

Persentase kavitasi, rasio struktur pembuluh akar kakao dan kandungan air tanah pada kedalaman tanah yang berbeda

Percentages of cavitation, ratio of cocoa roots vessel structures and soil water content at different soil depths

ERMA PRIHASTANTI^{1*}, SOEKISMAN TJITROSEMITO², DIDY SOPANDIE³, IBNUL QOYIM²

¹Jurusan Biologi, Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro Semarang, Jl. Prof. H. Sudarto, SH Kampus FSM Undip, Tembalang, Semarang 50239, Jawa Tengah, Tel/Fax: +62247640923. *email: eprihast@yahoo.co.id

²Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 19680, Jawa Barat.

³Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 19680, Jawa Barat.

Manuskrip diterima: 18 Februari 2015. Revisi disetujui: 28 Agustus 2015.

Abstrak. Prihastanti E, Tjitrosemito S, Sopandie D, Qoyim I. 2015. Perbedaan persentase kavitasi, rasio struktur pembuluh akar kakao dan kandungan air tanah pada kedalaman tanah yang berbeda. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1: 1689-1692*. Kavitasi adalah suatu proses dimana fase uap masuk ke dalam kolom air pada xilem yang menyebabkan embolisme. Kapasitas xilem dan gejala embolisme diketahui sebagai rintangan utama pada tanaman yang terkena stres air. Perakaran kakao sebagian besar berada di kedalaman tanah kurang dari 40 cm, sehingga mudah sekali terpengaruh *hydraulic conductivity* (hd) akar saat terjadi perubahan kandungan air tanah. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbandingan persentase kavitasi xilem akar kakao, struktur anatomi xilem serta kandungan air tanah pada kedalaman 0-15 cm dan 15-30 cm pada tanaman kakao umur 6 tahun. Pengukuran hd akar kakao dilakukan dengan metode Sperry tahun 1988 pada akar dengan diameter 3-5 mm. Pengukuran kandungan air tanah dilakukan dengan tensiometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akar kakao pada kedalaman 0-15 cm mempunyai persentase kavitasi lebih tinggi yaitu 35,3% dibanding akar yang berada pada kedalaman 15-30 cm sebesar 10,7%, meskipun struktur jaringan pembuluh menunjukkan rasio dan ukuran yang hampir sama. Dimungkinkan persentase kavitasi akar yang lebih tinggi pada kedalaman 0-15 cm disebabkan kandungan air tanah pada kedalaman tersebut lebih rendah dibanding kedalaman 15-30 cm, oleh karenanya pada sistem budidaya kakao penting dipertimbangkan mengatur kelembaban tanah dan iklim mikro, agar aliran air didalam xilem tetap berlangsung normal.

Kata kunci: *Hydraulic conductivity*, kandungan air tanah, kavitasi, xilem

Abstract. Prihastanti E, Tjitrosemito S, Sopandie D, Qoyim I. 2015. Percentages of cavitation, ratio of cocoa roots vessel structures and soil water content at different soil depths. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1: 1689-1692*. Cavitation is a process when the vapor enters the water column in xylem causing an embolism. The xylem capacity and embolism symptoms are known as the main cause of stress in plants caused by water. Cocoa rooting is mostly in the depth less than 40 cm that is easily influenced by root hydraulic conductivity (hd) when the soil water content changes. The aims of the study were to observe the ratio of xylem cavitation percentage of cocoa roots, xylem anatomy structure and the soil water content in the depth of 0-15 cm and 15-30 cm of 6-year old cocoa plants. The measurement of cocoa root hd was done using Sperry method performed in 1988 to the root with diameter 3-5 mm. The soil water content measurement was performed using a tensiometer. The result showed that the cocoa root in the depth of 0-15 cm had higher cavitation percentage, which was 35,3%, compared to that in the depth of 15-30 cm, which was 10,7%. Nevertheless, both of the had similar structure and ratio of vascular tissue. Higher root cavitation percentage in the depth of 0-15 cm is possible due to the lower soil water content compared to that in the depth of 15-30%, hence cocoa cultivation system should consider soil moisture and microclimate, thus the water in the xylem flow normally.

Keywords: Hydraulic conductivity, soil water content, cavitation, xylem

PENDAHULUAN

Kavitasi adalah suatu proses dimana fase uap masuk ke dalam kolom air pada xilem dan menyebabkan embolisme. Embolisme adalah gelembung-gelembung gas yang pada mulanya berupa uap air dan kemudian menjadi gelembung udara, kemudiannya terperangkap dalam seluruh xilem (Oertli 1971; Pickard 1989). Karena tidak punya kemampuan untuk mengirimkan tekanan gas akan membatasi fase uap

aliran volume dari air yang melewati saluran menurunkan kapasitas tanaman untuk mengirimkan air menuju kanopi (Meinzer et al. 2001; Tyree dan Zimmerman 2002).

Pembuluh yang mengalami embolisme akan berada pada tekanan uap air 2,3 Kpa (pada tekanan absolut), dimana pembuluh fungsional yang berdekatan mengandung air dibawah tekanan itu. Gelembung gas akan ditangkap pada lubang pit membrane sampai perbedaan tekanan antara pembuluh menjadi cukup besar untuk suatu

gelembung kecil dilepas melalui suatu pori atau lubang menuju pembuluh fungsional dimana memungkinkan terjadinya kavitasasi baru (Choat et al. 2003). Kohesi, yaitu daya tarik menarik antar molekul sejenis. Daya inilah yang ikut berperan dalam pergerakan air dalam lintasan mulai dari tanah, melalui epidermis, korteks, dan endodermis, masuk ke jaringan pembuluh akar, naik melalui unsur xilem, masuk ke daun, dan akhirnya ke stomata untuk kemudian ditranspirasikan ke atmosfer. Struktur khusus lintasan ini (diameter kecil dan dinding tebal yang mencegah rebahnya tabung pembuluh), potensial osmotik yang rendah pada sel batang dan daun, serta kemampuan hidrasi dinding sel terutama di daun membuat sistem ini berfungsi (Cruiziat et al. 2002).

Keberadaan embolisme umum terjadi pada kondisi alami, hal ini bisa diketahui dan dihitung dengan berbagai macam, metode eksperiment. Embolisme terjadi saat tekanan air xilem naik melalui kenaikan, transpirasi atau tanah yang kering. Sifat mudah terjadi embolisme dapat sangat berbeda diantara spesies yang berbeda. Penelitian menunjukkan bahwa embolisme dapat diperbaiki pada beberapa spesies. Pada proses ini, air ditekan kembali masuk ke dalam saluran yang sudah terisi gas, namun mekanisme dari pengisian saluran yang mengalami embolisme belum banyak diketahui dan masih dalam perdebatan (Holta 2005).

Struktur dari pembuluh xilem merupakan faktor penting pada penentuan keberadaan terjadinya kavitasasi yang diinduksi oleh stres air. Pembuluh xilem dikelilingi oleh membran dengan lubang-lubang kecil (*pit membrane*) yang menghubungkan dari pembuluh satu ke pembuluh lainnya (Dickinson 2000). *Pit membrane* berfungsi sebagai filter dan sebagai jalan masuknya nutrien, namun ketika *pit membrane* terisi oleh gelembung udara, maka dapat memungkinkan masuknya patogen dan partikel yang berasal dari pembuluh xilem yang berdekatan (Crombie et al. 1985).

Dalam lingkungan khusus, daya kohesi demikian tinggi, sehingga bila air tertarik oleh osmosis dan terjadi penguapan di titik tertentu di dinding sel pada puncak pohon yang tinggi, maka tarikan tersebut berlanjut di sepanjang jalur ke bawah, melalui batang dan akar sampai ke tanah. Kolom air dalam pipa tegak berukuran besar biasanya mudah merongga. Peronggaan (embolisme) yaitu terputusnya kolom air dan terbentuknya gelembung udara, menghambat aliran air dalam kolom itu, dapat menyebabkan kematian tajuk, cabang bahkan seluruh tanaman (Tyree et al. 1999). Masih sedikitnya informasi mendasar tentang aliran airmendorong peneliti untuk mengkaji peristiwa kavitasasi pada tanamankakao dengan melakukan pengukuran *hydraulic conductivity*. *Hydraulic conductivity* adalah suatu satuan dari kemampuan medium (dalam fisiologi tanaman dapat berupa membran sel, jaringan, elemen xilem) untuk mengalirkan air. Dapat juga dinyatakan sebagai volume air per unit area medium per unit waktu per unittekanan penuh ($\text{kg.m.MPa}^{-1}.\text{s}^{-1}$) (Tyree dan Sperry 1989). Kapasitas xilem dangejala embolism diketahui sebagai rintangan utamapada tanaman yang terkena stres air. (Milburn 1993). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbandingan persentase kavitasasi xilem akar kakao, struktur anatomi xilem sertakandungan air

tanah pada kedalaman 0-15 cm dan 15-30 cm pada tanaman kakao umur 6 tahun.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian dimulai pada bulan Desember 2006. Tempat penelitian di Desa O'o, Kecamatan Kulawi Selatan, Kabupaten Donggala, yang merupakan daerah di sekitar kawasan Taman Nasional Lore Lindu, Propinsi Sulawesi Tengah, dengan ketinggian 476,149 m diatas permukaan laut, serta koordinat 1,5524°LU dan 120,0206° BT.

Bahan penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah tanaman kakaoberumur 6 tahun, merupakan varitas heterogen (persilangan varitas *Hybrida* dan lokal). Bibit tanaman ini berasal dari Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. Sebanyak 36 pohon kakao, dimana setiap pohon diambil 3 buah sistem perakarandengan diameter 3 - 5 mm pada kedalaman 0-15 cm dan 15-30 cm. Selanjutnya sampel akarkakao dibuat preparat permanen. Pengamatan struktur pembuluh xilem meliputi rasio area, diameter serata diameter lubang pembuluh xilem akar.

Pengukuran *hydraulic conductivity* dan persentase embolisme

Pengukuran *hydraulic conductivity* dan persentase kavitasasi akar dilakukan dengan menggunakan metode dan rumus dari Sperry et al. (1988) (Gambar 1).



Gambar 1. Sistem Sperry untuk mengukur *hydraulic conductivity* akar

Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan *hydraulic conductivity* (HC) adalah:

$$HC = \frac{a [kg] b [m]}{c [MPa] d [s]} = [kg \cdot m \cdot MPa^{-1} \cdot s^{-1}]$$

(Sperry et al. 1988), dimana:

a = berat air yang melewati xilem(kg)

b = panjang akar (M)

c = jarak akar dengan air pada tangki pada tekanan tertentu

d = waktu yang diperlukan untuk melewati air (detik)

Untuk menghitung persentase kavitasasi digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase kavitasasi = $100 (1 - K_{hi} / K_{hf})$ dimana,

K_{hi} = *Hydraulic conductivity* awal

K_{hf} = *Hydraulic conductivity* pada flushing maksimum

Pengukuran kandungan air tanah di sekitar pohon

Pengukuran kandungan air tanah di sekitar pohon dilakukan dengan menggunakan tensiometer (Tensio 100 UGT WIKAI). Pengukuran kandungan air tanah dilakukan antara jam 12.00-14.00. Setiap plot dipilih 6 pohon kakao dan masing-masing pohon dilakukan pengukuran sebanyak empat kali yaitu di sebelah utara, selatan, barat dan timur dari pohon tersebut.

Analisis data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan SAS (Shapiro-Wilk Statistic).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa menunjukkan akar kakao pada kedalaman 0-15 cm mempunyai persentase kavitasasi lebih tinggi yaitu 35,3% dibanding akar yang berada pada kedalaman 15-30 cm sebesar 10,7%. Akar kakao yang mempunyai lebih 80% perakaran *fineroot*nya terletak di lapisan permukaan tanah (kedalaman < 40 cm). Apabila terjadi stres kekurangan air, sistem perakaran yang pertama kali terkena dampaknya adalah akar dilapisan permukaan atas tanah. Apabila terjadi stres kekurangan air, sistem perakaran yang pertama kali terkena dampaknya adalah akar di lapisan permukaan atas tanah. Kedalaman tanah 0-15 cm mempunyai kandungan air tanah sekitar 19,34 %, lebih rendah dibanding kedalaman 15-30 cm. Kondisi tanah yang lebih kering menyebabkan kenaikan kavitasasi yang menyebabkan embolisme juga meningkat. Embolisme terjadi saat tekanan air xilem naik melalui kenaikan transpirasi atau tanah yang kering.

Tabel 1. Data hasil pengukuran

Akar kakao	Kedalaman tanah (cm)	
	0-15	15-30
Persentase kavitasasi (%)	35,34	10,76
Rasio -rata rasio area xilem dengan keseluruhan area akar (k)	0,70	0,70
Diameter xilem (μ)	± 1	± 1
Panjang pembuluh (μ)	± 5-10	± 5-10
Lubang pembuluh (μ)	± 0,25	± 0,25
Kandungan air tanah (%)	19,34	24,89

Cekaman kekeringan dapat meningkatkan embolisme (Sengupta dan Arun 2014), dimana embolisme sendiri merupakan strategi tanaman untuk membatasi penggunaan air selama kekeringan (Sperry dan Ikada 1997). Pada umumnya akar mengalami embolisme karena adanya kekurangan air disekitar perakarannya, dan hal ini dapat berakibat terjadinya gelembung udara pada aliran air didalam xilemnya (Jarbeau et al. 1995). Salah satu sifat komponen kunci resistensi tanaman terhadap kekeringan adalah tanaman yang xilem akarnya mudah mengalami embolisme (Hacke dan Sperry 2001). Mudah tidaknya terjadi embolisme tergantung pada spesies tanaman, dan sifat ini muncul saat tanaman berada dibawah kondisi stres (Tyree et al. 1999).

Hasil pengamatan anatomi akar menunjukkan nilai rasio area xilem dengan keseluruhan area akar (k), diameter, panjang pembuluh, lubang pembuluh xilem hampir sama. Pammenter dan vander Willigen (1998) menyatakan bahwa diameter akar tidak selalu menunjukkan diameter xilem. Ukuran xilem lebih ditentukan oleh umur pohon, kemampuan akar dan diameter trakeid. Hal itu menunjukkan bahwa kedalaman tanah sampai 30 cm mempunyai anatomi yang tidak berbeda. Perbedaan nilai kavitasasi lebih dipengaruhi kandungan air tanah sesaat. Keberadaan dari munculnya embolisme sebagai akibat tekanan air xilem meningkat karena kenaikan transpirasi atau tanah kering.

Prihastanti (2010) menemukan embolisme akar dipengaruhi oleh musim. Musim dengan curah hujan yang lebih rendah menyebabkan penurunan nilai *hydraulic conductance* dan kenaikan persentase embolisme tanaman kakao. Secara umum, tanaman hidup pada kondisi air tanah berkurang menyebabkan perubahan jaingan xilemnya mengalami peningkatan konduktansi hidrolik untuk menyediakan pasokan air yang lebih baik ke daun (Jacobsen et al. 2007; Martínez-Vilalta et al. 2009. Bila embolisme terjadi dalam waktu lama akan terjadi penurunan konduktansi hidrolik, pada gilirannya menyebabkan penutupan stomata, gugurnya daun, akhirnya dapat menyebabkan kematian tanaman (Brodrribb 2009; Brodrribb dan Cochard 2009).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih atas pemberian dana penelitian ini disampaikan kepada Program BPPS DIKTI Departemen

Pendidikan Nasional dan German Research Foundation (DFG-SFB 552) melalui program kerjasama Institut Pertanian Bogor, Universitas Tadulako, dan Universitas Gottingen Jerman dalam proyek penelitian “*Stability of Rainforest Margins in Indonesia*”(STORMA), serta *BMZ scholarship* dari pemerintah Jerman. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Bernhardt Schulzt, Borris Rewald, dan Gerald Moser dari Universitas Gottingen Jerman yang telah membantu dalam pembuatan metode Sperry, serta Gauk, Suminto dan Zul yang telah membantu dalam pengambilan sampel akar.

DAFTAR PUSTAKA

- Brodrribb TJ, Cochard H. 2009. Hydraulic failure defines the recovery and point of death in water-stressed conifers. *Plant Physiol* 149: 575-584
- Brodrribb TJ. 2009. Xylem hydraulic physiology: The functional backbone of terrestrial plant productivity. *Plant Sci* 177: 245-251.
- Choat B, Ball M, Luy J, Holtum J. 2003. Pit membrane porosity and water stress-induced cavitation in four co-existing dry rainforest tree. *Species* 131: 41-48.
- Crombie DS, Hipkins MF, Milburn JA. 1985. Gas penetration of pit membranes in the xylem of *Rhododendron* as the cause of acoustically detected sap cavitation. *Aust J Plant Physiol* 12: 445-453
- Cruziat P, Cochard H, Améglio T. 2002. Hydraulic architecture of trees: Main concepts and results. *Ann For Sci* 59: 723-752
- Dickinson WC. 2000. *Integrative Plant Anatomy*. Academic Press, San Diego.
- Hacke UG, Sperry JS. 2001. Functional and ecological xylem anatomy. *Presp Pl Ecol Evol Syst* 412: 97-115.
- Holtaa T. 2005. Dynamics of water and solute transport in trees. [Dissertation]. Division at Atmospheric Sciences. Departement of Physical Sciences, Faculty of Sciences, University of Helsinki. Helsinki Finland.
- Jacobsen AL, Agenbag L, Esler KJ, Pratt RB, Ewers FW, Davis SD. 2007a. Xylem density, biomechanics, and anatomical traits correlate with water stress in seventeen evergreen shrub species of the Mediterranean-type climate region of South Africa. *J Ecol* 95: 171-183.
- Jarbeau JA, Ewers FW, Davis SD. 1995. The mechanism of water stress induced xylem dysfunction in two species of chaparral shrubs. *Pl Cell Environ* 18: 189-196.
- Meinzer FC, Clearwater MJ, Goldstein G. 2001. Water transport in tree: current perspectives, new insights and some controversies. *Environ Exp Bot* 45: 239-262.
- Milburn JA. 1993. Cavitation. A review: past, present and future. In M Borghetti, Grace J, Raschi A (eds). *Water Transport in Plants under Climatic Stress*. Cambridge University Press, Cambridge. UK.
- Oertli JJ. 1971. The stability of water under tension in the xylem. *Zpflanzenphysiol* 65: 195-209
- Pammenter NW, vander Willigen C. 1998. A mathematical and statistical analysis of the curves illustrating vulnerability of xylem to cavitation. *Tree Physiol* 18: 589.
- Pickard WF. 1989. How might a tracheary element which is embolized by day be healed by night. *J Theor Biol* 141: 259-280
- Prihastanti E. 2010. Embolisme Akar Pohon Kakao (*Theobroma cacao* L.) Dan Gliricidia sepium Pada Cekaman Kekeringan. Prosiding Seminar Nasional Biologi: Biologi dan Pengembangan Profesi Pendidik Biologi, UNY Yogyakarta, 3 Juli 2010.
- Sengupta S, Arun LM. 2014. Physiological and genomic basis of mechanical-functional trade-off in plant vasculature. *Fron Pl Sci* 5: 224: 2
- Sengupta S, Majumder AL. 2014. Physiological and genomic basis of mechanical-functional trade-off in plant vasculature. *Front Plant Sci* 5: 224. DOI: 10.3389/fpls.2014.00224
- Sperry JS, Ikada T. 1997. Xylem cavitation in roots and stems of Douglass-fir and white fir. *Tree Physiol* 17: 275-280.
- Sperry JS, Donnelly JR, Tyree MT. 1988. A Method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. *J Pl Cell Environ* 11: 35-40.
- Tyree MT, Sperry JS. 1989. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Ann Rev Plant Physiol Mol Biol* 40: 19-36.
- Tyree MT, Zimmerman MH. 2002. *Xylem Structure and the Ascent of Sap*. Springer, Berlin.
- Tyree MT, Salleo S, Nardini A, Lo Gullo MA, Mosca R. 1999. Refilling of embolized vessels in young stems of laurel: Do we need a new paradigm? *Plant Physiol* 82: 597-599.