

Ritme Sirkadian: Jam Biologis bagi Tanaman Kakao

Sulistiyani Pancaningtyas¹⁾

¹⁾Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman 90 Jember 68118

Ritme sirkadian mengatur siklus biologis dan fisiologis tanaman seperti pergerakan daun, perkecambahan, pembungaan, membuka dan menutupnya stomata, perubahan turgor sel, serta pembelahan sel. Siklus ini terjadi secara berulang-ulang yang dipengaruhi oleh hormon endogen dan kondisi lingkungan seperti suhu dan cahaya. Keberadaan hormon auksin endogen dapat merangsang pertumbuhan daun atau tunas pada daun-daun muda kemudian menyebar ke organ-organ lain sampai ke pedikula atau petiol yang dapat mencegah pembentukan lapisan absisi. Pemahaman mengenai fisiologi pembungaan sangat dibutuhkan oleh *stakeholder* kakao, terutama bagi agronomis dan pekebun untuk menjaga kestabilan produksi buah dan benih kakao, yang nantinya juga menunjang pemenuhan kebutuhan terhadap penyediaan benih kakao di seluruh Indonesia.

Seperti halnya manusia, tumbuhan juga memiliki sistem peringatan dini untuk mempersiapkan diri menerima sinar matahari sehingga mampu memproses energi cahaya menjadi sumber makanan yang dibutuhkan tanaman. Para ilmuwan telah menemukan bahwa tumbuhan mempunyai jam biologis yang bekerja selama 24 jam. Sistem ini mampu memberitahu tanaman kapan waktunya untuk menyambut datangnya sinar matahari.

Jam biologis tersebut dikendalikan oleh gen di dalam inti sel tanaman. Sistem jam biologis ini akan mengatur kerja enzim yang memodifikasi protein D1 yang berperan dalam fotosintesis. Saat D1 bertemu dengan posporus, maka akan terbentuk protein dalam kloroplas, sebuah struktur dalam sel yang terbuat dari karbohidrat, lemak dan protein. Protein hasil modifikasi inilah yang berfungsi sebagai jam biologis tumbuhan sehingga

mampu mengatur metabolismenya selama berada di bawah sinar matahari yang terkait langsung dengan proses fotosintesis.

Perubahan sistem biologis dan fisiologis tanaman, responnya seperti pergerakan daun, perkecambahan, pembungaan, membuka dan menutupnya stomata, perubahan turgor sel, serta pembelahan sel sangat bergantung pada siklus yang dipengaruhi oleh hormon endogen dan kondisi lingkungan seperti suhu dan cahaya dalam suatu siklus harian yang terjadi berulang-ulang¹⁾. Suatu siklus fisiologis dengan frekuensi 24 jam disebut ritme sirkadian. Ritme sirkadian merupakan proses biologis yang menunjukkan osilasi endogen dan berulang setiap sekitar 24 jam. Ritme ini didorong oleh jam sirkadian, dan telah banyak diamati pada tanaman, hewan, jamur, dan *Cyanobacteria*. Pengamatan tentang osilasi sirkadian endogen yang pertama tercatat adalah

yang dilakukan oleh ilmuwan Prancisc²⁾ pada tahun 1729. Ia mencatat bahwa pola 24 jam pada gerakan daun tanaman putri malu terus berlanjut bahkan ketika tanaman disimpan dalam kegelapan konstan, pada percobaan pertama untuk mencoba membedakan jam endogen dari tanggapan menuju rangsangan sehari-hari.



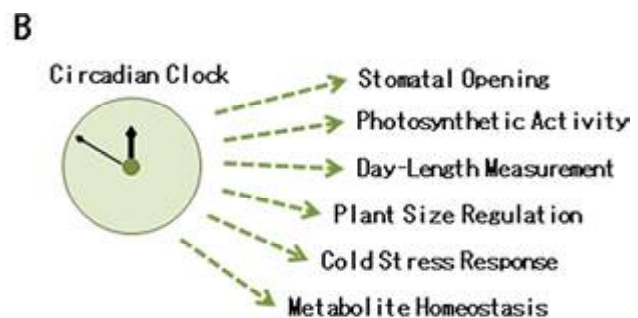
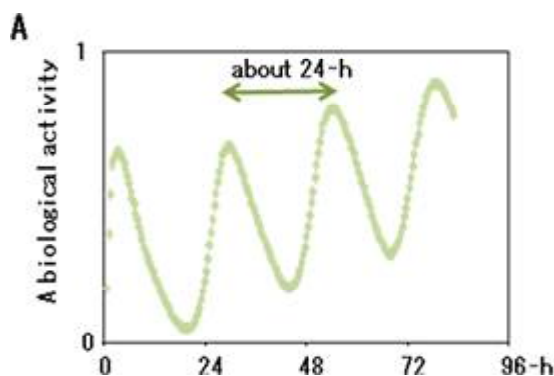
Pembungaan tanaman kakao

Ilmu formal mengenai ritme biologis sementara, seperti ritme harian, pasang surut, mingguan, musiman, dan tahunan, disebut kronobiologi. Meskipun ritme sirkadian terjadi secara endogen (tetap dan mandiri), ritme ini disesuaikan dengan lingkungan sekitar oleh isyarat eksternal yang disebut *zeitgebers*, biasanya yang paling penting adalah pada siang hari.

Apakah ritme ini benar-benar dipengaruhi oleh jam biologis tumbuhan, atau ritme ini hanya sekedar respon harian terhadap beberapa pengaruh lingkungan seperti rotasi bumi dengan

adanya siang dan malam? Maka para ilmuwan menggunakan fenomena ini untuk lebih memahami mengenai fisiologi tumbuhan. Pemahaman lebih mendalam mengenai ritme sirkadian ini telah diterapkan pada bidang pertanian, seperti halnya membantu petani memperkirakan waktu panen sehingga dapat memprediksi ketersediaan pangan dan membantu mengamankan persediaan tersebut dari gangguan cuaca. Ritme sirkadian bertahan, bahkan ketika suatu organisme itu dilindungi dari pengaruh lingkungan penyebabnya seperti pada tanaman buncis. Hasil penelitian sejauh ini mengungkapkan bahwa osilator untuk ritme sirkadian adalah endogenus atau internal. Jam ini diatur pada periode 24 jam yang tepat melalui sinyal harian dari lingkungan³.

Jika suatu organisme dipertahankan pada lingkungan yang konstan, maka ritme sirkadian-nya akan menyimpang dari periode 24 jam sehingga bisa lebih atau berkurang. Periode yang berjalan bebas bervariasi mulai dari sekitar 21 sampai 27 jam, bergantung pada respon ritmik tertentu. Penyimpangan periode yang berjalan bebas dari tepat 24 jam tidak berarti bahwa jam biologis bergeser tidak teratur. Siklus terang gelap yang disebabkan oleh rotasi bumi merupakan faktor umum yang mempengaruhi jam biologis. Jika waktu petunjuk ini berubah, diperlukan beberapa hari untuk mengeset ulang jam tersebut.



(Sumber : Nakamichi dan Wilkinson, 2010)

Ritme sirkadian/jam biologis pada tanaman; Jam sirkadian membentuk ritme sirkadian pada tanaman (A), ritme tersebut bertahan meskipun pada kondisi tanpa isyarat waktu dari lingkungan (misalnya perubahan suhu dan pencahayaan); dan Proses fisiologis yang diatur oleh jam biologis pada tanaman (B)

Ritme Sirkadian pada Pembungaan Tanaman Kakao

Dalam pengorganisasian struktur tanaman, proses perkembangan organ tepat pada waktunya merupakan hal yang penting. Salah satu proses perkembangan yang harus tepat waktu adalah proses pembungaan. Tumbuhan tidak boleh berbunga terlalu cepat sebelum organ-organ penunjang lainnya sudah siap, misalnya sebelum akar dan daun lengkap. Sebaliknya tumbuhan pun tidak boleh berbunga terlambat, sehingga buah tumbuh tidak sempurna karena musim dingin telah datang. Penyediaan waktu biologis merupakan periode waktu tertentu yang harus dicapai oleh tumbuhan sebelum pembungaan dimulai. Sebagai contoh tanaman tomat, tanaman ini tidak akan berbunga sampai lima ruas daunnya telah tumbuh dan berkembang pada batang. Tunas menghasilkan bunga, akan tetapi daun yang mendeteksi fotoperiodisme. Fotoperiodisme adalah reaksi fisiologis tanaman terhadap panjang siang atau malam hari berupa perkembangan tanaman untuk relatif periode terang atau periode gelap, dan hal ini berhubungan langsung dengan waktu. Pada spesies tumbuhan hari pendek atau tumbuhan hari panjang, pembungaan cukup diinduksi dengan memaparkan sebuah daun tunggal terhadap fotoperiodisme yang tepat. Sesungguhnya, meskipun hanya satu daun dibiarkan bertaut pada tumbuhan, fotoperiodisme akan tetap dideteksi dan tunas bunga akan diinduksi. Namun, jika semua daun dibuang tumbuhan akan buta terhadap fotoperiodisme. Pada kenyataannya, beberapa pesan untuk berbunga diangkut dari daun ke tunas bunga. Sebagian besar ahli fisiologi tumbuhan yakin bahwa pesan ini adalah hormon atau beberapa konsentrasi relatif dari dua atau lebih hormon.

Pengaturan ritme sirkadian untuk pembungaan yang dipengaruhi oleh hormon tertentu, saat ini menjadi fokus perhatian para ilmuwan untuk diteliti. Inti dari siklus biologis ini adalah hasil umpan balik dari ekspresi gen sebagai osilator sentral, yang interaksinya mengatur seluruh proses fisiologis tanaman. Dengan mengetahui pola ekspresinya, kita dapat melakukan manipulasi terhadap protein yang mengaturnya, seperti ukuran tanaman

dan kemampuan beradaptasi terhadap stres lingkungan, yang memiliki keuntungan yang signifikan terhadap kemajuan pertanian.

Proses pembungaan sendiri merupakan suatu proses yang cukup kompleks, karena terkait dengan transisi dari apeks vegetatif menjadi apeks generatif yang ditandai dengan adanya perubahan secara morfologi berdasarkan perubahan fisiologi tanaman⁴). Tahap transisi ini merupakan proses tanaman dalam merespon sinyal lingkungan (panjang hari, intensitas cahaya dan ketersediaan nutrisi). Selain faktor lingkungan, proses pembungaan dikendalikan oleh banyak gen yang saling berinteraksi⁵). *APETALA1 (AP1)* merupakan salah satu gen kunci yang berpengaruh terhadap induksi pembungaan, baik pada tahap transisi fase vegetatif ke fase generatif maupun pada tahap pembentukan organ bunga. Gen *AP1* pada tanaman kakao terlibat dalam regulasi pembungaan kakao pada stadia awal perkembangan bunga, dan penentu pembentukan sepal dan petal. Pola ekspresi *AP1* pada berbagai jaringan tanaman kakao, yang terjadi sangat kuat pada bagian sepal dan petal dan semakin berkurang ekspresinya pada kuncup bunga, bantalan bunga aktif dan bantalan bunga pasif⁶). Ekspresi gen *AP1* pada tanaman kakao tidak terjadi pada bagian daun dan bantalan bertunas. Aktivitas gen *AP1* dipengaruhi oleh faktor suhu, nutrisi dan zat pengatur tumbuh.

Faktor lingkungan merupakan faktor yang sangat erat berhubungan dengan tanaman, karena mempengaruhi proses-proses fisiologi tanaman. Semua proses fisiologi dipengaruhi suhu dan beberapa proses bergantung pada cahaya. Penyinaran cahaya terhadap tanaman merupakan salah satu faktor eksternal yang mempengaruhi pembungaan. Fotoperiodisitas merupakan fenomena dimana fase perkembangan tumbuhan dipengaruhi oleh lama penyinaran yang diterima oleh tumbuhan tersebut. Beberapa jenis tumbuhan perkembangannya sangat dipengaruhi oleh lamanya penyinaran, terutama dengan kapan tumbuhan tersebut akan memasuki fase generatifnya, misalnya pembungaan.

Dalam fotoperiodisme diketahui bahwa yang terpenting bukanlah intensitas cahaya melainkan lamanya penyinaran (bukan sinar matahari).

Fenomena ini dapat kita jumpai pada beberapa varietas tanaman (misalnya tanaman mangga) yang tempat tumbuhnya di pekarangan dan dekat sumber cahaya (lampu listrik) berbunga di luar musimnya. Walaupun demikian, di alam banyak dijumpai tanaman yang tidak mau berbunga bila panjang hari kurang atau lebih dari apa yang seharusnya dibutuhkan. Jika tumbuhan tidak berfotosintesis secara aktif, maka akan kekurangan cadangan makanan yang penting untuk proses pembungaan⁷⁾. Pada dasarnya semua aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman dipengaruhi oleh fotoperiodisme⁸⁾.

Waktu awal berbunga pada tanaman kakao cukup beragam, tergantung pada sifat genetik dan pemeliharaan tanaman tersebut. Tanaman kakao yang dipelihara dengan baik akan mulai berbunga kurang lebih pada umur dua tahun⁹⁾. Periode musim berbunga tanaman kakao, dipengaruhi oleh umur dan ritme sirkadian tanaman kakao secara menyeluruh. Pada tanaman kakao yang masih muda, tanaman relatif bertunas secara terus menerus, sedangkan setelah berumur tiga hingga empat tahun, tanaman kakao akan berbunga secara periodik. Ketika daun baru (*flush*) menjadi dewasa, karbohidrat dan zat perangsang pembungaan telah banyak terbentuk untuk menopang pembungaan dan pertumbuhan buah kakao. Selain itu, pola pembungaan pada tanaman kakao juga dipengaruhi baik secara langsung ataupun tidak langsung oleh iklim. Kondisi musim kering akan menghambat pembungaan pada daerah yang memiliki curah hujan dan suhu yang relatif sama. Berdasarkan hasil penelitian di beberapa negara produsen kakao, menunjukkan bahwa kondisi kering berkepanjangan atau cuaca dingin, menghambat pertumbuhan bunga, sebaliknya curah hujan dan suhu yang hangat memacu pembungaan dan pematangan kakao¹⁰⁾. Pohon kakao mulai berbunga sekitar 30 bulan setelah ditanam, sedangkan kakao klonal hanya 15-24 bulan. Produksi puncak tercapai pada saat pohon berumur 4-5 tahun dan dapat bertahan selama 20 tahun atau lebih jika pengelolaannya baik. Pada akhir musim hujan tanaman memproduksi tunas baru (*flush*) dan segera sesudahnya terbentuklah bunga karena dipacu perbedaan suhu yang cukup signifikan akibat perpindahan

musim hujan ke musim kemarau. Bunga yang sudah terserbuki akan berkembang menjadi buah dewasa setelah 5-6 bulan. Panen utama berlangsung selama bulan Oktober-Januari, 60% panen dalam setahun dihasilkan pada periode ini. Pohon kakao menghasilkan bunga sepanjang tahun, dan mencapai puncaknya pada saat sebelum dan setelah musim hujan. Bunga kakao tumbuh langsung dalam kluster pada batang utama dan cabang utama. Pola pembungaan perlu dibedakan antara kakao mulia dan kakao lindak yang faktanya berbeda, dan perbedaan posisi lintang utara berbeda dengan lintang selatan.

Berdasarkan hasil pengamatan, kuncup bunga kakao mulai membuka pada jam 16.00 atau paling lambat 16.30 sore hari. Mekarnya bunga kakao dipengaruhi oleh temperatur udara, sehingga terdapat variasi waktu pembungaan antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Kepala sari mulai membuka pada pagi hari setelah bunga tanaman kakao mekar sempurna. Pada umumnya kepala sari bunga kakao mulai membuka pada jam 06.00 pagi hari, dan pada jam 07.00 sebagian besar kepala sari sudah separuh mekar. Butir-butir tepung sari mulai nampak pada jam 08.00-08.30, dan biasanya kepala sari telah membuka dengan sempurna pada jam 09.00 atau paling lambat 10.00. Tetapi persentase terbentuknya buah paling tinggi dicapai apabila penyerbukan terjadi antara jam 10.00 sampai dengan 13.00, yaitu mencapai 80-95%. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pembungaan paling awal dan paling banyak terjadi pada panjang hari normal (12 jam).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ritme Sirkadian pada Pembungaan Kakao

Salah satu faktor yang mempengaruhi ritme sirkadian pada pembungaan kakao adalah iklim mikro yang terdiri atas suhu dan kelembaban udara. Tanaman kakao memerlukan suhu optimal untuk berbunga. Apabila suhu turun di bawah 23°C, proses pembentukan (deferensiasi) kuncup-kuncup bunga akan terhambat¹¹⁾. Pada kondisi terkontrol menunjukkan bahwa jumlah bantalan bunga yang aktif di setiap pohon dan jumlah bunga yang terbentuk dari setiap bantalan bunga

lebih banyak terjadi pada suhu 26°C dan 30°C dibandingkan dengan suhu 23°C⁹⁾. Bantalan bunga memerlukan rangsangan suhu yang hangat untuk dapat aktif menumbuhkan bunga. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi juga menghambat pembungaan karena terjadi kerusakan pada hormon yang memacu diferensiasi sel dan pembungaan.

Kakao merupakan tanaman tahunan yang tumbuh di daerah tropis dan sangat peka terhadap kekurangan air atau cekaman lengas (*stress*). Pembungaan sangat berkurang apabila tanaman mengalami *stress*. Menurunnya pembungaan ini disebabkan terhambatnya perkembangan tunas bunga tetapi awal pembentukan bunga (inisiasi bunga) tetap berlangsung selama cekaman lengas¹¹⁾. Hal ini tampak pada tanaman yang mengalami kekeringan akan segera berbunga lebat apabila diairi. Peningkatan pembungaan yang spektakuler ini membuktikan bahwa sesungguhnya cekaman lengas tidak mencegah diferensiasi kuncup bunga tetapi menyebabkan kuncup bunga dalam keadaan dorman (istirahat). Transisi dari periode kering ke periode basah merupakan faktor penting yang mengatur intensitas pembungaan kakao. Pembungaan dapat pula diinduksi dengan meningkatkan kelembaban udara dari rendah (50–60%) atau sedang (70–80%) ke kelembaban tinggi (90–95%).

Beberapa zat endogen pada tanaman kakao mengalami perubahan pada saat pembungaan. Salah satunya adalah adanya penurunan kandungan hormon giberalin. Zat pengatur tumbuh lainnya yang terlibat dalam proses pembungaan antara lain auksin, sitokinin, dan asam absisat. Di sisi lain terjadi peningkatan kandungan sukrosa, karbohidrat total, dan C/N rasio. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa bantalan bunga kakao mengalami transisi dari fase vegetatif menjadi fase reproduktif. Sukrosa dalam hal ini berperan dalam mempengaruhi transisi pembungaan dengan mengaktifkan gen-gen yang mengendalikan pembungaan. Sehingga, untuk melakukan induksi pembungaan dapat dilakukan melalui modifikasi kondisi fisiologis tanaman untuk merubah sistem metabolisme tanaman yang ditandai dengan adanya perubahan kandungan zat-zat endogen. Misalnya, dengan penambahan suatu senyawa yang dapat menghambat biosintesis giberalin. Selain itu, dapat juga dilakukan dengan

modifikasi faktor lingkungan dan tindakan budidaya.

Penutup

Dengan adanya pemahaman terkait dengan ritme sirkadian tanaman khususnya pada tanaman kakao, diharapkan dapat mengatur pola produksi tanaman berdasarkan sifat fisiologi dan hormon atau protein yang mempengaruhinya. Selain itu, dapat dilakukan modifikasi secara artifisial terhadap protein yang mengatur reproduksi, regenerasi tanaman, serta adaptasinya terhadap stres lingkungan, baik melalui rekayasa genetika, perlakuan zat pengatur tumbuh ataupun dengan pencahayaan. Dengan aplikasi faktor/senyawa penginduksi yang tepat, diharapkan dapat meningkatkan intensitas pembungaan kakao yang akhirnya dapat meningkatkan produksinya.

Sumber Pustaka

- ¹⁾Webb, A.A.R. (2003). The physiology of circadian rhythms in plants. *New Phytologist*, 160, 281–303.
- ²⁾de Mairan, J. (1729). Observation botanique. *Histoire de l'Academie Royale des Sciences*, 35–36.
- ³⁾Gardner, M.J.; K.E. Hubbard; C.T. Hotta; A.N. Dodd & A.A. Webb (2006). How plants tell the time. *The Biochemical Journal*, 397, 15–24.
- ⁴⁾Lyndon, R. (1990). *The Celluler Basis*. Plant Development.
- ⁵⁾Ratcliffe, O.J. & J.L. Riechmann (2002). Arabidopsis transcription factors and the regulation of flowering time: a genomic perspective. *Current Issues Molecular Biology*, 4, 77–91.
- ⁶⁾Chaidamsari, T. (2005). *Biotechnology for cocoa pod borer resistance in cocoa*. Thesis, Wageningen University.
- ⁷⁾Kimball, J.W. (1992). *Biologi Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- ⁸⁾Salisbury & C.W. Ross (1995). *Fisiologi Tumbuhan Jilid 2*, ITB Press, Bandung.
- ⁹⁾Alvim, P. de T. (1984). Flowering of cocoa. *Cocoa Growers Bulletin*, 35, 23–31.
- ¹⁰⁾Asomaning, E.J.A.; R.S. Kwakwa & W.V. Hutcheon (1971). Physiological studies on Amazon shade and fertilizer trial at the Cocoa Research Institute. *Ghana Journal of Agricultural Science*, 4, 47–64.
- ¹¹⁾Sale, P.J. (1969). Flushing and leaf growth of cocoa under controlled temperature condition. *Journal of Horticultural Science*, 43, 475–489.