



Komposisi Umur Tanaman Ideal di Perkebunan Kelapa Sawit

The Ideal Age Composition in Oil Palm Plantation

Iput Pradiko*, Dhaffa Agung Thirafi, Desra Sahputra, M. Yusuf Muslim, Agus Eko Prasetyo,
dan Muhayat

Abstrak Komposisi umur tanaman merupakan salah satu aspek penting dalam sistem manajemen perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi umur tanaman yang ideal guna mencapai produksi tinggi yang stabil dalam jangka panjang. Melalui simulasi produksi selama satu siklus tanam (25 tahun) pada 13 skenario komposisi umur, dilakukan analisis menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) dengan Metode *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT). Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi umur ideal terdiri dari 12% Tanaman Belum Menghasilkan (TBM, 0-3 tahun), 20% Tanaman Muda (TMD, 4-8 tahun), 20% Tanaman Remaja (TMR, 9-13 tahun), 28% Tanaman Dewasa (TDW, 14-20 tahun), 16% Tanaman Tua (TTA, 21-25 tahun), dan 4% Tanam Ulang (TU, >25 tahun). Komposisi ini mampu menghasilkan rerata umur tanaman (RUT) optimal sekitar 13,22 tahun dengan tingkat produksi tinggi dan fluktuasi yang rendah. Lebih lanjut, kajian ini juga menegaskan pentingnya perencanaan *replanting* yang sistematis dan berkelanjutan agar proporsi umur tanaman tetap seimbang, terutama bagi kebun dengan komposisi umur yang tidak ideal. Strategi ini menjadi kunci dalam menjaga stabilitas dan efisiensi produksi usaha perkebunan kelapa sawit.

Kata Kunci: kelapa sawit, produktivitas, rerata umur tanam

Abstract Age composition of oil palm is a key aspect of sustainable plantation management. This study aims to identify the ideal age composition that ensures high and

stable production over the long term. A 25-year planting cycle simulation was conducted across 13 age composition scenarios, and analyzed using a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) framework with the Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) method. The results indicate that the ideal age composition consists of 12% Immature Palm (TBM, 0-3 years), 20% Mature I (TMD, 4-8 years), 20% Mature II (TMR, 9-13 year), 28% Mature III (TDW, 14-20 year), 16% Old Palm (TTA, 21-25 years), and 4% Replanting (TU, >25 years). This composition achieves an optimal average palm age (RUT) of approximately 13.22 years, along with high production and low fluctuation. Furthermore, the study highlights the importance of systematic and sustainable replanting planning to maintain a balanced age structure, especially in plantations with suboptimal age compositions. This strategy is key to ensuring long-term production stability and efficiency in oil palm plantation.

Keywords: yield, replanting, average palm age, oil palm

PENDAHULUAN

Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan penghasil minyak nabati yang paling produktif (Ardana *et al.*, 2022; Jamshidi *et al.*, 2024), dan dapat menghasilkan produksi optimal jika kondisi faktor *exogenous* dan *endogenous* mendukung (Tabe-Ojong *et al.*, 2023; Yousefi D.B. *et al.*, 2021). Faktor *exogenous* meliputi iklim, tanah, lingkungan biotik, dan teknik budidaya khususnya pemupukan. Sementara itu, faktor *endogeneous* adalah asal usul bahan tanaman yang termasuk juga umur tanaman (Suharyanti *et al.*, 2020), dan umur tanaman berperan signifikan dalam memengaruhi produktivitas (Kome & Tabi, 2020).

Pertumbuhan kelapa sawit umumnya terbagi menjadi dua fase, yaitu tanaman belum

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

Iput Pradiko* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158 Indonesia
Email: iputpradiko@gmail.com



menghasilkan/*immature* (TBM) dan tanaman menghasilkan/*mature* (TM). Pada fase TBM, terutama pada 2-3 tahun pertama, tanaman sawit masih dalam tahap perkembangan vegetatif dan belum memberikan hasil panen yang optimal (Woittiez *et al.*, 2017). Setelah memasuki fase TM, kelapa sawit akan menghasilkan tandan buah segar (TBS) secara terus menerus sepanjang siklus ekonomisnya, yaitu selama kurang lebih 25-30 tahun (Zhao *et al.*, 2023). Lebih detail, fase TM pada tanaman kelapa sawit dapat dibagi menjadi 3, yaitu fase peningkatan drastis (*steep ascent yield phase*) yang terjadi pada 4-7 tahun, puncak produktivitas atau masa *prime* produksi (*plateau yield phase*) yang terjadi pada 8-14 tahun, dan fase penurunan produktivitas (*yield decline phase*) yang umumnya terjadi pada 15-25 tahun (Woittiez *et al.*, 2017). Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) membagi fase tanaman menghasilkan menjadi Tanaman Muda (4-8 tahun), Tanaman Remaja (9-13 tahun), Tanaman Dewasa (14-20 tahun), Tanaman Tua (21-25 tahun), dan Tanaman Renta (>25 tahun).

Komposisi umur tanaman yang tidak seimbang, yaitu dominasi tanaman tua dan atau renta dalam suatu kebun, dapat berdampak negatif terhadap stabilitas produksi karena tanaman tua cenderung menghasilkan TBS dalam jumlah yang lebih sedikit, sehingga dapat menyebabkan produksi kebun menjadi *idle*, yaitu kondisi dimana produktivitas sangat rendah. Tanaman tua juga memiliki kemampuan *recovery* yang lebih rendah terhadap serangan penyakit maupun cekaman biotik dan abiotik lainnya. Kemampuan akar pada tanaman tua juga kurang responsif, serta efisien dalam menyerap nutrisi dari tanah sehingga produktivitas sudah tidak bisa lagi optimal (Abubakar *et al.*, 2023).

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa berat TBS akan terus meningkat, namun untuk jumlah tandan buah kelapa sawit akan menurun seiring bertambahnya usia. Seperti telah diketahui sebelumnya, komponen produksi tanaman kelapa sawit adalah jumlah tandan dan berat tandan (Suhartono *et al.* 2023). Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk menduga produksi tanaman adalah Indeks Luas Daun (ILD). ILD yang optimal adalah 6.0-6.5 yang dicapai saat tanaman berumur sekitar 8-14 tahun dengan kerapatan standar. Jumlah tandan umumnya mengikuti pola ILD ini, seperti pada umur 4-8 tahun (ILD <6) jumlah tandan akan banyak tapi bobot tandan ringan, umur 8-14 tahun (ILD 6-6.5) jumlah tandan masih cukup banyak tapi bobot juga semakin berat, dan >15 tahun (IL >6.5)

bobot semakin berat tapi jumlah tandan semakin sedikit. Umumnya, pada kondisi normal, jumlah tandan lebih mempengaruhi perolehan produksi tanaman kelapa sawit dibandingkan berat tandan. Fluktuasi bulanan jumlah tandan akan relatif sama dengan fluktuasi bulanan produktivitas tanaman kelapa sawit (Henson & Dolmat, 2004; Latha *et al.*, 2021).

Komposisi umur tanaman pada perkebunan kelapa sawit berkaitan erat dengan kebutuhan untuk melakukan peremajaan kebun secara tepat waktu. Proses peremajaan yang terencana dan sistematis diperlukan untuk memastikan bahwa selalu ada cukup proporsi tanaman dalam fase produktif, sementara tanaman yang sudah tua dan renta atau tidak lagi produktif digantikan dengan tanaman baru. Penerapan strategi komposisi umur tanam dengan tepat menjadi kunci untuk memaksimalkan produktivitas kebun. *Replanting* yang dilakukan sesuai dengan siklus umur tanaman dapat membantu menjaga keseimbangan antar tanaman muda dan tua, sehingga kebun tetap produktif dalam jangka panjang (Zhao *et al.*, 2023). Dengan demikian, siklus produksi yang berkelanjutan dapat terjaga, sehingga produksi kebun tidak mengalami fluktuasi yang tajam.

Penelitian dan praktik di lapangan menunjukkan bahwa perencanaan umur tanaman yang seimbang dapat memberikan banyak keuntungan bagi kebun kelapa sawit, baik dari segi produksi maupun efisiensi biaya. Tanpa manajemen yang baik terhadap komposisi umur tanaman, risiko terjadinya *idle period* atau periode produktivitas yang rendah menjadi lebih besar. Oleh karena itu, pengelola kebun kelapa sawit harus merancang strategi peremajaan dan rotasi tanaman secara berkelanjutan agar produktivitas kebun dapat tetap terjaga dari waktu ke waktu (Faeid *et al.*, 2020a).

Umumnya, para pekebun kelapa sawit kurang memperhitungkan komposisi umur tanaman dan hanya berfokus pada bagaimana meningkatkan produktivitas tanaman yang telah ditanamnya. Apalagi dengan kondisi harga jual TBS yang sedang tinggi, tentu pekebun cenderung menunda upaya peremajaan kelapa sawit yang dimilikinya (Petri *et al.*, 2024). Tanpa adanya rencana pengaturan komposisi umur tanaman, khususnya melalui perencanaan *replanting* yang tepat dan terarah, mustahil keberlanjutan produksi dari suatu kebun dapat tercapai. Menurut beberapa informasi yang

dikumpulkan oleh Tim Peneliti PPKS, komposisi tanaman yang ideal untuk kelas/kategori umur TBM, Tanaman Muda (TMD), Remaja (TMR), Dewasa (TDW), Tua (TTA), dan *Replanting* (TU) berturut-turut adalah 12%: 20%: 20%: 28%; 16%: 4%. Namun demikian, belum terdapat landasan *scientific* yang dapat dijadikan pedoman mengenai komposisi ideal tersebut.

Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji lebih dalam tentang pentingnya memperhatikan komposisi umur tanaman kelapa sawit dalam konteks manajemen perkebunan yang berkelanjutan. Kami membahas dampak dari komposisi umur tanaman terhadap produktivitas kebun. Pekebun diharapkan terbantu dengan tulisan ini sehingga akan memiliki landasan ilmiah untuk merencanakan pengaturan komposisi tanaman kelapa sawit yang dimilikinya agar tercapai produksi yang lebih tinggi dan berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada September 2024 di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). Penelitian dilakukan dengan cara melakukan simulasi satu siklus tanam (25 tahun, yaitu 2024-2048) terhadap beberapa skenario komposisi tanaman kelapa sawit pada areal seluas 10.000 ha yang mulai dibangun sejak 1998, atau 25 tahun sebelum kajian ini dilakukan. Luasan 10.000 ha dipilih untuk mempermudah proses simulasi. Selain itu, diasumsikan juga bahwa lahan memiliki kelas lahan aktual yaitu S1 (sangat sesuai) yang dikelola dengan manajemen yang baik sehingga tidak ada faktor pembatas agronomis dan non-agronomis yang secara signifikan dapat mempengaruhi produktivitas tanaman. Jumlah *stand per hectare* (SPH) yang digunakan dalam simulasi ini adalah 143 pohon/ha. Skenario simulasi dan asumsi-asumsi lain yang digunakan dalam kajian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam berbagai skenario simulasi
Table 1. Assumptions used in various simulation scenarios

Skenario	Asumsi
1	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Setiap tahun dilakukan penanaman sejak tahun 1998 (luasan disusun random dengan proporsi TBM: TTM: TTR: TDW: TTA: dan TU adalah 11%:22%:20%:18%:26%:4% pada tahun produksi 2024). Detail luasan proporsi luasan per tahun tanam dan kategori umur disajikan pada Gambar 3 dan 4.
2	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Setiap tahun dilakukan penanaman sejak tahun 1998 (luasan disusun random), tetapi dengan luasan per tahun tanam berbeda dengan Skenario 1. Proporsi TBM: TTM: TTR: TDW: TTA: dan TU adalah 7%:20%:21%:23%:26%:4% pada tahun produksi 2024.

(continued)

Skenario	Asumsi
3	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Setiap tahun dilakukan penanaman sejak tahun 1998. Luasan yang ditanam sejak 1988 memiliki luasan identik untuk setiap tahun tanam pada kategori kelompok umur yang sama dengan proporsi TBM: TTM: TTR: TDW: TTA: dan TU adalah 17%:17%:17%:17%:17%:17% pada tahun produksi 2024.
	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
4	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Setiap tahun dilakukan penanaman sejak tahun 1998 dengan luasan dibagi rata per tahun penanaman dengan proporsi TBM: TTM: TTR: TDW: TTA: dan TU adalah 12%:19%:19%:27%:19%:4% pada tahun produksi 2024.
	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
5	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat random tetapi masih mengikuti komposisi TBM: TTM: TTR: TDW: TTA: dan TU berturut-turut adalah 12%:20%:20%:28%:16%:4% pada tahun produksi 2024
	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
6	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat random per tahun tanam dan masih mengikuti komposisi seperti Skenario 5 pada tahun produksi 2024. Akan tetapi, proporsi luasan per tahun tanam berbeda dengan Skenario 5.
	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
7	- Luasan dibuat random per tahun tanam dan masih mengikuti komposisi seperti Skenario 5 dan 6 pada tahun produksi 2024. Akan tetapi, proporsi luasan per tahun tanam berbeda dengan Skenario 5 dan 6.
	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat random per tahun tanam dan masih mengikuti komposisi seperti Skenario 5 dan 6 pada tahun produksi 2024. Akan tetapi, proporsi luasan per tahun tanam berbeda dengan Skenario 5 dan 6.

(continued)

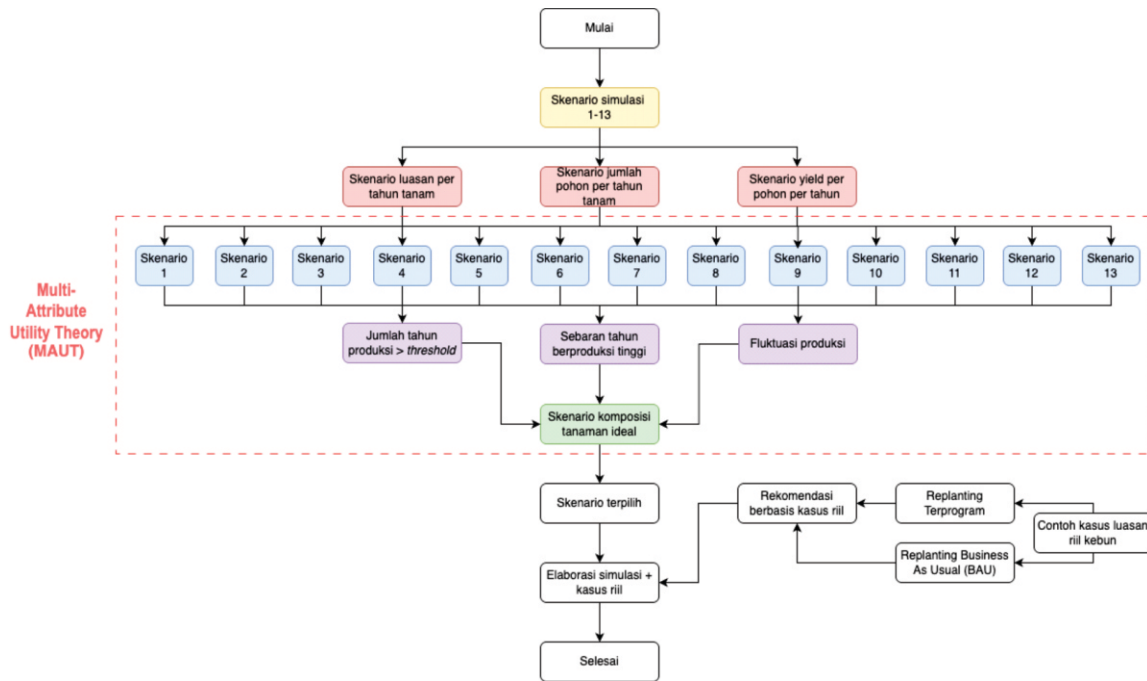
Skenario	Asumsi
8	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat mengelompok dan 100% berada pada kategori tanaman tua (TTA) pada tahun 2024.
9	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat mengelompok dan 100% berada pada kategori tanaman dewasa (TDW) pada tahun 2024.
10	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat mengelompok dan 100% berada pada kategori tanaman remaja (TTR) pada tahun 2024.
11	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat mengelompok dan 100% berada pada kategori tanaman muda (TTM) pada tahun 2024.
12	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibuat mengelompok dan 100% berada pada kategori tanaman belum menghasilkan (TBM) pada tahun 2024.
13	- Setelah umur 25 tahun tanaman di TU
	- Dilakukan pemeliharaan sesuai BMP
	- Tidak ada faktor pembatas produksi yang signifikan
	- Kematian pohon adalah 1% per tahun setelah tanaman berumur 10 tahun
	- Luasan dibagi rata pada tahun tanam (TT) 2001, 2007, 2013, 2017, dan 2021 sehingga menghasilkan proporsi TBM: TTM: TTR: TDW: TTA: dan TU adalah 20%:20%:20%:20%:20%:0% pada tahun produksi 2024.

Keterangan: TU adalah tanam ulang atau *replanting*, BMP adalah *Best Management Practices*.

Description: TU is *replanting*, BMP is *Best Management Practices*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan MS. Excel. Skema yang dijalankan dalam simulasi disajikan pada Gambar 1. Intinya simulasi dijalankan dengan basis potensi produktivitas per pohon per tahun pada umur tanaman 4-25 tahun pada kelas lahan S1 (sangat sesuai) seperti yang telah dirilis oleh

PPKS (Gambar 2). Pola produktivitas yang dirilis PPKS ini relatif sama dengan hasil kajian (Woittiez *et al.*, 2017). Seperti yang disajikan pada Tabel 1, total skenario adalah 13. Hasil simulasi produksi diberi nomor 1-325, dimulai dari Skenario 1 pada Tahun 2024 dan 325 untuk Skenario 13 pada Tahun 2048.



Gambar 1. Diagram alir proses simulasi produksi dan pemilihan komposisi tanaman ideal pada perkebunan kelapa sawit

Figure 1. Flowchart of the production simulation process and selection of ideal palm age composition in oil palm plantations



Gambar 2. Potensi produktivitas tanaman kelapa sawit pada kelas lahan S1 (sangat sesuai) yang dirilis oleh PPKS

Figure 2. Oil palm potential yield on S1 land suitability class (highly suitable) released by IOPRI

Rincian proporsi luas per tahun tanam (%) per tahun produksi selama kurun waktu 2024-2048 terhadap total areal seluas 10.000 ha dari masing-masing skenario disajikan pada Lampiran 1. Sementara itu, Lampiran 2 menampilkan gambaran dinamika kategori selama kurun waktu simulasi. Lebih lanjut, disajikan juga detail Rerata Umur

Tanaman (RUT) dari masing-masing skenario (Gambar 3). Rerata umur tanaman sangat erat kaitannya dengan produktivitas kelapa sawit. RUT dalam kisaran 8-15 tahun umumnya akan menghasilkan produktivitas yang optimal dari suatu kebun. Rumus untuk menentukan RUT adalah sebagai berikut:

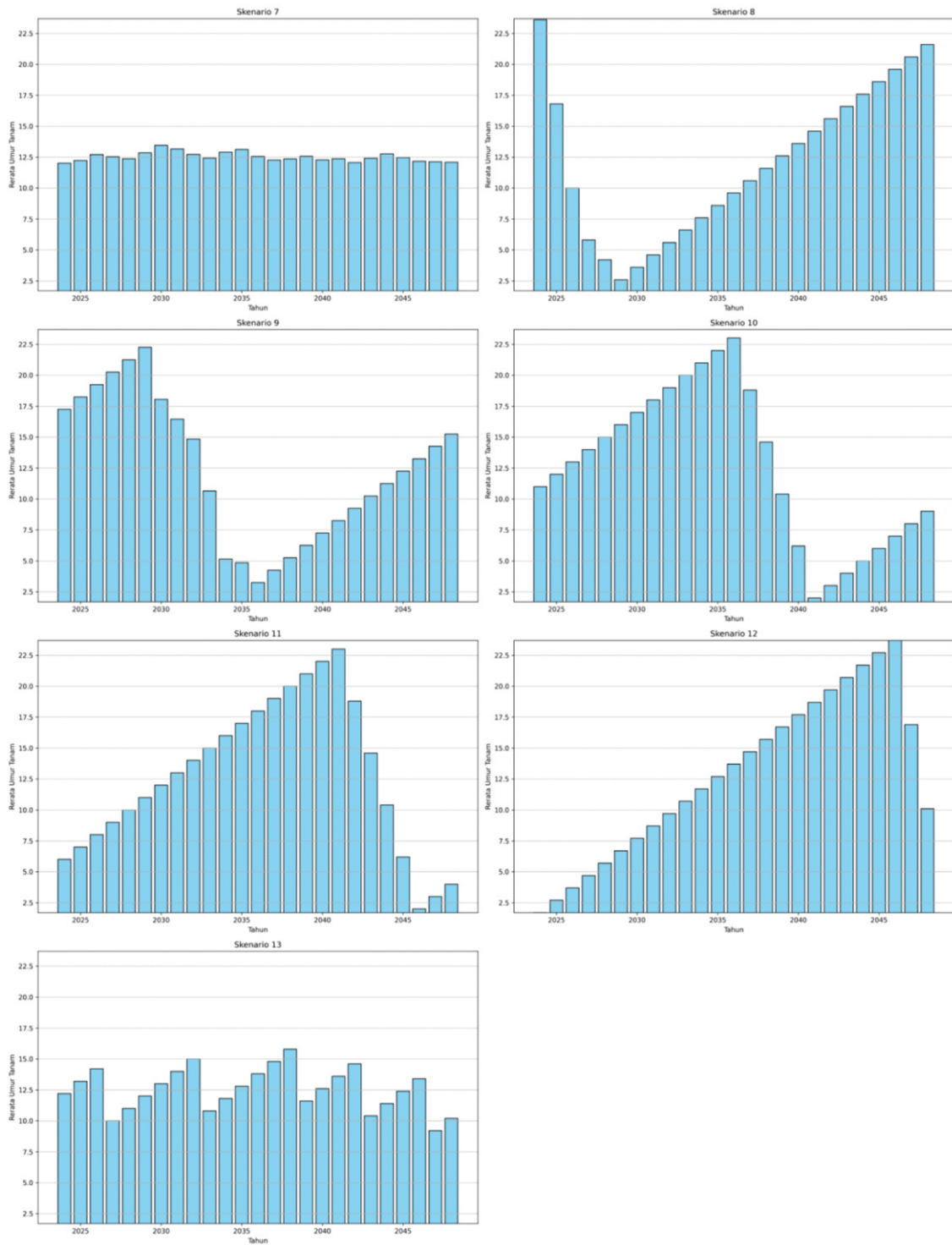
$$RUT = \frac{\sum(\text{Umur} \times \text{Luas})}{\sum \text{Luas}}$$

dimana: **Umur** = Umur tanaman dalam tahun dan **Luas** = Luas kebun dengan umur tertentu (ha).



Gambar 3. Rerata Umur Tanaman (RUT) dalam satuan tahun kurun waktu 2024-2048 untuk masing-masing skenario

Figure 3. Average palm age (RUT) - in years for each scenario during the 2024–2048 period



Gambar 4. Rerata Umur Tanaman (RUT) dalam satuan tahun kurun waktu 2024-2048 untuk masing-masing skenario (lanjutan)

Figure 4. Average palm age (RUT) - in years for each scenario during the 2024-2048 period (continued)

Dalam kajian ini, untuk menentukan skenario komposisi umur tanam yang ideal dilakukan seleksi berdasarkan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) dengan Metode *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) yang dikembangkan oleh Keeney & Raiffa (1976). Beberapa kajian terkait agronomi kelapa sawit yang menggunakan MCDA ini antara lain dilakukan oleh Manorama et al. (2024) dan Nasution et al. (2024). Namun demikian, penggunaan MCDA-MAUT untuk kajian agronomi masih sangat jarang digunakan.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam MAUT adalah identifikasi kriteria, normalisasi data, dan mengitung skor akhir. Kriteria yang digunakan dalam kajian penentuan komposisi umur ideal dalam perkebunan kelapa sawit adalah jumlah tinggi (di atas *threshold*), sebaran tahun dengan produksi tinggi, serta fluktuasi produksi. MAUT digunakan karena beberapa hal yaitu:

- Setiap kriteria memiliki skala berbeda (jumlah produksi, sebaran tahun dengan produksi tinggi, fluktuasi produksi).
- Diperlukan normalisasi data agar dapat dibandingkan secara objektif.
- Bobot setiap kriteria dianggap setara dalam perhitungan skor akhir.
- Pengambilan keputusan berdasarkan nilai utilitas (semakin tinggi skor, semakin baik). Semakin mendekati 1 peringkatnya semakin baik.

Lebih lanjut, untuk menentukan batas ambang / *threshold* dilakukan analisis deskriptif yaitu analisis histogram untuk melihat sebaran data produksi hasil simulasi hingga dapat diperoleh batas ambang (*threshold*) produksi tahunan. Histogram yang digunakan dalam kajian ini adalah histogram dengan densitas (*Probability Density Function* / PDF) yang menormalkan histogram sehingga total luas semua batang (barchart) sama dengan 1, sehingga bisa dibandingkan dengan distribusi teoretis seperti distribusi normal. Batas ambang ini digunakan untuk memilih beberapa komposisi tanaman yang menghasilkan produksi tinggi. Secara singkat, yang masuk kategori produksi tinggi adalah produksi yang berada pada zona sebelah kanan grafik distribusi normal data. Perhitungan jumlah produksi di atas ambang batas dilakukan dengan persamaan di berikut ini:

$$P_s = \sum_{i=1}^n I_{i,s}$$

Keterangan: P_s = jumlah produksi di atas *threshold* untuk skenario s , $I_{i,s} = 1$ jika produksi pada tahun- i dalam skenario s melebihi *threshold*, 0 jika tidak, n = jumlah total tahun dalam dataset.

Sebaran tahun dengan jumlah produksi tinggi (T_s) dihitung berdasarkan jumlah tahun yang memiliki produksi di atas ambang batas. Selanjutnya, dilakukan juga analisis terhadap kriteria ketiga yaitu fluktuasi produksi (F_s) yang dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$F_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i,s} - \bar{x}_s)^2}$$

Dimana $x_{i,s}$ = produksi pada tahun- i dalam skenario s , \bar{x}_s = rata-rata produksi dalam skenario s , F_s = standar deviasi produksi sebagai ukuran fluktuasi.

Langkah selanjutnya adalah normalisasi kriteria agar bisa dilakukan penilaian dengan MAUT. Normalisasi data diperlukan karena ketiga kriteria memiliki skala yang berbeda dan agar ketiganya dapat dibandingkan dengan obyektif. Adapun rumus yang digunakan dalam normalisasi adalah sebagai berikut:

$$N_{P_s} = \frac{P_s - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

$$N_{T_s} = \frac{T_s - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

$$N_{F_s} = 1 - \frac{F_s - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}}$$

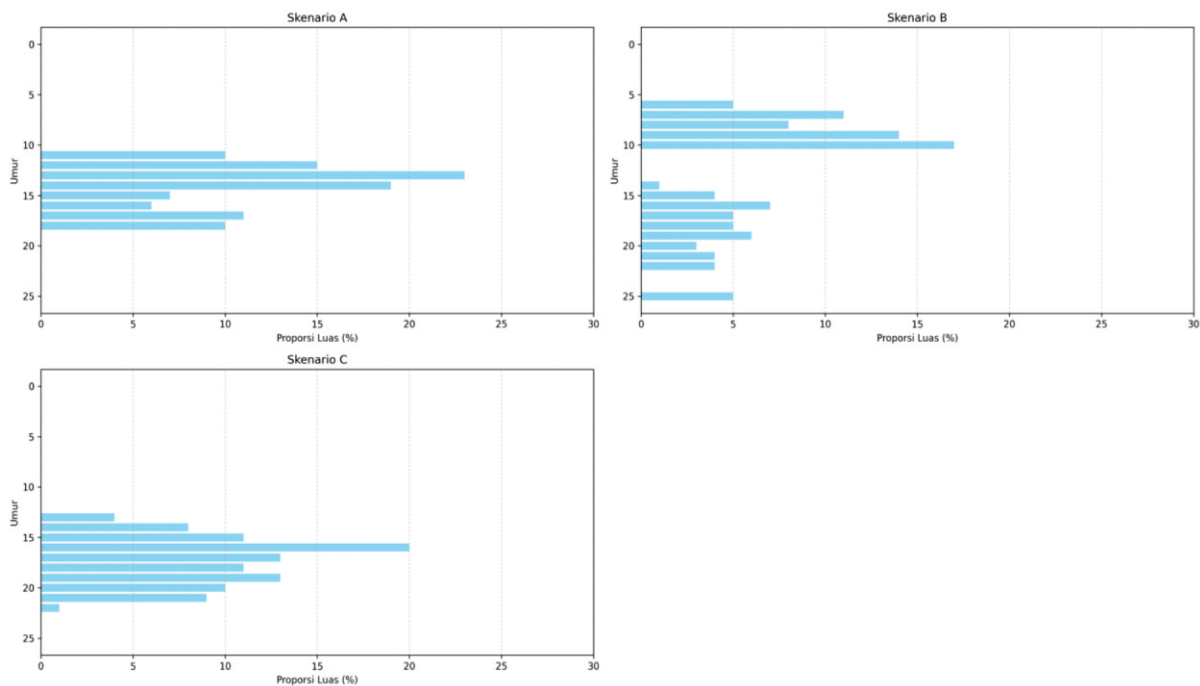
dimana: N_{P_s} adalah nilai normalisasi jumlah produksi untuk skenario s , P_s adalah jumlah produksi di atas *threshold* untuk skenario s , P_{\min} dan P_{\max} adalah nilai minimum dan maksimum dari jumlah produksi di semua skenario, N_{T_s} adalah nilai normalisasi sebaran tahun produksi untuk skenario s , T_s adalah sebaran tahun dengan jumlah produksi tinggi, T_{\min} dan T_{\max} nilai minimum dan maksimum dari sebaran tahun. dengan produksi tinggi di semua skenario, N_{F_s} nilai normalisasi fluktuasi produksi untuk skenario s , F_s adalah standar deviasi produksi dalam skenario s (mengukur tingkat fluktuasi), F_{\min} dan F_{\max} adalah nilai minimum dan maksimum dari fluktuasi produksi di semua skenario.

Setelah diperoleh nilai normalisasi dari masing-masing kriteria, dilakukan perhitungan nilai akhir (*final score*) dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_s = \frac{N_{P_s} + N_{T_s} + N_{F_s}}{3}$$

Skenario yang memiliki nilai mendekati 1 merupakan skenario terbaik. Selanjutnya untuk mendapatkan gambaran holistik mengenai komposisi umur riil dalam praktiknya di lapangan, dilakukan juga analisis dan simulasi *replanting* dengan data riil dari tiga kebun yang memiliki komposisi umur yang berbeda (Gambar 5). Terhadap ketiga kebun (A, B, dan C) tersebut

dilakukan dua simulasi *replanting* yaitu dengan asumsi bahwa setelah umur >25 tahun tanaman akan ditumbang (*Business as Usual / BAU*) dan *replanting* terprogram. Elaborasi antara hasil simulasi 13 skenario dan tiga data aktual kebun diharapkan dapat memberikan gambaran dalam menentukan program *replanting*, utamanya dari perencanaan luasan yang akan direplanting. Semua proses analisis dan visualisasi data dilakukan menggunakan *Google Colaboratory* atau dikenal juga sebagai Colab (<https://colab.google>).



Gambar 5. Proporsi luasan per umur tanam pada Kebun A, B, dan C
 Figure 5. Area proportion by planting age in Estates A, B, and C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Produksi pada Berbagai Skenario Komposisi Umur Tanaman

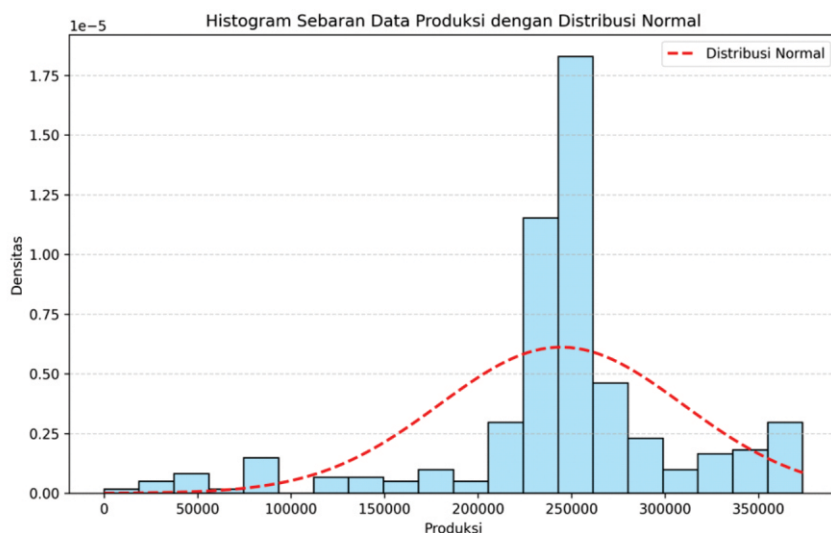
Berdasarkan hasil analisis deskriptif yang dilakukan terhadap hasil simulasi produksi dengan 13 skenario yang telah disebutkan, dapat diketahui bahwa histogram produksi pada Gambar 5 tidak mengikuti pola distribusi normal yang ideal, melainkan memiliki distribusi yang condong ke kanan (*right-skewed*). Mayoritas data produksi berkumpul di sekitar

rentang 200.000 hingga 300.000 ton TBS/tahun, dengan puncak distribusi berada di sekitar 250.000 ton TBS/tahun (tepatnya 244.463 ton TBS/tahun).

Sebaran data pada Gambar 6 ini menunjukkan bahwa ada beberapa produksi yang jauh lebih rendah dibandingkan mayoritas data, yang mengindikasikan kemungkinan keberadaan *outlier* atau variasi tinggi dalam produksi antar skenario ataupun antar tahun dalam satu skenario yang sama. Dari hasil ini, dapat dilihat bahwa hasil simulasi produksi kelapa sawit dalam dataset ini tidak sepenuhnya berdistribusi

normal dan memiliki kecenderungan-kecenderungan tertentu yang perlu dilakukan analisis lebih lanjut, seperti identifikasi faktor-faktor yang memengaruhi produksi, utamanya dari aspek komposisi umur. Hal ini

karena produktivitas tanaman kelapa sawit dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya umur tanaman (Harahap & Lubis, 2018; Lubis & Lubis, 2018).



Gambar 6. Histogram dan grafik sebaran distribusi data produksi hasil simulasi
Figure 6. Histogram and distribution chart of simulated production data

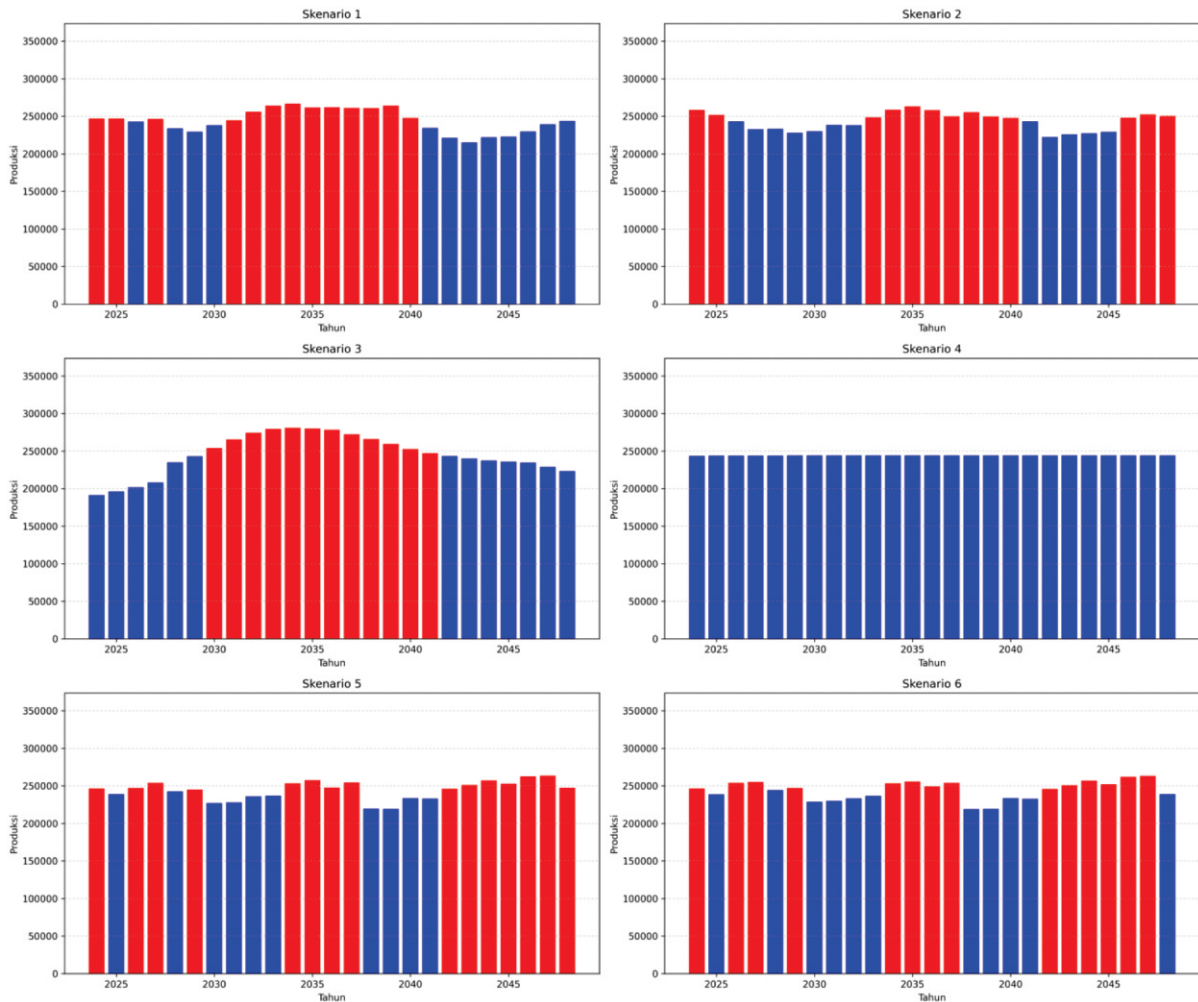
Hasil simulasi produksi per tahun dari masing-masing skenario disajikan pada Gambar 7 dan 8. Dapat dilihat bahwa berdasarkan pola produksi pada Gambar 7 dan 8, Skenario 1, 2, 5, 6, dan 7 menunjukkan pola produksi yang relatif stabil dengan dominasi warna merah, yang menandakan produksi di atas 244.463 ton TBS/tahun. Skenario 5 dan 6 terlihat memiliki produksi yang tersebar pada awal, pertengahan, dan akhir kurun waktu simulasi. Hal ini mengindikasikan bahwa dua skenario ini bisa menjadi kandidat kuat sebagai skenario komposisi umur terbaik. Hal ini karena stabilitas produksi menjadi faktor utama dalam menentukan skenario terbaik. Skenario yang ideal adalah yang menghasilkan produksi tinggi secara konsisten dengan sedikit fluktuasi dari tahun ke tahun. Mempertahankan produksi yang stabil dan tinggi sepanjang waktu adalah tujuan utama dalam perkebunan kelapa sawit (Zhao *et al.*, 2023). Dengan kondisi tersebut, pendapatan pekebun akan semakin terjamin karena komoditas kelapa sawit merupakan komoditas yang menjanjikan pendapatan yang stabil dan dapat diprediksi / *predictable* (Sibhatu, 2023).

Lebih lanjut, dapat dilihat juga bahwa beberapa skenario menunjukkan pola produksi yang berfluktuasi signifikan, seperti Skenario 3, 8, 9, 10, 11, dan 12. Skenario 8 dan 12 memperlihatkan lonjakan produksi yang tinggi pada awal periode, namun diikuti dengan penurunan drastis, menunjukkan bahwa produksi tinggi hanya terjadi dalam jangka pendek. Skenario 9 dan 10 memiliki pola berbentuk "U", dengan produksi rendah di tengah periode sebelum kembali meningkat. Hal ini disebabkan karena komposisi umur tanaman yang mengelompok pada satu kategori umur saja (lihat Lampiran 1). Selanjutnya, Skenario 11 meskipun sempat mencapai puncak produksi, tetapi mengalami penurunan drastis di akhir periode. Sementara itu, Skenario 4 menunjukkan kestabilan produksi tanpa fluktuasi besar, namun kurang optimal karena tidak ada tahun yang mencapai tingkat produksi tinggi (>244.463 ton TBS/tahun). Hal ini mengindikasikan bahwa strategi peremajaan yang tidak dilakukan secara bertahap dapat menyebabkan ketimpangan dalam produktivitas.



Beberapa sumber menyatakan bahwa peremajaan secara bertahap dengan laju 4% per tahun dari total

areal tanam sangat diperlukan agar produksi tidak terlalu berfluktuasi (Faeid *et al.*, 2020b; Zhao *et al.*, 2023).

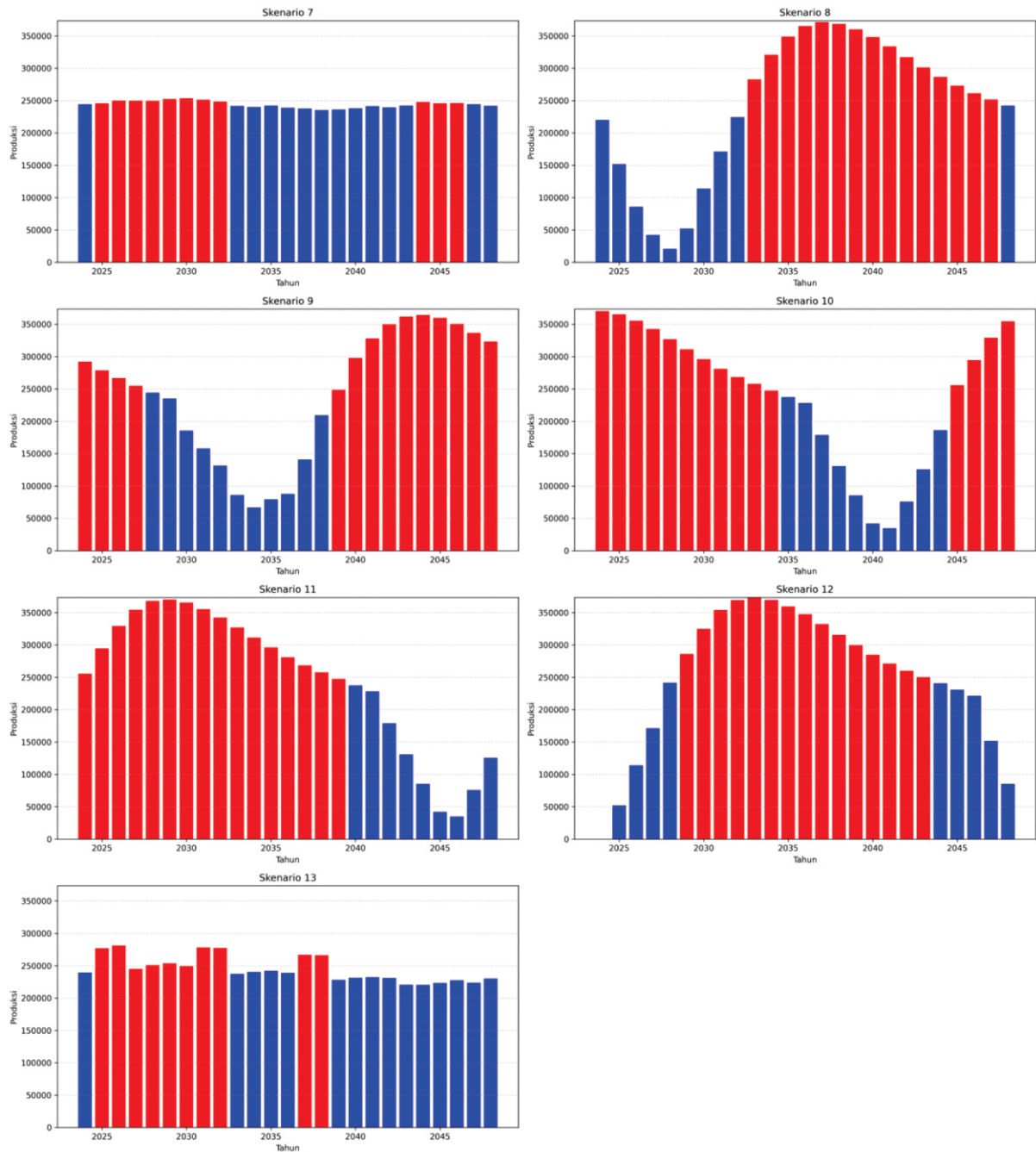


Gambar 7. Produksi (ton TBS/tahun) hasil simulasi Skenario 1-6
Figure 7. Simulated production (tons of FFB/year) for Scenarios 1–6

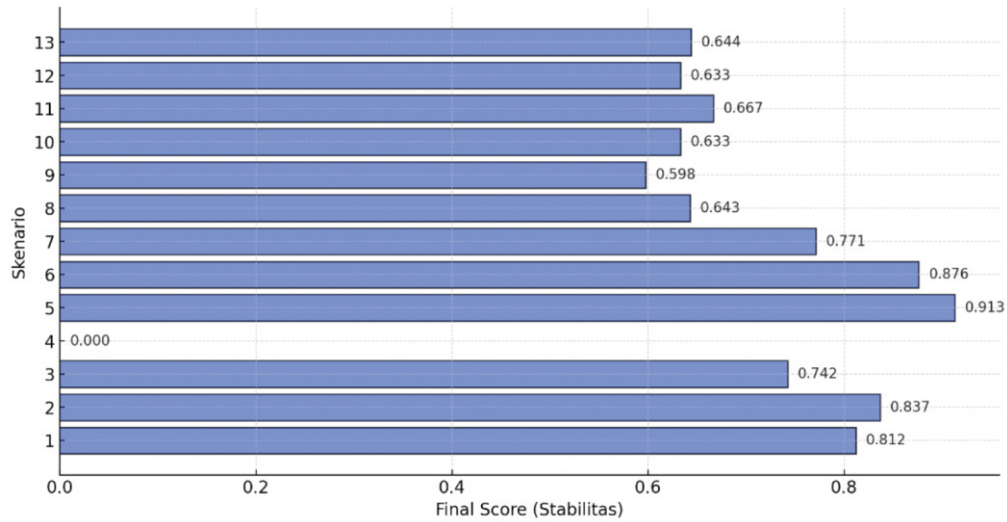
Skenario Komposisi Umur Ideal untuk Perkebunan Kelapa Sawit

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dalam kajian ini skenario komposisi umur ideal adalah komposisi umur yang dapat menghasilkan produksi

tinggi, merata atau tersebar selama interval simulasi (2024-2048), dan tidak terlalu berfluktuasi. Hasil analisis dengan MAUT untuk memilih skenario komposisi yang stabil dan memenuhi tiga skenario tersebut disajikan pada Gambar 9 dan Tabel 2.



Gambar 8. Produksi (ton TBS/tahun) hasil simulasi Skenario 7-13
 Figure 8. Simulated production (tons of FFB/year) for Scenarios 7–13



Gambar 9. Hasil *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) dengan *Metode Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) terhadap 13 Skenario Komposisi Umur Tanaman

Figure 9. Results of *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) using the *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) Method for 13 Palm Age Composition Scenarios

Tabel 2. Skenario komposisi umur tanaman terbaik berdasarkan Analisis MCDA-MAUT

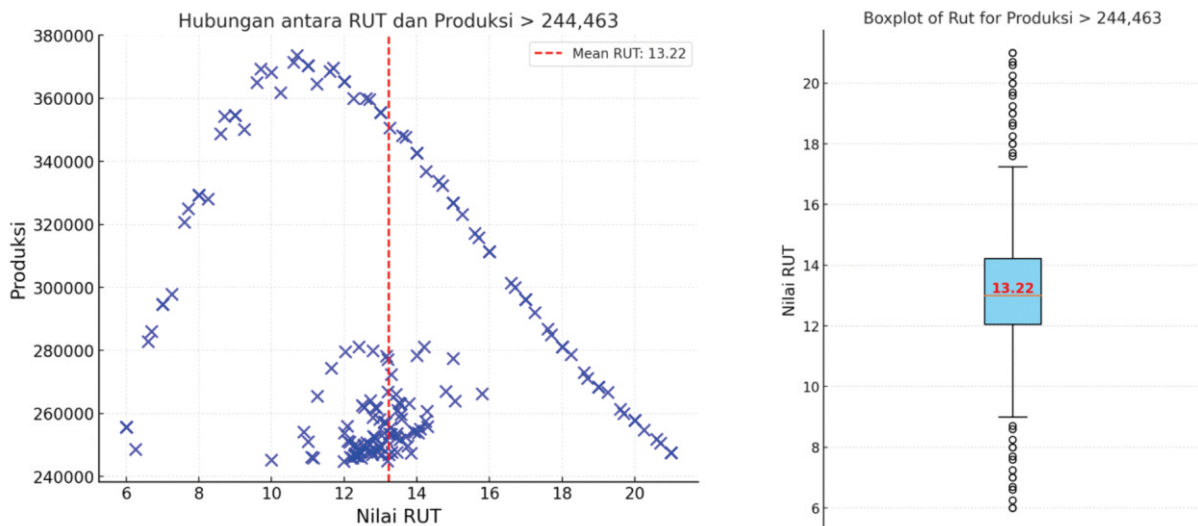
Table 2. Best palm age composition scenarios based on MCDA-MAUT Analysis

Skenario	Normalized Produksi	Normalized Sebaran Tahun	Normalized Fluktuasi	Final Score (Stabilitas)
5	0.938	0.938	0.864	0.913
6	0.875	0.875	0.878	0.876
2	0.813	0.813	0.885	0.837
1	0.813	0.813	0.811	0.812
7	0.688	0.688	0.938	0.771
3	0.750	0.750	0.727	0.742
11	1.000	1.000	-	0.667
13	0.625	0.625	0.682	0.644
8	0.938	0.938	0.053	0.643
10	0.938	0.938	0.024	0.633
12	0.938	0.938	0.024	0.633
9	0.875	0.875	0.043	0.598
0	-	-	-	-

Gambar 9 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa komposisi umur yang secara stabil menghasilkan produksi tinggi, tahun dengan produksi tingginya tersebar, dan fluktuasi produksi antar tahunnya rendah adalah Skenario 5 dan 6. Skenario 7 yang menggunakan komposisi TBM, TMD, TMR, TDW, TTA, dan TU yang sama tetapi dengan rincian proporsi luas per tahun tanam yang berbeda, ternyata juga merupakan skenario terbaik kelima. Hal ini semakin menguatkan bahwa komposisi TBM, TMD, TMR, TDW, TTA, dan TU berturut-turut adalah 12%:20%:20%:28%:16%:4% pada awal penanaman, merupakan komposisi tanaman yang ideal untuk menghasilkan produksi tinggi yang stabil.

Jika ditinjau lebih jauh utamanya dikaitkan dengan Rerata Umur Tanaman (RUT) pada Gambar 3, dapat

diketahui bahwa RUT sangat erat kaitannya dengan capaian produksi kelapa sawit. Hasil analisis lanjutan menunjukkan bahwa RUT yang dapat menghasilkan produksi tertinggi adalah pada kisaran 10-12 tahun, dengan produksi mendekati 380.000 ton TBS/tahun dengan asumsi luasan 10.000 ha (Gambar 10). Adapun nilai rata-rata RUT yang memiliki produksi > 244.463 ton TBS/tahun adalah 13,22 tahun. Hal ini dapat diartikan bahwa komposisi umur tanaman yang dapat menghasilkan RUT stabil di kisaran 13,22 tahun akan berpeluang besar menghasilkan produksi tinggi yang stabil. Untuk memastikan kondisi tersebut dalam jangka panjang, maka pada saat penanaman awal diupayakan agar kombinasi umur tanaman menghasilkan kombinasi TBM, TMD, TMR, TDW, TTA, dan TU berturut-turut adalah 12%, 20%, 20%, 28%, 16%, dan 4%. Kondisi ini tentu tidak mudah diciptakan, apalagi untuk kebun yang terlanjur memiliki komposisi umur tanaman yang kurang seimbang.



Gambar 10. Scatter plot (kiri) dan boxplot (kanan) sebaran Rerata Umur Tanaman (RUT) yang menghasilkan produksi tinggi

Figure 10. Scatter plot (left) and boxplot (right) of average palm age (RUT) distribution associated with high production

Skenario Komposisi Umur Ideal untuk Perkebunan Kelapa Sawit

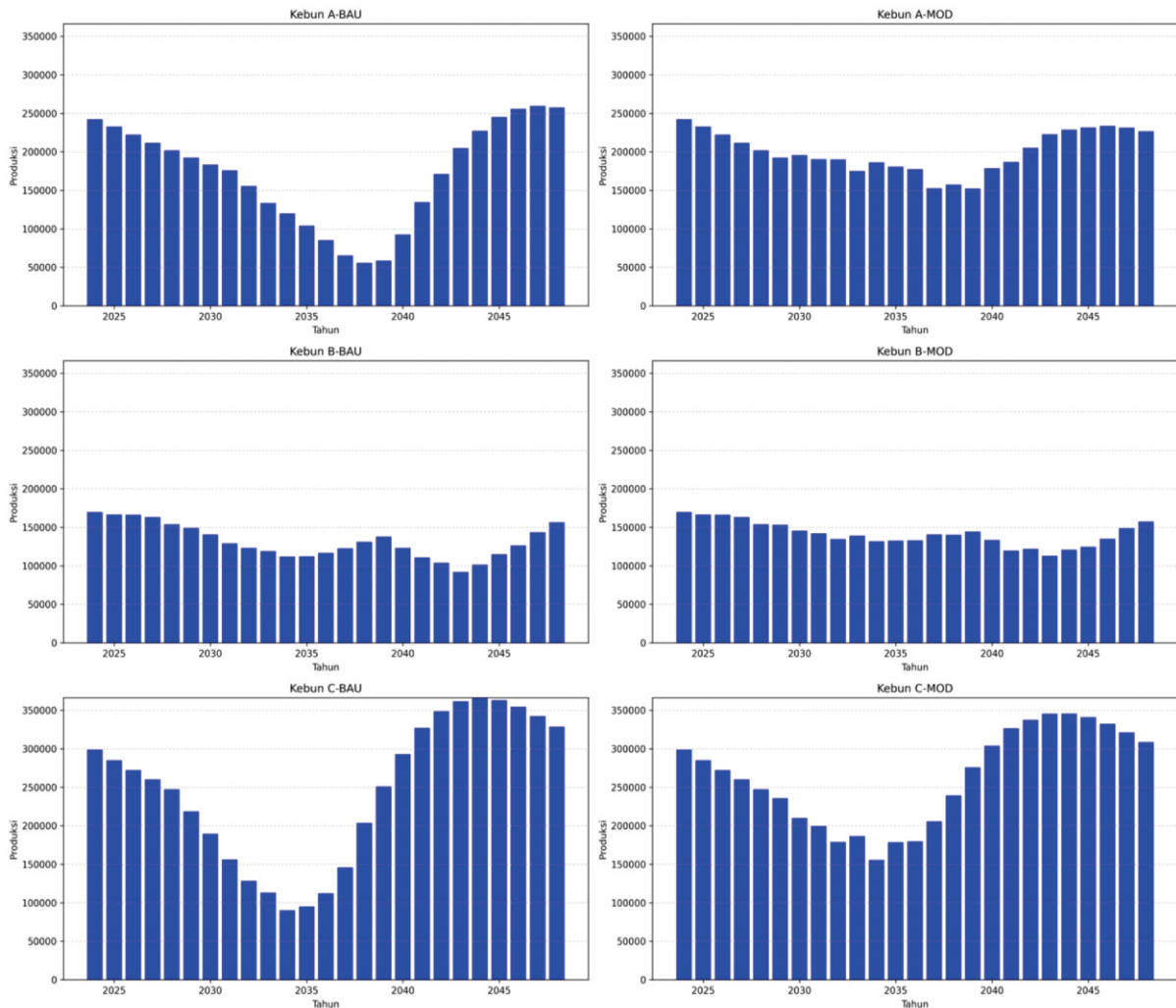
Pada kenyataannya di lapangan, tidak mudah untuk menyusun komposisi umur ideal. Sebagian besar areal perkebunan umumnya dibangun dengan komposisi umur mengikuti dinamika kondisi teknis

lapangan misalnya kemudahan akses, keseragaman topografi dan lokasi (satu hamparan lebih diutamakan). Tidak jarang komposisi umur juga ditentukan dinamika kondisi non-teknis misalnya kondisi sosial sekitar kondisi kebun. Dengan kondisi demikian, maka diperlukan perencanaan matang agar dapat dicapai komposisi umur ideal.



Pada Gambar 5 disajikan beberapa contoh luasan aktual dari Kebun A, B, dan C. Dapat dilihat bahwa komposisi umur saat ini di Kebun A, B, dan C kurang ideal karena luasan per umur tanaman tidak merata dan cenderung terdapat pengelompokan pada beberapa umur tanam. Kondisi ini sangat

sering ditemui di lapangan. Dengan asumsi bahwa pemilik kebun ingin melakukan perbaikan komposisi umur tanaman agar mencapai komposisi umur tanam ideal, maka dilakukan simulasi upaya perbaikan. Hasil simulasi upaya perbaikan disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil simulasi produksi upaya perbaikan komposisi umur pada Kebun A, B, dan C. BAU mengindikasikan kondisi replanting normatif mengikuti pola bahwa setelah tanaman berumur 25 tahun akan diganti dengan tanaman baru, sedangkan MOD mengindikasikan modifikasi replanting dengan mempercepat replanting beberapa umur tanaman agar dicapai komposisi umur ideal.

Figure 11. Simulated production results of age composition improvement efforts in Estates A, B, and C. BAU indicates the baseline replanting condition following the conventional pattern where palms older than 25 years are replaced, while MOD indicates a modified replanting strategy by accelerating replanting of certain age groups to achieve the ideal age composition.

Dapat dilihat bahwa setelah dilakukan modifikasi replanting akan diperoleh capaian produksi yang lebih tinggi dan tidak fluktuatif (lebih *smooth*). Namun demikian, oleh karena komposisi umur yang sangat mengelompok, maka tidak bisa serta merta dilakukan penyesuaian komposisi umur mengikuti komposisi umur ideal. Dalam kajian ini, dan juga bisa dijadikan sebagai saran teknis untuk kondisi lapangan yang serupa dengan kondisi pada Kebun A, B, dan C adalah dengan melakukan manajemen percepatan replanting, khususnya pada tanaman yang sudah berumur > 20 tahun (lihat detail perubahan komposisi antar skenario pada Lampiran 3).

Selain percepatan replanting, dapat juga dilakukan kombinasi antara percepatan dan perlambatan replanting, hingga misalnya maksimal 27 tahun. Kombinasi percepatan dan perlambatan ini dapat menjadi salah satu solusi bagi perkebunan yang dari awal memiliki komposisi tanaman yang tidak seimbang. Kombinasi ini dilakukan untuk tetap mempertahankan produksi agar tidak terlalu turun sembari tetap melakukan perbaikan RUT. Penentuan strategi-strategi percepatan maupun kombinasi percepatan dan perlambatan replanting harus dikaji dengan matang. Perlu diperhatikan juga bahwa luasan yang di-replanting harus mempertimbangkan kemampuan perusahaan dalam manajemen biaya dan tenaga untuk mengelola tanaman belum menghasilkan (TBM). Luasan replanting yang terlalu luas membutuhkan alokasi biaya, tenaga, dan pengawasan yang lebih besar.

KESIMPULAN

Pengelolaan komposisi umur tanaman kelapa sawit merupakan aspek krusial dalam menjaga produktivitas kebun secara berkelanjutan. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa komposisi umur tanaman dalam perkebunan kelapa sawit yang ideal adalah 12% Tanaman Belum Menghasilkan (TBM), 20% Tanaman Muda (TMD), 20% Tanaman Remaja (TMR), 28% Tanaman Dewasa (TDW), 16% Tanaman Tua (TTA), dan 4% Tanam Ulang (TU). Komposisi ini terbukti mampu menghasilkan produksi tinggi yang stabil dan fluktuasi yang rendah (lebih merata) dalam jangka panjang, dengan rerata umur tanaman (RUT) optimal berkisar antara 10–13 tahun, dengan rerata 13,22 tahun.

Dalam praktiknya, untuk mencapai komposisi umur ideal diperlukan perencanaan replanting yang terprogram dan sistematis. Pada kasus dengan komposisi umur tanaman yang terlanjur mengelompok, maka perlu dilakukan percepatan maupun kombinasi percepatan dan perlambatan penanaman ulang pada tanaman berumur >20 tahun, tetapi tetap mempertimbangkan luas TBM agar tidak terlalu luas atau melebihi kemampuan perusahaan perkebunan dalam mengelolanya. Penting bagi pelaku usaha perkebunan kelapa sawit, baik skala besar maupun kecil, untuk mulai memperhitungkan komposisi umur tanaman secara cermat. Pendekatan ini menjadi kunci dalam menciptakan sistem produksi kelapa sawit yang berkelanjutan, stabil, dan efisien dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A., Kasim, S., Ishak, M. Y., & Uddin, M. K. (2023). Maximizing Oil Palm Yield: Innovative Replanting Strategies for Sustainable Productivity. In *Journal of Environmental and Earth Sciences* (Vol. 5, Issue 2, pp. 61–75). Bilingual Publishing Group. <https://doi.org/10.30564/jees.v5i2.5904>
- Ardana, I. K., Wulandari, S., & Hartati, R. S. (2022). Urgency to accelerate replanting of Indonesian oil palm: A review of the role of seed institutions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 974(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012104>
- Faeid, M. Z. M., Abidin, N. Z., & Applanaidu, S. D. (2020a). Determining optimal replanting rate in palm oil industry, Malaysia: a system dynamics approach optimal policy search in oil palm plantation feedback loops using system dynamics optimisation. *Int. J. Information and Decision Sciences*, 12(2). <https://doi.org/10.1504/IJIDS.2020.106728>
- Faeid, M. Z. M., Abidin, N. Z., & Applanaidu, S. D. (2020b). Determining optimal replanting rate in palm oil industry, Malaysia: a system dynamics approach optimal policy search in oil palm plantation feedback loops using system dynamics optimisation. *Int. J. Information and Decision Sciences*, 12(2)



- Harahap, I. Y., & Lubis, M. E. S. (2018). Dinamika air dan fase-fase perkembangan pembungaan penentu produktivitas kelapa sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 26(3), 101–112. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v26i3.64>
- Henson, I. E., & Dolmat, M. T. (2004). Seasonal variation in yield and developmental processes in an oil palm density trial on a peat soil: 1. yield and bunch number components. *Journal of Oil Palm Research*, 16(2), 88–105. <https://doi.org/10.5555/20053078836>
- Jamshidi, E. J., Yusup, Y., Hooy, C. W., Kamaruddin, M. A., Mat Hassan, H., Muhammad, S. A., Mohd Shafri, H. Z., Then, K. H., Norizan, M. S., & Tan, C. C. (2024). Predicting oil palm yield using a comprehensive agronomy dataset and 17 machine learning and deep learning models. *Ecological Informatics*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102595>
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives*. John Wiley.
- Kome, G. K., & Tabi, F. O. (2020). Towards Sustainable Oil Palm Plantation Management: Effects of Plantation Age and Soil Parent Material. *Agricultural Sciences*, 11(01), 54–70. <https://doi.org/10.4236/as.2020.111004>
- Latha, P. M., Reddy, M. T., Pratap, B., & Maheswarappa, H. P. (2021). Pattern of fresh fruit bunch (FFB) production and yield distribution of oil palm in Andhra Pradesh. *J. Res. ANGRAU*, 49(4), 49–58.
- Lubis, M. F., & Lubis, I. (2018). Analisis produksi kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kebun Buatan, Kabupaten Pelalawan, Riau. *Bul. Agrohorti*, 6(2), 281–286. <https://doi.org/10.29244/agrob.v6i2.18945>
- Manorama, K., Reddy, G. P. O., Suresh, K., Ray, S. S., Behera, S. K., Kumar, N., & Mathur, R. K. (2024). Characterization and Mapping of the Potential Area of Oil Palm Using Multi-Criteria Decision Analysis in a Geographic Information Systems Environment. *Agriculture (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture14070986>
- Nasution, Z., Simamora, A. N., Rinanda, K., Siregar, F., & Yenni, Y. (2024). *Penerapan Analisis Keputusan Multi Kriteria Dengan Metode PROMETHEE Dalam Seleksi Awal Calon Pohon Induk Kelapa Sawit Dura: Studi Kasus Data Pengamatan Lapangan Di Kebun Percobaan PPKS BJ43S (DXD), Bah Jambi, Sumatera Utara*. 32(3), 176–189. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v32i3.274>
- Petri, H., Hendrawan, D., Bähr, T., Musshoff, O., Wollni, M., Asnawi, R., & Faust, H. (2024). Replanting challenges among Indonesian oil palm smallholders: a narrative review. *Environment, Development and Sustainability*, 26(8), 19351–19367. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03527-z>
- Sibhatu, K. T. (2023). Oil palm boom: its socioeconomic use and abuse. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1083022>
- Suhartono, M. J., Setyawan, H., & Aji, W. A. (2023). Identifying plant age to determine production trend of oil palm fresh fruit bunches. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 6(2), 378–384. <https://doi.org/10.37637/ab.v6i2.1174>
- Suharyanti A., N., Mizuno, K., & Sodri, A. (2020). The effect of water deficit on inflorescence period at palm oil productivity on peatland. *E3S Web of Conferences*, 211. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021105005>
- Tabe-Ojong, M. P., Molua, E. L., Nanfouet, M. A., Mkong, C. J., Kiven, V., & Ntegang, V. A. (2023). Oil palm production, income gains, and off-farm employment among independent producers in Cameroon. *Ecological Economics*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107817>
- 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. In *European Journal of Agronomy* (Vol. 83, pp. 57–77). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
- Yousefi D.B., M., Mohd Rafie, A. S., Abd Aziz, S., Azrad, S., Mazmira Mohd Masri, M., Shahi, A., & Marzuki, O. F. (2021). Classification of oil palm female inflorescences anthesis stages using machine learning

approaches. *Information Processing in Agriculture*, 8(4), 537–549. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.11.007>

Zhao, J., Elmore, A. J., Lee, J. S. H., Numata, I., Zhang, X., & Cochrane, M. A. (2023).

Replanting and yield increase strategies for alleviating the potential decline in palm oil production in Indonesia. *Agricultural Systems*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103714>.

Lampiran 1. Proporsi luasan (ha) per umur tanam untuk masing-masing skenario (luas total areal diasumsikan sama yaitu 10.000 ha)

Appendix 1. Area proportion (ha) by planting age for each scenario (Assuming a Total Area of 10,000 ha)

