

POTENSI TEKNOLOGI IRADIASI ENERGI FOTON UNTUK PENGENDALIAN PENYAKIT BERCAK DAUN *Curvularia* sp. PADA TANAMAN KELAPA SAWIT

Hari Priwiratama dan Bambang Widiyatmoko¹

Abstrak - Bercak daun *Curvularia* merupakan penyakit utama pada pembibitan kelapa sawit. Penyakit ini selalu terjadi pada setiap siklus pembibitan dan berpotensi menyebabkan kerusakan berat hingga kematian pada bibit kelapa sawit. Pengendalian penyakit bercak daun hingga saat ini masih bertumpu pada aplikasi fungisida, namun tingkat efikasinya cenderung mengalami penurunan. Di sisi lain, tanaman tahan bercak daun yang menjadi alternatif ideal untuk pengendalian penyakit belum tersedia dan masih memerlukan tahapan pemuliaan yang panjang. Oleh karena itu, teknologi alternatif yang dapat dikembangkan dalam jangka waktu pendek masih sangat diperlukan untuk diintegrasikan dengan fungisida. Cahaya sebagai salah satu sumber kehidupan memiliki banyak peranan penting pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Energi foton dari berbagai spektrum cahaya mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai jenis patogen. Pemanfaatan iradiasi energi foton juga telah didemonstrasikan pada skala lapangan dan terbukti mampu menekan perkembangan penyakit tanaman. Teknologi iradiasi energi foton sangat berpeluang dikembangkan di pembibitan kelapa sawit untuk mengatasi permasalahan bercak daun *Curvularia*. Teknologi iradiasi ini juga berpotensi untuk diintegrasikan dengan teknologi lain seperti *drone* dan IoT sehingga dapat memfasilitasi automasi dalam pengaplikasiannya. Namun, beberapa kajian awal masih diperlukan untuk pengembangan teknologi iradiasi energi foton di pembibitan kelapa sawit guna memastikan teknologi yang dihasilkan tidak hanya efektif menekan penyakit tanaman, namun juga tidak berdampak negatif terhadap manusia dan lingkungan.

Kata kunci: induksi ketahanan, iradiasi, priming, spektrum cahaya, UV

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas primadona perkebunan di Indonesia. Industri kelapa sawit bahkan menjadi tumpuan ekonomi Indonesia sebagai sumber devisa negara. Pada tahun 2021, nilai ekspor minyak sawit mencapai USD 35 miliar, lebih tinggi dibandingkan tahun 2020 yang mencapai USD 22,9 miliar (GAPKI, 2022). Usaha budidaya kelapa sawit tidak akan pernah dapat dilepaskan dari permasalahan hama dan penyakit. Investasi hama dan penyakit di perkebunan kelapa sawit telah terbukti menyebabkan kerugian secara ekonomi (Agus

Susanto et al., 2010). Saat ini, penyakit busuk pangkal batang (BPB) *Ganoderma boninense* masih menjadi penyakit yang paling merusak dan menyebabkan kehilangan hasil terbesar di perkebunan kelapa sawit. Sementara itu, penyakit lainnya seperti bercak daun, antraknosa, penyakit tajuk, hingga busuk buah masih digolongkan ke dalam penyakit minor karena dampak kerusakannya dirasa belum terlalu signifikan. Diantara penyakit minor tersebut, bercak daun merupakan penyakit dengan distribusi yang paling luas dan dapat ditemukan di seluruh sentra perkebunan kelapa sawit di Indonesia.

Di perkebunan kelapa sawit, bercak daun merupakan penyakit penting pada tahap pembibitan. Penyakit bercak daun dapat disebabkan oleh beberapa patogen, diantaranya *Curvularia lunata*, *C. eragostidis*, *C. oryzae*, *Cochliobolus* sp., *Drechslera halodes*, *Pestalotiopsis theae*, *Phyllosticta capitalensis*, dan lain-lain. (Nasehi et al., 2019; A. Susanto & Prasetyo, 2013; Suwannarach et al., 2013). Dari patogen-patogen tersebut, cendawan genus

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

Hari Priwiratama (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: hari.priwira@iopri.org

¹ Pusat Riset Fotonik, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Puspitak Serpong, Tangerang

Curvularia paling sering ditemukan berasosiasi dengan penyakit bercak daun pada tanaman kelapa sawit (Priwiratama et al., 2017). Pada intensitas berat, penyakit bercak daun *Curvularia* mampu menyebabkan kematian pada bibit kelapa sawit, terutama jika tidak diiringi dengan tindakan pengendalian yang tepat.

Upaya-upaya pengendalian penyakit bercak daun di pembibitan kelapa sawit dimulai dari penerapan pola kultur teknis terbaik (pengendalian gulma, penyiraman yang cukup, pemupukan teratur, perbaikan drainase, dan sebagainya), isolasi dan eradikasi tanaman sakit, aplikasi fungisida, dan penggunaan varietas tahan penyakit. Saat ini, pengendalian penyakit bercak daun *Curvularia* di lapangan masih bertumpu pada penggunaan fungisida yang diaplikasikan secara berkala dengan frekuensi dua kali per bulan. Namun, hanya empat jenis bahan aktif fungisida yang saat ini terdaftar untuk pengendalian penyakit bercak daun pada tanaman kelapa sawit (Direktorat Pupuk dan Pestisida 2022), sehingga penggunaannya untuk memenuhi regulasi *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO) menjadi terbatas. Selain itu, kondisi ini diperparah dengan adanya dugaan penurunan efektivitas dari penggunaan fungisida sebagai andalan pengendalian penyakit bercak daun selama ini (Ernayunita & Rozziansha, 2022; Fauzi & Pradana, 2021; Rozziansha & Nirwanto, 2022; Rozziansha & Pradana, 2022). Sementara itu, varietas tahan penyakit sebagai alternatif ideal untuk menekan tingkat kejadian penyakit di lapangan masih belum tersedia dalam waktu dekat karena memerlukan siklus pemuliaan tanaman yang panjang. Oleh karena itu, invensi teknologi alternatif pengendalian penyakit bercak daun kelapa sawit masih sangat diperlukan.

Perkembangan teknologi di bidang fisika optik menyajikan beberapa peluang untuk dikembangkan menjadi alternatif pengendalian penyakit bercak daun *Curvularia* di pembibitan kelapa sawit. Iradiasi menggunakan energi foton atau cahaya merupakan salah satu teknik yang berpotensi dikembangkan secara luas untuk pengendalian penyakit bercak daun *Curvularia* di pembibitan kelapa sawit. Makalah ini menyajikan perkembangan mengenai pemanfaatan energi foton untuk pengendalian penyakit tanaman dan bagaimana tahapan pengembangan teknologinya di pembibitan kelapa sawit.

PENYAKIT BERCAK DAUN *Curvularia*

Genus *Curvularia* saat ini diklasifikasikan dalam famili Pleosporaceae di bawah kelas Dothideomycetes (Ariawansa et al., 2015; Jeon et al., 2015) dan memiliki bentuk teleomorf (seksual) yang dikenal dengan *Cochliobolus*. *Curvularia* sp. memiliki miselium yang gelap dengan konidiofor simpodial dan konidia yang bersekat (ditioseptat) (Jeon et al., 2015). *Curvularia* sp. merupakan cendawan kosmopolitan dengan sebagian besar spesiesnya tersebar di wilayah tropis dan subtropis (Hyde et al., 2014). Sejak lima tahun terakhir, lebih dari 70 spesies *Curvularia* sudah diidentifikasi secara molekuler (Ferdinandez et al., 2021).

Cendawan *Curvularia* sp. memiliki kisaran inang yang luas, mencakup tumbuhan monokotil dan dikotil. *Curvularia* sp. juga diketahui hidup sebagai epifit, endofit, saprofit, atau patogen pada tumbuhan, bahkan beberapa spesies juga dilaporkan menjadi patogen pada manusia (Hyde et al., 2014; Manamgoda et al., 2015). Di berbagai belahan dunia, *Curvularia* sp. telah menjadi patogen penting yang menyebabkan kerugian secara ekonomi pada berbagai jenis tanaman budidaya. Penyakit disebabkan oleh *Curvularia* sp. dilaporkan menyebabkan kerusakan berat pada komoditas pangan penting seperti padi, jagung, sorgum, dan gandum (Bengyella et al., 2018; Dai et al., 2019; Fei et al., 2020; Hidayat & Ramadhani, 2019; Kusai et al., 2016; Zhang et al., 2019).

Gejala dan Kerusakan pada Kelapa Sawit

Selain pada komoditas pangan, *Curvularia* sp. juga diketahui menjadi patogen penyebab penyakit bercak daun pada tanaman kelapa sawit. Dua spesies yang dilaporkan berasosiasi dengan tanaman kelapa sawit di Indonesia adalah *C. eragostidis* dan *C. lunata* (A. Susanto & Prasetyo, 2013; Agus Susanto et al., 2010). Pada tanaman kelapa sawit, infeksi *Curvularia* sp. umumnya terjadi selama tahap pembibitan, baik pada tahap *pre-nursery* maupun *main nursery*. Di lapangan, penyakit bercak daun *Curvularia* dapat dijumpai pada fase awal penanaman dan berangsur-angsur hilang seiring dengan perkembangan tanaman kelapa sawit. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa ketahanan kelapa sawit terhadap *Curvularia* sp. turut dipengaruhi oleh faktor umur tanaman.

Gejala penyakit bercak daun *Curvularia* pada tanaman kelapa sawit umumnya cukup mudah dikenali dan dibedakan dari penyakit bercak daun lainnya. Gejala awal dimulai dengan kemunculan bintik-bintik berwarna kecokelatan yang berkembang menjadi bercak nekrotik berwarna coklat tua dengan tepian berwarna kekuningan. Bagian tengah bercak umumnya berwarna lebih gelap dan terkadang dijumpai titik keputihan di pusat bercak (Priwiratama et al., 2017). Pada tingkat keparahan penyakit yang sangat tinggi, bercak-bercak dapat bersatu sehingga menyebabkan helai daun menjadi kering.

Penyakit bercak daun *Curvularia* dapat menyebabkan kerusakan berat hingga kematian pada bibit kelapa sawit. Tingkat kerusakan umumnya akan semakin tinggi ketika terjadi sinergisme serangan dengan cendawan patogenik lain seperti *Botryodioloidia* sp. (Priwiratama et al., 2017). Kerusakan akibat bercak daun *Curvularia* pada bibit kelapa sawit dapat mencapai 60-70% apabila tidak dilakukan tindakan pengendalian secara tepat (Priwiratama, 2012; Solehudin et al., 2012; Sujadi & Priwiratama, 2014).

Faktor pencetus penyakit

Faktor-faktor yang memicu terjadinya penyakit bercak daun pada bibit kelapa sawit tidak terlepas dari tiga aspek yang terdapat pada segitiga penyakit, yaitu keberadaan patogen yang virulen, tanaman yang rentan, dan kondisi lingkungan yang mendukung. Sumber inokulum awal *Curvularia* sp. pada pembibitan kelapa sawit yang baru dibuka umumnya adalah berupa tanaman inang alternatif atau gulma yang menunjukkan gejala bercak daun. Beberapa gulma dominan yang diketahui menjadi inang alternatif *Curvularia* sp. di pembibitan kelapa sawit diantaranya adalah rumput *Digitaria* sp., *Echinochloa colona*, *Eleusine indica*, dan *Axonopus compressus* (Priwiratama et al., 2017). Sebaliknya pada pembibitan yang sudah terbentuk, bibit kelapa sawit terinfeksi merupakan sumber utama penularan bercak daun.

Beberapa isolat *Curvularia* sp. yang berasal dari Sumatera Utara, Riau dan Kalimantan Tengah menunjukkan virulensi yang tinggi dan menyebabkan kerusakan berat pada bibit kelapa sawit (Priwiratama, 2012; Sujadi & Priwiratama, 2014; A. Susanto & Prasetyo, 2013). Sayangnya, hingga saat ini, belum

ada laporan terkait jenis ras, variasi genetik, serta patogenisitas *Curvularia* sp. yang ada di perkebunan kelapa sawit khususnya di Indonesia.

Suseptibilitas bahan tanam yang digunakan menjadi faktor berikutnya yang menentukan tingkat keparahan penyakit bercak daun *Curvularia*. Kerentanan bibit kelapa sawit dapat terjadi secara bawaan (genetik), atau sebagai akibat tindakan kultur teknis yang dilakukan. Setiap varietas kelapa sawit memiliki potensi genetik yang berbeda, termasuk kerentanannya terhadap penyakit bercak daun *Curvularia*. Hasil pengamatan terhadap delapan varietas bibit kelapa sawit komersial berumur tiga bulan memperlihatkan adanya variasi tingkat keparahan penyakit bercak daun *Curvularia* sp. mulai dari sedang hingga sangat berat (Priwiratama, unpublished data). Perbedaan tersebut dapat mengindikasikan adanya sifat ketahanan bawaan dari masing-masing varietas terhadap penyakit bercak daun *Curvularia*.

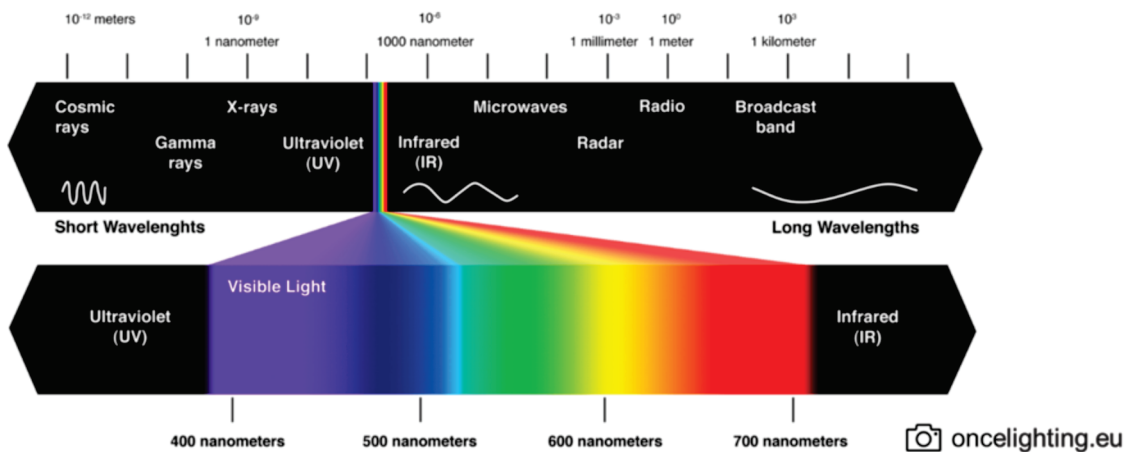
Sementara itu, suseptibilitas tanaman akibat faktor kultur teknis dapat tergambarkan dari tingginya intensitas penyakit bercak daun pada bibit-bibit yang mengalami keterlambatan pindah tanam dari *pre-nursery* ke *main nursery*, bibit yang mengalami *transplanting shock*, kekurangan nutrisi atau kekeringan (Priwiratama et al., 2017; Purba et al., 1999; Sujadi & Priwiratama, 2014). Tindakan kultur teknis yang tidak sesuai dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat atau bahkan menyebabkan tanaman menjadi stres sehingga berdampak terhadap penurunan kemampuan tanaman melawan infeksi *Curvularia* sp.

Sementara itu, faktor lingkungan yang turut berkontribusi terhadap penyakit bercak daun *Curvularia* terdiri dari iklim (curah hujan, suhu, kelembapan, angin) serta kondisi di pembibitan ketika proses infeksi terjadi (Priwiratama et al., 2017). Curah hujan tinggi dan kondisi berangin akan mempermudah pemencaran spora *Curvularia* sp. dari satu tanaman ke tanaman lainnya (Priwiratama, 2012). Sementara itu, suhu dan kelembapan akan memengaruhi proses produksi dan perkecambahan spora, serta perkembangan miselia cendawan pada daun kelapa sawit (Almaguer et al., 2013). Di sisi lain, kondisi pembibitan seperti drainase yang buruk akan berkontribusi terhadap peningkatan kelembapan mikro sehingga menyediakan kondisi optimum untuk perkembangan cendawan (Sujadi & Priwiratama, 2014).

CAHAYA DAN ENERGI FOTON

Cahaya merupakan salah satu faktor lingkungan penting yang dapat memengaruhi perkembangan tanaman. Dalam fisika, cahaya yang umumnya dipahami berwarna putih, dapat diuraikan menjadi beberapa spektrum warna, mulai dari cahaya tampak (ungu, biru, hijau, kuning, merah) hingga cahaya tidak tampak (ultraviolet [UV], inframerah

[IR]) (Gambar 1). Masing-masing spektrum cahaya tersebut memiliki energi foton yang besarnya berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya. Semakin panjang gelombang cahaya, semakin kecil energi foton yang dihasilkan. Pengaruh energi foton pada tanaman cukup kompleks dan tidak semua spektrum cahaya bermanfaat untuk tanaman (direview oleh Hasan et al., 2017).



Gambar 1. Spektrum cahaya dan panjang gelombangnya

Berbagai studi menunjukkan peran energi foton dari spektrum cahaya tertentu terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Energi foton dari cahaya merah, misalnya, telah diketahui sejak lama mampu meningkatkan efisiensi fotosintesis (McCree, 1971). Beberapa spektrum cahaya biru (5-10%) menghasilkan energi foton yang mampu meningkatkan pertumbuhan meninggi tanaman, sekaligus mencegah pemanjangan batang yang berlebih (Hernández & Kubota, 2016). Pada laporan lainnya, cahaya biru diketahui menekan pertumbuhan meninggi tanaman dan perkembangan daun pada banyak spesies tanaman (Huché-Thélier et al., 2016).

Studi lain memperlihatkan bahwa paparan energi foton dari cahaya merah jauh pada tanaman yang diperlakukan dengan cahaya merah atau biru dapat meningkatkan produksi buah pada tanaman tomat (Ji et al., 2019; Kalaitzoglou et al., 2019). Sementara itu, penambahan energi foton cahaya merah jauh terhadap cahaya merah, sehingga rasio energi foton merah terhadap merah jauh turun, mengakibatkan

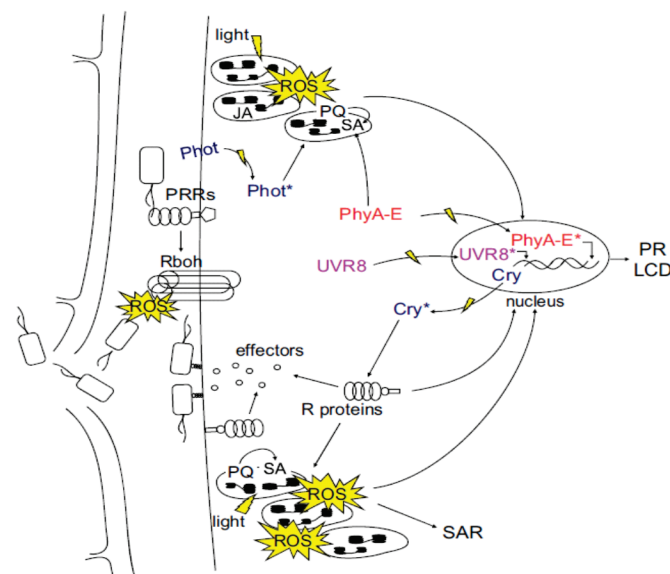
gejala kekurangan cahaya pada tanaman seperti pemanjangan internoda dan petiola, etiolasi, pergerakan vertikal daun, berkurangnya produksi cabang, hingga inisiasi pembungaan (Demotes-Mainard et al., 2016; Finlayson et al., 2010). Beberapa studi juga memperlihatkan bahwa penggunaan energi foton juga meningkatkan kualitas dan daya simpan hasil panen melalui produksi senyawa metabolit tertentu (Braidot et al., 2014; Costa et al., 2013; Glowacz et al., 2015).

Pemanfaatan energi foton untuk pengendalian penyakit tanaman

Energi foton dari berbagai spektrum cahaya tidak hanya berdampak terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman, namun juga terhadap patogen yang berasosiasi dengan penyakit tanaman, termasuk dari kelompok cendawan. Spektrum cahaya tertentu dapat memengaruhi perkembangan cendawan patogenik baik secara langsung maupun

secara tidak langsung. Secara langsung, cahaya dapat memengaruhi morfologi, perkembangan hifa, kemampuan sporulasi, dan perkecambahan spora *in vitro* cendawan. Pada model cendawan patogenik, *Botrytis cinerea*, paparan energi photon dari spektrum cahaya UV dan merah jauh dapat menginduksi

pembentukan spora, sebaliknya energi dari cahaya biru dan merah cenderung menekan kemampuan cendawan untuk memproduksi spora (Schumacher, 2017). Sementara itu, energi photon dari cahaya hijau menekan perkembangan hifa dan mengurangi viabilitas spora *B. cinerea* (Zhu et al., 2013).



Gambar 2. Beberapa mekanisme induksi ketahanan yang difasilitasi oleh aktivitas fotoreseptor setelah iradiasi cahaya (Delprato et al., 2015)

Pengaruh tidak langsung energi photon terhadap perkembangan patogen terjadi melalui induksi atau aktivasi sistem pertahanan tanaman pasca iradiasi cahaya (Ballaré, 2014). Secara umum, mekanisme aktivasi sistem pertahanan melibatkan protein reseptor spesifik (fotoreseptor) yang dapat mengenali cahaya tertentu. Beberapa fotoreseptor yang telah dikenali di tanaman diantaranya adalah *phytochrome* A-E (PhyA-E; umumnya mengenali cahaya merah), *cryptochromes* (Cry; reseptor cahaya biru), *phototropins* (Phot; reseptor cahaya UV-A) dan *UV resistance locus 8* (UVR8; reseptor cahaya UV-B) (Delprato et al., 2015).

Pasca iradiasi cahaya pada masing-masing gelombang yang dikenali, fotoreseptor akan bergerak menuju situs pengaktifan (Gambar 2). PhyA-E dan UVR8 akan bergerak dari sitosol ke dalam nukleus dan mengaktifkan ekspresi gen-gen pertahanan tanaman. Sebaliknya, protein Cry bergerak dari nukleus ke

sitosol yang berimbas pada pengaktifan PR protein. Sementara itu, Phot, yang lepas dari membran plasma ke sitosol dapat menginduksi berbagai proses seluler yang berkaitan dengan sistem pertahanan tanaman. Iradiasi cahaya juga dapat memengaruhi proses metabolisme yang terjadi di dalam kloroplas dan aktivasi sistem pertahanan melalui mekanisme pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) dan reaksi oksidasi plastoquinone (Delprato et al., 2015).

Pengaruh iradiasi cahaya dalam menginduksi ketahanan tanaman terhadap invasi patogen telah banyak dilaporkan, terutama pada tanaman semusim. Iradiasi UV-B, misalnya, dengan dosis $5,5 \text{ kJ m}^{-2}$ selama 4 jam mampu meningkatkan ketahanan tanaman *Arabidopsis thaliana* terhadap cendawan *B. cinerea* (Demkura & Ballaré, 2012). Pada penelitian tersebut diketahui bahwa mekanisme ketahanan terjadi melalui peningkatan konsentrasi senyawa flavonoid dan sinapates di dalam jaringan daun. Studi

lainnya pada tanaman lettuce juga menunjukkan bahwa peningkatan kandungan flavonoid (quercetin) terjadi setelah perlakuan iradiasi UV-B dan berimbas pada ketahanan tanaman terhadap penyakit embun bulu yang disebabkan oleh cendawan *Bremia latucae* (McLay et al., 2020). Selain melalui peningkatan senyawa flavonoid, mekanisme pertahanan yang diinduksi UV-B juga dapat terjadi melalui perubahan struktur anatomi daun seperti penebalan kutikula (Garcia et al., 1997) dan akumulasi *pathogenesis-related* (PR) protein pada daun (Fujibe et al., 2000).

Selain UV-B, iradiasi UV-C juga dilaporkan dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap invasi patogen. Pada dosis rendah $0,85 \text{ kJ m}^{-2}$, iradiasi UV-C diketahui meningkatkan ketahanan tanaman lettuce terhadap *B. cinerea* dan *Sclerotinia minor* (Ouhibi et al., 2015; Vázquez et al., 2017). Ketahanan tersebut juga merupakan efek dari peningkatan senyawa flavonoid pada daun setelah iradiasi UV-C. Penelitian sebelumnya pada tanaman tomat juga memperlihatkan bahwa iradiasi UV-C menginduksi terjadinya akumulasi senyawa fenolik dan pembentukan struktur bertahan yang mengandung lignin dan suberin sehingga tanaman menjadi lebih tahan terhadap *B. cinerea* (Charles et al., 2008). Sementara itu, penelitian terkini mendemonstrasikan bahwa tanaman yang diberikan perlakuan iradiasi UV-C dengan metode flash (penyinaran 1 detik, 1 kJ m^{-2}) secara terputus-putus selama 60 kali memiliki tingkat ketahanan yang lebih baik terhadap patogen dibandingkan dengan penyinaran secara kontinu (Aarouf & Urban, 2020). Temuan ini semakin membuka peluang penerapan iradiasi UV-C secara luas di lapangan. Selain itu, dari penelitian yang sama juga diketahui perlakuan iradiasi tersebut memberikan efek ketahanan sistemik pada daun yang tidak disinari.

Iradiasi energi foton dari spektrum cahaya tampak turut memberikan pengaruh positif terhadap ketahanan tanaman. Iradiasi cahaya biru pada densitas 150 dan $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ berturut-turut mampu meningkatkan ketahanan tanaman tomat dan lettuce terhadap *B. cinerea* melalui akumulasi senyawa proline serta antioksidan pada daun (Kim et al., 2013; Kook et al., 2013). Perlakuan iradiasi cahaya biru juga diketahui meningkatkan ekspresi gen-gen penting seperti *catalase* (CAT), *glutathione-s-transferase* (GST), *PR protein*, *proteinase inhibitor II* (PinII), dan *thaumatin-like protein* (TLP) yang berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman *Nicotiana*

benthiana terhadap *Pseudomonas syringiae* (Ahn et al., 2013).

Pada penelitian lain, iradiasi cahaya hijau selama 2 jam dengan densitas $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pada malam hari meningkatkan ketahanan tanaman stroberi terhadap *Glomerella cingulata* (R. Kudo et al., 2011). Belakangan diketahui bahwa ketahanan tersebut dipicu oleh peningkatan ekspresi gen seperti *allene oxide synthase* (AOS) dan *lipoxygenase* (LOX) yang berperan dalam biosintesis *jasmonic acid* (JA) Rika Kudo & Yamamoto, 2016). Iradiasi cahaya hijau juga diketahui meningkatkan ekspresi gen pertahanan seperti *phenylalanine ammonia-lyase* (PAL) dan *Pr1a* (Nagendran & Lee, 2015).

Sementara itu, iradiasi cahaya merah dilaporkan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap beberapa spesies cendawan, bakteri dan nematoda (direview oleh Hasan et al., 2017). Ekspresi gen-gen pertahanan yang terinduksi oleh iradiasi cahaya merah diantaranya adalah *CAT*, *peroxidase* (POD), dan *super oxide dismutase* (SOD) (Xu et al., 2017). Lebih lanjut, rasio iradiasi cahaya merah terhadap cahaya merah jauh (R:FR) turut memengaruhi respon ketahanan tanaman terhadap patogen. Rasio iradiasi R:FR tinggi ($> 1,2$) mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, sebaliknya rasio R:FR rendah ($< 1,2$) membuat tanaman menjadi lebih suseptibel terhadap penyakit (Ballaré, 2014).

Potensi penerapan teknologi iradiasi energi foton di lapangan telah diujicobakan pada budidaya stroberi dan anggur (Gadoury, 2019). Pada studi skala komersil tersebut, rangkaian lampu UV-C sebagai sumber radiasi ditarik menggunakan traktor (Gambar 3). Iradiasi UV-C yang dilakukan satu sampai dua kali per minggu pada malam hari dengan dosis $85-170 \text{ J m}^{-2}$ mampu menekan keparahan penyakit embun tepung (*Podosphaera aphanis*) selama musim tanam stroberi. Perlakuan yang diberikan memiliki efikasi yang sama, bahkan cenderung lebih baik dibandingkan aplikasi fungisida secara periodik (Onofre et al., 2021). Sementara itu pada tanaman anggur, perlakuan iradiasi UV-C pada dosis 100 dan 200 J m^{-2} mampu menekan keparahan penyakit embun tepung (*Erysiphe necator*) dan embun bulu (*Plasmophara viticola*) selama musim tanam (Gadoury, 2019). Hasil studi lapangan ini membuka peluang pengembangan perangkat radiasi UV-C yang dapat dikombinasikan dengan teknologi *machine learning* dan *internet of things* untuk automasi aplikasi.

Iradiasi energi photon tidak selamanya memberikan dampak positif terhadap regulasi sistem pertahanan tanaman. Iradiasi UV-B, pada beberapa kasus, dilaporkan menyebabkan peningkatan kerentanan tanaman terhadap penyakit (Finckh et al., 1995). Dampak negatif tersebut diduga berkaitan erat dengan dosis aplikasi UV-B yang dapat berimbas terhadap kondisi stress atau kerusakan sel pada tanaman. Setiap tanaman memiliki respon yang berbeda terhadap iradiasi UV-B (direview oleh Meyer et al., 2021). Sebagai contoh, tanaman brokoli menunjukkan gejala fototoksitas pada dosis aplikasi 2,2 kJ m⁻², sementara bunga matahari mampu bertahan hingga 30 kJ m⁻². Contoh lainnya, iradiasi cahaya biru pada *N. benthamiana* menyebabkan tanaman menjadi lebih rentan terhadap infeksi *Phytophthora infestans* (Naqvi et al., 2022). Oleh karena itu, dosis aplikasi menjadi salah satu parameter yang harus dipertimbangkan dalam upaya menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit.

Peluang aplikasi iradiasi energi photon untuk mengendalikan penyakit bercak daun di pembibitan kelapa sawit

Paparan di atas telah menunjukkan potensi iradiasi energi foton dari berbagai spektrum cahaya untuk pengendalian penyakit tanaman. Teknologi iradiasi energi foton berpotensi untuk dilakukan di pembibitan kelapa sawit sebagai bagian terintegrasi untuk pengelolaan penyakit bercak daun yang umumnya disebabkan oleh cendawan *Curvularia* sp. Pengelolaan penyakit berpotensi untuk dilakukan melalui pendekatan preventif maupun kuratif. Pendekatan preventif didasarkan pada fakta bahwa iradiasi photon dapat menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit yang disebabkan oleh cendawan patogenik. Melalui pendekatan ini, iradiasi energi foton dilakukan sebagai tindakan '*priming*' untuk secara fisiologis mengondisikan sistem pertahanan tanaman agar mampu merespon invasi patogen secara lebih cepat sehingga tanaman menjadi lebih tahan penyakit. Sementara itu, pendekatan kuratif juga berpotensi untuk dilakukan karena iradiasi cahaya pada spektrum dan dosis tertentu diketahui mampu menekan pertumbuhan dan perkembangan patogen.

Penelitian-penelitian dasar tentunya masih

diperlukan sebelum aplikasi iradiasi energi foton pada skala pembibitan kelapa sawit. Pertama, kajian terhadap pengaruh iradiasi foton terhadap fase-fase pertumbuhan cendawan *Curvularia* sp. Hal ini dilakukan untuk mengetahui rentang spektrum cahaya dan dosis efektif yang berdampak negatif terhadap perkembangan *Curvularia* sp. pada berbagai fase pertumbuhannya. Aspek kedua yang juga penting untuk dikaji adalah bagaimana dampak iradiasi photon terhadap bibit kelapa sawit. Penelitian ini juga diperlukan untuk mengetahui dosis aplikasi yang tidak menyebabkan gejala fototoksik atau stres pada bibit kelapa sawit. Kedua aspek tersebut akan menghasilkan informasi spektrum cahaya dan dosis yang sesuai untuk menghambat perkembangan patogen namun tidak menyebabkan reaksi fototoksitas yang membuat tanaman menjadi lebih suseptibel. Tentunya informasi ini akan sangat bermanfaat untuk pendekatan kuratif.

Sementara itu untuk pendekatan preventif, perlu dilakukan kajian untuk melihat apakah iradiasi photon dapat meningkatkan ketahanan bibit kelapa sawit terhadap infeksi *Curvularia* sp. pada skala rumah kaca. Output yang diharapkan dari kajian tersebut adalah spektrum dan dosis iradiasi spesifik yang dapat digunakan sebagai perlakuan priming untuk menekan keparahan penyakit bercak daun *Curvularia*.

Rancang bangun sumber radiasi juga perlu dikaji untuk memperoleh prototipe instrumen yang sesuai dengan kondisi pembibitan yang terbuka (*open space*) dan kanopi bibit kelapa sawit. Sumber radiasi dapat menggunakan *light-emitting diodes* (LED) atau teknologi laser untuk akurasi dan distribusi penyinaran yang lebih baik. Terkini, iradiasi berbasis teknologi laser juga telah diujikan terhadap patogen dan penyakit tanaman dengan hasil yang sangat menjanjikan (Dłuzniewska et al., 2021; El Smary et al., 2022). Instrumen radiasi dapat dikembangkan secara statis yang terintegrasi dengan instalasi penerangan di pembibitan, atau secara dinamis (portabel). Dalam hal ini, instrumen radiasi portabel lebih ideal untuk dikembangkan karena lebih efisien dan tidak memerlukan sumber daya yang besar. Selain itu, dari segi keamanan, efek radiasi lebih mudah dikendalikan pada instrumen portabel dibandingkan instalasi pencahayaan. Lebih lanjut, instrumen portabel juga dapat diintegrasikan dengan instrumen lain seperti *drone* sehingga mempermudah praktik aplikasinya di pembibitan. Informasi

fundamental yang dihasilkan dari kajian-kajian tersebut akan menjadi dasar yang baik untuk menyusun strategi implementasi teknologi iradiasi foton dalam pengelolaan penyakit bercak daun *Curvularia* di pembibitan kelapa sawit.

PENUTUP

Iradiasi energi foton telah terbukti dapat dimanfaatkan untuk pengendalian penyakit pada tanaman semusim. Secara praktis, teknologi iradiasi foton sangat memungkinkan untuk diterapkan pada skala luas di lapangan. Berkat kemajuan teknologi optik, saat ini instrumen radiasi photon dapat dibuat dengan rancang bangun yang lebih sederhana sehingga dapat lebih mudah untuk disesuaikan dengan kondisi di pembibitan kelapa sawit maupun diintegrasikan dengan teknologi lainnya seperti drone. Namun demikian, penerapan teknologi iradiasi ini masih harus melalui berbagai tahap pengujian sebelum dapat diaplikasikan secara luas di pembibitan kelapa sawit komersial. Teknologi iradiasi energi photon pun harus digunakan dengan benar untuk menghindari resiko-resiko negatif yang berkaitan dengan radiasi berlebihan, khususnya pada spektrum cahaya UV. Pelatihan yang tepat dan protokol penggunaan yang memadai merupakan kunci untuk aplikasi yang aman dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aarouf, J. & Urban, L. (2020). Flashes of UV-C light: An innovative method for stimulating plant defences. *PLoS ONE*, 15(7), e0235918. doi:10.1371/journal.pone.0235918
- Ahn, S.-Y., Kim, S., Baek, K.-H. & Yun, H. (2013). Inhibiting wildfire and inducing defense-related gene expression by LED treatment on *Nicotiana benthamiana*. *Journal of Plant Pathology*, 477-483.
- Almaguer, M., Rojas, T. I., Dobal, V., Batista, A. & Aira, M. J. (2013). Effect of temperature on growth and germination of conidia in *Curvularia* and *Bipolaris* species isolated from the air. *Aerobiologia*, 29(1), 13-20. doi:10.1007/s10453-012-9257-z
- Ariyawansa, H. A., Thambugala, K. M., Manamgoda, D. S., Jayawardena, R., Camporesi, E., Boonmee, S., Wanasinghe, D. N., Phookamsak, R., Hongsanan, S., Singtripop, C., Chukeatirote, E., Kang, J.-C., Jones, E. B. G. & Hyde, K. D. (2015). Towards a natural classification and backbone tree for Pleosporaceae. *Fungal Diversity*, 71(1), 85-139. doi:10.1007/s13225-015-0323-z
- Ballaré, C. L. (2014). Light regulation of plant defense. *Annual Review of Plant Biology*, 65(1), 335-363. doi:10.1146/annurev-arplant-050213-040145
- Bengyella, L., Yekwa, E. L., Nawaz, K., Iftikhar, S., Tambo, E., Alisoltani, A., Feto, N. A. & Roy, P. (2018). Global invasive *Cochliobolus* species: cohort of destroyers with implications in food losses and insecurity in the twenty-first century. *Archives of Microbiology*, 200(1), 119-135. doi:10.1007/s00203-017-1426-6
- Braidot, E., Petrusa, E., Peresson, C., Patui, S., Bertolini, A., Tubaro, F., Wählby, U., Coan, M., Vianello, A. & Zancani, M. (2014). Low-intensity light cycles improve the quality of lamb's lettuce (*Valerianella olitoria* [L.] Pollich) during storage at low temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 90, 15-23. doi:https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.003
- Charles, M. T., Mercier, J., Makhlof, J. & Arul, J. (2008). Physiological basis of UV-C-induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit: I. Role of pre- and post-challenge accumulation of the phytoalexin-rishitin. *Postharvest Biology and Technology*, 47(1), 10-20. doi:https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.013
- Costa, L., Millan Montano, Y., Carrión, C., Rolny, N. & Guiamet, J. J. (2013). Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 181-191. doi:https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.017
- Dai, Y. L., Gan, L., Chen, F. R. & Yang, X. J. (2019). Leaf blight caused by *Curvularia coicis* on Chinese pearl barley (*Coix chinensis*) in Fujian Province, China. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 41(2), 270-276.

- doi:10.1080/07060661.2019.1567591
- Delprato, M. L., Krapp, A. R. & Carrillo, N. (2015). Green light to plant responses to pathogens: The role of chloroplast light-dependent signaling in biotic stress. *Photochemistry and Photobiology*, 91(5), 1004-1011. doi:https://doi.org/10.1111/php.12466
- Demkura, P. V. & Ballaré, C. L. (2012). UVR8 mediates UV-B-induced Arabidopsis defense responses against *Botrytis cinerea* by controlling sinapate accumulation. *Molecular Plant*, 5(3), 642-652. doi:https://doi.org/10.1093/mp/sss025
- Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierc, J., Pelleschi-Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huché-Thélier, L., Boumaza, R., Vian, A., Guérin, V., Leduc, N. & Sakr, S. (2016). Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 4-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010
- Dłużniewska, J., Klimek-Kopyra, A., Czech, T., Dobrowolski, J. W. & Dacewicz, E. (2021). The use of coherent laser stimulation of seeds and a fungal inoculum to increase the productivity and health of soybean plants. *Agronomy*, 11(10), 1923.
- El Semary, N., Al Naim, H. & Aldayel, M. F. (2022). A novel application of laser in biocontrol of plant pathogenic bacteria. *Applied Sciences*, 12(10), 4933.
- Ernayunita & Rozziansha, T. A. P. (2022). *Evaluasi serangan penyakit kelapa sawit di pembibitan Unit Parindu, Kalimantan Barat*.
- Fauzi, W. R. & Pradana, M. G. (2021). *Evaluasi penyakit bercak daun kelapa sawit di sentra pembibitan Kuantan Singingi, Riau*.
- Fei, J. B., Dong, Z. X., Liu, Z. B., Jin, D. L., Qu, J., Liu, S. Y., Ma, Y. Y. & Guan, S. Y. (2020). Quantitative trait loci mapping for resistance to curvularia leaf spot in maize. *International Journal of Agriculture and Biology*, 24(5), 1363-1370. doi:10.17957/IJAB/15.1571
- Ferdinandez, H. S., Manamgoda, D. S., Udayanga, D., Deshappriya, N., Munasinghe, M. S. & Castlebury, L. A. (2021). Molecular phylogeny and morphology reveal three novel species of *Curvularia* (Pleosporales, Pleosporaceae) associated with cereal crops and weedy grass hosts. *Mycological Progress*, 20(4), 431-451. doi:10.1007/s11557-021-01681-0
- Finckh, M. R., Chavez, A. Q., Dai, Q. & Teng, P. S. (1995). Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of rice and its susceptibility to rice blast under glasshouse conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 52(2), 223-233. doi:https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00529-N
- Finlayson, S. A., Krishnareddy, S. R., Kebrom, T. H. & Casal, J. J. (2010). Phytochrome Regulation Of Branching In *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 152(4), 1914-1927. doi:10.1104/pp.109.148833
- Fujibe, T., Watanabe, K., Nakajima, N., Ohashi, Y., Mitsuhashi, I., Yamamoto, K. T. & Takeuchi, Y. (2000). Accumulation of pathogenesis-related proteins in tobacco leaves irradiated with UV-B. *Journal of Plant Research*, 113(4), 387-394. doi:10.1007/PL00013946
- Gadoury, D. M. (2019). The potential of light treatments to suppress certain plant pathogens and pests. *Research Focus*.
- GAPKI. (2022). Kinerja industri sawit 2021 dan prospek 2022 [Press release]
- García, S., García, C., Heinzen, H. & Moyna, P. (1997). Chemical basis of the resistance of barley seeds to pathogenic fungi. *Phytochemistry*, 44(3), 415-418. doi:https://doi.org/10.1016/S0031-9422(96)00511-0
- Glowacz, M., Mogren, L. M., Reade, J. P., Cobb, A. H. & Monaghan, J. M. (2015). High- but not low-intensity light leads to oxidative stress and quality loss of cold-stored baby leaf spinach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(9), 1821-1829. doi:https://doi.org/10.1002/jsfa.6880
- Hasan, M. M., Bashir, T., Ghosh, R., Lee, S. K. & Bae, H. (2017). An overview of LEDs' effects on the production of bioactive compounds and crop quality. *Molecules*, 22(9), 1420.

- Hernández, R. & Kubota, C. (2016). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 66-74. doi:https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001
- Hidayat, I. & Ramadhani, I. (2019). Phylogenetic study of *Curvularia* on sorghum from Indonesia based on ITS rDNA sequence. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 3(2), 118-124.
- Huché-Thélier, L., Crespel, L., Gourrierc, J. L., Morel, P., Sakr, S. & Leduc, N. (2016). Light signaling and plant responses to blue and UV radiations: Perspectives for applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 22-38. doi:https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.009
- Hyde, K. D., Nilsson, R. H., Alias, S. A., Ariyawansa, H. A., Blair, J. E., Cai, L., de Cock, A. W. A. M., Dissanayake, A. J., Glockling, S. L., Goonasekara, I. D., Gorczak, M., Hahn, M., Jayawardena, R. S., van Kan, J. A. L., Laurence, M. H., Lévesque, C. A., Li, X., Liu, J.-K., Maharachchikumbura, S. S. N., Manamgoda, D. S., Martin, F. N., McKenzie, E. H. C., McTaggart, A. R., Mortimer, P. E., Nair, P. V. R., Pawłowska, J., Rintoul, T. L., Shivas, R. G., Spies, C. F. J., Summerell, B. A., Taylor, P. W. J., Terhem, R. B., Udayanga, D., Vaghefi, N., Walther, G., Wilk, M., Wrzosek, M., Xu, J.-C., Yan, J. & Zhou, N. (2014). One stop shop: Backbone trees for important phytopathogenic genera. *Fungal Diversity*, 67(1), 21-125. doi:10.1007/s13225-014-0298-1
- Jeon, S. J., Nguyen, T. T. T. & Lee, H. B. (2015). Phylogenetic status of an unrecorded species of *Curvularia*, *C. spicifera*, based on current classification system of *Curvularia* and *Bipolaris* group using multi loci. *Mycobiology*, 43(3), 210-217. doi:10.5941/MYCO.2015.43.3.210
- Ji, Y., Ouzounis, T., Courbier, S., Kaiser, E., Nguyen, P. T., Schouten, H. J., Visser, R. G. F., Pierik, R., Marcelis, L. F. M. & Heuvelink, E. (2019). Far-red radiation increases dry mass partitioning to fruits but reduces *Botrytis cinerea* resistance in tomato. *Environmental and Experimental Botany*, 168, 103889. doi:https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103889
- Kalaitzoglou, P., van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., Nicole, C. C. S. & Marcelis, L. F. M. (2019). Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Frontiers in Plant Science*, 10. doi:10.3389/fpls.2019.00322
- Kim, K., Kook, H.-S., Jang, Y.-J., Lee, W.-H., Kamalakannan, S., Chae, J.-C. & Lee, K.-j. (2013). The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 4, 1-5.
- Kook, H.-S., Park, S.-H., Jang, Y.-J., Lee, G.-W., Kim, J. S., Kim, H. M., Oh, B.-T., Chae, J.-C. & Lee, K.-J. (2013). Blue LED (light-emitting diodes)-mediated growth promotion and control of *Botrytis* disease in lettuce. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 63(3), 271-277. doi:10.1080/09064710.2012.756118
- Kudo, R., Ishida, Y. & Yamamoto, K. (2011). *Effects of green light irradiation on induction of disease resistance in plants*.
- Kudo, R. & Yamamoto, K. (2016). Induction of plant disease resistance and other physiological responses by green light illumination. In T. Kozai, K. Fujiwara, & E. S. Runkle (Eds.), *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 261-273). Singapore: Springer Singapore.
- Kusai, N. A., Azmi, M. M. Z., Zulkifly, S., Yusof, M. T. & Zainudin, N. A. I. M. (2016). Morphological and molecular characterization of *Curvularia* and related species associated with leaf spot disease of rice in Peninsular Malaysia. *Rendiconti Lincei*, 27(2), 205-214.
- Manamgoda, D. S., Rossman, A. Y., Castlebury, L. A., Chukeatirote, E. & Hyde, K. D. (2015). A taxonomic and phylogenetic re-appraisal of the genus *Curvularia* (Pleosporaceae): Human and plant pathogens. *Phyotaxa*, 212(3), 175-198.
- McCree, K. J. (1971). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191-216.

- doi:[https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)
- McLay, E. R., Pontaroli, A. C. & Wargent, J. J. (2020). UV-B induced flavonoids contribute to reduced biotrophic disease susceptibility in lettuce seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11. doi:10.3389/fpls.2020.594681
- Meyer, P., Van de Poel, B. & De Coninck, B. (2021). UV-B light and its application potential to reduce disease and pest incidence in crops. *Horticulture Research*, 8(1), 194. doi:10.1038/s41438-021-00629-5
- Nagendran, R. & Lee, Y. H. (2015). Green and red light reduces the disease severity by *Pseudomonas cichorii* JBC1 in tomato plants via upregulation of defense-related gene expression. *Phytopathology*, 105(4), 412-418.
- Naqvi, S., He, Q., Trusch, F., Qiu, H., Pham, J., Sun, Q., Christie, J. M., Gilroy, E. M. & Birch, P. R. J. (2022). Blue-light receptor phototropin 1 suppresses immunity to promote *Phytophthora infestans* infection. *New Phytologist*, 233(5), 2282-2293. doi:<https://doi.org/10.1111/nph.17929>
- Nasehi, A., Sathyapriya, H. & Wong, M. Y. (2019). First report of leaf spot on oil palm caused by *Phyllosticta capitalensis* in Malaysia. *Plant Disease*, 104(1), 288-288. doi:10.1094/PDIS-06-19-1232-PDN
- Onofre, R. B., Gadoury, D. M., Stensvand, A., Bierman, A., Rea, M. & Peres, N. A. (2021). Use of ultraviolet light to suppress powdery mildew in strawberry fruit production fields. *Plant Disease*, 105(9), 2402-2409. doi:10.1094/pdis-04-20-0781-re
- Ouhibi, C., Attia, H., Nicot, P., Urban, L., Lachaâl, M. & Aarouf, J. (2015). Effect of UV-C radiation on resistance of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.) against *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia minor*. *Journal of Phytopathology*, 163(7-8), 578-582. doi:<https://doi.org/10.1111/jph.12357>
- Pestisida, D. P. d. (2022). Sistem Informasi Pestisida. Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia https://pestisida.id/simpes_app/index.php
- Priwiratama, H. (2012). Efikasi fungisida Nordox 86WG terhadap penyakit bercak daun *Curvularia* di pembibitan kelapa sawit.
- Priwiratama, H., Prasetyo, A. E., Susanto, A. & Sujadi. (2017). Gejala, faktor pencetus dan penanganan bercak daun *Curvularia* dan antraknosa di pembibitan kelapa sawit. *Warta PPKS*, 23(1), 25-34.
- Purba, R. Y., Puspa, W. & Hutauruk, C. (1999). Pedoman teknis hama dan penyakit di pembibitan kelapa sawit. In (Vol. 1). Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Rozziانشa, T. A. P. & Nirwanto. (2022). Evaluasi penyakit bercak daun *Curvularia* di pembibitan kelapa sawit lingkup PTPN VII.
- Rozziانشa, T. A. P. & Pradana, M. G. (2022). Evaluasi dan rekomendasi penanganan penyakit bercak daun kelapa sawit di kebun lingkup PTPN V.
- Schumacher, J. (2017). How light affects the life of *Botrytis*. *Fungal Genetics and Biology*, 106, 26-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fgb.2017.06.002>
- Solehudin, D., Suswanto, I. & Supriyanto. (2012). Status penyakit bercak coklat pada pembibitan kelapa sawit di Kabupaten Sanggau. *Jurnal Perkebunan & Lahan Tropika*, 2(1), 1-6.
- Sujadi & Priwiratama, H. (2014). Laporan purna jual 2014: Evaluasi penyakit bercak daun *Curvularia* di pembibitan kelapa sawit di Kabupaten Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah.
- Susanto, A. & Prasetyo, A. E. (2013). Respons *Curvularia lunata* penyebab penyakit bercak daun kelapa sawit terhadap berbagai fungisida. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(6), 165-172. doi:10.14692/jfi.9.6.165
- Susanto, A., Purba, R. Y. & Prasetyo, A. E. (2010). Hama dan Penyakit Kelapa Sawit. Medan: PPKS.
- Suwannarach, N., Sujarit, K., Kumla, J., Bussaban, B. & Lumyong, S. (2013). First report of leaf spot disease on oil palm caused by *Pestalotiopsis theae* in Thailand. *Journal of general plant pathology*, 79(4), 277-279.
- Vásquez, H., Ouhibi, C., Lizzi, Y., Azzouz, N., Forges,

- M., Bardin, M., Nicot, P., Urban, L. & Aarouf, J. (2017). Pre-harvest hormetic doses of UV-C radiation can decrease susceptibility of lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.) to *Botrytis cinerea* L. *Scientia Horticulturae*, 222, 32-39. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.017>
- Xu, H., Fu, Y.-n., Li, T.-l. & Wang, R. (2017). Effects of different LED light wavelengths on the resistance of tomato against *Botrytis cinerea* and the corresponding physiological mechanisms. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(1), 106-114. doi:[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61435-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61435-1)
- Zhang, D., Wang, F., Zhao, J., Sun, J., Fu, D., Liu, K., Chen, N., Li, G., Xiao, S. & Xue, C. (2019). Virulence, Molecular Diversity, and Mating Type of *Curvularia lunata* in China. *Plant Disease*, 103(7), 1728-1737. doi:10.1094/pdis-10-18-1857-re
- Zhu, P., Zhang, C., Xiao, H., Wang, Y., Toyoda, H. & Xu, L. (2013). Exploitable regulatory effects of light on growth and development of *Botrytis cinerea*. *Journal of Plant Pathology*, 95(3), 509-517.