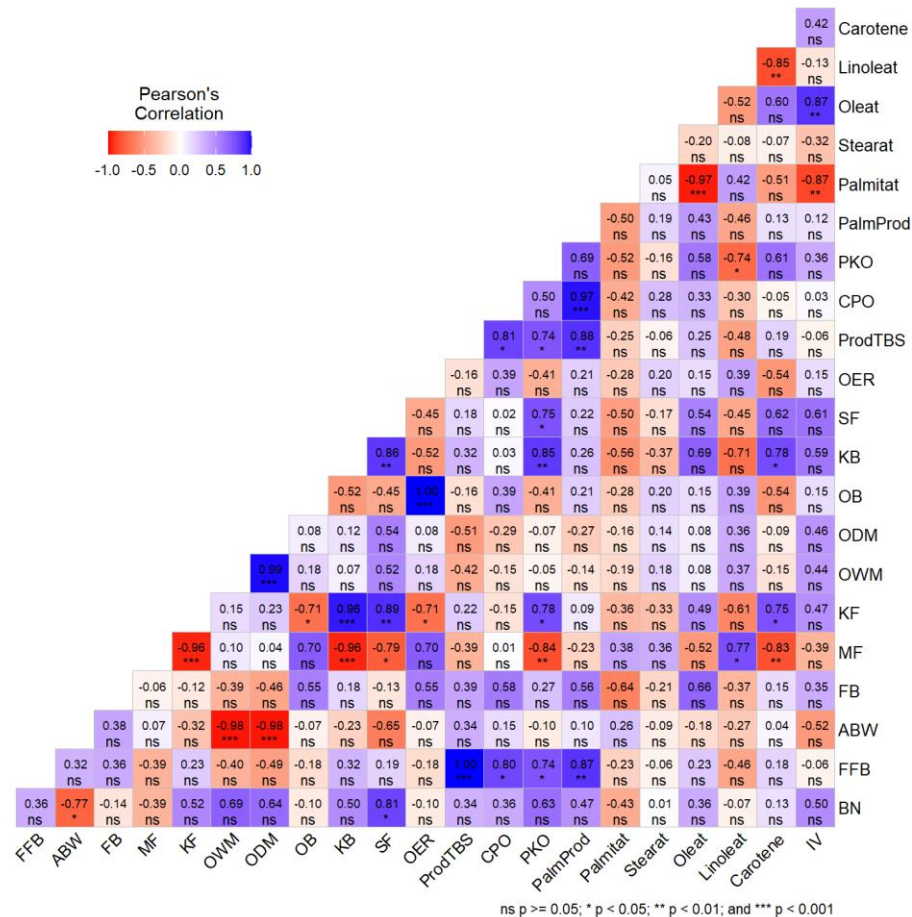
adalah kandungan karoten total (KAR) dengan koefisien keragaman mencapai 32,60% dan rentang yang sangat lebar antara 289 hingga 744 ppm. Keragaman tinggi ini menunjukkan potensi besar peningkatan kualitas minyak sawit melalui varietas yang memiliki kandungan karoten tinggi. Salim et al. (2024) menjelaskan bahwa kandungan karoten DxP komersial berada pada rentang 500 hingga 700 ppm. Sebaliknya, bilangan iodin (IV) relatif stabil dengan koefisien keragaman hanya 4,36%, yang mengindikasikan bahwa tingkat ketidakjenuhan minyak antar varietas tidak berbeda secara ekstrem.

**Tabel 1.** Statistik deskriptif karakter produksi dan kualitas minyak 8 varietas kelapa sawit

| Karakter                       | Nilai minimum | Nilai maksimum | Rerata | Simpangan baku | Koefisien keragaman (%) |
|--------------------------------|---------------|----------------|--------|----------------|-------------------------|
| BN (tandan)                    | 11,20         | 18,00          | 14,10  | 2,24           | 15,80                   |
| ABW (kg/tandan)                | 10,70         | 16,90          | 14,60  | 2,18           | 15,00                   |
| FFB (kg/pohon/tahun)           | 175,00        | 241,00         | 203,00 | 22,50          | 11,10                   |
| PRODTBS (ton/ha/tahun)         | 25,40         | 34,50          | 29,10  | 3,18           | 10,90                   |
| FB (%)                         | 59,60         | 66,20          | 63,50  | 2,47           | 3,89                    |
| MF (%)                         | 78,20         | 83,90          | 81,40  | 2,12           | 2,60                    |
| KF (%)                         | 6,63          | 9,46           | 7,84   | 0,95           | 12,30                   |
| SF (%)                         | 9,52          | 16,20          | 11,60  | 2,24           | 19,30                   |
| OWM (%)                        | 52,50         | 57,80          | 54,90  | 1,93           | 3,51                    |
| ODM (%)                        | 76,90         | 81,50          | 79,00  | 1,56           | 1,98                    |
| OB (%)                         | 26,30         | 30,30          | 28,20  | 1,36           | 4,82                    |
| KB (%)                         | 4,24          | 6,06           | 4,99   | 0,61           | 12,30                   |
| OER (%)                        | 22,50         | 25,90          | 24,10  | 1,16           | 4,82                    |
| CPO (ton/ha/tahun)             | 5,69          | 8,15           | 7,22   | 0,77           | 10,70                   |
| PKO (ton/ha/tahun)             | 1,23          | 1,80           | 1,52   | 0,26           | 17,20                   |
| PALMPROD (ton/ha/tahun)        | 6,92          | 9,88           | 8,74   | 0,93           | 10,60                   |
| C16:0 (%)                      | 39,60         | 48,10          | 43,90  | 2,60           | 5,93                    |
| C18:0 (%)                      | 3,51          | 5,33           | 4,29   | 0,66           | 15,40                   |
| C18:1 (%)                      | 34,90         | 45,30          | 39,50  | 3,36           | 8,50                    |
| C18:2 (%)                      | 9,23          | 11,70          | 10,70  | 0,94           | 8,81                    |
| KAR (ppm)                      | 289,00        | 744,00         | 534,00 | 174,00         | 32,60                   |
| IV (meq I <sub>2</sub> /100 g) | 52,70         | 60,20          | 54,90  | 2,39           | 4,36                    |

Hasil analisis korelasi memperlihatkan adanya hubungan yang kuat dan konsisten antara karakter-karakter komponen produksi. Produksi tandan buah segar (FFB) dan produktivitas (PRODTBS, PALMPROD) berkorelasi positif dengan jumlah tandan (BN) dan berat tandan (ABW). Ini menunjukkan bahwa keragaman produksi dikendalikan oleh kombinasi dua karakter tersebut. Dengan kata lain, varietas yang memiliki BN dan ABW tinggi secara konsisten juga menunjukkan nilai FFB dan produktivitas minyak yang lebih tinggi. Temuan ini sejalan dengan Tupaz-Vera et al. (2021) yang melaporkan hubungan jumlah dan berat tandan terhadap produksi. Di sisi lain, BN dan ABW menunjukkan korelasi negatif yang kuat. Fenomena ini merupakan kompensasi fisiologis yang umum pada kelapa sawit (Khin et al., 2021).

Karakter produksi juga berkorelasi erat dengan komponen minyak. Produksi tandan (PRODTBS) berkorelasi positif sangat nyata dengan CPO dan PKO, menunjukkan bahwa peningkatan produksi tandan secara langsung akan diikuti oleh peningkatan hasil minyak dan inti sawit. Pola ini konsisten dengan hasil analisis deskriptif sebelumnya, di mana varietas dengan kisaran FFB dan PRODTBS yang tinggi juga menunjukkan rentang CPO dan PKO yang lebih besar. Selain itu, nilai OER diketahui memiliki korelasi positif dengan beberapa komponen buah seperti mesokarp per buah (MF) dan minyak per mesokarp kering (ODM). Rafii et al. (2013) juga menemukan bahwa MF memiliki korelasi yang erat dengan minyak per tandan.



**Gambar 1.** Korelasi antar karakter produksi dan kualitas minyak 8 varietas kelapa sawit.

Pada karakter kualitas minyak, korelasi menunjukkan adanya hubungan antagonistik dan sinergistik antar komponen asam lemak yang memperkuat keragaman komposisi kimia yang ditemukan pada analisis deskriptif. Asam oleat (C18:1) berkorelasi negatif dengan asam palmitat (C16:0) dan stearat (C18:0). Pola ini menunjukkan adanya kompensasi fisiologis dalam pembentukan komposisi minyak akibat jalur biosintesis asam lemak yang saling terkait. Menurut penelitian Xu et al. (2025), peningkatan ekspresi gen asam oleat secara metabolik berasosiasi dengan penurunan asam lemak jenuh seperti asam palmitat. Selain itu, asam oleat berkorelasi positif dengan kandungan karoten. Siregar et al. (2018) melaporkan bahwa terdapat korelasi fenotipik yang luas pada komposisi asam lemak dan karoten, di mana individu dengan asam oleat dan karoten tinggi dapat ditemukan pada populasi pemuliaan tertentu. Temuan ini menandakan

bahwa peningkatan kualitas minyak sawit masih sangat terbuka melalui seleksi varietas yang tidak hanya unggul dalam produksi, tetapi juga memiliki profil asam lemak dan kandungan karoten yang lebih menguntungkan.

### 3.2 Analisis Komponen Utama dan Kluster

Analisis komponen utama (AKU) dilakukan untuk mereduksi dimensi data yang kompleks dan memvisualisasikan pola penyebaran genotipe berdasarkan kemiripan karakter agronomis dan kualitas minyak. Analisis ini mampu merangkum keragaman delapan varietas secara efektif ke dalam beberapa komponen utama. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Suzana et al. (2020) yang melaporkan efektivitas AKU dalam mengungkap struktur keragaman genetik pada plasma nutfah *Elaeis guineensis* asal Tanzania. Berdasarkan *plot scree* (Gambar 2a), dua komponen utama pertama (KU1 dan KU2) telah mampu menjelaskan total 62,3% keragaman data, masing-masing sebesar 38,4% pada KU1 dan 23,9% pada KU2. Ini menunjukkan bahwa dua dimensi sudah mewakili sebagian besar informasi karakter agronomis dan mutu minyak. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian Malike et al. (2024) yang menunjukkan bahwa dua hingga tiga komponen utama mampu menjelaskan lebih dari 60% keragaman fenotipik dalam populasi Deli Dura di Malaysia.

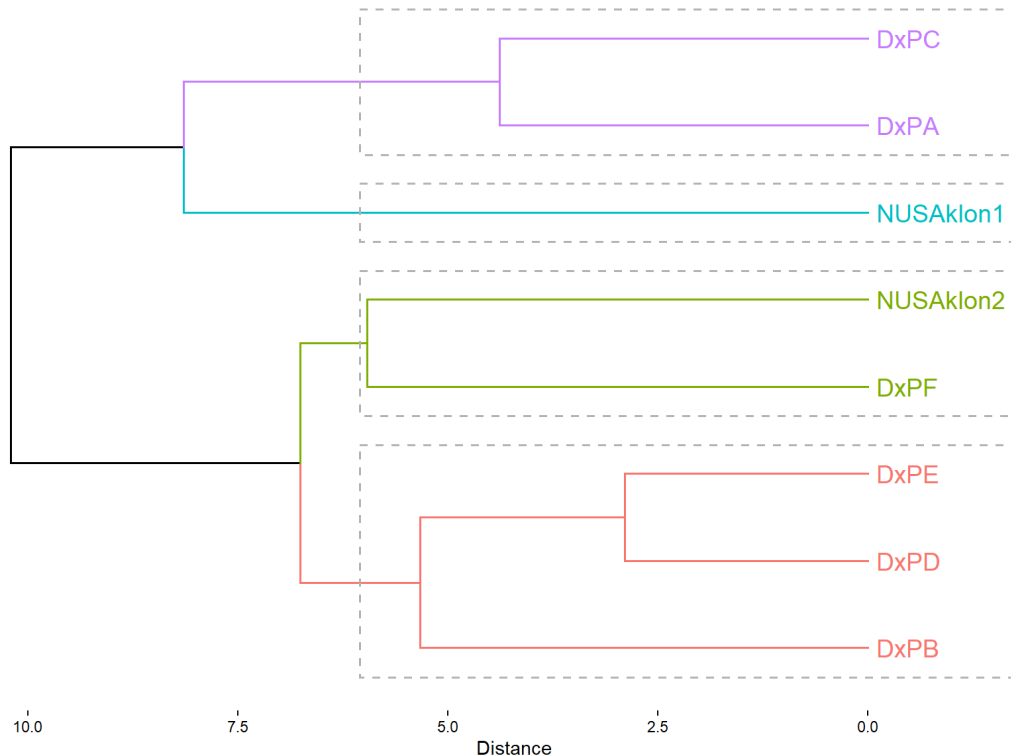
Komponen utama pertama (KU1) merepresentasikan dimensi produktivitas dan hasil minyak. Hal ini ditunjukkan oleh besarnya kontribusi karakter produksi seperti BN, FFB, PROD, PALMPROD, CPO, dan PKO, yang vektornya mengarah kuat ke sisi positif KU1. Abimbola et al. (2016) juga menemukan hal yang sama dimana dimensi pertama dari AKU cenderung mendeskripsikan faktor produktivitas seperti jumlah tandan dan hasil minyak. Selain itu, karakter komponen tandan seperti inti per buah (KF), inti per tandan (KB), dan cangkang per buah (SF) juga berasosiasi erat dengan sumbu ini. Temuan ini sejalan dengan analisis korelasi yang menunjukkan hubungan positif yang kuat antara komponen tandan, produksi tandan, dan hasil minyak. Dengan demikian, KU1 merepresentasikan sumbu keunggulan produktivitas yang membedakan varietas berdasarkan kapasitas produksinya secara menyeluruh, serupa dengan pola yang dijelaskan oleh Popet et al. (2023).

Komponen utama kedua (KU2) lebih merepresentasikan dimensi komponen kuantitas dan kualitas minyak. Karakter seperti minyak per mesokarp kering (ODM), minyak per mesokarp basah (OWM), serta beberapa komponen asam lemak seperti asam linoleat (C18:2) dan asam stearat (C18:0) memberikan kontribusi yang relatif besar terhadap sumbu ini. Arah vektor yang berlawanan antara sebagian karakter kualitas minyak dengan karakter produksi juga mengindikasikan adanya kecenderungan *trade-off* antara kuantitas dan kualitas pada beberapa varietas. Fenomena serupa dilaporkan oleh Chaves et al. (2018) yang menemukan adanya korelasi negatif antara produktivitas dan kualitas minyak pada hibrida interspesifik *E. oleifera* x *E. guineensis*. Hal ini memperkuat hasil analisis deskriptif sebelumnya, di mana beberapa karakter kualitas minyak menunjukkan keragaman yang cukup besar, sementara karakter produksi relatif lebih stabil.

Berdasarkan biplot KU1 dan KU2 (Gambar 2b), terlihat adanya pola pemisahan varietas yang cukup jelas, khususnya antara klon baru NUSAKlon dengan varietas komersial (DxP) pembanding. Berdasarkan posisi NUSAKlon 1 pada biplot KU1–KU2, terlihat bahwa klon tersebut berada pada kuadran yang searah dengan vektor karakter-karakter utama produktivitas, seperti FFB, PRODTBS, PALMPROD, CPO, dan PKO. Kedekatan posisi NUSAKlon 1 dengan vektor-vektor tersebut mengindikasikan bahwa klon ini memiliki profil fenotipik yang didominasi oleh keunggulan pada aspek produksi dan hasil minyak. Karakter jumlah tandan (BN), inti per buah (KF), serta inti per tandan (KB) juga berkontribusi dalam arah yang sama, yang menunjukkan



klaster DxPC–DxPA, yang mengindikasikan bahwa klon tersebut memiliki kombinasi karakter yang khas. Sementara itu, NUSAKlon 2 berada dalam satu klaster dengan DxPF, namun tetap menunjukkan jarak ketidakmiripan yang cukup besar. Hal ini menandakan bahwa meskipun terdapat kemiripan parsial pada beberapa karakter, NUSAKlon 2 tetap memiliki identitas fenotipik yang berbeda. Secara keseluruhan, hasil dendrogram ini menguatkan temuan AKU bahwa NUSAKlon 1 dan NUSAKlon 2 merupakan klon-klon baru dengan diferensiasi agronomis yang jelas dan layak dipertimbangkan sebagai sumber keunggulan baru dalam program pemuliaan kelapa sawit.



**Gambar 3.** Dendrogram NUSAKlon dan varietas komersial kelapa sawit lainnya. Skala sumbu x menunjukkan jarak ketidakmiripan.

#### 4 KESIMPULAN

Pendekatan multivariat efektif dalam mengungkap keragaman, hubungan antar karakter, dan diferensiasi fenotipik antar varietas kelapa sawit. NUSAKlon 1 teridentifikasi memiliki keunggulan utama pada aspek produktivitas tandan dan kualitas minyak, sedangkan NUSAKlon 2 menunjukkan keunggulan yang lebih menonjol pada karakter produksi minyak. Kombinasi kedua klon baru memiliki potensi strategis dan saling melengkapi dalam mendukung peningkatan produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit nasional.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pusat Penelitian Kelapa Sawit, PT. Riset Perkebunan Nusantara yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini, baik melalui dukungan pendanaan maupun penyediaan sumber daya riset lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abimbola, L.-H. M., Ahmad Din, K., Nookiah, R., Hassan, M. S., Ngah, C. W. Z. C. W., & Sukaimi, J. (2016). Genetic variability for yield, yield components and fatty acid traits in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) germplasm using multivariate tools. *International Journal of Agriculture, Forestry and Plantation*, 2, 219–226.
- Chao, H., Kilaru, A., & Liu, L. (2023). Editorial: Genetics, breeding and engineering to enhance oil quality and yield. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1265897>
- Chaves, G., Ligarreto-Moreno, G. A., & Cayon-Salinas, D. G. (2018). Physicochemical characterization of bunches from American oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes) and their hybrids with African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Acta Agronomica*, 67(1). <https://doi.org/10.15446/ACAG.V67N1.62028>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The Oil Palm: Fifth Edition*. Wiley Blackwell. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118953297>
- de Vries, A., & Ripley, B. D. (2025). *ggdendro: create dendrograms and tree diagrams using “ggplot2.”* R Package Version 0.2.0. <https://andrie.github.io/ggdendro/authors.html>
- Ernayunita, Yenni, Y., Rahmadi, H. Y., Purba, A. R., Harahap, I. Y., Pratiwi, D. R., Simamora, A. N., Setiowati, R. D., Nazri, E., Siregar, H. A., Pangaribuan, I. F., Sitepu, A. F., Hidayat, T. C., Lubis, M. I., & Supena, N. (2024). Towards the fourth decade of IOPRI’s oil palm clones: Upcoming new variety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1308(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1308/1/012032>
- Hadi, N. D., Handoko, B. L., Lindawati, A. S. L., & Sarjono, H. (2025). Assessing P/B ratios of Indonesian palm oil companies through palm tree profile, average FFB yield, and palm oil extraction rate. *Journal of Applied Data Sciences*, 6(1), 236–246.
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). *factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses.* R Package Version 1.0.7.999. <https://www.rdocumentation.org/packages/factoextra/versions/1.0.7>
- Keputusan Menteri Pertanian Nomor 4 Tahun 2025 Tentang Pedoman Produksi, Sertifikasi, Peredaran, Dan Pengawasan Benih Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.), Pub. L. No. 4/Kpts/KB.020/E/01/2025 (2025).
- Khin, A. M., Amiruddin, M. D., Rafii, M. Y., Abd Samad, M. Y., Ramlee, S. I., Yaakub, Z., & Oladosu, Y. (2021). Character interrelationships and path analysis for yield components in MPOB-Senegal oil palm germplasm. *Sains Malaysiana*, 50(3), 699–709. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5003-12>
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Malike, F. A., Marhalil, M., Zulkifli, Y., Shamsudin, N. A. A., & Oyebamiji, Y. O. (2024). Genetic variability of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Deli Dura inter-crosses population in the MPOB Research Station Hulu Paka, Terengganu, Malaysia. *Malaysian Applied Biology*, 53(2), 125–133. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v53i2.2975>
- Mba, O. I., Dumont, M.-J., & Ngadi, M. (2015). Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry – A review. *Food Bioscience*, 10, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.01.003>

- Okoye, M. N., Okwuagwu, C. O., Uguru M I, Ataga, C. D., & Okolo, E. C. (2007). Genotype by trait relations of oil yield in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) based on GT biplot. *African Crop Science Conference Proceedings*, 8, 723–728.
- Olivoto, T., & Lúcio, A. D. (2020). metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783–789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>
- Popet, P., Eksomtramage, T., Anothai, J., & Khomphet, T. (2023). Principal component analysis of agronomic and yield traits of six tenera oil palm progenies in Southern Thailand. *Acta Agronómica*, 71(4), 416–422. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.98032>
- Rafii, M. Y., Isa, Z. A., Kushairi, A., Saleh, G. B., & Latif, M. A. (2013). Variation in yield components and vegetative traits in Malaysian oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) dura×pisifera hybrids under various planting densities. *Industrial Crops and Products*, 46, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.054>
- Salim, W. N. S. T. M., Bakar, N. A. A., Marjuni, M., & Yaakub, Z. (2024). Variability of oil quality traits in MPOB- oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) germplasm collection. *Kuala Lumpur International Agriculture, Forestry & Plantation Conference*, 302–307.
- Sari, W. K., & Rusmanida, R. (2023). Perbandingan rendemen kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di perkebunan rakyat dan perkebunan PT Tidar Kerinci Agung. *Jagur Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.25077/jagur.5.1.7-15.2023>
- Siregar, H. A., Rahmadi, H. Y., Wening, S., & Suprianto, E. (2018). Komposisi asam lemak dan karoten kelapa sawit *Elaeis oleifera*, interspesifik hibrida, dan *pseudo-backcross* pertama di Sumatra Utara, Indonesia. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 26(2), 91–101.
- Suzana, M., Zulkifli, Y., Marhalil, M., Rajanaidu, N., & Meilina Ong-Abdullah. (2020). Principal component and cluster analyses on tanzania oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. germplasm. *Journal of Oil Palm Research*, 32(1), 24–33. <https://doi.org/10.21894/jopr.2020.0016>
- Tupaz-Vera, A., Ayala-Diaz, I., Barrera, C. F., Romero, H. M., Tupaz-Vera, A., Ayala-Diaz, I., Barrera, C. F., & Romero, H. M. (2021). Selection of Elite dura-Type Parents to Produce Dwarf Progenies of *Elaeis guineensis* Using Genetic Parameters. *Agronomy* 2021, Vol. 11, 11(12). <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11122581>
- USDA. (2025). *Oilseeds: World Markets and Trade*. <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade-12092025>
- Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57–77. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2016.11.002>
- Xu, W., John Martin, J. J., Li, X., Liu, X., Cheng, S., & Cao, H. (2025). Transcriptional and metabolic analysis of oleic acid synthesis in seedless and tenera oil palm species. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2025.1557544/PDF>
- Zheng, Y., Xu, F., Liu, X., Li, X., Zhao, J., Zou, J., & Dongdong, L. (2025). EgSnRK2-EgARF18-EgFAD2 regulatory axis fine-tunes unsaturated fatty acid metabolism in oil palm (*Elaeis guineensis*). *Industrial Crops and Products*, 232, 121280. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121280>