

PARTISI ASIMILAT PADA BUAH KELAPA SAWIT DAN KAITANNYA DENGAN KAPASITAS *SOURCE* DAN *SINK*

Renica Nurhermawati^{*}, Nanang Supena, dan Mohamad Arif

Abstrak - Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu tanaman penghasil minyak nabati yang penting di dunia. Partisi asimilat atau distribusi karbohidrat yang diasimilasi di dalam tanaman kelapa sawit memainkan peran penting dalam menentukan produktivitas dan hasil panen. Artikel ini membahas partisi asimilat buah kelapa sawit dan kaitannya dengan kapasitas organ *source* dan *sink*. Organ *source* mengacu pada bagian tanaman yang aktif melakukan fotosintesis, seperti daun dan jaringan hijau, yang bertanggung jawab atas produksi asimilat melalui fotosintesis, sedangkan organ *sink* termasuk buah, akar, dan jaringan penyimpanan lainnya yang secara aktif mengkonsumsi dan mengakumulasi asimilat. Alokasi asimilat yang efisien antara *source* dan *sink* ini sangat penting untuk mencapai pertumbuhan dan perkembangan buah yang optimal pada kelapa sawit karena kapasitas *source* dan *sink* mempengaruhi besaran partisi asimilat pada tandan buah. Kapasitas *source* dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal tanaman. Faktor internal seperti morfologi daun, kandungan klorofil, efisiensi fotosintesis, aktivitas *phloem*, dan penyerapan asimilat oleh *sink*, sedangkan faktor eksternal seperti kondisi lingkungan tumbuh yang mencakup cahaya, suhu, ketersediaan air dan nutrisi. Sementara kapasitas *sink* dipengaruhi oleh pembentukan *fruitset* yang dikendalikan oleh faktor manajemen, biotik, dan perubahan iklim. Pemahaman mengenai partisi asimilat pada kelapa sawit ini memiliki implikasi yang signifikan terhadap pengelolaan tanaman dan produktivitas. Peningkatan kapasitas *source* dan *sink* dapat dilakukan melalui program pemuliaan dan praktik agronomi seperti pemupukan, irigasi, dan pengendalian hama. Penelitian lebih lanjut di bidang ini sangat penting untuk mengembangkan praktik budidaya yang berkelanjutan dan meningkatkan kelayakan ekonomi produksi kelapa sawit.

Kata kunci: partisi, *best management practice*, *fruitset*, penyerbukan, produktivitas

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan terbesar di Indonesia dengan luas penanaman 15,38 juta hektar dan produksi nasional 48,24 juta ton tandan buah segar (TBS) di tahun 2022 (Direktorat Jenderal Perkebunan [Ditjenbun], 2022). Peran kelapa sawit sebagai penghasil minyak nabati utama dunia, menggantikan kedelai sejak tahun 2006. Produksi global minyak kelapa sawit pada tahun 2019 paling banyak disumbangkan oleh Indonesia (57%) dan Malaysia (27%) (*Food and Agriculture Organization* [FAO], 2022). Untuk mempertahankan posisi penyumbang minyak nabati terbesar di dunia, perkebunan kelapa sawit baik yang bernaung di

bawah Badan Usaha Milik Negara (BUMN), perusahaan swasta, maupun perkebunan rakyat berfokus pada pemanfaatan buah (tandan) kelapa sawit sebagai bagian ekonomis dari tanaman tersebut, sehingga peningkatan TBS menjadi sangat penting.

Usaha peningkatan produksi TBS dapat dilakukan dengan meningkatkan produksi bahan kering dan partisi asimilat ke buah yang menjadi *sink* utama pada tanaman kelapa sawit (Fairhurst & Griffiths, 2014). Partisi asimilat adalah proses dimana asimilat hasil fotosintesis dialokasikan ke organ tanaman yang berbeda (Anuradha, Goyal, & Bishnoi, 2017). Besarnya partisi asimilat yang dialokasikan berkaitan dengan keseimbangan *source* dan *sink*. Dalam fisiologi tanaman, *source* adalah organ yang berpotensi untuk melakukan fotosintesis dan *sink* adalah organ yang berpotensi untuk memanfaatkan produk fotosintesis (Bera et al. 2022). Hasil panen dipengaruhi oleh kapasitas *source* dan *sink* serta interaksi antara keduanya (Koupaei & Aghdam, 2022).

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

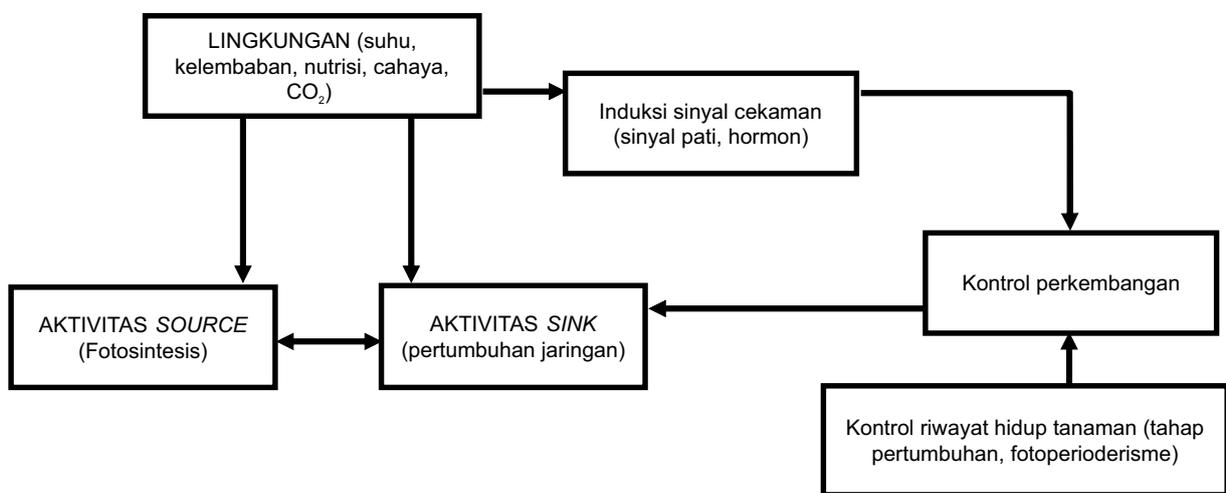
Renica Nurhermawati (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamsno No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: renicanurhermawati@gmail.com

Smith, Rao, & Merchant (2018), menambahkan bahwa kekuatan *source-sink* dan ketersediaan nutrisi selama fase pengisian biji juga dapat mempengaruhi produksi biji.

Kapasitas *source* dan *sink* masing-masing tanaman berbeda tergantung pada genetik tanaman dan lingkungan tumbuhnya. Kapasitas *source* yang optimal dapat mendukung ketersediaan asimilat yang akan didistribusikan ke *sink*, namun hal ini juga harus diseimbangkan dengan kekuatan *sink* untuk menampung asimilat tersebut. Perbedaan karakter

source dan *sink* disebabkan oleh faktor genetik dan lingkungan (Koupaei & Aghdam, 2022) (Gambar 1). Terkait dengan hal ini, menurut Corley & Tinker (2016), hasil tanaman dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu genetik, lingkungan, dan interaksi keduanya. Lingkungan yang optimal dapat mendukung produksi yang optimal pula, sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi partisi asimilat ke buah penting untuk dikaji, terutama kaitannya dengan keseimbangan *source* dan *sink* yang dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal tanaman.



Gambar 1. Hubungan lingkungan dengan dinamika antara source dan sink (Korner, 2015)

PARTISI ASIMILAT

Asimilat dihasilkan melalui proses fotosintesis yang dilakukan oleh daun. Asimilat yang terbentuk kemudian dibagi dan ditranslokasikan ke organ-organ yang dapat menyimpan ataupun memakainya (*sink*). Ward, Kuhn, Tegeder, & Frommer (1997), mengemukakan bahwa penerima asimilat yang terbesar biasanya merupakan jaringan muda yang sedang dalam masa pertumbuhan atau penambahan biomassa. Daun mensintesis sukrosa yang merupakan karbohidrat utama, kemudian didistribusikan melalui floem untuk memasok energi dan struktur karbon ke organ-organ non-fotosintesis. Mereka juga berpendapat bahwa Gen transporter memainkan peran penting dalam transpor sukrosa pada tanaman.

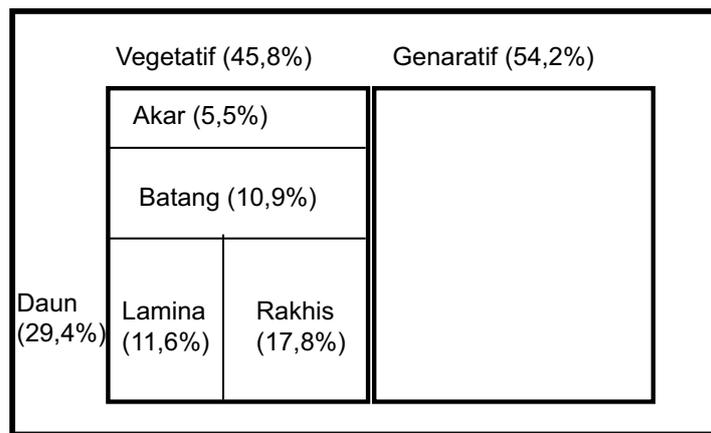
Produksi bahan kering pada tanaman kelapa sawit bervariasi antara 0,6 – 1 kg CH₂O per pohon per hari,

nilai tersebut sekitar 20,8% dari produksi asimilat harian (hasil fotosintesis) (Harahap, Subronto, & Darnosarkoro, 1998). Intensitas cahaya matahari dan ketersediaan air yang menyebabkan variasi tersebut (Harahap & Darnosarkoro, 2000). Sisa asimilat (79,2%) digunakan untuk aktivitas respirasi pertumbuhan (17,4%) dan respirasi perawatan tanaman (61,8%) (Harahap et al., 1998). Asimilat yang dihasilkan kemudian dipartisi 46,8% untuk organ vegetatif (5,5% akar, 10,9% batang, 11,6% lamina, dan 17,8% rakhis) dan 54,2% organ generatif (Harahap & Darnosarkoro, 2000) (Gambar 2).

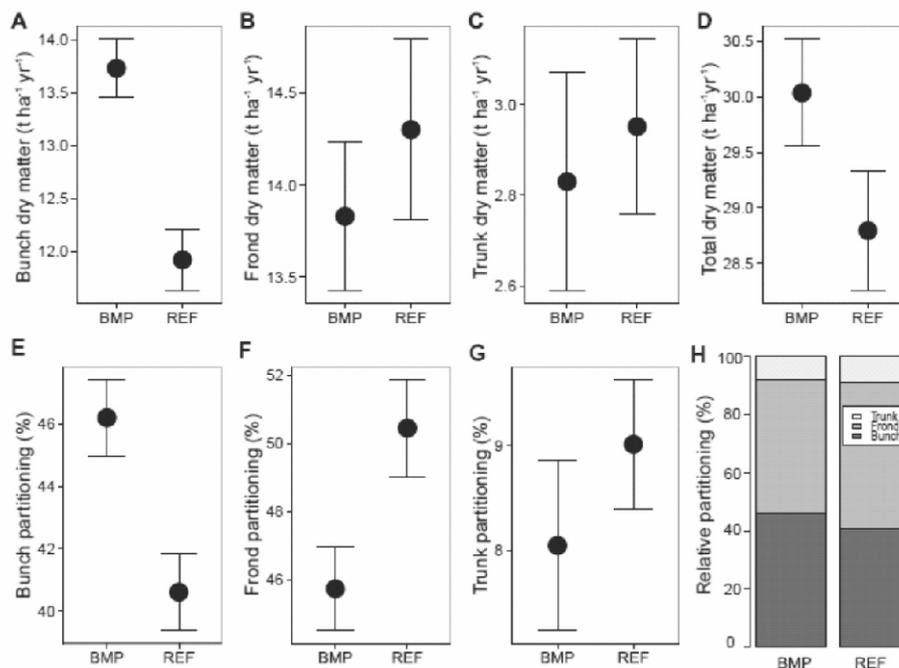
Peningkatan produksi bahan kering dan partisi asimilat ke tandan buah penting untuk peningkatan berkelanjutan minyak sawit. Beberapa praktik pengelolaan telah dikembangkan untuk perkebunan kelapa sawit, termasuk pengelolaan unsur hara spesifik lokasi, pengelolaan kanopi, dan

pemanenan. Tao et al. (2017) meneliti efek dari praktik pengelolaan terbaik (BMP = *best management practice*) terhadap partisi asimilat ke tandan buah kelapa sawit. Hasilnya menunjukkan BMP produksi tahunan bahan kering di atas permukaan tanah adalah $30,0 \pm 0,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ sedangkan dengan metode pengelolaan konvensional adalah $28,8 \pm 0,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.

Artinya efisiensi produksi bahan kering melalui proses fotosintesis lebih tinggi di bawah BMP. Selain itu efisiensi produksi buah juga meningkat sebesar 12% dan bahan kering daun berkurang hingga 8% di bawah BMP (Gambar 3). Berkurangnya bahan kering daun di bawah BMP mengindikasikan asimilat yang dialokasikan ke buah lebih banyak di bawah BMP dibandingkan metode budidaya konvensional.



Gambar 2. Diagram partisi asimilat pada tanaman kelapa sawit menghasilkan (Harahap & Darmosarkoro, 2000)



Gambar 3. Perbandingan produksi tahunan dan partisi bahan kering di bawah BMP dan praktik perkebunan standar (REF) (Tao et al., 2017).

Berdasarkan hasil penelitian Tao et al. (2017) diketahui bahwa metode budidaya yang diterapkan pada perkebunan kelapa sawit pun mempengaruhi besarnya partisi asimilat yang dialokasikan ke tandan buah yang akhirnya akan mempengaruhi tingkat produksi. Di bawah BMP seperti pengelolaan nutrisi yang lebih baik, pemangkasan pelepah dan panen yang optimal, dan drainase tambahan, bahan kering dipartisi lebih banyak ke tandan buah dan lebih sedikit ke pelepah yang menyebabkan indeks tandan lebih tinggi dan bahan kering di pelepah berkurang.

Berbeda halnya jika kondisi optimum untuk tanaman tidak terpenuhi, seperti pada penelitian Hu, Coomer, Loka, Oosterhuis, & Zhou (2017) yang mengobservasi efek kekurangan Kalium (K). Kondisi kekurangan K mengakibatkan asam amino bebas pada daun meningkat karena transpor asam amino menurun di dalam floem, meskipun begitu rasio gula terlarut terhadap asam amino bebas dan rasio C/N meningkat pada daun. Hal ini disebabkan karena pengurangan ekspor floem untuk sukrosa lebih banyak (54,6 – 78,0%) dibandingkan asam amino (36,7 – 85,4%). Cui, Lamade, & Tcherkez (2020) menambahkan bahwa K yang rendah menyebabkan modifikasi komposisi gula terutama pada rachis dan penurunan tingkat ekspor sukrosa dan heksosa dari pelepah. Hasilnya, pelepah mengandung lebih banyak pati dan akan menyebabkan penurunan partisi asimilat ke buah, sehingga dapat disimpulkan bahwa partisi asimilat dalam bentuk *Non Structural Carbohydrate* (NSC) maupun asam amino ke buah berkurang dalam kondisi kekurangan K. Dalam hal ini kapasitas fotosintesis daun (kapasitas *source*), *sink* dan kapasitas pengangkutan saluran pengekspor gula daun dan pengangkut air harus dikoordinasikan dengan baik untuk mendapatkan produktivitas tanaman yang tinggi (Adams, Stewart, & Adams, 2017).

KAPASITAS SOURCE

Pengertian *source* dalam fisiologi merujuk pada organ yang menghasilkan asimilat, contoh yang paling umum adalah daun yang berfungsi melakukan fotosintesis pada tanaman (Mengel et al., 2001). Daun pada tahap awal pertumbuhan (daun muda) berperan sebagai *sink* yang memanfaatkan asimilat untuk pertumbuhannya dan setelah dewasa berperan sebagai *potential source* (Zamski & Schaffer, 2017).

Pembahasan mengenai kapasitas *source* berkaitan dengan proses pembentukan bahan kering (*Dry Matter Production*). Menurut Fageria et al. (2006), bahan kering organik mengacu kepada seluruh bahan organik yang diproduksi melalui aktivitas fotosintesis dan metabolisme protein seperti glukosa, pati, selulosa, asam amino, protein, dan senyawa organik lainnya, sedangkan bahan kering tanaman mengacu pada total hasil biologis seperti daun, batang, akar, dan bagian tanaman yang lain yang digunakan secara komersial seperti umbi, biji, dan buah.

Kapasitas *source* menggambarkan seberapa banyak asimilat yang dapat dihasilkan melalui proses fotosintesis oleh organ *source*, terutama daun. Proses menghasilkan asimilat yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan tentu sangat kompleks, dan banyak interaksi yang terjadi antara tumbuhan dengan lingkungannya. Proses metabolisme yang terjadi di dalam tumbuhan itu sendiri pun mempengaruhi jumlah asimilat yang dihasilkan dalam waktu tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa kapasitas *source* dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal tanaman yang akan dibahas pada sub bab berikut.

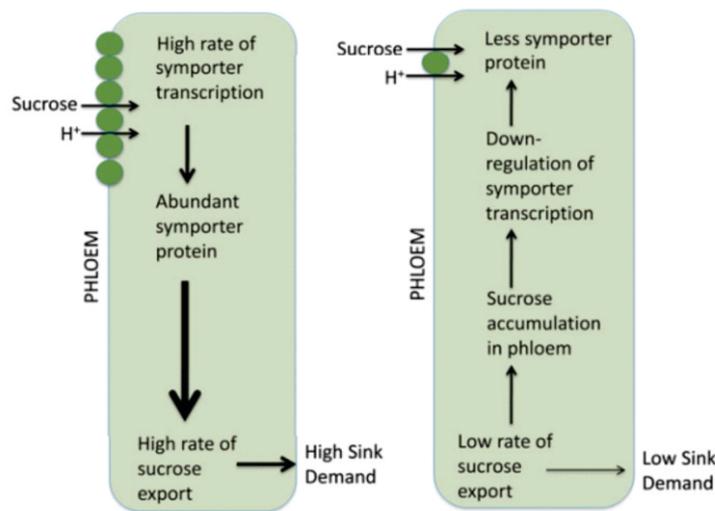
Faktor Internal Tanaman

Kapasitas *source* bergantung pada laju fotosintesis atau laju pembentukan bahan kering pada tanaman. Menurut Jaafar & Ibrahim (2014) pembatas utama laju fotosintesis pada tanaman C3 seperti kelapa sawit seringkali berada di pusat reaksi yang dikatalisis oleh enzim ribulosa-1,5 bisfosfat (RuBP) karboksilase/oksigenase (Rubisco), oleh karena itu, mengurangi fotorespirasi atau meningkatkan afinitas enzim untuk karbon dioksida (CO₂) dapat menjadi tujuan jangka panjang untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

Kelapa Sawit adalah tanaman dengan tingkat fotosintesis yang tinggi pada penyinaran yang tinggi (Apichatmeta, Sudsiri, & Ritchie, 2017). Kapasitas fotosintesis dapat dinilai secara eksperimental sebagai tingkat jenuh cahaya dari penyerapan CO₂ atau transpor elektron fotosintesis dari evolusi oksigen (Adams et al., 2017). Apichatmeta et al. (2017), mengukur laju fotosintesis tanaman kelapa sawit remaja (1 - 2 tahun) dan dewasa (> 5 tahun) menggunakan teknologi *Pulse Amplitude Modulation* (PAM), dari penelitian tersebut ditemukan laju evolusi oksigen fotosintetik pada tanaman kelapa sawit

remaja dan dewasa adalah 89,21 dan 305,3 mol O₂ mg Chl a⁻¹ h⁻¹, kandungan klorofil a 242,8 dan 474 mg/m², serta efisiensi fotosintesis berdasarkan luas permukaan daun 0,204 dan 0,27. Perbedaan laju fotosintesis pada kelapa sawit remaja dan dewasa disebabkan karena perbedaan absorbansi cahaya. Kelapa sawit dewasa memiliki anatomi daun yang lebih tebal dari pada daun kelapa sawit remaja, hal ini yang menyebabkan lebih banyaknya cahaya yang diserap daripada cahaya yang diteruskan (Apichatmeta et al., 2017). Hal ini mendukung pernyataan Korner (2015) yang menyatakan bahwa aktivitas *source* pada suatu tanaman juga di pengaruhi oleh tahap pertumbuhan tanaman itu sendiri.

Kekuatan *source* untuk menyediakan asimilat juga dapat mempengaruhi permintaan oleh *sink*. Hal ini berkaitan dengan peristiwa *phloem loading*, yaitu pengangkutan asimilat oleh floem dari daun ke buah. Menurut Ainsworth & Bush (2011), jika permintaan *sink* tinggi, tingkat sukrosa di daun rendah dan akan memicu transkripsi simporter tinggi, sehingga meningkatkan kapasitas *phloem loading* dan mendorong peningkatan fotosintesis. Namun jika permintaan sink turun, ekspor melambat dan terjadi penurunan transkripsi simporter. Ketika kapasitas *phloem loading* turun, karbohidrat kemudian menumpuk di mesofil dan laju fotosintesis diregulasi menurun (Gambar 2).



Gambar 4. Kapasitas *phloem loading* berdampak pada hubungan *source* dan *sink* tanaman. Diadaptasi dari (Ainsworth & Bush, 2011)

Faktor Eksternal Tanaman

Selain kondisi yang berasal dari dalam tanaman, faktor lingkungan seperti radiasi matahari, suhu, konsentrasi O₂ dan ketersediaan air serta nutrisi juga dapat mempengaruhi aktivitas *source* (Jaafar & Ibrahim, 2014). Pada spesies *Acrocomia aculeata* (*macauba palm*), kondisi lingkungan yang mendukung fotosintesis memberikan pengaruh pada peningkatan kandungan minyak di mesokarp, dan tanaman dapat beradaptasi selama perubahan musim dengan kontrol stomata, penyesuaian efisiensi penggunaan cahaya, dan pembuangan energi berlebih melalui NPQ (*Non-photochemical quenching*) ketika ketersediaan air

tanah menipis (Oliveira et al., 2022). Tanaman *Euterpe edulis* yang juga berasal dari keluarga palem mengalami perpanjangan umur daun di bawah radiasi matahari yang rendah, namun produksinya menurun. Hal ini terjadi karena pada tingkat radiasi rendah, transpor elektron menurun sehingga kapasitas fotosintesis juga akan menurun (Gatti, Campanello, & Goldstein, 2011).

Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman khas daerah tropis yang memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan daerah sub tropis, sehingga suhu juga dapat mempengaruhi aktivitas *source* lewat pengaruhnya terhadap metabolisme sel-sel di organ

tanaman. Suhu yang tinggi menyebabkan evapotranspirasi meningkat, sehingga kebutuhan air tanaman juga meningkat. Jika hal ini tidak diimbangi dengan ketersediaan air yang cukup, maka akan menurunkan aktivitas *source* yang pada akhirnya menurunkan produksi tanaman (Benny, Putra, & Supriyanta, 2015). Suhu yang tinggi (di atas 32°C) dapat mengurangi produksi bahan kering, dan suhu yang rendah (di bawah 21°C) akan menyebabkan tertundanya kematangan buah dan meningkatkan aborsi bunga, sementara itu suhu di bawah 15°C akan menghambat pertumbuhan kelapa sawit (Soh, Mayes, & Roberts, 2017).

Perubahan iklim tidak hanya berdampak pada kenaikan suhu bumi, namun juga peningkatan CO₂. Jaafar & Ibrahim (2014), melakukan sebuah penelitian terkait respon bibit kelapa sawit terhadap peningkatan konsentrasi CO₂. Mereka menyimpulkan bahwa bibit kelapa sawit memberikan respon yang positif terhadap pengayaan CO₂ dalam hal peningkatan laju fotosintesis dan pengurangan laju respirasi gelap. Berdasarkan hal tersebut kelapa sawit diharapkan dapat meningkatkan produksinya seiring dengan peningkatan aktivitas *source* di bawah peningkatan konsentrasi CO₂.

Kelapa sawit merupakan tanaman yang peka terhadap cekaman kekeringan. Kekeringan dapat menurunkan laju asimilasi CO₂ secara signifikan, karena ketika terjadi cekaman kekeringan, rasio O₂/CO₂ di dalam kloroplas, khususnya pada stroma akan meningkat, hal ini menyebabkan peningkatan aktivitas oksigenase Rubisco yang merupakan enzim penting pada fotosintesis dan memicu terjadinya fotorespirasi (Filho et al., 2021). Tezara et al. (2021), berpendapat bahwa penurunan kapasitas pertukaran gas juga terjadi saat adanya defisit air dengan respon pertama adalah penutupan stomata dan respon kedua adalah pengurangan kapasitas fotosintesis, namun setiap genotip memiliki kinerja fisiologis yang berbeda yang membuat beberapa genotip toleran terhadap defisit air.

Ketersediaan air yang berlebihan juga tidak baik bagi kelapa sawit karena genangan dapat menghambat difusi gas yang terjadi di akar karena ketersediaan oksigen sedikit dan menurunkan penyerapan hara sehingga akan menghambat pertumbuhan tanaman dan menurunkan hasil panen karena fotosintesis dan respirasi terganggu (El-

Nashar, 2013). Pada kondisi kekurangan oksigen akan terjadi penumpukan etilen pada tanaman dan berkurangnya konsentrasi asam absisat, akan mengakibatkan daun menjadi kuning (Salazar, Hernandez, dan Pino, 2015), namun kelapa sawit dapat melakukan adaptasi morfologis berupa terbentuknya pneumatophore dan adaptasi anatomis berupa pembentukan aluran aerenkim (Firmansyah 2018). Pada lahan gambut, tinggi muka air 0,3 sampai dengan 0,4 m dari atas permukaan tanah dapat menaikkan penyerapan fotosintesis sebesar 3,6% dan mengurangi emisi CO₂ di permukaan tanah sebesar 11% dibandingkan dengan tinggi muka air standar industri yaitu 0,6 m (McCalmont et al., 2023).

Selain air, hal krusial lainnya yang sangat dibutuhkan tanaman untuk meningkatkan aktivitas *source* nya adalah ketersediaan nutrisi. Layaknya seperti manusia yang membutuhkan makanan, seperti itu juga peran nutrisi bagi tanaman. Nutrisi dibutuhkan pada setiap fase kehidupan tanaman. Sehingga kekurangan nutrisi akan sangat mempengaruhi performa tanaman baik secara fisiologi maupun morfologi. Contoh umumnya adalah Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) yang banyak diaplikasikan sebagai input tambahan dalam budidaya kelapa sawit komersial.

Nitrogen memainkan peran penting dalam budidaya kelapa sawit. Pemupukan dengan N merupakan praktik manajemen yang penting di perkebunan kelapa sawit untuk menjaga kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. N mendorong pertumbuhan tanaman yang cepat dan meningkatkan hasil panen serta kualitas kelapa sawit, karena N merupakan komponen penting dalam klorofil yang terlibat dalam proses fotosintesis dan berkontribusi terhadap produksi bahan kering (Priambodo, Hariyadi, Suwanto, & Santikayasa, 2020). Aktivitas *source* akan sangat dipengaruhi oleh keberadaan klorofil dan struktur tanaman. Struktur tanaman yang baik dan klorofil yang cukup akan menyerap energi matahari dalam jumlah yang optimal, sehingga dapat memaksimalkan aktivitas *source*. Peningkatan ekstraksi, penyerapan, transportasi, asimilasi, dan remobilisasi nitrogen pada tanaman penting untuk efisiensi penggunaan nitrogen (Iqbal et al., 2019).

Fosfor merupakan komponen integral dari senyawa penting dalam sel tanaman yang terlibat

dalam fotosintesis, seperti intermediet gula-fosfat dan fosfolipid yang membentuk membran tanaman (Naswir et al., 2019). Aplikasi fosfor terbukti meningkatkan panjang pelepah, lingkaran batang, dan kadar unsur hara P pada daun kelapa sawit berumur 3 tahun (Albari, Supijatno, & Sudrajat, 2018). Ini mengindikasikan bahwa fosfor berperan penting dalam pembentukan struktur organ *source*, yaitu daun.

Selain N dan P, Unsur Kalium (K) juga terlibat di berbagai fungsi fisiologis tanaman seperti hubungan air dan stomata, fotosintesis, transportasi, sinyal sel, dan respon tanaman terhadap beberapa cekaman (Oosterhuis, Loka, Kawakami, & Pettigrew, 2014). Ion K^+ merupakan faktor kunci dalam aktivitas *phloem loading* dan *unloading* melalui peningkatan gradien transmembran (Dreyer, Porras, & Riedelsberger, 2017). Selain itu K yang rendah dan genangan air memiliki efek yang merugikan pada fotosintesis. K rendah memiliki pengaruh yang sangat besar dalam merangsang respirasi daun, dengan akumulasi diferensial dari perantara metabolik dan enzim yang khas dari siklus Krebs dan jalur katabolik alternatif (Cui, Zivy, Lamade, & Tcherkez, 2019). Pada tanaman kapas kandungan K dan klorofil daun, jumlah daun, luas daun, berat kering reproduktif dan berat kering total secara signifikan lebih rendah pada kondisi kekurangan K (Hu, Coomer, Loka, Oosterhuis, & Zhou, 2017). Sehingga kekurangan unsur K dapat menurunkan aktivitas *source* melalui penurunan aktivitas *phloem* serta perubahan morfologi dan fisiologi tanaman itu sendiri terutama pada bagian organ *source*.

KAPASITAS SINK

Tegeder & Masclaux-Daubresse (2018), menjelaskan bahwa asimilat pada buah diperoleh dari dua sumber, yaitu hasil fotosintesis selama tahap pengisian buah dan remobilisasi asimilat yang tersimpan di organ vegetatif. Lebih lanjut mereka menerangkan bahwa asimilat yang diremobilisasi terutama terdiri atas NSC dan nitrogen. Komponen NSC meliputi monosakarida (glukosa dan fruktosa), disakarida (sukrosa), polisakarida (pati dan fruktan), oligosakarida (rafinosa), dan gula alkohol (inositol, sorbitol, dan manitol), sedangkan nitrogen yang diremobilisasi biasanya berbentuk asam amino.

Setelah pembuahan, perkembangan benih dimulai dan benih menjadi *sink* utama untuk asimilat di dalam tanaman. Selain karbohidrat, N juga ditemukan dalam benih yang sedang berkembang dalam bentuk asam amino dan terikat protein fosfor. Kandungan asam amino endosperma meningkat dengan cepat selama dua atau tiga minggu pertama perkembangan benih (Copeland & McDonald, 2001). Pada tanaman kelapa sawit, asimilat yang dialokasikan ke tandan buah berfluktuasi berdasarkan fase perkembangannya. Saat bunga belum mekar, jumlah asimilat yang dipartisi hanya 2% dari pasokan asimilat yang digunakan untuk pertumbuhan tandan buah. Jumlah asimilat tersebut terus meningkat seiring dengan perkembangan tandan buah hingga mencapai puncaknya sekitar 30% (pada kedudukan pelepah ke 27), dan menurun kembali hingga buah mencapai tahap kematangan fisiologis (Harahap dan Darmosarkoro, 2000).

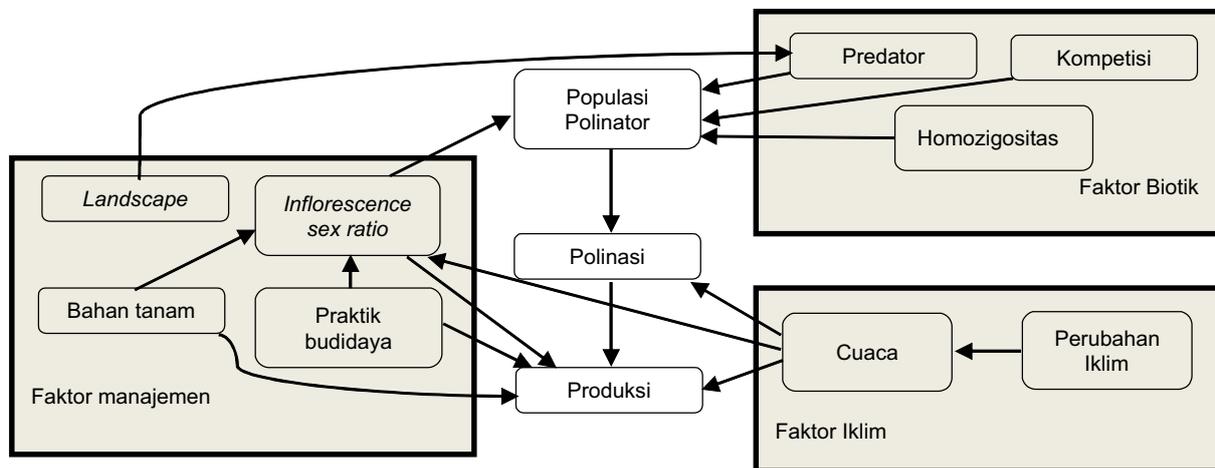
Tabel 1. Komposisi proksimat tandan buah kelapa sawit

Komponen	Mesokarp (%)	Inti (%)	Tandan Kosong (%)
Air	33,28	26,91	5,13
Karbohidrat	5,90	27,00	12,30
Protein	7,44	3,92	4,87
Lemak	32,10	26,24	3,75
Serat Kasar	20,70	13,78	67,00
Abu/Mineral	0,58	2,15	6,87
Acuan	Muchtadi (1992)		Asoka et al. (2021)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Muchtadi (1992), satu tandan buah kelapa sawit yang berumur 13 – 16 minggu terdiri atas 46% buah dan sisanya merupakan tandan kosong. Penelitian tersebut juga menerangkan hasil analisis proksimat yang menggambarkan komponen asimilat penyusun buah kelapa sawit. Di sisi lain Asoka, Abu, & Agwa (2021), menganalisis kandungan proksimat pada tandan buah kosong. Hasil analisis dari kedua penelitian tersebut adalah seperti yang tertera pada Tabel 1.

Buah memiliki pengaruh yang nyata terhadap perilaku fisiologis dan penggunaan air pada tanaman. Adanya buah dapat meningkatkan kekuatan *sink*

tanaman dan meningkatkan penyerapan asimilat oleh *sink*, sehingga mendorong daun sebagai *source* untuk meningkatkan asimilasi fotosintesis (Zhen, Tripler, Pevzner, & Lazarovitch, 2019), namun jumlah buah yang terlalu banyak juga tidak baik karena akan terjadi kompetisi antar *sink* untuk mendapatkan asimilat. Untuk beberapa tanaman buah, biasanya dilakukan *pruning* terhadap buah. Hal ini dilakukan untuk mengoptimalkan pengisian asimilat pada beberapa buah saja sehingga dapat menghasilkan ukuran buah yang diinginkan. Seperti pada tanaman kurma, beban buah dapat dikendalikan dengan mengontrol jumlah tandan per tanaman untuk mengoptimalkan alokasi asimilat (Koupaei & Aghdam, 2022).



Gambar 5. Diagram hubungan komponen-komponen yang mempengaruhi proses penyerbukan kelapa sawit (Li et al., 2019)

Kapasitas *sink* mempengaruhi besarnya produksi yang diperoleh. Kurangnya kapasitas *sink* untuk memanfaatkan peningkatan pasokan asimilat membuat usaha untuk meningkatkan kapasitas *source* menjadi tidak efisien (Wang, Yang, Ren, & Wang, 2014), sehingga diperlukan suatu usaha untuk meningkatkan kapasitas *sink*. Selain kompetisi antar buah, faktor utama yang menjadi penentu besarnya kapasitas *sink* adalah keberhasilan penyerbukan atau pembentukan buah (*fruitset*). Penyerbukan yang gagal dapat menyebabkan gagalnya pembentukan buah. Penyerbukan secara ekologis dipengaruhi oleh populasi serangga penyerbuk, selain itu kompleksitas faktor biotik, manajemen, dan iklim juga dapat

mempengaruhi keberhasilan penyerbukan dan berkontribusi pada sistem produksi kelapa sawit yang lebih berkelanjutan seperti pada Gambar 4 (Li, Tschardtke, Sainters, Buchori, & Grass, 2019).

Faktor Manajemen

Terdapat 4 hal yang termasuk faktor manajemen yang mempengaruhi penyerbukan secara langsung maupun tidak langsung, yaitu *landscape*, bahan tanaman, *inflorescence sex ratio* dan praktik budidaya. *Landscape* terkait dengan letak dan kondisi topografi perkebunan. Dravel, Rasyad, & Manurung (2012), membandingkan *fruitset* dari penyerbukan alami di

lahan dengan kemiringan 0-4%, 12 – 24%, dan 24 – 38%, hasilnya lahan dengan topografi 0 – 4% memiliki jumlah *fruitset* lebih baik yang berasal dari penyerbukan alami dibandingkan tingkat kemiringan lainnya, dan efektivitas penyerbukan alami oleh SPKS lebih aktif pada batas kemiringan lahan 12 – 24% Barat-Timur.

Bahan tanaman memiliki peran dalam penentuan besaran kapasitas *sink*. Hal ini terkait dengan perbedaan sifat yang dibawa oleh masing-masing bahan tanaman. Tidak hanya potensi hasil, varietas kelapa sawit yang berbeda juga menghasilkan profil asam lemak yang berbeda pula, hal ini yang menyebabkan masing-masing bahan tanaman memiliki kegunaannya sendiri di dalam industri (Barcelos et al., 2015). Sehingga pemahaman keragaman genetik populasi pemuliaan kelapa sawit dengan menggunakan penanda molekuler penting dalam pengembangan varietas yang lebih baik terutama dalam hal peningkatan kapasitas *sink* (Okoye, Uguru, Bakoume, Singh, & Okwuagwu, 2016).

Penggunaan bahan tanaman dapat mempengaruhi *influrescence sex ratio* (ISR) pada perkebunan kelapa sawit. Karena ISR tidak hanya dipengaruhi lingkungan, namun juga faktor genetik dari tanaman itu sendiri. ISR yang optimal untuk kelapa sawit dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap produksinya. Faktor-faktor seperti irigasi, kondisi lingkungan, faktor genetik, dan tumpang sari dengan tanaman lain dapat mempengaruhi rasio jenis kelamin dan pada akhirnya mempengaruhi jumlah buah dan hasil panen. Irigasi dapat digunakan untuk meningkatkan kemunculan bunga betina kelapa sawit dan mengurangi aborsi bunga, karena pada kondisi tersedianya air mendorong tanaman untuk dapat memproduksi bahan kering untuk pengisian buah melalui proses fotosintesis dengan optimal. Sebaliknya, cekaman air digunakan untuk menginduksi keluarnya bunga jantan (Noor & Harun, 2004). ISR juga dipengaruhi oleh praktik budidaya yang diterapkan di kebun. Contohnya tumpang sari kelapa sawit dengan tanaman tertentu, seperti *A. excelsa* dan *M. champaca*, dapat memengaruhi rasio jenis kelamin perbungaan kelapa sawit. Penggunaan tanaman sela yang berbeda dapat menghasilkan variasi yang berbeda pula dalam jumlah perbungaan betina dan jantan secara keseluruhan (Khomphet, Eksomtramage, Anothai, & Popet, 2021).

Faktor Biotik

Elaeidobius kamerunicus, yang juga dikenal sebagai kumbang kelapa sawit Afrika, merupakan serangga penting untuk penyerbukan pohon kelapa sawit yang sudah diintroduksi sekitar 40 tahun yang lalu dan setelahnya tidak ada introduksi SPKS baru. Hal ini menyebabkan adanya variasi genetik yang sempit pada hewan ini dan dapat menyebabkan *inbreeding depression* sehingga menurunkan efisiensi penyerbukan (Gintoron et al., 2023). *Inbreeding depression* mengacu pada konsekuensi negatif yang muncul ketika terjadi peningkatan homozigositas yang terjadi karena berkurangnya keragaman genetik. Hal ini mengarah pada ekspresi gen resesif yang merugikan (Saha & Jha, 2019). Sehingga diperlukan adanya usaha untuk meningkatkan variasi genetik pada SPKS untuk dapat mengurangi pengaruh negatif dari *inbreeding depression* terhadap efisiensi penyerbukan.

Selain homozigositas, adanya predator *E. Kamerunicus* juga dapat berdampak pada efisiensi penyerbukan. Dalam sebuah studi Rizali et al. (2019), ditemukan bahwa tidak semua serangga yang mengunjungi bunga kelapa sawit adalah penyerbuk, dan beberapa di antaranya dapat berperan sebagai predator, parasitoid, atau saprofit, yang berpotensi mempengaruhi jumlah dan persistensi *E. Kamerunicus*. Mereka menemukan adanya hubungan positif yang signifikan antara jumlah *E. kamerunicus* dan lalat *Scaptodrosophila sp.*, yang mengindikasikan bahwa kedua spesies tersebut saling berinteraksi walaupun diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jenis interaksinya. Interaksi dapat bersifat kompetisi atau saling melengkapi. Meskipun begitu persaingan untuk mendapatkan bunga kelapa sawit yang terjadi antara *E. kamerunicus* dan serangga pengunjung bunga lainnya dapat mengurangi kelimpahan dan persistensi *E. kamerunicus*. Dan ketersediaan sumber makanan alternatif, seperti tanaman penghasil nektar, dapat mempengaruhi dinamika populasi *E. Kamerunicus*. Selain itu, penggunaan insektisida sintetis untuk mengendalikan hama di perkebunan kelapa sawit, seperti ngengat tandan kelapa sawit, dapat menimbulkan dampak negatif terhadap serangga yang menguntungkan, termasuk predator dan penyerbuk seperti *E. kamerunicus* (Prasetyo & Susanto, 2019).

Perkebunan yang terletak di daerah tertentu

mungkin memiliki musuh alami polinator (*Elaeidobius kamerunicus*) atau yang biasa disebut dengan serangga penyerbuk kelapa sawit (SPKS). Seperti perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur yang memiliki 7 jenis predator SPKS yang terdiri atas 2 jenis burung dan 5 jenis serangga, diantaranya *Odontoponera denticulata*, *Chelisoches morio*, *Velinus nigrigenus*, *Vespa affinis*, dan *V. Bellicosa* (Erniwati & Kahono, 2012).

Faktor Iklim

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan terhadap produktivitas kelapa sawit. Chiarawipa, Thongna, & Sdoodee (2020) menemukan bahwa perubahan iklim memengaruhi berbagai tahap perkembangan tandan buah yang menyebabkan perubahan hasil panen kelapa sawit. Suhu dan curah hujan sangat penting untuk pertumbuhan optimal, pembungaan, dan perkembangan tandan (Corley & Tinker, 2016). Kenaikan suhu akan mengurangi hasil panen beberapa tanaman dan curah hujan memiliki pengaruh yang besar dalam jumlah tandan, sehingga curah hujan yang cukup dapat meningkatkan kapasitas *sink* (Gunawan, Budiastuti, & Wirianata, 2020). Secara umum pengaruh pola curah hujan juga terkait erat dengan kelembaban tanah, suhu tanah, dan respirasi tanah yang dapat mempengaruhi evapotranspirasi tanaman khususnya pada periode pembungaan dan pematangan kelapa sawit (Gunawan et al., 2020).

Temuan-temuan ini menyoroti pentingnya memahami dan beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim terhadap budidaya kelapa sawit untuk memastikan produksi yang berkelanjutan. Langkah-langkah regulasi dan praktik manajemen yang lebih baik diperlukan untuk mengatasi dampak perubahan iklim terhadap produksi kelapa sawit terutama dalam peningkatan kapasitas *sink* dengan memperhatikan keseimbangannya dengan kapasitas *source*.

KESIMPULAN

Partisi asimilat pada buah kelapa sawit dan hubungannya dengan kapasitas *source* dan *sink* memainkan peran penting dalam menentukan

produktivitas dan hasil panen kelapa sawit sebagai tanaman penghasil minyak. Kelapa sawit memiliki hubungan *source-sink* yang kuat, dengan daun yang bertindak sebagai sumber utama asimilat melalui fotosintesis. Alokasi karbohidrat yang efisien yang diproduksi di daun untuk mengembangkan buah sangat penting untuk sintesis dan penyimpanan minyak. Selain itu mencapai keseimbangan antara kapasitas *source* dan *sink* perlu dilakukan untuk mencegah keterbatasan dalam ketersediaan asimilat, yang dapat berdampak signifikan pada produktivitas kelapa sawit. Meningkatkan kapasitas sumber dapat dilakukan melalui praktik agronomi yang meningkatkan efisiensi fotosintesis, luas daun, dan kandungan klorofil dapat meningkatkan produksi asimilat pada kelapa sawit. Sedangkan peningkatan kapasitas *sink* dapat dilakukan dengan mendorong pembentukan *fruitset*. Memahami dinamika alokasi asimilat antara organ *source* dan organ *sink* sangat penting untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan perkembangan buah di perkebunan kelapa sawit. Penelitian lebih lanjut di bidang ini diperlukan untuk mengembangkan praktik budidaya kelapa sawit yang berkelanjutan. Pemahaman yang lebih dalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi alokasi asimilat dapat membantu dalam menyusun strategi untuk meningkatkan pengelolaan tanaman, meningkatkan produktivitas, dan memastikan keberlanjutan jangka panjang budidaya kelapa sawit, serta mempertahankan eksistensinya ditengah perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, B. A., Stewart, J. J., Adams, W. W. (2017). Environmental regulation of intrinsic photosynthetic capacity: an integrated view. *Current Opinion in Plant Biology*, 37, 34 – 41. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.03.008>
- Ainsworth, E.A., & Bush, D.R. (2011). Carbohydrate export from the leaf : a highly regulated process and target to enhance photosynthesis and productivity. *Plant Physiology*, 155, 64 – 69.
- Albari, J., Supijatno, & Sudrajat. (2018). Peranan pupuk nitrogen dan fosfor pada tanaman kelapa sawit (*E. guineensis* Jacq.) Belum Menghasilkan Umur Tiga Tahun. *Bul. Agrohorti*, 6(1):42-49.

- Anuradha, Goyal, R.K., Bishnoi, C. (2017). Assimilate partitioning and distribution in fruit crops: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3), 479-484.
- Apichatmeta, K., Sudsiri, C. J., & Ritchie, R. J. (2017). Photosynthesis of oil palm (*Elaeis guineensis*). *Scientia Horticulturae*, 214, 34 – 40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.013> 0304-4238
- Asoka, M.G., Abu, G.O., & Agwa, O.K. (2021). Proximate and physicochemical composition of oil palm empty fruit bunch. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 17, 26 – 32. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.17.1.0299>
- Barcelos, E., Rios, S.D.A., Cunha, R.N.V., Lopes, R., Motoike, S.Y., Babiychuk, E., Skiryicz, A., Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement, *Frontiers in Plant Science*, 6, 190. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00190>
- Benny, W.P., Putra, E.T.S., & Supriyanta. (2015). Tanggapan produktivitas kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap variasi iklim. *Vegetalika*, 4(4), 21 – 34.
- Bera, A., Shukla, V.K., Venkatswarlu, B., Sow, S., Rajan, S., Jaiswal, S., Vishwakarma, G., Murmu, J., Vishwakarma, G., Alipatra, A., & Maitra, S. (2022). An overview of the source-sink relationship. *Indian Journal of Natural Sciences*. 13 (72). 44216 – 44228.
- Chiarawipa, R., Thongna, K., & Sdoode, S. (2020). Assessing impact of whether variability and changing climate on oil-palm yield in major growing regions of suthern Thailand. *Journal of Agrometeorology*, 22(3), 274 – 284.
- Copeland, L.O., & McDonald, M.B. (2001). *Principle of seed science and thecnology fourth edition*. New York: Springer Science+Business.
- Corley, R.H.V., & Tinker, P.B. (2016). *The oil palm fifth edition*. United Kingdom: Wiley Blackwell Publishing.
- Cui, J., Davanture, M., Zivy, M., Lamade, & E., Tcherkez, G. (2019). Metabolic responses to potassium availability and waterloggingreshape respiration and carbon use efficiency in oil palm. *New Patologist*, 223, 310 – 322. doi: 10.1111/nph.15751
- Cui, J., Lamade, E., & Tcherkez, G. (2020). Potassium deficiency reconfigures sugar export and induces catecholamine accumulation in oil palm leaves. *Plant Science*, 300, 110628. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110628>
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2022. *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2020 – 2022*. [e - b o o k] . Retrieved from <https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2022/08/STATISTIK-UNGGULAN-2020-2022.pdf>
- Dravel, M., Rasyad, A., & Manurung, G.M.E. (2012). *Efektifitas Sistem Penyerbukan Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq) Pada Berbagai Pola Kemiringan Lahan*, Universitas Riau, Indonesia. Retrieved from <https://repository.unri.ac.id/xmlui/bitstream/handle/123456789/16511/Jurnal%20Agroteknologi%20Tropika%20%28Thesis%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dreyer, I., Porras, J.L.G., & Riedelsberger, J. (2017). The potassium battery : a mobile energy source for transport processes in plant vascular tissues. *New Phytologist*, 216, 1049 – 1053. doi:10.1111/nph.14667
- El-Nashar, W.Y. (2013). The combined effect of water-logging and salinity on crops yield. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 6(4), 40 – 49.
- Erniwati, & Kahono, S. (2012). Keanekaragaman dan potensi musuh alami dari kumbang *Elaeidobius kamerunicus* faust (Coleoptera: Curculionidae) di perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. *Zoo Indonesia*, 21(2) : 9 – 15.
- Fageria N.K., Baligar V.C., & Clark R.B. (2006). *Physiology of Crop Production*. [e-book]. Retrieved from https://www.google.co.id/books/edition/Physiology_of_Crop_Production/kX0ImcblXbAC?hl=en&gbpv=0
- Fairhurst, T., Griffiths, W., 2014. Oil Palm: Best Management Practices for Yield Intensification, first edit. ed. International Plant Nutritional

- Institute, Southeast Asia Program (IPNI SEAP).
- Filho, W.R.L.L., Rodrigues, F.H.S., Ferreira, I.V.L., Correa, L.O., Cunha, R.L., Pinheiro, H.A. (2021). Physiological responses of young oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plants to repetitive water deficit events. *Industrial Crops & Products*, 172, 114052. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114052>
- Firmansyah, E. (2018). Perubahan morfologis dan anatomis kelapa sawit pada rezim air dan salinitas berbeda. *Jurnal Agro*, 5, 13 – 29. <https://doi.org/10.15575/1963>
- Food and Agriculture Organization. 2022. *Agricultural Production Statistics*. Roma : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gatti, M.G., Campanello, P.I., & Goldstein, G. (2011). Growth and leaf production in the tropical palm *Euterpe edulis* : light conditions versus developmental constraints. *Flora*, 206, 742 – 748. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.04.004>
- Gintoron, C.S., Mohammed, M.A., Sazali, S.N., Deka, E.Q., Ong, K.H., Shamsi, I.H., & King, P.J.H. (2023). Factors affecting pollination and pollinators in oil palm plantations: a review with an emphasis on the *Elaeidobius kamerunicus* weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Insects*, 14, 454. <https://doi.org/10.3390/insects14050454>
- Gunawan, S., Budiastuti, M.T.S., Sutrisno, J., & Wirianata, H. (2020). Effects of organic materials and rainfall intensity on the productivity of oil palm grown under soil condition. *International Journal on Advance Science Engineering Information Technology*, 10, 356 – 361.
- Harahap, I.Y., & Darmosarkoro, W. (2000). Partisi pertumbuhan organ dan produksi bahan kering kelapa sawit menghasilkan. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 8(2), 97 – 106.
- Harahap, I.Y., Subronto, & Darmosarkoro, W. (1998). Penghitungan laju respirasi kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) berdasarkan analisis keseimbangan asimilat. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 6(2), 113 – 127.
- Hu, W., Coomer, T.D., Loka, D.A., Oosterhuis, D.M., & Zhou, Z. (2017). Potassium deficiency affects the carbon-nitrogen balance in cotton leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 408 – 417. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.005>
- Iqbal, A., Qiang, D., Alamzeb, M., Xiangru, W., Huiping, G., Hengheng, Z., Nianchang, P., Xiling, Z., & Meizhen, S. (2019). Untangling the molecular mechanisms and functions of nitrate to improve nitrogen use efficiency. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 100, 9014 – 914. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10085>
- Jaafar, H.Z., & Ibrahim, M.H. (2014). *Photosynthesis and quantum yield of oil palm seedlings to elevated carbon dioxide*. Di dalam : Najafpour, M.M. (Ed.), *Advances Photosynthesis Fundamental Aspects*. [e-book]. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/221924777_Photosynthesis_and_Quantum_Yield_of_Oil_Palm_Seedlings_to_Elevated_Carbon_Dioxide
- Komphet, T., Eksomtramage, T., Anothai, J., & Popet, P. (2021). Effects of perennial intercrops on oil palm agronomic and yield traits. *Indian Journal of Agricultural Research*, 55 (3), 317 – 322. 10.18805/IJAR.A-610
- Korner, K. (2015). Paradigm shift in plant growth control. *Current Opinion in Plant Biology*, 25, 107 – 114. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.05.003>
- Koupaie, M.A., & Aghdam, M.S. (2022). Effect of number of suckers on date palm *source-sink* limitation tracked by physiological markers and carbon allocation responsive genes expression. *Scientia Horticulturae*, 304, 111259. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111259>
- Li, K., Tschardtke, T., Sainters, B., Buchori, D., & Grass, I. (2019). Critical factors limiting pollination success in oil palm: A systematic review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 280, 152 – 160. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.001>
- McCalmont, J., Kho, L.K., Teh, Y.A., Chocolek, M., Rumpang, E., Rowland, L., Basri, M.H.A., & Hill, T. (2023). Oil palm (*Elaeis guineensis*) plantation on tropical peatland in South East Asia : photosynthetic response to soil drainage level for mitigation of soil carbon emissions. *Science of The Total Environment*, 858, 159356.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159356>
- Muchtadi, T.R. (1992). *Karakterisasi komponen intrinsik utama buah sawit (Elaeis guineensis, Jacq.) dalam rangka optimalisasi proses ekstraksi minyak dan pemanfaatan provitamin A* (Doctoral dissertation). Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia. Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/23199>
- Naswir, M., Arita, S., Hartati W., Septiarini, L., Desfaournatalia, & Wibowo. (2019). Activated Bentonite: Low Cost Adsorbent to Reduce Phosphor in Waste Palm Oil. *International Journal of Chemistry*, 11(2), 67 – 76. doi:10.5539/ijc.v11n2p67
- Noor, M.R.M., & Harun, M.H. (2004). Importance of water use efficiency (WUE) in oil palm productivity. *Oil Palm Bulletin*, 48, 24 – 30.
- Okoye, M.N., Uguru, M.I., Bakoume, C., Singh, R., & Okwuagwu, C.O. (2016). Assessment of genetic diversity of NIFOR oil palm main breeding parent genotypes using microsatellite markers. *American Journal of Plant Sciences*, 7, 218 – 237. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.71022>
- Oliveira, C. D., Silveira, B.M.P., Assis, N.F., Rios, G.R., Silva, A.I.S., Junior, J.C.B., Viana, P.A., Pereira, E.G. (2022). Synchronization between photosynthetic responses to seasonality during fruit development and fatty acid profile of mesocarp oil in macuba (*Acromia aculeata*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43, 102423. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102423>
- Oosterhuis, D.M., Loka, D.A., Kawakami, E.M., & Pettigrew, W.T. (2014). *Chapter Three - The Physiology of Potassium in Crop Production*. [e-book]. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128001325000031>
- Prasetyo, A.E., & Susanto, A. (2019). Pengaruh insektisida terhadap aktivitas dan kemunculan kumbang baru *Elaeidobius kamerunicus* Faust (Coleoptera: Curculionidae) pada bunga jantan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 27(1), 13 – 24.
- Priambodo, O., Hariyadi, Suwanto, & Santikayasa, I.P. (2020). Influence of land use and rainfall on carbon stock dynamics for oil palm and rubber. *Agromet*, 34(2), 121 – 128.
- Rizali, A., Rahardjo, B.T., Karindah, S., Ramdhani, F., Wahyuningtyas, Nurindah, Sahari, B., & Clough, Y. (2019). Communities of oil palm flower-visiting insects: investigating the covariation of *Elaeidobius kamerunicus* and other dominant species. *PeerJ*, 7, e7464. <https://doi.org/10.7717/peerj.7464>
- Saha, D., Jha, A.K. (2019). *Inbreeding Depression*. In: Vonk, J., Shackelford, T. (eds) *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*. [e-book]. Retrieved from https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-47829-6_521-1#citeas
- Salazar, C., Hernandez, C., & Pino, M.T. (2015). Plant water stress: Associations between ethylene and abscisic acid response, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75, 71 – 79. doi:10.4067/S0718-58392015000300008
- Smith, M.R., Rao, I. M., & Merchant, A. (2018). Source-sink relationship in crop plants and their influence on yield development and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1 – 10. doi: 10.3389/fpls.2018.01889
- Soh, A.C., Mayes, S., Roberts, J.A. (2017). *Oil Palm Breeding Genetics and Genomics*. Florida : Taylor & Francis Group
- Tao, H.H., Donough, C., Hoffmann, M.P., Lim, Y.L., Hendra, S., Rahmadsyah, Abdurrohman, G., Indrasuara., K., Lubis, A., Dolong, T., & Oberthur, T. (2017). Effects of best management practices on dry matter production and fruit production efficiency of oil palm. *European Journal of Agronomy*, 90, 209 – 215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.008>
- Tegeder, M., & Masclaux-Daubresse, C. (2017). Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use. *New Phytologist*, 217, 35 – 53. doi:10.1111/nph.14876
- Tezara, W., Dominguez, T.S.T., Loyaga, D.W., Ortiz, R.N., Chila, V.H.R., & Ortega, M.J.B. (2021). Photosynthetic activity of oil palm (*Elaeis*



- guineensis*) and interspecific hybrid genotypes (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*), and response of hybrids to water deficit. *Scientia Horticulturae*, 287, 110263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110263>
- Wang, L., Yang, X., Ren, Z., & Wang, X. (2014). Regulation of photoassimilate distribution between source and sink organs of crops through light environment control in greenhouses. *Agricultural Sciences*, 5, 250 – 256. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.54028>
- Ward, J.M., Kuhn, C., Tegeder, M., & Frommer, W.B. (1997). Sucrose transport in higher plants. *International Review of Cytology*, 178, 41 – 56.
- Zamski, E., & Schaffer, A.A. (2017). *Photoassimilate Distribution Plants and Crops Source-Sink Relationships*. [e-book]. Retrieved from https://www.google.co.id/books/edition/Photoassimilate_Distribution_Plants_and/7mhQDwAAQBAJ?hl=en&gbpv=1&dq=source+organ+in+crop+plant&pg=PA501&printsec=frontcover
- Zhen, J., Tripler, E., Pevzner, S., & Lazarovitch, N. (2019). Impact of fruiting on gas exchange, water fluxes and frond development in irrigated date palms. *Scientia Horticulturae*, 244, 234 – 241. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.046>