

VARIETAS KELAPA SAWIT TOLERAN GENANGAN: UPAYA ANTISIPASI PERUBAHAN IKLIM

Retno Diah Setiowati*, Kristianto Nugroho¹, Helvi Ardana Reswari², dan Sulassih³

Abstrak - Kelapa sawit saat ini menghadapi tantangan baik yang datang dari alam maupun dari manusia. Tantangan dari alam salah satunya adalah ketidakpastian cuaca akibat perubahan iklim global. Tantangan yang berasal dari manusia berupa penggunaan lahan marginal seperti lahan gambut, pasang surut, maupun lahan berlereng dan berlembah untuk perkebunan kelapa sawit. Hal ini sering kali menempatkan kelapa sawit pada kondisi yang rawan genangan dan banjir. Genangan yang berkepanjangan dapat berpengaruh pada kualitas minyak, menurunkan produksi, dan apabila tetap berlanjut dapat menyebabkan kematian. Meskipun ancaman yang diakibatkan oleh banjir dan genangan tidak seberbahaya dampak akibat serangan penyakit, namun bahan tanaman yang toleran terhadap genangan dapat mengurangi potensi kerugian yang disebabkan oleh penurunan produksi akibat tanaman yang tergenang. Ketika tanaman kelapa sawit tergenang, tanaman akan mengembangkan mekanisme pertahanan yang melibatkan berbagai elemen seperti protein transporter, faktor transkripsi, gen-gen yang spesifik untuk kondisi genangan, serta berbagai metabolit. Jenis, tingkat ekspresi, serta konsentrasi senyawa organik yang dihasilkan oleh tanaman yang tergenang, dapat berbeda-beda tergantung seberapa lama tanaman tergenang, dan tingkat keparahan yang dialami. Selain itu, respon tanaman terhadap genangan juga dapat dipengaruhi oleh genotipe tanaman. Review ini merangkum berbagai penelitian yang potensial dikembangkan dalam rangka perakitan varietas kelapa sawit yang toleran terhadap banjir dan genangan.

Kata kunci: genotipe, gen spesifik, metabolit, senyawa organik, transporter

PENDAHULUAN

Tren kebutuhan dunia terhadap minyak nabati cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Sebanyak 31,3% dari kebutuhan minyak dunia dipenuhi dari minyak kelapa sawit (Khor et al. 2021).. Saat ini Indonesia tercatat sebagai salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia selain Malaysia. Pada tahun 2017, produksi *Crude Palm Oil* (CPO) Indonesia mencapai 34.47 juta ton dan diproyeksikan akan semakin meningkat ke depannya

(Badan Pusat Statistik 2017). Peningkatan volume ekspor CPO beberapa tahun belakangan ini telah memberikan keuntungan bagi devisa negara. Selain digunakan sebagai bahan baku minyak goreng, minyak kelapa sawit juga dimanfaatkan dalam industri oleokimia seperti pembuatan sabun, pasta gigi, lotion, margarin, pelumas, hingga biodiesel (Ermawati & Saptia 2013). Tingginya produktivitas serta rendahnya biaya produksi yang dibutuhkan membuat kelapa sawit menjadi primadona dibandingkan tanaman penghasil minyak nabati lain seperti kedelai, kanola, zaitun, jarak pagar, dan bunga matahari (Waromi 2012).

Fenomena perubahan iklim yang semakin terasa dampaknya selama beberapa tahun terakhir membuat budidaya kelapa sawit di lapang dihadapkan pada sejumlah kendala baik berupa cekaman biotik seperti serangan hama dan penyakit maupun cekaman abiotik seperti kekeringan dan banjir. Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman yang sensitif terhadap perubahan iklim (Khor et al. 2021). Adanya fenomena iklim *La Niña* yang menyebabkan curah hujan yang sangat tinggi dapat mempengaruhi aktivitas polinasi yang akan berpengaruh terhadap produksi tandan

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

Retno Diah Setiowati* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia
Email: retno.iopri@gmail.com

¹Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

²IPB University: Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680

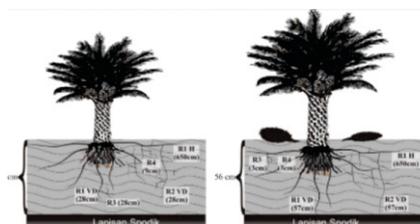
³Sekolah Vokasi IPB: Kampus IPB Cilibende Jl. Kumbang No. 14 Bogor 16151

buah segar, serta kualitas minyak yang dihasilkan (Muhammad et al. 2011).

Selain masalah perubahan iklim, upaya pengembangan kelapa sawit di Indonesia juga dihadapkan pada masalah lainnya yaitu semakin berkurangnya lahan optimal yang dapat digunakan untuk kegiatan budidaya. Saat ini lahan yang tersisa berupa lahan suboptimal/marginal yang kurang subur untuk digunakan dalam kegiatan budidaya. Oleh karena itu upaya perakitan varietas unggul kelapa sawit toleran cekaman genangan menjadi sangat penting untuk dilakukan.

Karakter Morfologi Kelapa Sawit Toleran Genangan

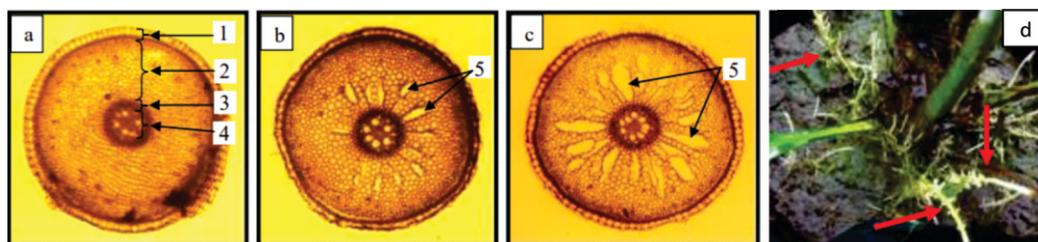
Akar tanaman kelapa sawit terdiri dari akar primer, sekunder, tersier dan kuartier. Panjang akar primer horizontal dapat mencapai 28-57 cm pada tanah spodosols dan 640-650 cm pada tanah inseptisol di Kalimantan Tengah (Saftri et al. 2018). Panjang akar primer vertikal dapat mencapai 28-57 cm pada tanah spodosols dan 60-200 cm pada tanah inseptisol di Kalimantan Tengah (Saftri et al. 2018). Cekaman genangan yang bersifat permanen dapat menyebabkan kematian pada bibit kelapa sawit akibat peningkatan laju respirasi pada daun.



Gambar 1. Arsitektur perakaran kelapa sawit pada lahan tipe spodosols di Kalimantan Barat. Tanaman tanpa memiliki tandan buah berumur (A) dan bertandan (B). Sumber : Saftri et al. (2018).

Kondisi cekaman genangan air (banjir) menyebabkan kerusakan akar (Shaw et al. 2013; Murugesan et al. 2017). Respon tanaman akibat genangan menimbulkan pembentukan : (1) aerenkima. Aerenkima merupakan struktur khas yang terbentuk dari peluruhan/lisis jaringan korteks mengalami akibat genangan dan membentuk saluran udara dari batang hingga ke ujung akar (2) tumbuhnya akar adventif (Ashraf 2012), tumbuhnya akar sekunder, pemanjangan tangkai bunga (Jackson et al. 2009)

serta (3) munculnya *pneumatophore* (Firmansyah 2018). *Pneumatophore* adalah akar epigeal yang tumbuh melawan gravitasi dan tumbuh memanjang hingga ketinggian 1 cm di atas permukaan air. *Pneumatophore* tumbuh apabila tanaman mengalami cekaman genangan selama 10-15 hari (Rivera-Mendez et al. 2016; Firmansyah 2018). *Pneumatophore* memiliki lentisel di bagian ujung *pneumatophore* yang berfungsi untuk jalan masuknya oksigen.



Gambar 2. Penampang melintang perakaran kelapa sawit; a. Akar primer pada perlakuan tanpa genangan (perbesaran 100 kali); b. Akar primer pada perlakuan genangan dua minggu (perbesaran 100 kali); c. Akar primer pada genangan empat minggu (perbesaran 100 kali); d. *Pneumatophore* pada bibit sawit setelah 10-15 hari tercekam genangan 1. epidermis; 2. korteks; 3. endodermis; 4. stele; 5. Aerenkima. Sumber : Firmansyah (2018)

Perubahan anatomi akar dapat terjadi pada bibit tanaman kelapa sawit yang diberi perlakuan genangan 10 cm dari permukaan media tanah. Perubahan anatomi seperti (1) penurunan luas epidermis, (2) penurunan luas korteks, endodermis, dan stele serta (2) terbentuknya suberin Bibit sawit berumur 4 bulan yang tergenang selama 2 minggu menunjukkan penurunan luas epidermis akar primer (7,75%), sekunder (14,70%), dan tersier (6,83%) bahkan semakin berkurang pada genangan 4 minggu masing – masing 12,36%, 21,52%, dan 19,63% (Firmansyah 2018).

Perakitan varietas tanaman kelapa sawit dapat dilakukan melalui pengembangan program pemuliaan tanaman dalam merakit varietas tanaman sawit dapat dengan memanfaatkan keragaman genetik *Elaeis oleifera* yang disilangkan dengan sawit komersial *Elaeis guineensis* (Murphy 2014). Perluasan keragaman tanaman sawit tahan cekaman genangan dapat dengan cara hibridisasi konvensional yaitu dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan karakterisasi koleksi plasma nutfah tanaman kelapa sawit yang memiliki potensi tahan terhadap cekaman genangan. *Elaeis oleifera* memiliki kemampuan untuk menumbuhkan akar adventif pada batang dan dapat ditanam di daerah tergenang seperti rawa-rawa, basah dan sungai (Montúfar et al. 2018). Persilangan *Elaeis oleifera* dengan *Elaeis guineensis* dapat menghasilkan keturunan pertama (F1) yang memiliki stomata berukuran besar dan kerapatan stomata lebih tinggi dibandingkan dengan *Elaeis oleifera* (Rivera-Mendez et al. 2013).

Material Genetik Kelapa Sawit Toleran Genangan

Plasma nutfah merupakan bagian penting dari program pemuliaan tanaman untuk mendukung tercapainya tujuan pemuliaan. Plasma nutfah berperan sebagai sumber keragaman untuk dilakukannya seleksi. Kajian plasma nutfah tanaman kelapa sawit dengan saja untuk mengidentifikasi material genetik yang memiliki sifat toleran genangan, masih jarang dilakukan peneliti. Di Thailand, Nuanlaong et al. (2020) melaporkan F1 persilangan antara Deli x Ghana yang memiliki adaptabilitas tinggi terhadap cekaman genangan. Nuanlaong et al. (2021) juga melaporkan terdapat F1 yang toleran genangan yaitu Deli x Calabar. Tiga klon embriogenik (LE 33-7, LE 28-59 dan 16-79) telah dievaluasi secara fisiologi

dan menunjukkan adanya respon sebagai mekanisme ketahanan terhadap cekaman genangan (Rivera-Mendez et al. 2016).

Di Indonesia, plasma nutfah untuk bibit sawit toleran cekaman genangan dilaporkan oleh Situmorang et al. (2017) bahwa varietas DxP Sungai Pancur I dan DxP Simalungun bisa digunakan untuk pengembangan bibit sawit yang toleran genangan. Bahan tanaman tersebut merupakan sumber genetik yang penting untuk perakitan dan pengembangan varietas baru dengan sifat unggul toleran genangan.

Dampak Cekaman Genangan Terhadap Produksi Kelapa Sawit

Salah satu dampak pemanasan global adalah efek *La niña*, yaitu fenomena udara terasa lebih dingin sehingga menyebabkan tingginya curah hujan. Curah hujan ini dapat mengakibatkan terjadinya banjir selama beberapa hari dan cekaman banjir ini berdampak pada perkebunan kelapa sawit. Tidak hanya di Indonesia, risiko cekaman banjir juga dihadapi negara-negara penghasil kelapa sawit lainnya seperti Malaysia, India, maupun Thailand (Abubakar . 2021; Nuanlong et al. 2021, Cui et al. 2021). Pada saat tergenang, tanaman mengalami hipoksia, yaitu kondisi dimana konsentrasi oksigen di dalam tanah sangat rendah akibat rendahnya oksigen terlarut di dalam air. Bila keadaan ini berlanjut, tumbuhan akan kekurangan oksigen yang berdampak pada menurunnya *uptake* Kalium ke dalam sel akar. Jika terjadi defisiensi kalium, tumbuhan akan menunjukkan gejala layu yang dimulai dari bagian pucuk tumbuhan, meskipun di sekelilingnya terdapat air yang melimpah (Rastogi et al. 2019). Pada kelapa sawit, kekurangan K menyebabkan produksi metabolit primer terganggu yang berdampak pada penurunan jumlah dan berat tandan (Mirande-Ney et al. 2019).

Mekanisme Pertahanan Kelapa Sawit Terhadap Cekaman Genangan

Tanaman yang terpapar genangan akan mengalami cekaman oksigen (hipoksia) yaitu berkurangnya oksigen yang masuk ke dalam sel. Akibatnya, turgor sel penjaga (*guard cell turgor*) terganggu, yang berdampak terhambatnya aliran hara. Salah satu hara vital yang terhambat alirannya adalah

kalium (K) yang menyebabkan terjadinya defisiensi K. K merupakan ko-faktor beberapa enzim dalam katabolisme untuk menghasilkan energi. Dengan tidak cukupnya K, maka katabolisme menjadi tidak efisien dan terjadi penurunan energi. Energi yang minim ini menjadi sinyal transduksi bagi tanaman untuk melakukan metabolisme dengan jalur alternatif. Pada kelapa sawit, yang mengalami defisiensi K, terjadi modifikasi gula (Cui et al. 2020). Dalam kondisi defisiensi K akibat hipoksia, produksi energi dilakukan dengan dua alternatif yaitu jalur alkohol (*alcohol dehydrogenase*) dan jalur jalur piruvat (*pyruvate decarboxylase*). Penelitian Cui et al., (2021), menunjukkan tanaman yang mengalami defisiensi K, yaitu (1) mengalami perubahan dalam metabolisme glukosa dan (2) terdapat akumulasi metabolit asam salisilat seperti putrescin dan akonitat (*aconitate*). Ketika tanaman mengalami defisiensi K, *salisilic glucosidase* teridentifikasi di awal pengamatan dan meningkat konsentrasinya seiring waktu, sedangkan produksi salicin lebih lambat dibanding *salisilic glucosidase*. *Salisilic acid* merupakan senyawa *elicitor* (Nogia dan Pati 2021) yang dihasilkan tanaman ketika menghadapi cekaman biotik dan abiotik.

Sebagai konsekuensi dari kurangnya K untuk mendukung proses katabolisme akibat hipoksia/anoksia, tanaman yang mengalami cekaman oksigen membentuk energi melalui jalur alternatif sebagai bentuk adaptasi. Adaptasi tanaman saat mengalami defisiensi K terjadi melalui tiga fase yaitu (1) fase awal (0-4 jam) sel akan mengirimkan sinyal transduksi yang akan mengaktifkan produksi senyawa metabolit untuk adaptasi (2) fase kedua (4-24 jam) produksi metabolit adaptasi yang akan mengaktifkan mekanisme pertahanan (3) fase akhir (24-48 jam) pembentukan *aerechyme* dan *xyloglucanendotransferase*, serta mekanisme pematian sel (*cell death mechanism*) sebagai mekanisme adaptasi terhadap cekaman oksigen (Zou et al. 2010). Menurut penelitian da Ponte et al. (2019), pada kelapa sawit yang tahan terhadap cekaman genangan dalam jangka waktu yang panjang, ditemukan *lysogene pneumatophore* dalam jumlah yang lebih tinggi dibanding kelapa sawit yang tidak toleran genangan. Hal yang sama ditemukan pada percobaan Riviera-Mendez et al. (2016) pada bibit sawit klonal yang diberi perlakuan variasi kondisi air, menunjukkan bibit yang tergenang secara permanen menunjukkan perkembangan yang kurang baik;

sedangkan bibit yang terendam sebagian menunjukkan perkembangan sebagaimana halnya bibit pada kondisi air yang optimum. Bibit pada kedua tingkat genangan tersebut sama-sama mengembangkan struktur *pneumatophore* pada akar, bedanya, pada bibit yang terendam permanen, jumlah *pneumatophore* lebih banyak dan akar tumbuh lebih panjang. Lebih jauh, Kadam et al. (2017) menjelaskan kemampuan tanaman menghadapi cekaman oksigen berkaitan dengan pengaturan transportasi air melalui aquaporin. Nelson et al. (2022) mencatat terdapat enam gen aquaporin yang terekspresi di *pneumatophore* pada tanaman mangrove. Gen-gen yang terkait dengan respon kelapa sawit terhadap cekaman genangan menjadi dasar untuk pembuatan marka DNA untuk identifikasi tanaman kelapa sawit yang memiliki toleransi terhadap genangan.

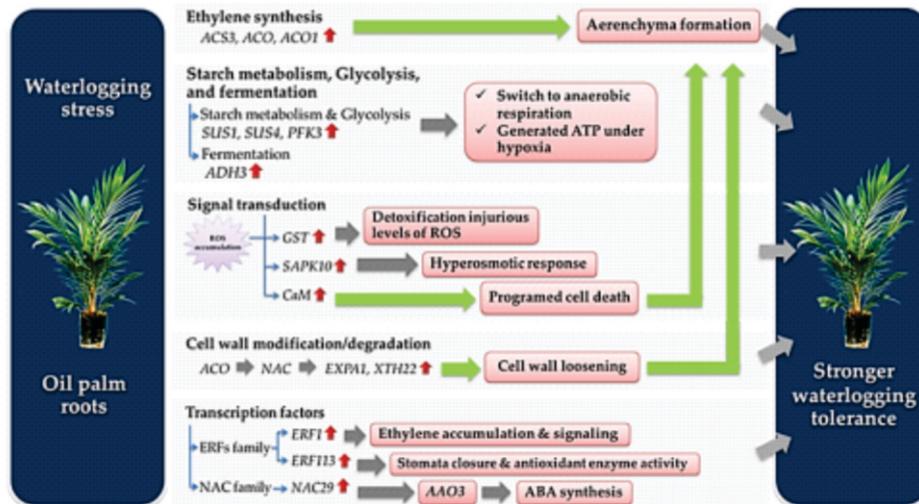
Gen-Gen Pada Kelapa Sawit yang Terlibat dalam Respons Terhadap Cekaman Genangan

Hasil penelitian Yeap et al. (2012) menunjukkan bahwa terdapat suatu gen yang disebut *EgRBP42*, yang mengkode suatu *heterogenous nuclear ribonucleoprotein* (hnRNP), yang berperan pada ketahanan tanaman sawit terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan, genangan, salinitas, suhu panas dan dingin. Analisis *Real-time* (RT) PCR menunjukkan bahwa gen tersebut diekspresikan pada sejumlah bagian tanaman kelapa sawit antara lain di daun, meristem apikal, akar, bunga betina, bunga jantan, dan mesokarp dengan ekspresi paling rendah diperoleh pada bagian akar. Analisis homologi menunjukkan bahwa sekuens gen *EgRBP42* menunjukkan kemiripan yang cukup tinggi dengan *putative uncharacterized protein* (A5ADJ5) dari tanaman anggur (*Vitis vinifera*) dengan kemiripan sebesar 61% dan *OshnRNP A2/B1-like protein* (Q5ZDX8) dari tanaman padi dengan kemiripan sebesar 58 %.

Nuanlaong et al. (2020), melakukan analisis transkriptomik pada akar sawit yang diberi cekaman genangan selama beberapa hari. Perbandingan antara profil transkriptomik akar sawit yang diberi cekaman genangan dan yang berada pada kondisi normal dibandingkan menggunakan sekuensing *Ion Torrent*. Hasil analisis *differentially expressed gene* (DEG) pada akar sawit yang diberi perlakuan cekaman genangan menunjukkan peningkatan

aktivitas pada gen-gen terkait biosintesis etilen (*ACS3, ACO, ACO1*), metabolisme pati, glikolisis dan fermentasi (*SUS1, SUS4, PFK3, ADH3*), transduksi sinyal (*CaM, GST, SAPK10*), modifikasi/degradasi dinding sel (*EXPA1, XTH22*),

dan faktor transkripsi (*ERF1, ERF113, NAC29*). Hipotesis mengenai mekanisme ekspresi gen-gen tersebut selama akar tanaman sawit mengalami cekaman genangan seperti ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hipotesis mekanisme ekspresi gen-gen yang aktif selama akar tanaman sawit mengalami cekaman genangan (Nuanlaong et al. 2020)

Pada hipotesis yang diajukan oleh Nuanlaong et al. (2020), terdapat lima mekanisme ketahanan sawit terhadap genangan yaitu pertama melalui pembentukan senyawa etilen yang dikendalikan oleh gen *ACS3, ACO, dan ACO1*. Sintesis senyawa etilen akan menginduksi terbentuknya aerenkim. Kedua melalui metabolisme pati, glikolisis, dan fermentasi. Metabolisme pati dan glikolisis akan menyebabkan pemecahan karbohidrat menjadi gula yang lebih sederhana seperti asam piruvat. Dari proses pemecahan tersebut akan dihasilkan energi berupa ATP. Proses ini dikendalikan oleh gen *SUS1, SUS4, dan PFK3*. Selanjutnya asam piruvat yang telah terbentuk akan masuk dalam proses respirasi anaerob/fermentasi yang dikendalikan oleh gen *ADH3*. Ketiga melalui transduksi sinyal akibat peningkatan senyawa *reactive oxygen species (ROS)* yang meningkatkan aktivitas gen *GST* yang akan mendetoksifikasi senyawa *ROS*, *SAPK30* yang akan menghasilkan respon hiperosmosis, dan *CaM* yang menghasilkan program kematian sel. Keempat modifikasi dinding sel melalui aktivitas gen *ACO* dan

NAC, yang akan meningkatkan aktivitas gen *EXPA1* dan *XTH22* yang berperan melonggarkan dinding sel. Kelima, faktor transkripsi *ERF* dan *NAC* yang berperan dalam proses akumulasi etilen, penutupan stomata, dan sintesis *ABA*.

Mukda dan Suraninpong (2022) memperoleh enam marka *EST-SSR (Expressed Sequence Tags-Simple Sequence Repeat)* yang berasosiasi terhadap enam gen yang diduga berperan dengan ketahanan kelapa sawit terhadap cekaman genangan. Desain marka diawali dengan analisis transkriptomik hingga diperoleh data *differentially expressed gene (DEG)*. Dari total 3,289 *DEG* yang diperoleh, sebanyak 229 *EST-SSR* berhasil diidentifikasi. Selanjutnya sebanyak 214 pasang primer *EST-SSR* berhasil didesain dan sebanyak 125 pasang primer berhasil diamplifikasi melalui teknik *PCR*. Sebanyak 26 pasang primer teridentifikasi bersifat polimorfik dan sebanyak 6 pasang primer menunjukkan asosiasi terhadap enam gen yang diduga berkaitan terhadap toleransi tanaman kelapa sawit terhadap cekaman genangan. Keenam gen tersebut antara lain yaitu gen yang

berperan dalam menyandikan *la-related protein Larp4B*, *zinc finger protein ZAT2*, *ethylene-responsive transcription factor ABR1*, *SWI/SNF complex subunit SWI3C*, *CTL-like protein DDB_G0274487*, dan *serine carboxypeptidase like*. Penemuan penanda EST-SSR yang berasosiasi dengan gen-gen toleransi terhadap cekaman genangan membuka peluang pengembangan lebih lanjut ke depannya sebagai alat bantu seleksi dalam kegiatan perakitan varietas unggul kelapa sawit toleran genangan sehingga kegiatan seleksi dapat dilakukan secara lebih cepat dan akurat.

Strategi Pemuliaan Kelapa Sawit Toleran Genangan

Pengembangan metode pemuliaan kelapa sawit toleran genangan bisa dilakukan secara konvensional maupun bioteknologi. Secara konvensional umumnya melalui proses persilangan, namun hal ini merupakan kendala bagi pengembangan dan perakitan varietas kelapa sawit. Mengingat tanaman kelapa sawit merupakan tanaman tahunan dan memerlukan waktu yang cukup lama untuk berbuah yaitu sekitar 3-4 tahun serta memiliki masa produktif hingga 25 tahun. Sehingga akan memerlukan waktu yang lama dalam proses perakitan varietas. Namun demikian kegiatan secara konvensional berupa *screening* atau karakterisasi telah dilakukan dengan tujuan identifikasi awal plasma nutfah toleran genangan. Kegiatan *screening* lainnya juga dilakukan oleh Situmorang et al. (2017) bahwa bibit kelapa sawit mampu bertahan pada kondisi genangan air selama 70 hari. Selain itu da Ponte et al. (2019) melakukan pengamatan terhadap struktur *aerenchyme* selama periode pembibitan, cekaman genangan dapat meningkatkan jumlah *pneumatophores* sebagai respon morfologi bibit sawit. Cui et al. (2021) berhasil mengidentifikasi transporter K dan senyawa metabolit yang terekspresi pada berbagai durasi cekaman banjir. Meskipun demikian, hingga saat ini belum diperoleh informasi adanya varietas kelapa sawit yang toleran banjir/genangan di Indonesia.

Selain pendekatan konvensional, seleksi kelapa sawit yang tahan genangan juga dapat dilakukan dengan bantuan marka molekuler. Pengembangan Marka molekuler untuk identifikasi kelapa sawit yang toleran terhadap genangan dilakukan dengan mempelajari gen-gen yang terlibat dalam mekanisme

pertahanan akibat cekaman genangan. Gen-gen tersebut antara lain: gen yang terlibat dalam pembentukan *aerenchyme* dan *pneumatophore* (Reviera-Mendez et al. 2021; tong et al. 2015), gen yang terkait dengan kemampuan adaptasi terhadap hipoksia dan anoksia, yaitu *submergene*; *sub1A*, *Sub1B*, *Sub1C*, (Ahmed et al., 2013), *SNORKLE1*, *SNORKLE2* (Tong et al. 2021), gen yang terkait dengan metabolisme alternatif yaitu *alcohol dehydrogenase*, *pyruvate decarboxylase* (Mustafa 2015), serta gen yang terlibat dalam pembentukan arsitektur akar untuk mendukung efisiensi penyerapan K yaitu gen *deeper rooting1 (DRO1)*, *Glycine lateral root1 (GLR1)* (Vallidoan, 2017), gen yang bertanggung jawab atas pembentukan akar primer dan akar sekunder *ACS3*, *ACO*, *ACO1* (Nuanlong et al. 2021), serta gen yang mengendalikan aktivitas transporter K yaitu *hak1*, *hak5* (Cui et al. 2021).

Rekomendasi

Sebagai upayaantisipasi dampak perubahan iklim dan meningkatnya potensi genangan pada lahan kelapa sawit, beberapa skenario yang dapat dipertimbangkan antara lain:

1. Pada lahan yang teridentifikasi memiliki potensi tinggi terhadap risiko genangan, seperti lahan gambut, lahan pasang surut, maupun wilayah lembah, sebaiknya digunakan varietas yang toleran terhadap genangan yaitu varietas yang secara alami telah mengembangkan karakter morfologi untuk adaptif terhadap genangan.
2. Pada lahan yang optimum, baik digunakan varietas yang adaptif terhadap genangan. Hal ini sebagai antisipasi apabila terjadi genangan yang cukup lama, tanaman dapat bertahan dan tidak mengalami penurunan produksi yang terlalu tajam. Tanaman ini dapat dipilih dari genotipe yang memiliki sensor yang dapat merespon dengan cepat cekaman genangan dan mengaktifkan mekanisme pertahanan secara efisien dalam waktu singkat.

KESIMPULAN

1. Penggunaan varietas kelapa sawit yang tahan ataupun adaptif terhadap genangan dapat dilakukan sebagai upaya antisipasi dampak

perubahan iklim

- Perakitan bahan tanaman yang tahan/adaptif terhadap genangan dapat dilakukan menggunakan pendekatan konvensional maupun berbantu marka molekuler dengan memanfaatkan informasi genomik, transkriptomik maupun metabolomik kelapa sawit yang saat ini telah tersedia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A., Ishak, M. Y., & Makmom, A. A. (2021). Impacts of and adaptation to climate change on the oil palm in Malaysia: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 54339-54361.
- Ahmed, F., Rafii, M. Y., Ismail, M. R., Juraimi, A. S., Rahim, H. A., Asfaliza, R., & Latif, M. A. (2013). Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. *BioMed Research International*, 2013, 963525. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/963525>.
- Ashraf, M. A. (2012). Waterlogging stress in plants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 7(13), :1976-1981. DOI: 10.5897/AJARX11.084.
- Astuti, N. S., Karim, I., & Abdullah, M. A. (2020). Contribution of oil palm (*Elaeis guineensis* J.) plantations to farmers' income in West Sulawesi. *Anjoro: International Journal of Agriculture and Business*, 1(2), 45-51.
- Badan Pusat Statistik. (2017.) Ekspor minyak kelapa sawit menurut negara tujuan utama. <https://www.bps.go.id/statistictable/2014/09/08/1026/ekspor-minyak-kelapa-sawit-menurut-negara-tujuan-utama-2000-2015.html>. [21 November 2022]
- Cui, J., Davanture, M., Zivy, M., Lamade, E., & Tcherkez, G. (2019). Metabolic responses to potassium availability and waterlogging reshape respiration and carbon use efficiency in oil palm. *New Phytologist*, 223(1), 310-322.
- Cui, J., Nieves-Cordones, M., Rubio, F., & Tcherkez, G. (2021). Involvement of salicylic acid in the response to potassium deficiency revealed by metabolomics. *Plant Physiology and Biochemistry*, 163, 201-204.
- da Ponte, N. H. T., Santos, R. I. N., Lopes Filho, W. R. L., Cunha, R. L., Magalhães, M. M., & Pinheiro, H. A. (2019). Morphological assessments evidence that higher number of pneumatophores improves tolerance to long-term waterlogging in oil palm (*Elaeis guineensis*) seedlings. *Flora*, 250, 52-58.
- Ermawati, T., & Saptia, Y. (2013). Kinerja ekspor minyak kelapa sawit Indonesia. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*. 7 (2),: 129-147.
- Firmansyah, E. (2018). Perubahan morfologis dan anatomis kelapa sawit pada rezim air dan salinitas berbeda. *Jurnal Agro*, 5(1), :13-29. DOI: <https://doi.org/10.15575/1963>.
- Jackson, M.B., Ishizawa, K., & Ito, O. (2009). Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. *Annals of Botany*, 103(2),: 137-142. DOI:10.1093/aob/mcn242.
- Kadam, S., Abril, A., Dhanapal, A. P., Koester, R. P., Vermerris, W., Jose, S., & Fritschi, F. B. (2017). Characterization and regulation of aquaporin genes of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in response to waterlogging stress. *Frontiers in plant science*, 8, 862.
- Khor, J.F., Ling, L., Yusop, Z., Tan, W. L., Ling, J. C., & Soo, E. Z. X. (2013). Impact of El Nino on oil palm yield in Malaysia. *Agronomy*, 11, : 2189.
- Mirande-Ney, C., Tcherkez, G., Gilard, F., Ghashghaie, J., & Lamade, E. (2019). Effects of potassium fertilization on oil palm fruit metabolism and mesocarp lipid accumulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(33), 9432-9440.
- Montúfar, R., Louise, C., & Tranbarger, T. J. (2018). *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés: a neglected palm from the Ecuadorian Amazon. *Revista Ecuatoriana De Medicina Y Ciencias Biologicas*, Vol 39(1), : 11-18. DOI:10.26807/remcb.v39i1.584.
- Muhammad, S, Leewanich, P, Punsuvon, V, Chanprames, S, & Srinives P. (2011). Seasonal effect on bunch components *Elaeis guineensis* and fatty acid composition in dura oil palm. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (7): 1835-1843.

- Mukda, M., & Suraninpong, P. (2022). Development of EST-SSR markers involved in waterlogging stress in oil palm. *Songklanakarin Journal of Plant Science*, 9(1),: 2-8,
- Murphy, D.J. (2014). Review Article. The future of oil palm as a major global crop: Opportunity and challenges. *Journal of Oil Palm Research*, 26(1), : 1-24.
- Murugesan, P., GM Aswathy, G. M., KS Kumar, K. S., P Masilamani, P., V. Kumar, V., & V. Ravi, V. (2017). Oil palm (*Elaeis guineensis*) genetic resources for abiotic stress tolerance: a review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(5),: 571–579.
- Murugesan, P., Aswathy, G. M., Kumar, K. S., Masilamani, P., Kumar, V., & Ravi, V. (2017). Oil palm (*Elaeis guineensis*) genetic resources for abiotic stress tolerance: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(5), 571-579.
- Nelson, D. R., Chaiboonchoe, A., Hazzouri, K. M., Khraiwesh, B., Alzahmi, A., Jaiswal, A., & Salehi-Ashtiani, K. (2022). Tissue-specific transcriptomes outline halophyte adaptive strategies in the gray mangrove (*Avicennia marina*). *Agronomy*, 12(9), 2030.
- Nogia, P., & Pati, P. K. (2021). Plant secondary metabolite transporters: diversity, functionality, and their modulation. *Frontiers in Plant Science*, 12, . 758202. DOI: 10.3389/fpls.2021.758202.
- Nuanlaong, S., Wuthisuthimethavee, S, Mekanawakul M, Suraninpong P. (2020). Transcriptome analysis of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) roots under waterlogging stress. *Plant omics journal*. 13(01):46-56 (2020) ISSN:1836-3644 doi: 10.21475/POJ.13.01.20.p2327
- Nuanlaong, S., Wuthisuthimethavee, S., & Suraninpong, P. (2021). Lysigenous aerenchyma formation: responsiveness to waterlogging in oil palm roots. *Biologia plantarum*, 65, 167-176.
- Rastogi, S., Shah, S., Kumar, R., Vashisth, D., Akhtar, M. Q., Kumar, A., Shasany, A. K. (2019). Ocimum metabolomics in response to abiotic stresses: Cold, flood, drought and salinity. *PLoS one*, 14(2), e0210903.
- Rivera-Mendez, Y. D., Cuenca, J. C., & Romero, H. M. (2016). Physiological responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under different water soil conditions. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 163-171. DOI:10.15446/agron.colomb.v34n2.55568.
- Rivera-Mendez. Y.D., Cayón S.D.G., 2 , & López M.J.E. (2013). Physiological and morphological characterization of american oil palms (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) and their hybrids (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) on the Indupalma plantation. *Agronomía Colombiana*, 31(3), :314-323.
- Safitri, L., Suryanti, S., Kautsar, V., Kurniawan, A., & Santiabudi, F. (2018). Study of oil palm root architecture with variation of crop stage and soil type vulnerable to drought. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 141, 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/141/1/012031.
- Shaw, R. E., Meyer, W. S., McNeill, A., & Tyerman, S. D. 2013. Waterlogging in Australian agricultural landscapes: a review of plant responses and crop models. *Crop and Pasture Science*, 64, 549–562. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/CP13080>.
- Situmorang, A. A, Tabrani, G, & Islan. (2017). Uji beberapa varietas bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap lama cekaman genangan air. *Jom Faperta*, 4(1),: 1-12.
- Tong, C.Cen, Camilla Beate Hill, C. B., Gaofeng Zhou, G., Xiao-Qi Zhang, X. Q., Yong Jia, Y., & and Chengdao Li, C. (2021). "Opportunities for improving waterlogging tolerance in cereal crops-physiological traits and genetic mechanisms. *Plants*, 10, No. (8), : 1560.
- Valliyodan, B., Ye, H., Song, L., Murphy, M., Shannon, J. G., & Nguyen, H. T. (2017). Genetic diversity and genomic strategies for improving drought and waterlogging tolerance in soybeans. *Journal of Experimental botany*, 68(8), 1835-1849.
- Waromi, J. (2012). Industri perkebunan kelapa sawit dalam konteks pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Agrotek*, 3(1),: 45-57.

- Yeap, W. C., Ooi, T.EK, Namasivayam, P., Kulaveerasingam, H., & Ho, C. L. (2012). EgRBP42 encoding an hnRNP-like RNA-binding protein from *Elaeis guineensis* Jacq. is responsive to abiotic stresses. *Plant Cell Rep.*, 31, :1829–1843.
- Zou, X., Jiang, Y., Liu, L., Zhang, Z., & Zheng, Y. (2010). Identification of transcriptome induced in roots of maize seedlings at the late stage of waterlogging. *BMC Plant Biology*, 10(1), 1-16.

