

PENAMBAHAN KALSIMUM MENINGKATKAN KANDUNGAN PEKTIN PADA BIBIT KELAPA SAWIT TERCEKAM KEKERINGAN (*Elaeis guineensis* JACQ.)

CALCIUM ADITION IMPROVING PECTIN LEVEL IN OIL PALM SEEDLINGS (*Elaeis guineensis* JACQ.)

Endah Nurwahyuni¹ dan Eka Tarwaca Susila Putra²

Abstrak Kekeringan panjang akibat anomali iklim mengakibatkan kerusakan fisiologis bagi kelapa sawit yang ditandai dengan patah pelepah hingga berujung pada penurunan produktivitas. Upaya untuk meningkatkan ketahanan kelapa sawit terhadap kekeringan salah satunya melalui penambahan kalsium. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh kalsium terhadap perubahan hormon (secondary messenger), laju fotosintesis hingga kandungan pektin sebagai komponen penguat dinding sel yang diharapkan dapat mengurangi resiko patah pelepah akibat kekeringan. Perlakuan disusun secara faktorial 3 x 4 dalam rancangan kelompok acak lengkap (RAKL) desain split plot. Faktor pertama adalah dosis aplikasi kalsium yaitu 0 (kontrol/tanpa kalsium), 0,04 g, 0,08 g dan 0,12g per polibag. Faktor kedua adalah intensitas cekaman kekeringan yang terdiri atas cekaman berat, cekaman moderat dan kontrol/kapasitas lapangan) dengan intensitas satu minggu sejak tercapainya bobot target. Data yang memenuhi asumsi homogenitas dan normalitas selanjutnya dianalisis menggunakan analisis ragam pada tingkat ketelitian 5%, dan dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT. Hasil menunjukkan bahwa, kalsium dapat meningkatkan ketahanan bibit kelapa sawit melalui perubahan kandungan asam giberelin, peningkatan laju fotosintesis dan peningkatan kandungan pektin total pada kondisi kekeringan moderat hingga berat. Asam giberelin meningkat

seiring bertambahnya dosis kalsium, namun peningkatan taraf kekeringan dapat menurunkan kandungannya.

Kata kunci : giberelin, fotosintesis, pektin

Abstract Long drought due to climate anomalies results in physiological damage to oil palm which is characterized by frond fracture to the decreased productivity. One of the efforts to increase the resistance of oil palm to drought is through the addition of calcium. This study aimed to determine the effect of calcium on hormonal changes (as secondary messenger), the rate of photosynthesis till the content of pectin as a reinforcing component of cell walls which is expected to reduce the risk of frond fracture due to drought. The treatment was arranged in factorial 3 x 4 in the random complete block design (RCBD) split-plot. The first factor was the dose of calcium application which was 0 (control/without calcium), 0,04 g, 0,08 g, and 0,12 g. The second factor was the intensity of drought stress consisting of severe stress, moderate stress, and control/field capacity with an intensity of one week after achieving target weight. Data that fulfilled the assumptions of homogeneity and normality were then analyzed using variance analysis at a level of accuracy of 5% and continued with DMRT. The results showed that calcium can increase the resistance of oil palm seeds through increased GA content, decreased ABA content and increased photosynthetic rates in all soil moisture conditions, but varied according to the intensity of drought.

Keywords: frond fracture, gibberelin, photosynthesis, pectin

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

Departemen Agronomi Universitas Gadjah Mada
Jln. Flora no. 1, Bulaksumur, Sleman, Yogyakarta 5528, Indonesia
1 nurwahyuni.endah@gmail.com
2 ekatarwaca79@gmail.com

PENDAHULUAN

Dampak kekeringan di Indonesia telah mengakibatkan penurunan produktivitas kelapa sawit pada 2015 – 2016 di periode yang sama di Sumatera sebesar 60% (Darlan *et al.*, 2016), penurunan hasil hingga 20% tandan segar (Carr, 2011) dan minyak, mempengaruhi perbandingan susunan bunga jantan dan betina, penurunan jumlah tandan yang pada akhirnya menurunkan hasil (Corley, R.H.V. and Tinker, 2003). Kelapa sawit membutuhkan setidaknya 4 - 5 mm air per hari atau setara dengan 1.800-2.000 mm air hujan agar memproduksi optimum sepanjang tahun. Terdapat penurunan produksi sebanyak 10% pada setiap berkurangnya 100 mm air hujan (Carr, 2011). Varietas kelapa sawit yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap kekeringan tetap menunjukkan penurunan produksi yang nyata hingga lebih dari 50 % karena menurunnya efisiensi fotosintesis (Jazayeri *et al.*, 2015)

Tanaman merespon cekaman kekeringan melalui sejumlah perubahan biokimia, fisiologi dan pertumbuhan (Rad and Zandi, 2012). Respon tersebut meliputi penurunan asimilasi karbon untuk fotosintesis akibat penutupan stomata dan penurunan aktivitas kloroplas (Ashraf and Harris, 2013; Shekari *et al.*, 2015), peningkatan konsentrasi ABA dalam daun dan munculnya berbagai gen stress oleh ABA (Nakashima and Yamaguchi-shinozaki, 2014), perubahan bentuk materi lipid dan susunannya di plasma membran (Guo *et al.*, 2018), potensial air daun (Suresh *et al.*, 2010) dan akumulasi osmoprotektan seperti gula alkohol, asam-asam amino dan asam-asam organik (Ahmad, *et al.*, 2013). Lebih lanjut, penelitian (Cheng xu *et al.*, 2011) membuktikan bahwa bibit kelapa sawit mengalami perubahan alokasi biomasa dan perlambatan laju pertumbuhan selama tiga bulan cekaman kekeringan.

Ion Ca^{2+} berfungsi sebagai *signal transduction* yang menyampaikan sinyal stress dari membran ke dalam sel, sehingga memunculkan gen yang memerintahkan berbagai aktivitas biokimia untuk menghasilkan sejumlah senyawa sebagai respon terhadap cekaman (Tuteja, 2009; Zhu, 2011; Naeem *et al.*, 2017) misalnya gen chitinase, gen sporamin dan β amilase, dan gen yang meregulasi ikatan klorofil a/b (Marschner, 2012). Selain itu kalsium merupakan komponen lamela tengah dari dinding sel sebagai Ca-pektat yang berfungsi memperkokoh jaringan tanaman. Kalsium juga mempertahankan keutuhan membran yang

membatasi sitoplasma, vakuola, inti sel dan sebagainya dalam menghadapi cekaman abiotik. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa tanaman merespon kekurangan air dengan perubahan biosintesis selulosa. Peningkatan sintesis selulosa dapat meningkatkan integritas dinding sel primer sehingga tekanan turgor sel dapat dipertahankan. Tekanan turgor sel yang dipertahankan tetap tinggi pada cekaman kekeringan menyebabkan sel dapat tumbuh terus-menerus sekalipun tanaman terekspos cekaman kekeringan. Pektin juga berperan dalam memodulasi struktur dinding sel sebagai respon terhadap cekaman kekeringan khususnya dengan mengkombinasi sejumlah besar polimer pektin (Gall *et al.*, 2015)

Peran kalsium dalam mengurangi dampak negatif cekaman kekeringan pada tanaman secara umum telah banyak diteliti, namun dinamika dan mekanisme kerja kalsium dalam merubah aktivitas biokimia sebagai bentuk tanggapan terhadap cekaman kekeringan masih belum banyak diketahui, terlebih pada komoditas kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari peran kalsium dalam aktivitas hormon, laju fotosintesis dan total pektin dalam jaringan, serta mengetahui dosis kalsium optimal yang diberikan pada bibit kelapa sawit untuk mendapatkan hasil terbaik dalam rangka meningkatkan ketahanan terhadap cekaman kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan pada bulan Agustus 2017–Mei 2018 di lahan pembibitan kelapa sawit, Dusun Bendosari, Desa Madurejo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Bahan yang digunakan terdiri atas bibit kelapa sawit varietas Avros berasal dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan. Media tanam menggunakan tanah alfisol, pupuk NPK (15:15:15), urea dan pupuk kalsium ($CaSO_4$) pure analysis (PA). Percobaan lapangan disusun sesuai Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial dua faktor. Faktor pertama yaitu cekaman kekeringan yang terdiri dari tiga aras *Fraction of Transpirable Soil Water* (FTSW) yaitu FTSW 1 (kontrol/kapasitas lapangan), FTSW 0.35 (kekeringan moderat) dan FTSW 0.15 (kekeringan berat). Faktor kedua yaitu aplikasi kalsium ($CaSO_4$) yang terdiri dari empat aras yaitu 0 (kontrol), 0,04g; 0,08g dan 0,12g per polibag. Setiap kombinasi perlakuan terdiri atas 9 tanaman yang diulang tiga kali.

Percobaan kekeringan dilakukan dengan mengukur kandungan air tanah yang dapat ditranspirasikan (FTSW = *fraction of transpirable soil water*) mengacu pada metode yang dikemukakan (Ray and Sinclair, 1998). Bobot polibag dijenuhi air, kemudian saat air sudah tidak menetes, ditimbang sebagai kapasitas lapangan (KL). Polibag dibiarkan hingga bobotnya tidak menurun lagi (stabil) kemudian ditimbang sebagai titik layu permanen (TLP). Bobot target masing-masing aras FTSW ditentukan dengan persamaan menurut SMARTRI (2014).

$$\text{Bobot FTSW } 1,00 = 1,00 (B_{KL} - B_{TLP}) + B_{TLP}$$

$$\text{Bobot FTSW } 0,35 = 0,35 (B_{KL} - B_{TLP}) + B_{TLP}$$

$$\text{Bobot FTSW } 0,15 = 0,15 (B_{KL} - B_{TLP}) + B_{TLP}$$

B_{TLP} = bobot titik layu permanen

B_{KL} = bobot kapasitas lapangan masing-masing polibag

Laju evapotranspirasi air tanah di setiap polibag pada hari tertentu (ke-i) dihitung dengan persamaan berikut :

$$FTSW = \frac{\text{Berat polibag hari ke-i} - \text{berat polibag akhir}}{\text{Berat polibag awal} - \text{berat polibag akhir}}$$

Bibit dipelihara sejak tanam dalam pembibitan awal (*pre-nursery*) selama tiga bulan, kemudian dipindah tanam dan dirawat dalam pembibitan utama (*main-nursery*) selama dua bulan. Pemberian kalsium dilakukan satu bulan setelah pindah tanam dari *pre nursery* menuju *main nursery* yaitu pada saat bibit berumur 4 bulan atau dua bulan sebelum perlakuan kekeringan dimulai dengan cara *ring placement*.

Karakter fisika dan kimia tanah diukur pada saat sebelum dan setelah perlakuan. Sedangkan karakter lingkungan seperti suhu udara, kelembaban udara relatif, dan intensitas cahaya diukur setiap hari pada pukul 09.00 dan 13.00 WIB. Variabel pengamatan yang diukur meliputi potensial air daun, konsentrasi GA, laju fotosintesis dan kadungan pektin total. Potensial air daun (Ψ_w) diukur menggunakan *pressure chamber instrument* model 1000. Daun sampel dipilih dari daun yang berada di bawah kanopi. Bagian yang diukur adalah batang daun, cara kerjanya adalah dengan memasukkan seluruh bagian daun, dari pucuk hingga batas petiole, bagian petiole hingga pangkal berada di luar *chamber*. Tekanan dimulai hingga air terlihat keluar dari bagian batang yang dipotong yang berada di luar *chamber*. Jumlah

tekanan yang menyebabkan air keluar menunjukkan banyaknya tekanan daun karena kandungan airnya.

Analisis kandungan Giberelin dilakukan menurut metode (Linskens and Jackson, 1987). Sampel daun kelapa sawit seberat 2 g dilarutkan dengan 20 ml methanol 65% kemudian disaring dengan kertas whatman. Ekstrak disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 30 menit dan diambil supernatan dengan miliphore. Sebanyak 5 -10 mikromili dianalisis menggunakan HPLC Waters 2487. Kolom HPLC yang digunakan yaitu C-18 dengan fase gerak metanol 65% pada suhu 40°C. Senyawa giberelin dibaca menggunakan detektor UV-VIS pada panjang gelombang 254 nm. Pengukuran laju fotosintesis dilakukan pada bulan Mei menggunakan Photosynthetic Analyzer tipe LI Cor LI 6400. Sedangkan pengamatan variabel hormon dilakukan pada bulan Mei – Juli 2018. Pengukuran aktivitas hormon dilakukan pada daun ke-3 dari pucuk yang sudah berkembang penuh.

Penentuan Kadar Pektin dengan Metode Gravimetri (Rangana, 1978). Pektin yang telah di ekstraksi, disafonifikasi dengan alkali dan diendapkan dengan kalsium pektat dengan penambahan kalsium klorida dan suasana asam. Endapan kalsium pektat dicuci sampai bebas klorida, dikeringkan dan ditimbang. Prosedurnya, sampel daun ditimbang sebanyak 10 g, kemudian diblender dengan 25 ml air kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 ml. Ditambahkan 100 ml HCl 0,05 N dan diekstraksi dalam water bath selama 2 jam pada suhu 80°C dan didinginkan. Setelah dingin dipindahkan seluruh isinya ke dalam labu takar 250 ml, ditetapkan sampai tanda batas dengan aquadest dan dikocok. Campuran disaring dengan kertas saring dan sebanyak 50 ml filtrat dipipet ke dalam gelas kimia 250 ml. Ditambahkan 50 ml aquadest, phenopthalin 3 tetes, NaOH 1 N hingga merah muda, kemudian ditambahkan lagi NaOH 1 N sebanyak 2 ml dan diaduk. Permukaan gelas ditutup dan disimpan selama 24 jam. Setelah disimpan, ditambahkan 10 ml asam asetat 1 N dan disimpan 5 menit. Kemudian ditambahkan 5 ml CaCl₂ 1 N dan diaduk. Campuran disaring dengan kertas saring yang sudah dibasahkan dengan air panas dan dikeringkan dalam oven 105°C selama 2 jam, dinginkan dalam desikator dan ditimbang (W1). Endapan dicuci dengan air panas yang hampir mendidih sampai bebas klorida (yang diuji dengan menambahkan AgNO₃ 0,1 N pada air

bekas cucian endapan, jika masih ada endapan putih berarti masih terdapat klorida). Kertas saring yang berisi endapan dipindahkan ke dalam cawan petri dan dikeringkan pada suhu 105° C selama 24 jam, dinginkan dan timbang (W2).

$$\% \text{ Kalsium pektat} = \frac{\text{berat kalsium pektat} \times 250 \times 100}{\text{ml filtrat} \times \text{berat sampel}}$$

$$\% \text{ Pektin} = \frac{\% \text{ kalsium pektat} \times 100}{110}$$

Keterangan : Jumlah kalsium pektat yang dihasilkan dari asam pektinat murni adalah 110 % dari berat asam pektinat.

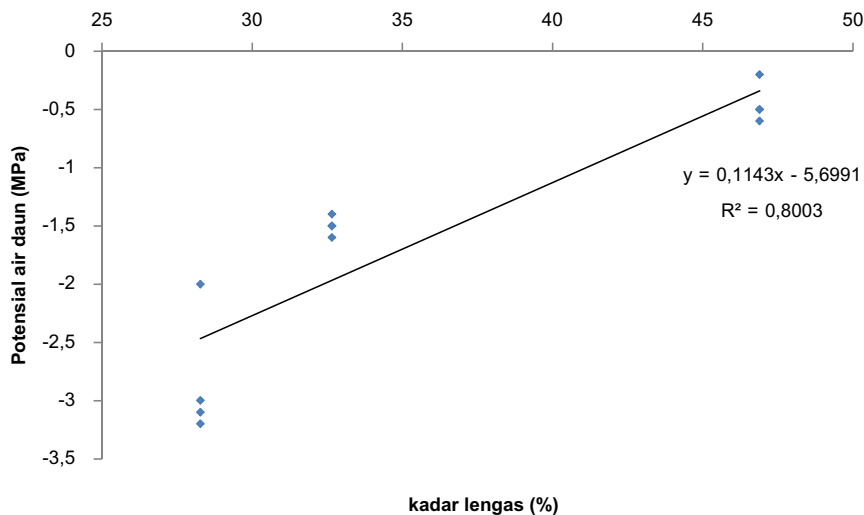
Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan Analisis Varian dengan program SAS 9.4 pada tingkat ketelitian 5%, dan dilakukan post hoc apabila data memenuhi asumsi homogenitas dan normalitas dengan uji lanjut DMRT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran suhu lingkungan yang dilakukan setiap hari pukul 09.00, 12.00 dan 15.00 WIB menghasilkan rerata suhu harian minimum 25,1 - 26,5°C, maksimum 25,5 - 38,8°C kelembaban udara 80,5% dan intensitas cahaya sebesar 453 lux. Bobot target FTSW 0, 0,35 dan 0,15 masing-masing polibag.

Berdasarkan percobaan pendahuluan didapatkan nilai kapasitas lapang atau FTSW 1 setara dengan kadar lengas sebesar 46,9% dan titik layu permanen sebesar 25%. Melalui persamaan oleh Ray and Sinclair (1998), nilai FTSW 0,35 setara dengan kadar lengas sebesar 32,66%, FTSW 0,15 setara dengan kadar lengas sebesar 28,28%.

Indikator dampak intensitas kekeringan dapat ditunjukkan oleh penurunan potensial air daun dengan nilai penurunan 0,1 MPa (KAN 8-10%) jika tanaman mengalami cekaman ringan, penurunan 1,2 – 1,5 MPa (KAN 10 – 20%) jika tanaman mengalami cekaman moderat dan penurunan >1,5 MPa (KAN >20%) jika tanaman mengalami kekeringan berat (Ai dan Banyo, 2011). Terdapat hubungan linier antara kadar lengas dengan potensial air daun, dimana penurunan kadar lengas diikuti dengan menurunnya potensial air daun (Gambar 1). Rerata potensial air daun pada kondisi kapasitas lapang sebesar -0,49 MPa turun hingga menjadi -1,55 MPa pada cekaman kekeringan moderat dan turun lagi hingga 5,75 kali lebih rendah menjadi -2,88 MPa pada cekaman kekeringan berat. Hal ini menunjukkan bahwa status air dalam jaringan bibit kelapa sawit yang diamati ketika pada kadar lengas 32,7% adalah mengalami cekaman ringan, sedangkan pada kadar lengas 28,3% bibit mengalami cekaman berat. (Jazayeri *et al.*, 2015) menyatakan bahwa penurunan potensial daun menurun pada bibit kelapa sawit karena berkurangnya potensial air tanah.



Gambar 1. Hubungan antara potensial air daun dengan kadar lengas
 Figure 1. Relationship between leaf water potential and soil water content

Hasil Analisis sidik ragam menunjukkan adanya pengaruh mandiri kekeringan maupun dosis kalsium terhadap konsentrasi GA (Tabel 1). Pada kondisi cekaman berat, kandungan GA menunjukkan penurunan secara nyata dibanding pada cekaman moderat dan kontrol. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa tanaman melakukan mekanisme respon terhadap cekaman kekeringan melalui penurunan kandungan GA ketika mulai menghadapi intensitas cekaman berat di akhir kekeringan. Cekaman kekeringan mengakibatkan perubahan ekspresi gen yang mentranskripsi protein yang terlibat dalam biosintesis GA. Apabila tanaman menghadapi cekaman kekeringan, sinyal kekeringan dari akar akan menginduksi biosintesis GA dan meningkatkan kandungan GA pada akar. Hal ini juga merupakan sinyal yang akan ditranskripsi oleh gen yang akan menurunkan biosintesis GA pada daun. Penurunan GA mengakibatkan pemanjangan sel pada daun terhambat dan pada akhirnya akan menurunkan laju pertumbuhan seiring meningkatnya intensitas

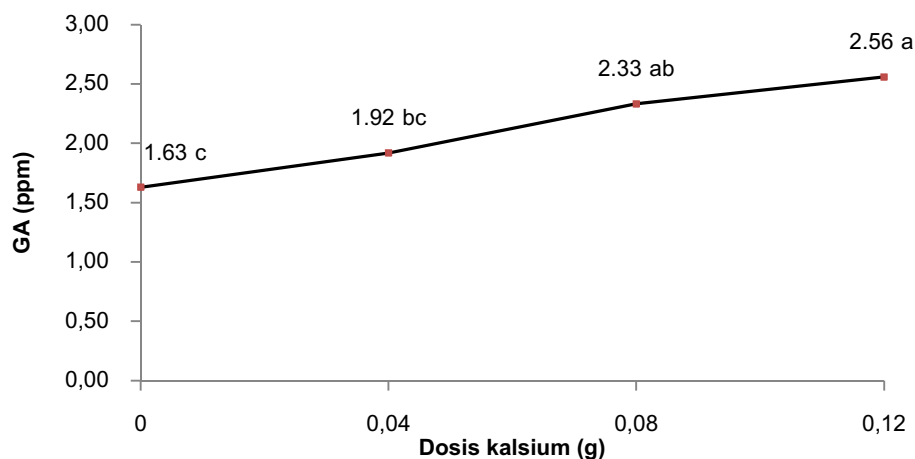
cekaman. Hal ini merupakan mekanisme tanaman untuk bertahan hidup dalam menghadapi cekaman kekeringan (Liu *et al.*, 2013).

Sementara itu, terdapat kecenderungan peningkatan kandungan GA pada bibit seiring bertambahnya dosis kalsium (Gambar 2). Aplikasi kalsium 0,08 g dan 0,12 g dapat meningkatkan kandungan GA pada tanaman yang nyata lebih tinggi dibanding kontrol. Berdasarkan analisis lanjut dapat diketahui bahwa semakin bertambah dosis yang diberikan semakin tinggi pula kandungan GA pada semua kondisi kekeringan. Hasil menunjukkan indikasi bahwa penambahan kalsium memberikan kontribusi pada saat kadar lengas terbatas melalui peningkatan GA. Hal ini diduga erat kaitannya dengan peran utama GA dalam menstimulasi kinerja enzim ekspansin dalam pertumbuhan dan perkembangan sel. Cekaman kekeringan dapat mengurangi perkembangan sel tidak hanya melalui penurunan tekanan turgor dan plastisitas dinding sel, namun juga mengganggu aktivitas enzim ekspansin (Litvin, 2015).

Tabel 1. Konsentrasi GA pada beberapa dosis kalsium dan intensitas kekeringan
 Table 1. Concentration of GA at several calcium doses and drought intensity

	Konsentrasi GA
Kekeringan	
Kapasitas lapang (kontrol)	2,09 b
Kekeringan moderat	2,39 a
Kekeringan berat	1,85 c

Keterangan: rerata dalam satu kolom yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata menurut DMRT dengan taraf ketelitian 5%



Gambar 2. Hubungan antara kandungan GA dengan kalsium
 Figure 2. Relationship between GA content and calcium

Laju fotosintesis pada umumnya menurun seiring berkurangnya kandungan air nisbi, potensial air daun akibat menurunnya laju asimilasi CO₂ (Cha-um, *et al.*, 2012; Cha-um *et al.*, 2013; Jazayeri *et al.*, 2015). Selain disebabkan karena menutupnya stomata (Ashraf and Harris, 2013), penyebab menurunnya fotosintesis adalah karena adanya fotofosforilasi (You and Chan, 2015), regenerasi dan aktivitas ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) (Wang *et al.*, 2018) dan sintesis ATP (Ashraf and Harris, 2013).

Melihat analisis ragam, dapat diinformasikan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara perlakuan aplikasi kalsium dengan cekaman kekeringan pada variabel laju fotosintesis. Pada kapasitas lapang, penambahan kalsium sebanyak 0,12 g secara nyata menurunkan laju fotosintesis 50% lebih kecil dibanding tanpa kalsium, sedangkan pada kondisi cekaman moderat maupun berat, penambahan kalsium justru meningkatkan laju fotosintesis hingga angka mendekati kondisi kapasitas lapang. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa 0,12 g kalsium berperan positif dalam menjaga aktivitas fotosintesis sehingga tetap dapat meningkat meskipun dalam keadaan kadar lengas rendah.

Bibit tanpa kalsium kadar lengas mempengaruhi laju fotosintesis dimana pada kekeringan moderat dan berat laju fotosintesis secara nyata lebih rendah dibanding kontrol. Penurunan laju fotosintesis bibit tanpa kalsium pada saat kekeringan moderat dan berat diduga berkaitan dengan berkurangnya fiksasi CO₂ saat stomata menutup pada sel yang mengalami penurunan turgiditas (Buckley, 2019). Sementara pada bibit dengan dosis kalsium 0,12 g laju fotosintesis meningkat signifikan saat kekeringan moderat dan berat berkaitan dengan peningkatan kebutuhan gula

terlarut sebagai osmolitkum maupun sebagai bahan metabolisme pembentukan ATP di daun. Hal ini tidak terlepas dari peningkatan hormon GA yang juga meningkat ketika tanaman mendapatkan cukup kalsium yaitu 0,12 g hingga pada tahap tertentu, dalam hal ini kondisi cekaman kekeringan moderat. Menurut (Lemoine *et al.*, 2013) penurunan kandungan gula mengaktifkan ekspresi gen pengayaan dan meningkatkan kapasitas fotosintesis, sebaliknya ketika kandungan gula berlebih maka akan menekan ekspresi gen yang mengatur laju fotosintesis dan proses fotosintesis itu sendiri.

Polimer pektin yaitu homogalaturonan yang mengalami metilesterifikasi menjadi kontrol bagi kekakuan dan status air dalam matrik pektin selama cekaman kekeringan. Jumlah rantai rhamnogalakturonan I (RG I) dan rhamnogalakturonan II (RG II) menentukan status air dalam matrik dinding sel (Gall *et al.*, 2015). Pada tanam yang peka, pektin dapat terdegradasi oleh enzim poligalaturonase sehingga mempengaruhi integritas dinding sel dan perkembangan sel.

Berdasarkan analisis ragam dapat diketahui bahwa terdapat interaksi antara dosis kalsium dan kadar lengas yang mempengaruhi kandungan pektin total. Kadar lengas tidak mempengaruhi secara nyata kandungan pektin pada bibit tanpa kalsium ($p > 0,05$) demikian pula pada bibit dengan aplikasi 0,12 g kalsium. Sementara itu bibit yang diaplikasikan kalsium dengan dosis 0,04 g memberikan cenderung hubungan yang linier dimana penurunan kadar lengas sebesar 10% diikuti oleh peningkatan pektin total sebanyak 3,23%. Sedangkan pada bibit dengan dosis 0,08 g kalsium memiliki hubungan kuadratik. Bibit dengan dosis 0,08 g, memiliki pektin

Tabel 2. Laju fotosintesis pada beberapa dosis kalsium dan intensitas kekeringan

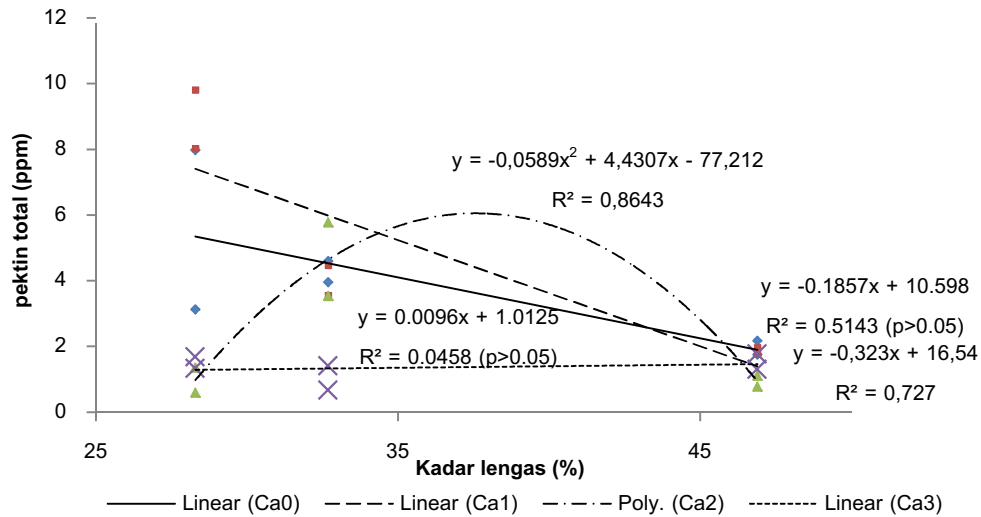
Table 2. *Photosynthetic rate at several calcium doses and drought intensity*

Dosis Ca (g)	Kadar lengas (%)			Rerata
	46,9	32,7	28,3	
0	357.33 a	157.33 e	181.67 de	232.11
0,04	256.00 bcd	250.67 bcde	251.67 bcde	252.78
0,08	244.00 bcde	217.67 cde	209.33 cde	223.67
0,12	160.67 e	320.67 ab	277.67 abc	253.00
Rerata	254.50	236.58	230.08	(+)

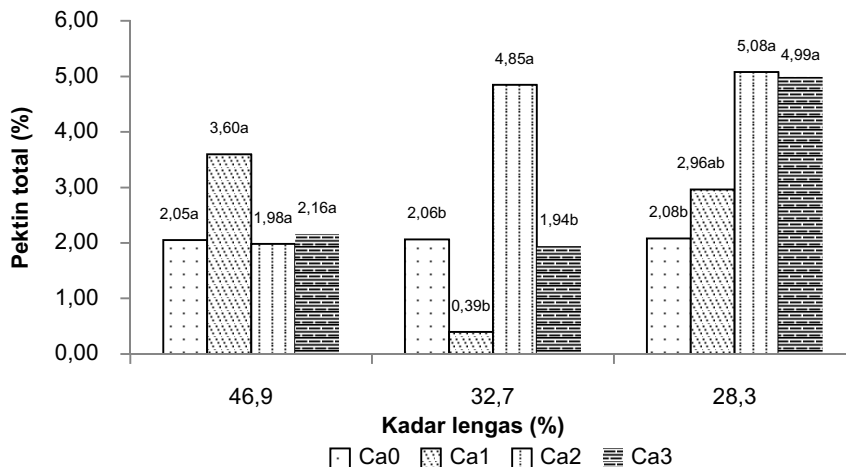
Keterangan: rerata dalam satu kolom dan/atau baris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata menurut DMRT dengan $\alpha = 5\%$; (+) : ada interaksi antar faktor yang diuji

total tertinggi sebesar 6,11% ketika berada pada kondisi lengas tanah 37,61%. Ditemukan bahwa peningkatan rantai polimer pektin RGI dan RGII pada kondisi kekeringan mungkin disebabkan karena pektin membentuk gel terhidrasi yang menghalangi kerusakan terhadap sel. Semakin tinggi kandungan kalsium maka semakin banyak Ca-pektat dan semakin padat gel tersebut (Peaucelle, *et al.*, 2012). Terlebih, modifikasi dinding sel pada tanaman dibawah cekaman kekeringan dipengaruhi oleh aktivitas gen XTH yang juga ditemukan pada remodelling sel stomata untuk mencegah penguapan (Tenhaken, 2015).

Kandungan pektin total pada tiap kadar lengas menunjukkan bahwa secara umum tidak ada perbedaan nyata pektin total pada kapasitas lapang. Sedangkan pada cekaman moderat dosis kalsium sebanyak 0,08 g mampu meningkatkan pektin total secara nyata dibanding dosis lainnya. Sementara pada kondisi cekaman berat dosis kalsium sebanyak 0,08 g dan 0,12 g nyata lebih tinggi dibanding tanpa kalsium namun tidak berbeda nyata dengan dosis 0,04 g kalsium. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar lengas rendah, dosis kalsium sebesar 0,12 g memberikan hasil pada peningkatan pektin total tanaman.



Gambar 3. Hubungan antara pektin total dengan kadar lengas
 Figure 3. Relationship between total pectin and soil water content



Gambar 4. Kandungan pektin total pada beberapa aras dosis kalsium
 Figure 4. Total pectin content at several soil water content level

Rhamnogalakturonan II adalah polisakarida yang mengikat Boron (B) membentuk kompleks B-RG-II. Karakter kompleks B-RG-II pada sel *Sycamore* mengandung ion bivalen seperti Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} dan Pb^{2+} . Keberadaan kation bivalen ini mempengaruhi susunan matrik dinding sel pada tanaman apel (Mierczynska *et al.*, 2015). Hilangnya kation-kation bivalen dapat menyebabkan terlepasnya Boron dari kompleks B-RG-II sehingga merusak kompleks pektin (Lautner and Fromm, 2010). Hal ini diduga yang menjadi sebab aplikasi kalsium berpengaruh terhadap kandungan pektin total.

Dimulainya cekaman kekeringan ditandai dengan penurunan potensial air daun yang menunjukkan bahwa status air dalam jaringan ketika pada kadar lengas 32,7% adalah mengalami cekaman moderat, sedangkan pada kadar lengas 28,3% adalah cekaman berat. Perubahan konsentrasi hormon pertumbuhan yaitu GA terjadi sebagai sinyal kekeringan yang berangsur meningkat seiring peningkatan dosis kalsium. Sementara itu laju fotosintesis yang diamati menunjukkan pengaruh interaksi antara kadar lengas dan dosis kalsium. Secara nyata terlihat penurunan laju fotosintesis pada bibit tanpa kalsium pada kondisi cekaman moderat dan cekaman berat dibanding pada kapasitas lapang. Pada cekaman moderat laju fotosintesis dengan pemberian kalsium sebesar 0,12 g nyata lebih tinggi dibanding dosis lainnya. Demikian pula pada kondisi cekaman berat, aplikasi 0,12 g kalsium memberikan nilai tertinggi laju fotosintesis meskipun tidak ada perbedaan nyata antar dosis. Hubungan antara kandungan giberelin dan laju fotosintesis diduga sangat erat, berkaitan dengan fungsi giberelin sebagai hormon yang memacu pemanjangan sel. Menurut (Litvin, van Iersel and Malladi, 2016), terhambatnya pemanjangan sel dan laju fotosintesis adalah sebagai bagian dari respon terhadap kekeringan dan akan semakin parah seiring peningkatan intensitas kekeringan. Dengan demikian, peningkatan GA bersinergi dengan peningkatan laju fotosintesis, dimana fotosintat akan ditransportasi ke bagian tanaman yang mengalami pemanjangan sel.

Variabel pektin total yang diamati menunjukkan interaksi pengaruh kadar lengas dan dosis kalsium. Penurunan pektin total pada saat tanaman tercekam kekeringan menyebabkan berkurangnya elastisitas dinding sel terutama sel penjaga (Wu *et al.*, 2017). Kandungan pektin total karena kekeringan ternyata dapat lebih ditingkatkan lagi oleh pemberian kalsium. Ketika bibit tanpa kalsium telah mengalami

penurunan pektin total pada kondisi cekaman moderat dan berat, maka bibit dengan dosis kalsium 0,08 g mampu meningkatkan pektin total secara nyata pada kondisi cekaman moderat. Lebih lanjut dosis kalsium 0,08 g dan 0,12 g juga mampu meningkatkan pektin total secara nyata pada saat tanaman tercekam kekeringan berat. Lebih lanjut Wu *et al.*, (2017) menyatakan bahwa aktivitas enzim pektin metil esterase (PME) diinduksi oleh peningkatan ABA pada sel penjaga yang kemudian juga menginduksi akumulasi ROS dan Ca^{2+} di sitosol. Peningkatan enzim pemodifikasi pektin ini kemudian diikuti oleh peningkatan methylesterified-HGA yaitu homogalakturonan yang telah termodifikasi oleh PME. Kalsium berfungsi sebagai pengikat methylesterified-HGA untuk meningkatkan dinding sel sementara RGI untuk meningkatkan fleksibilitasnya. Diduga, pengayaan kalsium pada jaringan tanaman menyebabkan peningkatan ketahanan tanaman melalui mekanisme modifikasi dinding sel dengan peningkatan pektin total. Pada akhirnya, mekanisme yang terjadi pada percobaan ini menunjukkan bahwa pertumbuhan organ tanaman dibawah kondisi tercekam sangat terkait dengan hubungan antara penguatan dinding sel karena ancaman ROS, interaksi hormon GA dengan ekspansin dan aktivitas gen XTH, seperti yang pernah dikemukakan oleh Tenhaken (2015).

KESIMPULAN

Cekaman kekeringan secara efektif ditandai dengan penurunan potensial air daun secara linier. Pada cekaman moderat maupun berat, kalsium terbukti berpengaruh terhadap aktivitas GA serta mempengaruhi laju fotosintesis untuk berlangsungnya pertumbuhan jaringan tanaman dan direspon lebih lanjut dengan peningkatan pektin total yang terlibat dalam skema ketahanan terhadap kekeringan. Besarnya kontribusi kalsium pada aktivitas biokimia yang mengarah pada skema ketahanan kekeringan ditunjukkan pada dosis optimal 0,05 – 0,08 g pada cekaman kekeringan moderat dan dosis 0,12 g pada kekeringan moderat maupun berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Dr. Eka Tarwaca Susila Putra, SP. MP sebagai promotor serta Lembaga Pengelolaan Dana Pendidikan (LPDP) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. A., Murali, P. V., and Panneerselvam, R. 2013. Drought stress induced biochemical alterations in two varieties of *Paspalum scrobiculatum* L. *INT J CURR SCI.* 2013(7) : 80–96.
- Ai, N. S. dan Banyo, Y. 2011. Konsentrasi klorofil daun sebagai indikator kekurangan air pada tanaman. *Jurnal Ilmiah Sains.* 11(2) : 166–173.
- Ashraf, M. and Harris, P. J. C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica.* 51(2) : 163–190.
- Buckley, T. N. 2019. How do stomata respond to water status? *New Phytologist* 2019(224) : 21–36.
- Carr, M. K. V. 2011. The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis*): A review. *Experimental Agriculture.* 47(4) : 629–652.
- Cha-um, S., Takabe, T. and Kirdmanee, C. 2012. Physio-biochemical responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings to mannitol and polyethylene glycol induced iso osmotic stresses. *Plant Production Science.* 15(2) : 65–72.
- Cha-um, S., Yamada, N., Takabe, T., and Kirdmanee, C. 2013. Physiological feature and growth characters of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in response to reduced water deficit and rewatering. *Australian Journal of Crop Science.* 7(3) : 432–439.
- Cheng-xu, S., Hong-xing, C., Hong-bo, S., Xin-tao, L and Yong, X. 2011. Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. *African Journal of Biotechnology.* 10(51) : 10465–10471.
- Colebrook, E. H., Thomas, S. G., Philips, A. L. & Hedden, P. 2014. The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. *Journal of Experimental Biology.* 217(1) : 67–75.
- Corley, R.H.V. & Tinker, P. B. 2003. The oil palm. 4th edition. Wiley. Hoboken. 562 p.
- Darlan, N. H., Pradiko, I., Winarna & Siregar, H. H. 2016. Dampak el nino 2015 terhadap performa tanaman kelapa sawit di bagian selatan Sumatera (effect of el nino 2015 on oil palm performance in southeastern part of Sumatera). *Jurnal Tanah dan Iklim (Indonesian Soil and Climate Journal.* 40(2) : 113–120.
- Gall, H. L., Philippe, F., Domon, J., Gillet, F., Pelloux, J and Rayon, C. 2015. Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants.* 4(1) : 112–166.
- Guo, Y. Y., Yu, H. Y., Yang, M. M., Kong, D. S. & Zhang, Y. J. 2018. Effect of drought stress on lipid peroxidation, osmotic adjustment and antioxidant enzyme activity of leaves and roots of *Lycium ruthenicum* murr. seedling. *Russian Journal of Plant Physiology.* 65(2) : 244–250.
- Hong-Bo, S., Li-Ye, C. & Ming-An, S. 2008. Calcium as a versatile plant signal transducer under soil water stress. *BioEssays.* 30(7) : 634–641.
- Jazayeri, S. M., Rivera, Y. D., Camperos-Reyes, J. E. & Romero, H. M. 2015. Physiological effects of water deficit on two oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes. *Agronomía Colombiana,* 33(2) : 164–173.
- Lautner, S. and Fromm, J. 2010. Calcium-dependent physiological processes in trees. *Plant Biology.* 12(2) : 268–274.
- Lemoine, R., Pourtau, N., La Camera, S., Bonnemain, J., Atanassova, R., Laloi, M., Dédaldéchamp, F., Coutos-Thévenot, P., Maurousset, L., Faucher, M., Grousse, C., Lemonnier, P., Parrilla, J., Durand, M., Allario, T. 2013. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science* (4) : 1–21.
- Linskens, H. F. and Jackson, J. 1987. High performance liquid chromatography in plant sciences 5. 243p.
- Litvin, A. G. 2015. Interaction of drought stress and gibberellin metabolism on stem elongation in tomato. Thesis. University of Georgia.
- Litvin, A. G., van Iersel, M. W. and Malladi, A. 2016. Drought Stress Reduces Stem Elongation and Alters Gibberellin-related Gene Expression during Vegetative Growth of Tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science,* 141(6) : 591–597.
- Liu, T. Zhu, S., Fu, L., Y. Yu., Q. Tang & S. Tang. 2013. Morphological and physiological changes of

- ramie (*Boehmeria nivea* L. Gaud) in response to drought stress and GA3 treatment. *Russian Journal of Plant Physiology*. 60(6) : 749–755.
- Marschner, P. 2012. Marschner ' s Mineral Nutrition of Higher Plants Third Edition. Elsevier. 649.
- Mierczynska, J., Cybulska, J., Sołowiej, B. and Zdunek, A. 2015. Effect of Ca²⁺, Fe²⁺ and Mg²⁺ on rheological properties of new food matrix made of modified cell wall polysaccharides from apple. *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 133 : 547–555
- Naeem, M. Naeem, M. S., Ahmad, R. & Ahmad, R. 2017. Foliar-applied calcium induces drought stress tolerance in maize by manipulating osmolyte accumulation and antioxidative responses. *Pakistan Journal of Botany*. 49(2) : 427–434.
- Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. & Shinozaki, K. 2014. The transcriptional regulatory network in the drought response and its crosstalk in abiotic stress responses including drought, cold, and heat. *Frontiers in Plant Science*. 2014(5) : 1-7.
- Peaucelle, A., Braybrook, S. and Höfte, H. 2012. Cell wall mechanics and growth control in plants: the role of pectins revisited. *Frontiers in Plant Science*. 3(June) : 1–6.
- Rad, A. H. S. and Zandi, P. 2012. The effect of drought stress on qualitative and quantitative traits of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*. 99(1) : 47–54.
- Rangana, S. 1978. Manual of analysis of fruit and vegetable product. Mc Graw Hill Book.Co.Ltd, New Delhi.
- Ray, J. D. & Sinclair, T. R. 1998. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. *Journal of Experimental Botany*. 49(325) : 1381–1386.
- Shekari, F., Soltaniband, V., Javanmard, A., Abbasi, A. 2015. The impact of drought stress at different stages of development on water relations, stomatal density and quality changes of rapeseed (*Brassica napus* L.). 34 : 81–90.
- Suresh, K., Nagamani, C., Ramachandrudu, K. & Mathur, R. K. 2010. Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. *Photosynthetica*. 48 : 430–436.
- Tenhaken, R. 2015. Cell wall remodeling under abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 5 (January) : 1–9.
- Tuteja, N. 2009. Integrated calcium signaling in plants. *Signaling in Plants, Signaling and Communication in Plants*. 29–49.
- Wang, Z., Li, G., Sun, H., Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H., and Mei, L. 2018. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biology Open* (2018) 7 : 1 - 9
- Wu, H. C., Huang, Y. C., Stracovsky, L & Jinn, T. L. 2017. Pectin methylesterase is required for guard cell function in response to heat. *Plant Signaling & Behavior*. 2017(6) : 1559-2324
- You, J. and Chan, Z. 2015. ROS regulation during abiotic stress responses in crop plants. *Frontiers in Plant Science*. 6 (December) : 1–15.
- Zhu, J.-K. 2011. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu Rev Plant Biol*. 53 : 247–273.