

RESPON FISIOLOGIS BEBERAPA VARIETAS KELAPA SAWIT DI PEMBIBITAN TERHADAP CEKAMAN AIR

Yusran Pangaribuan, Sudradjat¹, dan Dwi Asmono

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari tanggap beragam varietas kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap cekaman air pada fase pembibitan dan sekaligus untuk mengidentifikasi karakter fisiologi yang berkaitan dengan daya adaptasi tanaman kelapa sawit terhadap cekaman air. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca, Pusat Penelitian Kelapa Sawit - Balai Penelitian Marihat, Pematang Siantar. Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan ulangan sebanyak tiga kali. Perlakuan terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah cekaman air (A) yang terdiri atas empat taraf yaitu: 100% kapasitas lapang (A1), 75% kapasitas lapang (A2), 50% kapasitas lapang (A3), dan 25% kapasitas lapang (A4). Sedangkan faktor kedua adalah varietas (V) yang terdiri atas 5 taraf yaitu: D x P Marihat (V1), D x P Nifor (V2), D x P Yangambi (V3), D x P Sungai Pancur 2 (V4), D x P Sungai Pancur 1 (V5). Hasil penelitian menunjukkan bahwa varietas D x P Marihat (V1) relatif lebih dapat beradaptasi dan mempunyai pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan varietas lainnya pada kondisi cekaman air, dicirikan dengan lebih tingginya nilai pengamatan hampir pada semua peubah pertumbuhan. Secara fisiologis terjadi penurunan efisiensi penggunaan air dan meningkatnya kadar prolin sebagai senyawa osmotikum dalam mekanisme osmoregulasi. Ketika tercekam air, tanaman yang berpotensi toleran menunjukkan kemampuan yang lebih tinggi dalam mengakumulasi prolin dibandingkan dengan yang berpotensi peka. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar prolin potensial untuk dijadikan sebagai penanda dini respon bibit kelapa sawit terhadap cekaman air.

Kata kunci: *Elaeis guineensis*, cekaman air, prolin

PENDAHULUAN

Pengembangan kelapa sawit di Indonesia saat ini dilakukan bukan hanya di areal yang memenuhi persyaratan teknis, tetapi juga pada areal yang memiliki keterbatasan kondisi pedo-agroklimat. Wilayah pengembangan tersebut termasuk areal yang sering mengalami defisit air dan tercekam kekeringan, yang tersebar di provinsi Lampung, Sumatera Selatan, Jawa Barat, dan Kalimantan Timur. Luas areal tersebut diperkirakan mencapai 400.000 ha atau sekitar 20 % dari total luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia (5).

Cekaman air dapat menimbulkan dampak yang serius terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Di daerah kering yang mengalami kekurangan air berkelanjutan, pertumbuhan kelapa sawit dapat terhambat, ditandai dengan daun muda tidak membuka, pelepah daun tua patah, dan pupus patah. Penurunan produksi akibat cekaman air dapat mencapai 10–40% di bawah potensi produksi normal, tandan buah mengering, bahkan dapat menyebabkan kematian tanaman. Dampak ini dapat dilihat sejak saat terjadinya kekeringan sampai dua tahun kemudian (9).

¹Jurusan Budidaya Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah kekeringan adalah dengan penggunaan bahan tanaman yang toleran dan mampu beradaptasi terhadap cekaman kekeringan. Informasi mengenai toleransi tanaman terhadap defisit air berkelanjutan berdasarkan karakteristik fisiologi cukup banyak dilaporkan, khususnya pada tanaman pangan dan hortikultura (3). Maestri *et al.* (7), melaporkan bahwa pada genotipe kopi Arabika dan kopi Robusta yang toleran, perlakuan cekaman air menyebabkan terjadinya peningkatan akumulasi prolin dua kali lebih banyak dibandingkan dengan tanpa perlakuan cekaman air. Prolin bertindak sebagai osmolit yang kompatibel dan mungkin merupakan cadangan nitrogen organik dalam tanaman yang akan digunakan selama proses penyembuhan berlangsung.

Pada tanaman kelapa sawit, informasi mengenai karakter toleransi tanaman terhadap cekaman air berdasarkan karakteristik fisiologi belum banyak dilaporkan. Di sisi lain, kebutuhan bahan tanaman yang toleran merupakan hal mendesak dalam rangka mendukung perluasan perkebunan kelapa sawit ke daerah yang memiliki hambatan pedo-agroklimat.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari tanggap beragam varietas kelapa sawit terhadap cekaman air pada fase pembibitan, dan sekaligus untuk mengidentifikasi karakter fisiologi yang berkaitan dengan daya adaptasi tanaman kelapa sawit terhadap cekaman air.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Balai Penelitian Marihat, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Pematang Siantar. Bahan tanaman yang digunakan adalah kecambah

bah kelapa sawit tenera hasil persilangan antara tetua dura dengan lima tetua pisifera yang berbeda. Media tumbuh yang digunakan adalah campuran top soil dari tanah Podsolik dan pasir dengan perbandingan 3 : 1. Penelitian ini menggunakan rancangan faktorial dalam lingkungan acak lengkap. Faktor pertama adalah cekaman air yang terdiri atas empat taraf yaitu: 100 % kapasitas lapang (A1), 75 % kapasitas lapang (A2), 50 % kapasitas lapang (A3), dan 25 % kapasitas lapang (A4). Faktor kedua adalah bahan tanaman yang terdiri atas 5 varietas, yaitu: D x P Marihat (V1), D x P Nifor (V2), D x P Yangambi (V3), D x P SP 2 (V4), Dy x P SP 1 (V5). Setiap kombinasi perlakuan diulang 3 kali, sehingga seluruhnya terdapat 60 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri atas 6 *polybag* yang masing-masing berisi satu tanaman.

Perlakuan cekaman air mulai dilakukan pada saat bibit berumur 2,5 bulan. Penentuan pemberian air untuk mencapai kapasitas lapang dilakukan dengan mengukur penurunan bobot tanah (metode gravimetri). Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa rata-rata kadar air tanah pada kapasitas lapang sebesar 27,01%, dan kadar air titik layu permanen sebesar 4,70 %. Berdasarkan kadar air kapasitas lapang tersebut dapat ditentukan tingkat kadar air pada masing-masing perlakuan. Pemberian air pada awal percobaan untuk masing-masing perlakuan adalah sebesar selisih antara bobot tanah kering udara (BKU) dan bobot basah tanah dari masing-masing perlakuan (BB). Penyesuaian kadar air tanah untuk masing-masing perlakuan dilakukan setiap hari, dengan menimbang bobot basah tanah dan tanaman yang ada dalam *polybag*. Peubah yang diamati mencakup:

- (a) Laju pertumbuhan tanaman (*crop growth rate* = CGR)

$$\text{CGR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \text{ (g.hari}^{-1}\text{)}$$

- (b) Laju asimilasi bersih (*net assimilation rate* = NAR)

$$\text{NAR} = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \text{ \{g.(cm}^2\text{)}^{-1}.\text{hari}^{-1}\}}$$

Keterangan :

W_1 = bobot kering (g) pada waktu t_1

W_2 = bobot kering (g) pada waktu t_2

A_1 = luas daun (cm^2) pada waktu t_1

A_2 = luas daun (cm^2) pada waktu t_2

- (c) Efisiensi penggunaan air (EPA)

$$\text{EPA} = \frac{\text{Bobot kering bibit}}{\text{Jumlah air yang digunakan}} \text{ (g/l)}$$

- (d) Penetapan konsentrasi prolin

Prolin diekstraksi dan ditetapkan secara kolorimetri menggunakan metode Bates (2). Sebanyak 0,5 g daun digerus menggunakan N_2 cair dan dilarutkan dalam 10 ml 3 % b/v asam sulfosalisilat, kemudian disaring dengan kertas saring Whatman untuk memisahkan serpihan sel. Selanjutnya, filtrat yang diperoleh diambil 2 ml dan direaksikan dengan 2 ml larutan asam ninhidrin (1,25 g ninhidrin dalam 30 ml asam asetat glasial dan 20 ml 6 M asam fosfat dengan agitasi dan pemanasan) dan 2 ml asam asetat glasial dalam tabung reaksi, serta direbus pada suhu 100°C selama 1 jam. Reaksi diakhiri dengan inkubasi dalam es selama kurang lebih 5 menit. Campuran reaksi diekstraksi dengan 4 ml toluen dan diaduk dengan vortek selama 15-20 detik. Contoh dipipet 1 ml dan diukur absorbansinya pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 520 nm. Toluene digu-

nakan sebagai solven (blanko). Konsentrasi prolin ditentukan dengan kurva standar prolin (Sigma).

- (e) Jumlah stomata

Penghitungan jumlah stomata dilakukan dengan teknik pengecatan menggunakan larutan cutex pucat. Larutan cutex dioleskan pada permukaan daun bagian bawah. Jumlah stomata diperiksa dengan mikroskop pada pembesaran 400 kali, dan menggunakan larutan iodine sebagai pewarna.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju pertumbuhan tanaman

Berdasarkan pengamatan diketahui bahwa laju pertumbuhan tertinggi dari semua perlakuan adalah pada D x P SP 2 (V4) dengan perlakuan cekaman air pada taraf kapasitas lapang (Tabel 1). Laju pertumbuhan tanaman umumnya semakin menurun dengan meningkatnya cekaman air. Cekaman air pada taraf 25 % kapasitas lapang mengurangi laju pertumbuhan tertinggi pada Dy x P SP 1 (V5) yaitu sebesar 73,2 % terhadap kontrol.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa varietas D x P Marihat (V1) merupakan varietas yang cenderung lebih toleran terhadap cekaman air. Peningkatan cekaman air pada 50% dan 25% kapasitas lapang hanya menurunkan laju pertumbuhan tanaman masing-masing sebesar 13,2% dan 54,0% terhadap kontrol, sedangkan pada cekaman air 75% kapasitas lapang terdapat peningkatan laju pertumbuhan tanaman sebesar 75,8% terhadap kontrol.

Tabel 1. Pengaruh perlakuan cekaman air terhadap laju pertumbuhan bibit beberapa varietas kelapa sawit di tingkat pembibitan

Perlakuan Varietas	Perlakuan cekaman air			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- (g.hari ⁻¹) -----			
V1 (D x P Marihat)	0,228 efg (100 %)	0,401 ab (175,8 %)	0,198 fgh (86,8 %)	0,105 i (46,0 %)
V2 (D x P Nifor)	0,365 abc (100 %)	0,387 ab (106,0 %)	0,107 i (29,3 %)	0,114 hi (31,2 %)
V3 (D x P Yangambi)	0,331 bcd (100 %)	0,389 ab (117,5 %)	0,149 ghi (45,0 %)	0,163 ghi (49,2 %)
V4 (D x P SP 2)	0,428 a (100 %)	0,185 ghi (43,2 %)	0,270 def (63,0 %)	0,161 ghi (37,6 %)
V5 (Dy x P SP 1)	0,399 ab (100 %)	0,277 def (69,4 %)	0,305 cde (76,4 %)	0,107 i (26,8 %)

Keterangan : Nilai-nilai yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata dengan Uji Jarak Berganda Duncan pada $\alpha=5\%$; KL = Kapasitas Lapang; MSP = Minggu setelah perlakuan; Keterangan ini berlaku untuk tabel-tabel selanjutnya pada paper ini (Tabel 2, 3, dan 4).

Perlakuan cekaman air pada taraf kapasitas lapang menghasilkan rata-rata laju pertumbuhan tanaman tertinggi, yang tidak berbeda nyata dengan taraf cekaman air 75% kapasitas lapang. Hal ini terjadi karena pada cekaman 75% kapasitas lapang air yang dibutuhkan oleh tanaman dapat terpenuhi, sehingga akar primer dan akar sekunder dapat berkembang dengan baik. Sebagai konsekuensinya, unsur hara yang dibutuhkan tanaman bagi proses pertumbuhan dapat diserap dengan baik, sehingga pertumbuhan tanaman optimum.

Laju asimilasi bersih

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa laju asimilasi bersih tertinggi dari semua perlakuan adalah D x P SP2 pada taraf kapasitas lapang yang tidak berbeda nyata dengan D x P Nifor pada kapasitas lapang, dan D x P Marihat, D x P Nifor, D

x P Yangambi pada 75% kapasitas lapang, serta D x P Marihat, Dy x P SP1 pada 50% kapasitas lapang, dan D x P Yangambi pada 25% kapasitas lapang (Tabel 2).

Peningkatan cekaman air menyebabkan respon laju asimilasi bersih yang tidak konsisten. Hal ini terjadi karena pada kondisi cekaman air, volume aliran dan laju aliran asimilat menurun, namun sebagai kompensasinya kadar/penumpukan asimilat meningkat, sehingga menghambat penambatan CO₂ dan akibatnya fotosintesis terhambat (4, 8). Faktor interaksi menunjukkan respon yang tidak konsisten terhadap laju asimilasi bersih. Ini disebabkan pola pembentukan daun muda tanaman kelapa sawit yang tidak bersamaan antara satu tanaman dengan tanaman lainnya, meskipun tanaman tersebut menerima perlakuan yang sama.

Tabel 2. Pengaruh perlakuan cekaman air terhadap laju asimilasi bersih pada beberapa varietas kelapa sawit di tingkat pembibitan

Perlakuan Varietas	Perlakuan Cekaman Air			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- $\{(g.cm^{-2})^{-1}.hari^{-1}\} \times 10^{-6}$ -----			
V1 (D x P Marihat)	254 hij (100 %)	441 abcde (173,6 %)	417 abcdef (164,1 %)	270 ghi (106,2 %)
V2 (D x P Nifor)	444 abcde (100 %)	493 abc (111,0 %)	143 j (32,2 %)	303 fghi (68,2 %)
V3 (D x P Yangambi)	399 bcdef (100 %)	437 abcde (109,5 %)	212 ij (53,1 %)	471 abcd (118,0 %)
V4 (D x P SP 2)	531 a (100 %)	212 ij (39,9 %)	333 efghi (62,7 %)	365 defgh (68,7 %)
V5 (Dy x P SP 1)	402 bcdef (100 %)	386 cdefg (96,0 %)	514 ab (127,8 %)	310 fghi (77,1 %)

Efisiensi penggunaan air

Efisiensi penggunaan air tertinggi dijumpai pada varietas D x P SP-2 (V4) pada taraf pemberian air sesuai dengan kapasitas lapang. Namun, D x P Marihat (V1) tampaknya cenderung lebih toleran terhadap cekaman air karena pada taraf 25% kapasitas lapang hanya mengalami penurunan efisiensi penggunaan air sebesar 17,7%. Sementara pada kondisi tersebut

penurunan efisiensi penggunaan air pada V4 mencapai 30,9 % (Tabel 3). Perlakuan cekaman air 75 % kapasitas lapang cenderung menghasilkan efisiensi penggunaan air tertinggi. Pada kondisi ini, meskipun taraf kadar air berada di bawah kapasitas lapang, secara umum bibit kelapa sawit masih bisa mempertahankan efisiensi penggunaan airnya.

Tabel 3. Pengaruh perlakuan cekaman air terhadap efisiensi penggunaan air pada beberapa varietas kelapa sawit di tingkat pembibitan

Perlakuan Varietas	Perlakuan Cekaman Air			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- $(g.L^{-1})$ -----			
V1 (D x P Marihat)	1,43 e (100 %)	1,52 de (106,2 %)	1,24 hi (86,7 %)	1,22 hi (85,3 %)
V2 (D x P Nifor)	1,52 de (100 %)	1,66 cd (109,2 %)	1,30 fgh (85,5 %)	1,25 hi (82,2 %)
V3 (D x P Yangambi)	1,79 bc (100 %)	1,69 cd (94,4 %)	1,67 cd (93,2 %)	1,27 gh (70,9 %)
V4 (D x P SP 2)	2,01 a (100 %)	1,76 bc (87,5 %)	1,75 bc (87,0 %)	1,39 ef (69,1 %)
V5 (Dy x P SP 1)	1,58 d (100 %)	1,67 cd (105,6 %)	1,48 de (93,6 %)	1,15 i (72,7 %)

Kadar prolin

Kadar prolin semakin meningkat dengan meningkatnya cekaman air. Produksi prolin tertinggi dari semua perlakuan dijumpai pada bahan tanaman D x P SP 2 dengan cekaman air 25% kapasitas lapang. Tabel 4 menunjukkan bahwa pada D x P Marihat peningkatan cekaman air pada taraf 75%, 50%, dan 25% kapasitas lapang meningkatkan kadar prolin masing-masing sebesar 31,5%, 77,4%, dan 100 % terhadap kontrol.

Ada korelasi antara laju pertumbuhan tanaman dan kadar prolin, namun berbanding terbalik dengan nilai $r = -0,540$. Hal ini mengindikasikan bahwa kadar prolin meningkat sejalan dengan menurunnya laju pertumbuhan tanaman pada kondisi semakin rendahnya kadar air dalam tanah. Peningkatan kadar prolin bebas pada bibit tanaman kelapa sawit yang mengalami cekaman air diduga berkaitan dengan meningkatnya prekursor biosintesis prolin yaitu Δ -pirolin-5-karboksilat (P5C) oleh aktivitas enzim Δ -pirolin-5-karboksilat sintetase (P5CS). Kishor *et al.* (6) membuktikan bahwa pada tanaman tembakau transgenik yang tercekam air terjadi pe-

ningkatan akumulasi prolin bebas dan induksi sintesis protein dengan bobot molekul 72 kDa, sebagai usaha tanaman tersebut untuk mempertahankan potensial air jaringan tanaman dalam mekanisme osmoregulasi atau pengaturan osmotik. Peningkatan kadar prolin bebas dengan taraf yang cukup tinggi dan rentang waktu yang lebih lama pada daun tanaman kelapa sawit menunjukkan adanya keterkaitan antara varietas dengan ketahanan terhadap cekaman air. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dikatakan bahwa kadar prolin bebas pada daun dapat menjadi penanda awal respon ketahanan tanaman kelapa sawit terhadap cekaman air.

Jumlah stomata

Morfogenesis stomata dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Kondisi lingkungan yang mempengaruhi morfogenesis stomata adalah intensitas cahaya, suhu, kadar CO_2 , dan ketersediaan air (7). Amitava *et al.* (1) telah meneliti tanaman jute (*Corchorus capsularis* L) dan melaporkan bahwa frekuensi dan ukuran stomata dikontrol oleh gen-gen yang bersifat aditif. Pada percobaan ini faktor cekaman

Tabel 4. Pengaruh perlakuan cekaman air terhadap kadar prolin beberapa varietas kelapa sawit di tingkat pembibitan.

Perlakuan Varietas	Perlakuan Cekaman Air			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- ($\mu \text{ mol. g}^{-1}$) -----			
V1 D x P Marihat	1,11 i (100 %)	1,46 fgh (131,5%)	1,97 e (177,4%)	2,22 cde (200,0%)
V2 D x P Nifor	1,25 ghi (100 %)	1,61 f (128,8%)	2,03 de (162,4%)	2,26 cde (180,8%)
V3 D x P Yangambi	1,28 ghi (100 %)	1,98 e (154,6%)	2,37 bc (185,1%)	2,32 bcd (181,2%)
V4 D x P SP 2	1,51 fg (100 %)	2,44 bc (161,5%)	2,60 b (172,1%)	2,96 a (196,0%)
V5 D x P SP 1	1,11 i (100 %)	1,21 hi (109,0%)	1,68 f (151,3%)	1,53 fg (137,8%)

Tabel 5. Pengaruh perlakuan cekaman air terhadap jumlah stomata pada beberapa varietas kelapa sawit di pembibitan

Perlakuan Varietas	Perlakuan Cekaman Air			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	(buah)			
V1 D x P Marihat	9,00 (100 %)	8,66 (96,2 %)	8,66 (96,2 %)	9,00 (100 %)
V2 D x P Nifor	9,00 (100 %)	8,66 (96,2 %)	8,66 (96,2 %)	8,66 (96,2 %)
V3 D x P Yangambi	9,00 (100 %)	9,00 (100 %)	9,00 (100 %)	9,00 (100 %)
V4 D x P SP 2	9,00 (100 %)	9,00 (100 %)	9,00 (100 %)	8,66 (96,2 %)
V5 D x P SP 1	9,00 (100 %)	8,66 (96,2 %)	8,66 (96,2 %)	9,00 (100 %)

air dan faktor varietas serta interaksi antara keduanya sama sekali tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah stomata di daun (Tabel 5). Diduga jumlah stomata lebih dipengaruhi oleh faktor genetik, sehingga walaupun terjadi perbedaan lingkungan, dalam hal ini perbedaan cekaman air, penyebaran dan jumlah stomata pada varietas yang berbeda tidak berbeda nyata.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa cekaman air yang berbeda mempengaruhi pertumbuhan bibit kelapa sawit. Varietas D x P Marihat relatif lebih dapat beradaptasi dan memberikan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan varietas lainnya pada kondisi cekaman air, dicirikan dengan lebih rendahnya persentase penurunan pertumbuhan dan lebih tingginya akumulasi prolin pada kondisi tercekam air.

Varietas yang berbeda mempunyai respon fisiologi yang berbeda terhadap tingkat cekaman air. Terdapat penurunan

nilai yang lebih ekstrim terhadap beberapa peubah pertumbuhan pada bibit yang tidak mampu beradaptasi terhadap cekaman air, yang berdampak pada menurunnya laju pertumbuhan tanaman. Secara fisiologis, cekaman air menyebabkan terjadi penurunan efisiensi penggunaan air dan peningkatan kadar prolin sebagai senyawa osmotikum dalam mekanisme osmoregulasi.

Peningkatan cekaman air meningkatkan kadar prolin yang lebih tinggi pada varietas kelapa sawit yang berpotensi toleran. Dengan demikian kadar prolin potensial untuk dijadikan sebagai indikator respon ketahanan bibit kelapa sawit terhadap cekaman air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sebagian dibiayai oleh Proyek Riset Unggulan Terpadu VI, Tahun Anggaran 1998 - 2000, Dewan Riset Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

1. AMITAVA, S., M. S. BASUK, and S. L. BASAK. 1986. Sampling of stomatal density for genetic analysis and inheritance of stomatal character in Jute (*Crochorus Capsularis* L.). *Sabraq Jurnal* 18 (2) : 105-112.
2. BATES, L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39:205-207.
3. FREDERIQUE, R., G. PASCALE, DOMINIQUE DE VIENNE, and Z. MICHEL. 1998. Protein change in response to progressive water deficit in maize. *Plant Physiol.* 117:1253 - 1263.
4. HARJADI, S. S., dan S. YAHYA, 1988. Fisiologi stres lingkungan. PAU IPB. 236 p.
5. HASAN, H. 1998. Model simulasi produksi kelapa sawit berdasarkan karakteristik kekeringan. Tesis Program Pasca Sarjana IPB, Bogor. 94 hal.
6. KISHOR, P. K., Z. HONG, G. H. MIAO, C. A. A. HU and P. S. VERMA. 1995. Over-expression of Δ -pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotic tolerance in transgenic plants. *Plant Physiol.* 108:387-394.
7. MAESTRI, B., F. M. DA MATTIA, A.J. REGAZZI, and R. S. BARROS. 1995. Accumulation of proline and quaternary ammonium compounds in mature leaves of water stressed coffee plants (*Coffea arabica* and *C. canephora*). *Hort Science.* 70(2) : 229 - 233.
8. SALISBURY, F. B. and C. W. ROSS. 1992 *Plant Physiology*. Fourth Edition. Wadsworth Publishing Company. California. pp116-55.
9. SIREGAR, H., A. PURBA, E. SYAMSUDDIN, dan Z. POELOENGAN. 1995. Penanggulangan kekeringan pada tanaman kelapa sawit. *Warta PPKS* 3 (1) : 9 - 14.

Physiological responses of oil palm varieties at nursery stage to water stress

Yusran Pangaribuan, Sudradjat, and Dwi Asmono

Abstract

Experiment was done to evaluate the response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) varieties to water stress at nursery level and to identify physiological characters associated with the adaptation of oil palm to water stress. Experiment was conducted in the green house, Indonesian Oil Palm Research Institute – Marihat Research Center, Pematang Siantar. The experimental design was completely randomized design with three replicates. Two factors were used. First, water stress factor (A) consisting of four levels: 100% field capacity (A1), 75% field capacity (A2), 50% field capacity (A3), and 25% field capacity (A4). Second, planting material (V) that consisted of five variety levels: D x P Marihat (V1), D x P Nifor (V2), D x P Yangambi (V3), D x P Sungai Pancur 2 (V4), and Dy x P Sungai Pancur 1 (V5). Results indicated that, in almost all levels of observation, D x P Marihat (V1) relatively had a better ability to adapt water stress condition and had better growth responses than other planting materials. Physiologically, the water use efficiency decreased while the proline production as osmoticum compound in osmoregulation mechanism increased. When planting materials were treated with water stress, those considered as tolerance were able to accumulate proline in higher level than those considered as susceptible materials. This result indicated that proline content is potential as an early indicator of oil palm response to water stress.

Key words: *Elaeis guineensis*, water stress, proline

Introduction

Oil palm in Indonesia is developed not only on favorable areas but also toward areas having some pedo-agroclimatic restrictions. These include plantation areas having regular water deficit and drought problems in Lampung, South Sumatra, West Java, and East Kalimantan provinces. The areas cover approximately 400,000 ha, equal to 20 % of the total Indonesian oil palm plantation (5).

Water stress causes serious problems to oil palm growth and development. In dry area with continuous water deficit, oil palm growth slows down and sometimes shows undeveloped young leaves, frond fracture, and shoot breakage. In severe condition, fruit bunch shrinks and yield decreases 10-40 % than that in normal condition.

Drought effects may remain until 2 years later (9).

Use of tolerant and well-adapted varieties to water stress is an option to solve water stress problem of oil palm plantation. Physiological explanation for tolerance to water stress has been studied, mainly in food and horticulture crops (3). Maestri *et al.* (7), reported that tolerant genotypes of Arabica coffee and Robusta coffee treated with water stress accumulates proline twice higher than those without water stress treatment. In such a case, proline acts as an osmolite and organic nitrogen source for recovery process.

Physiological explanation of tolerance to water stress in oil palm was never discussed. On the other hand, development of oil palm plantation towards restricted pedo-agroclimatic areas need supports, including

Department of Agronomy, Bogor Agricultural University

availability of tolerant planting materials to environmental stress.

The objectives of the experiment were to evaluate responses of oil palm varieties to water stress at nursery level and to identify physiological characters associated with the adaptation of oil palm to water stress.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the green house of Marihat Research Center, Indonesian Oil Palm Research Institute, Pematang Siantar. The planting materials were tenera oil palm derived from crosses between dura and five different pisifera. Growth medium was mixture of topsoil of Podzolic soil and fine sand with ratio of 3 : 1. Experimental design was Completely Randomized Design with two factors. First, soil water content factor (A) consisting of four levels: 100% field capacity (A1), 75% field capacity (A2), 50% field capacity (A3), and 25% field capacity (A4). Second, planting material factor (V) consisting of five variety levels: D x P Marihat (V1), D x P Nifor (V2), D x P Yangambi (V3), D x P Sungai Pancur 2 (V4), Dy x P Sungai Pancur 1 (V5). Each factorial combination was replicated 3 times, so that overall 60 experimental units were used. Each experimental unit consisted of 6 oil palm seedlings, in which each was planted in a polybag.

Water stress treatment was applied since seedlings were 2.5 months after planting. Need of water supply to reach field capacity was determined by gravimetric method. Based on the laboratory analysis, average soil water on field capacity was 27.01 % while permanent wilting point was 4.70 %. The level of water content in

each treatment was determined based on the water content under field capacity. Need of water supply in the beginning of experiment on each treatment was calculated based on the different weight of air-dried soil and wet soil of each treatment. Soil water content was adjusted daily by balancing seedling and soil wet weight in each polybag. Observed variables were:

(a) crop growth rate = CGR

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \text{ (g.day}^{-1}\text{)}$$

(b) net assimilation rate = NAR

$$NAR = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \text{ (g.(cm}^2\text{)}^{-1}\text{.day}^{-1}\text{)}$$

Notes :

W_1 = seedling dry weight (g) on observation time t_1

W_2 = seedling dry weight (g) on observation time t_2

A_1 = leaf area (cm^2) on observation time t_1

A_2 = leaf area (cm^2) on observation time t_2

(c) water use efficiency (EPA)

$$EPA = \frac{\text{Seedling dry weight}}{\text{Total water used}} \text{ (g/l)}$$

(d) proline concentration

Proline was extracted and measured by colorimetric using Bates method (2). Oil palm leaf, 0.5 g, was grinded using N_2 - liquid and solved into 10 ml 3 % w/v sulphosalicylic acid, and then filtered. Two ml filtrate was reacted with 2 ml ninhydrin acid solution (1.25 g ninhydrin in 30 ml acetic acid glacial and 20 ml 6 M phosphate acid with agitation and heat) and 2

ml acetic acid glacial in reaction tube and steamed at 100 °C for 1 hour. Reaction was stopped by incubating reaction tube in ice for 5 minutes. Reaction mixture was then extracted with 4 ml toluene, and stirred for 15-20 seconds. Sample was taken for 1 ml and then its absorbance was measured using spectrophotometer at wavelength of 520 nm. Toluene was used as solvent (blank). Proline concentration was determined using proline standard curve (Sigma).

(e) Number of stomata

Number of stomata was counted by painting technique using faint cutex solution. The cutex solution was smeared on leaf surfaces. Stomata were observed using a microscope with magnitude of 400x and iodine solution as dye.

Results and Discussions

Crop growth rate

Results indicated that the highest crop growth rate among all treatments was D x P SP2 at field capacity (Table 1). Crop

growth rate generally decreased with the increase of water stress. Water stress at 25 % of field capacity reduced growth rate of V5, as low as 73.2 % of control.

Result showed that D x P Marihat (V1) was most likely tolerance to the water stress. With this material, the increase of water stresses at 50% and 25% of field capacity decreased crop growth rates of 13.2 % and 54.4 %, respectively. When water stress was 75% of field capacity, crop growth rate increased 75.8 %.

The highest crop growth rate was planting materials treated with water stress at field capacity, which was not significant to those treated with water stress at 75 % field capacity. This means that at 75 % field capacity, palms still have enough water supply, primary and secondary roots develop well, nutrient uptake is normal, leading to an optimum growth.

Net assimilation rate

Results indicated that the highest net assimilation rate was D x P SP2 at field capacity, which was not significantly different from D x P Nifor at field capacity,

Table 1. Effect of water stress to the growth rate of oil palm varieties at nursery stage

Variety	Level of Water Stress			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	(g.hari ⁻¹)			
V1 (D x P Marihat)	0.228 efg (100 %)	0.401 ab (175.8 %)	0.198 fgh (86.8 %)	0.105 i (46.0 %)
V2 (D x P Nifor)	0.365 abc (100 %)	0.387 ab (106.0 %)	0.107 i (29.3 %)	0.114 hi (31.2 %)
V3 (D x P Yangambi)	0.331 bcd (100 %)	0.389 ab (117.5 %)	0.149 ghi (45.0 %)	0.163 ghi (49.2 %)
V4 (D x P SP 2)	0.428 a (100 %)	0.185 ghi (43.2 %)	0.270 def (63.0 %)	0.161 ghi (37.6 %)
V5 (Dy x P SP 1)	0.399 ab (100 %)	0.277 def (69.4 %)	0.305 cde (76.4 %)	0.107 i (26.8 %)

Notes: Number followed by the same letter was not significantly different based on Duncan Multiple Range Test at $\alpha=5$ %. KL = field capacity, MSP = weeks after treatment; These notes are applicable for all tables in this paper.

D x P Marihat, D x P Nifor, D x P Yangambi at 75 % field capacity, D x P Marihat, Dy x P SP1 at 50% field capacity, and D x P Yangambi at 25% field capacity (Table 2).

The increase of water stress caused inconsistency of net assimilation rate response. This phenomenon may occur because in water stress condition the assimilate flow rate and volume decreased, while assimilate content increased. In this case, capturing process of CO₂ will be limited, leading to the restriction of photosynthesis. (4, 8). Response of net assimilation rate was not consistent, which could be related to the fact that the development patterns of young leaves of the different samples (palms) receiving the same treatment were not similar.

Water use efficiency

Water stress, planting material, and their interactions significantly influence water use efficiency. Results indicated that planting material having the highest water

use efficiency was D x P SP-2 (V4) planted at field capacity. However, D x P Marihat (V1) seems to be more tolerance to water stress because at 25% field capacity the water use efficiency only slightly declined for 17.7 %. In this condition, water use efficiency of D x P SP-2 decreased 30.9% (Table 3). At 75 % field capacity, water consumption was efficient. In such a case, oil palm seedlings were still able to use water efficiently, although the level of water content was below field capacity.

Proline production

Proline production increased with the increase of water stress. The highest proline production was at D x P SP-2 treating with water stress of 25% field capacity. Table 4 showed that for D x P Marihat the increased water stress at 75%, 50%, and 25% field capacity increased proline production for 31,5%, 77,4%, and 100 %, respectively.

Table 2. Effects of water stress to the net assimilation rate of oil palm varieties at nursery stage

Variety	Level of water stress			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- {(g.cm ²) ⁻¹ .hari ⁻¹ } x 10 ⁻⁶ -----			
V1 (D x P Marihat)	254 hij (100 %)	441 abcde (173.6 %)	417 abcdef (164.1 %)	270 ghi (106.2 %)
V2 (D x P Nifor)	444 abcde (100 %)	493 abc (111.0 %)	143 j (32.2 %)	303 fghi (68.2 %)
V3 (D x P Yangambi)	399 bcdef (100 %)	437 abcde (109.5 %)	212 ij (53.1%)	471 abcd (118.0 %)
V4 (D x P SP 2)	531 a (100 %)	212 ij (39.9 %)	333 efghi (62.7 %)	365 defgh (68.7 %)
V5 (Dy x P SP 1)	402 bcdef (100 %)	386 cdefg (96.0 %)	514 ab (127.8 %)	310 fghi (77.1 %)

Table 3. Effects of water stress to the water use efficiency of oil palm planting materials at nursery stage

Variety	Level of Water Stress			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- (g. L ⁻¹) -----			
V1 (D x P Marihat)	1.43 e (100 %)	1.52 de (106.2 %)	1.24 hi (86.7 %)	1.22 hi (85.3 %)
V2 (D x P Nifor)	1.52 de (100 %)	1.66 cd (109.2 %)	1.30 fgh (85.5 %)	1.25 hi (82.2 %)
V3 (D x P Yangambi)	1.79 bc (100 %)	1.69 cd (94.4 %)	1.67 cd (93.2 %)	1.27 gh (70.9 %)
V4 (D x P SP 2)	2.01a (100 %)	1.76 bc (87.5 %)	1.75 bc (87.0 %)	1.39 ef (69.1 %)
V5 (Dy x P SP 1)	1.58 d (100 %)	1.67 cd (105.6 %)	1.48 de (93.6 %)	1.15 i (72.7 %)

A significant negative correlation ($r = -0.540$) between crop growth rate and proline production was observed. This means that if soil water content declined, proline production increased while crop growth rate decreased. Increasing of free proline production in oil palm seedlings treated with water stress may be associated with increasing of proline biosynthesis precursor, Δ -piroline-5-carboxylate (P5C) by activity of enzyme Δ -piroline-5-karboksilat sintetase (P5CS). Kishor *et al.* (6) showed that transgenic tobacco that was tolerance to water stress accumulated proline and induced synthesis of 72 kDa proteins to keep water potential in its tissues in osmoregulation mechanism or osmotic adjustment. Increasing of proline at high level and in relatively long period in oil palm leaves indicates that there may be a relationship between proline production and level of tolerance of oil palm to water stress. It can be inferred that the level of

proline production in oil palm leaves may be used as an early indicator of tolerant responses of oil palm to water stress.

Number of stomata

Stomata morphogenesis is influenced by genetic and environmental factors, such as type of plant, light intensity, temperature, CO₂ content, and water availability (7). Amitava *et al.* (1) reported that at jute (*Corchorus capsularis* L), stomata frequency and sizes were controlled by additive genes. In this experiment, treatments of water stress, planting material, as well as their interactions did not significantly affect to the number of stomata in oil palm leaves (Table 5). It seems that genetic factors has more important role so that the number and distribution of stomata in oil palm leaves were not significantly affected by water stress treatment.

Table 4. Effects of water stress to the proline production of some oil palm varieties at nursery stage

Variety	Level of Water Stress			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- (μ mol. g ⁻¹) -----			
V1 (D x P Marihat)	1.11 i (100 %)	1.46 fgh (131.5%)	1.97 e (177.4%)	2.22 cde (200.0%)
V2 (D x P Nifor)	1.25 ghi (100 %)	1.61 f (128.8%)	2.03 de (162.4%)	2.26 cde (180.8%)
V3 (D x P Yangambi)	1.28 ghi (100 %)	1.98 e (154.6%)	2.37 bc (185.1%)	2.32 bcd (181.2%)
V4 (D x P SP 2)	1.51 fg (100 %)	2.44 bc (161.5%)	2.60 b (172.1%)	2.96 a (196.0%)
V5 (D x P SP 1)	1.11 i (100 %)	1.21 hi (109.0%)	1.68 f (151.3%)	1.53 fg (137.8%)

Table 5. Effects of water stress to the number of stomata of some oil palm varieties in nursery stage

Variety	Level of Water Stress			
	KL	75 % KL	50 % KL	25 % KL
	----- (number) -----			
V1 (D x P Marihat)	9.00 (100 %)	8.66 (96.2 %)	8.66 (96.2 %)	9.00 (100 %)
V2 (D x P Nifor)	9.00 (100 %)	8.66 (96.2 %)	8.66 (96.2 %)	8.66 (96.2 %)
V3 (D x P Yangambi)	9.00 (100 %)	9.00 (100 %)	9.00 (100 %)	9.00 (100 %)
V4 (D x P SP 2)	9.00 (100 %)	9.00 (100 %)	9.00 (100 %)	8.66 (96.2 %)
V5 (D x P SP 1)	9.00 (100 %)	8.66 (96.2 %)	8.66 (96.2 %)	9.00 (100 %)

Conclusions

Results indicated that water stress influenced growth responses of oil palm at nursery stage. D x P Marihat has better adaptation and growth responses to water stress than other planting materials, as it was indicated by its lower percentage of growth decreased and its higher level of proline production during water stress condition.

Planting materials showed different physiological responses to water stress. The extreme decrease of growth variables were observed at planting materials having low adaptability to water stress leading to the decrease of crop growth rate. Water stress caused the decrease of water use efficiency and the increase of proline production.

Increasing of water stress increased proline production at higher level, particularly in potential-tolerant materials. There-

fore, level of proline production may be used as an early indicator of tolerant responses of oil palm to water stress.

Acknowledgement

Research was partially funded by Riset Unggulan Terpadu VI Project, Term years 1998 – 2000, National Research Board.

References

1. AMITAVA, S., M. S. BASUK, and S. L. BASAK. 1986. Sampling of stomatal density for genetic analysis and inheritance of stomatal character in Jute (*Crochorus Capsularis* L.). Sabraq Jurnal 18 (2) : 105 – 112.
2. BATES, L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39:205-207.
3. FREDERIQUE, R., G. PASCALE, DOMINIQUE DE VIENNE, and Z. MICHEL. 1998. Protein change in response to progressive water deficit in maize. Plant Physiol. 117:1253 – 1263.
4. HARJADI, S. S., dan S. YAHYA, 1988. Fisiologi stres lingkungan. PAU IPB. 236 p.
5. HASAN, H. 1998. Model simulasi produksi kelapa sawit berdasarkan karakteristik kekeringan. Tesis Program Pasca Sarjana IPB, Bogor. 94 hal.
6. KISHOR, P. K., Z. HONG, G. H. MIAO, C. A. A. HU and P. S. VERMA. 1995. Over-expression of Δ -pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmo-tolerance in transgenic plants. Plant Physiol. 108:387-394.
7. MAESTRI, B., F. M. DA MATTA, A.J. REGAZZI, and R. S. BARROS. 1995. Accumulation of proline and quaternary ammonium compounds in mature leaves of water stressed coffee plants (*Coffea arabica* and *C. canephora*). Hort Science. 70(2) : 229 – 233.
8. SALISBURY, F. B. and C. W. ROSS. 1992 Plant Physiology. Fourth Edition. Wadsworth Publishing Company, California. pp116-55.
9. SIREGAR, H., A. PURBA, E. SYAMSUDDIN, dan Z. POELOENGAN. 1995. Penanggulangan kekeringan pada tanaman kelapa sawit. Warta PPKS 3 (1) : 9 – 14.

ooOoo