

# Pertumbuhan *fineroot* kakao (*Theobroma cacao*) pada cekaman kekeringan selama 13 bulan di kawasan agroforestri dengan pohon pelindung utama gamal (*Gliricidia sepium*)

## The growth of cocoa (*Theobroma cacao*) fineroot during 13-month drought stress in agroforestry area shaded by *Gliricidia sepium*

ERMA PRIHASTANTI<sup>1\*</sup>, SOEKISMAN TJITROSEMITO<sup>2</sup>, DIDY SOPANDIE<sup>3</sup>, IBNUL QOYIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan 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

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

<sup>3</sup>Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 19680, Jawa Barat.

Manuskrip diterima: 18 Februari 2015. Revisi disetujui: 27 Agustus 2015.

**Abstrak.** Prihastanti E, Tjitrosemito S, Sopandie D, Qoyim I. 2015. Pertumbuhan *fineroot* kakao (*Theobroma cacao*) pada cekaman kekeringan selama 13 bulan di kawasan agroforestri dengan pohon pelindung utama gamal (*Gliricidia sepium*). *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1: 1683-1688*. Akar merupakan organ pertama yang terpengaruh stres kekurangan air. Akar tanaman harus efisien menyerap dan mentranspor air dari tanah untuk memenuhi kebutuhan transpirasi, tetapi bila kondisi lingkungan air berubah, maka dapat mengganggu keseimbangan air tanaman. Kekurangan air secara tidak langsung berpengaruh pada pertumbuhan *fineroot*. Pada dasarnya cekaman kekeringan berpengaruh menurunkan kemampuan fotosintesis tanaman. Hal tersebut berpengaruh juga pada alokasi karbon menjadi dalam akar yang pada akhirnya berpengaruh pada pertumbuhan akar-akar baru. Tujuan penelitian ini mengkaji dampak perubahan kandungan air tanah pada kondisi cekaman dan waktu berbeda terhadap pertumbuhan dan kematian *fineroot* kakao (*Theobroma cacao* L). Penelitian ini dilakukan selama 13 bulan pada agroforestri kakao umur 6 tahun dengan pohon pelindung utamanya adalah gamal pada area seluas ± 1 Ha. Cekaman kekeringan dilakukan dengan pembuatan sistem *troughfall desiccation experiment* (TDE). Pengambilan *fineroot* dengan metode soilcore, Selanjutnya sampel *fineroot* diamati dan dilakukan pemisahan dibawah mikroskop stereo. Pengamatan dilakukan untuk membedakan antara *fineroot* mati dan hidup. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan TDE tidak berpengaruh terhadap *fineroot* kakao hidup ( $p=0,3761$ ) dan *fineroot* mati ( $p=0,1961$ ). Dinamika *fineroot* hidup dan mati kakao dipengaruhi oleh waktu ( $p=0,0001$ ). *Fineroot* hidup kakao mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu. Meskipun secara statistik pertumbuhan *fineroot* hidup di plot cekaman dan kontrol tidak berbeda signifikan, namun bila diamati *fineroot* hidup kakao di plot cekaman relatif lebih tinggi, hal itu terjadi pada saat pengamatan bulan ke-7 dan 13.

**Kata kunci:** Cekaman kekurangan air, *fineroot*, *Theobroma cacao*, *troughfall desiccation experiment*

**Abstract.** Prihastanti E, Tjitrosemito S, Sopandie D, Qoyim I. 2015. The growth of cocoa (*Theobroma cacao*) fineroot during 13-month drought stress in agroforestry area shaded by *Gliricidia sepium*. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1: 1683-1688*. Root is the first organ affected by stress caused by lack of water. Plant root must be efficient in absorbing and transporting water from the soil to fulfill the transpiration needs, but the changes of water environment might disturb the water balance of the plants. Lack of water affects the growth of fineroot, indirectly. Basically, the drought effect might affect the ability of plants to perform photosynthesis and the carbon allocation in the roots that will affect the growth of new roots. The study was aimed to analyze the impact of soil water content changes in various stress condition and time to the growth and death of cocoa (*Theobroma cacao* L.) fineroot. The study was performed for 13 months in 6-year old of cocoa agroforestry using *Gliricidia sepium* as the main shade in the area of ± 1 ha. The drought stress was performed by building trough fall desiccation experiment (TDE) system. The fineroot was taken using soil core method and then observed and separated a microscope. The observation was performed to differentiate dead and live fineroot. The statistical analysis shows that TDE treatment had no effect on dead fineroot ( $p=0.3761$ ) and live fineroot ( $p=0.1961$ ). The dynamics of dead and live fineroot was influenced by time ( $p=0.0001$ ). The fineroot increases during the time. Although, statistically, the growth of live fineroot under stress plot and control are similar, the live cocoa fineroot under the stress plot was higher as observed in the 7<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> month.

**Keywords:** lack of water stress, fine root, *Theobroma cacao*, troughfall desiccation experiment

### PENDAHULUAN

Ketika air sebagai sumber untuk kegiatan agrikultur menjadi terbatas, pemahaman sifat genetik dan mekanisme

biokimia yang mengontrol toleransi kekeringan merupakan jawaban utama dalam biologi tanaman (Sharp et al. 2004), karena dapat membantu menghindari kerugian pada skala yang lebih besar (Rao 2005). Akar tanaman

harus efisien menyerap dan mentranspor air dari tanah untuk memenuhi kebutuhan transpirasi, tetapi kondisi lingkungan kekurangan air dapat mengganggu kesetimbangan air tanaman (Grossnickle 2000). Kekurangan air (umumnya dikenal sebagai kekeringan) dapat didefinisikan sebagai tidak adanya kelembaban yang memadai untuk pertumbuhan normal tanaman dan menyelesaikan siklus hidup (Zhu 2002). Peristiwa kekeringan banyak terjadi di daerah tadah hujan, karena jarang hujannya dan kurangnya irigasi (Wang et al. 2005).

Pohon kakao mempunyai lima organ yaitu daun, batang, akar lateral, akar utama dan buah kakao. Akar lateral dibagi lagi menjadi akar lateral halus (*fine root*) yang mempunyai diameter < 2 mm, akar ini berfungsi menyerap air, dan akar lateral besar (*coarse root*). Akar *fineroot* dilihat dengan mengukur biomasnya. Akar ini mempunyai distribusi vertikal di dalam tanah (Zuidema et al. 2005). Pertumbuhan akar dan perluasan sistem perakaran ditujukan untuk memperluas daerah penyerapan air. Menurut Bolte and Villanueva (2006) kapasitas pohon dalam menyerap air dan nutrisi tergantung beberapa faktor seperti dinamika *fineroot* (laju kematian dan pertumbuhan *fineroot*) yang bervariasi sepanjang waktu. Dinamika *fineroot* menyumbang proposi yang signifikan pada siklus nutrisi dalam sistem agroforestri dimana pada sistem tersebut terjadi kompetisi dalam pemenuhan air dan nutrisi. Di Indonesia penelitian pertumbuhan akar masih sangat sedikit dilakukan. Secara umum pengamatan pertumbuhan akar pada pohon dapat dilakukan dengan metode tabung ingrowth dan soil core yang berurutan (Jimenez et al. 2009). Informasi ini menjadi penting terutama sebagai pembandingan dalam mengamati ketahanan tanaman kakao pada berbagai kondisi budidaya karena setiap fase pertumbuhan tanaman sangat berbeda dalam merespons cekaman, disamping itu faktor penting lainnya adalah tipe komunitas (tanaman yang dibudidayakan secara tunggal/individu maupun bersama jenis lain) (Sheng-He et al. 2005).

Tujuan penelitian ini mengkaji dampak perubahan kandungan air tanah pada kondisi cekaman dan waktu berbeda terhadap pertumbuhan dan kematian *fineroot* kakao (*Theobroma cacao* L). Penelitian ini dilakukan selama 13 bulan pada agroforestri kakao umur 6 tahun dengan pohon pelindung utamanya adalah gamal

## BAHAN DAN METODE

### Area kajian

Penelitian dilakukan di perkebunan kakao Marena Desa O'o, Kecamatan Kulawi Selatan, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah yang merupakan daerah di sekitar kawasan Taman Nasional Lore Lindu, Propinsi Sulawesi Tengah Tempat ini berada pada ketinggian 585 m di atas permukaan laut, dengan koordinat 1.5524° Lintang Utara dan 120.0206° Bujur Timur. Pelaksanaan penelitian

dimulaikan Juni 2006 sampai dengan Juni 2008 (Gambar1).

### Cara kerja

#### Pembuatan sistem agroforestri kakao

Menurut pemilik kebun, pembuatan agroforestri kakao dimulai pada bulan Desember 2000. Sebelumnya area ini digunakan untuk lahan penanaman padi dan jagung. Tanaman kakao yang ditanam berasal dari bibit kakao yang berasal dari Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. Pohon pelindung yang ditanam adalah *G. sepium* dan kelapa dimana keduanya ditanam satu tahun lebih dahulu sebelum penanaman kakao. Pada tahun 2006, jumlah pohon kakao dalam plot penelitian adalah  $1030 \pm 61$  pohon/ha, pohon *G. sepium*  $325 \pm 59$  pohon/ha serta kelapa  $23 \pm 25$  pohon/ha, dengan tinggi pohon kakao  $4,5 \pm 1,1$  m, pohon *G. sepium*  $9,5 \pm 2,2$  m dan kelapa  $11,2 \pm 2,5$  m.

#### Penentuan dan pembuatan plot penelitian

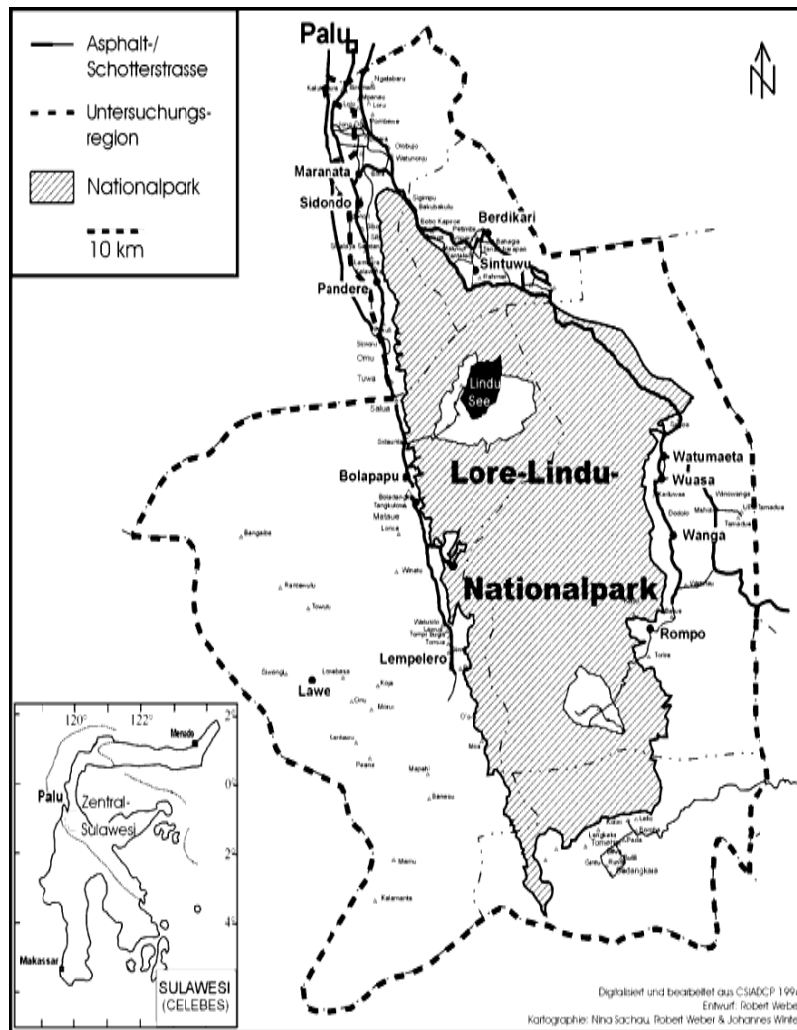
Kurang lebih satu ha area kebun kakao dengan tanaman pelindung *G. sepium* pada kemiringan tanah 8-12°, dibagi menjadi enam plot, sehingga masing-masing plot berukuran 35 m x 40 m. Selanjutnya secara acak ditentukan tiga plot sebagai kontrol (plot *non roofing*), dan tiga plot ditetapkan sebagai plot *roofing*. Pengamatan selama periode *roofing* dilakukan setelah 5-7 bulan dan 13 bulan *roofing*. Periode 5-7 bulan *roofing* diduga tanaman telah mengalami cekaman kekeringan ringan, sedangkan periode setelah 13 bulan diduga tanaman telah mengalami cekaman kekeringan yang lebih berat. Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap pola faktorial dengan perlakuan cekaman kekeringan (*roofing*) dan waktu.

#### Pengukuran kandungan air tanah

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 3 pohon *G. Sepium*, dan masing-masing pohon dilakukan pengukuran sebanyak empat kali yaitu di sebelah utara, selatan, barat dan timur dari pohon tersebut. Pengamatan perubahan kandungan air tanah di sekitar pohon kakao dan *G. sepium* dilakukan pada bulan ke-5 dan 13 (selama cekaman kekeringan).

#### Pengukuran *fineroot* hidup dan mati akar kakao

Untuk menentukan *fineroot* hidup dan mati digunakan metode *soil core*. Metode ini digunakan untuk mengamati vitalitas *fineroot*. Alat yang digunakan berupa tabung silinder baja dengan diameter 3,5 cm dan panjang 40 cm. Dengan bantuan pemukul dari karet tabung silinder dimasukkan sedalam 20 cm, kemudian diangkat. Tanah yang berada dalam tabung dikeluarkan dan dimasukkan ke dalam kantong plastik dan selanjutnya dibawa ke laboratorium menggunakan *cooler box* pada suhu -20 °C untuk dilakukan pengamatan.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian di Dusun Marena, Desa O'o Kecamatan Kulawi Selatan, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah

Di laboratorium dilakukan pencucian sampel tanah pada air mengalir. Akar yang berukuran besar (diameter > 2 mm) dibuang. Untuk menghindari hilangnya akar digunakan ayakan berukuran 0,25 mm X 0,25 mm. Selanjutnya sampel *finerroot* diamati dan dilakukan pemisahan di bawah mikroskop stereo (Zeiss KL 1500 LCD (W-P1 10XL23)). Pengamatan dilakukan untuk membedakan antara *finerroot* kakao dan *G. sepium* serta *finerroot* mati dan hidup (Gambar 21 c-i). Perbedaan antara *finerroot* kakao dan *G. sepium* didasarkan pada warna dan tekstur. *Finerroot* kakao berwarna kecoklatan dengan tekstur agak keras sedangkan *finerroot G. sepium* berwarna keputihan sampai kekuningan dengan tekstur lembut. Untuk membedakan akar mati dan hidup digunakan mikropinset dimana akar-akar yang sudah mati akan retak atau hancur bila ditekan dengan alat tersebut.

Selanjutnya *finerroot* yang diperoleh dikumpulkan pada cawan petri yang diberi alas kertas filter Whatman. Akar yang terkumpul dikeringkan pada suhu 60°C dengan oven sampai diperoleh bobot yang konstan. Sampel akar yang sudah kering ditimbang dengan timbangan analitik (dengan ketepatan 0,0001 g). Pengamatan *finerroot* kakao dan *G.*

*sepium* hidup dan mati dilakukan empat kali yaitu pada waktu sebelum periode *roofing* (Februari 2007) dan selama periode *roofing* (Juli 2007, September 2007 dan Maret 2008).

#### Pengukuran cuaca

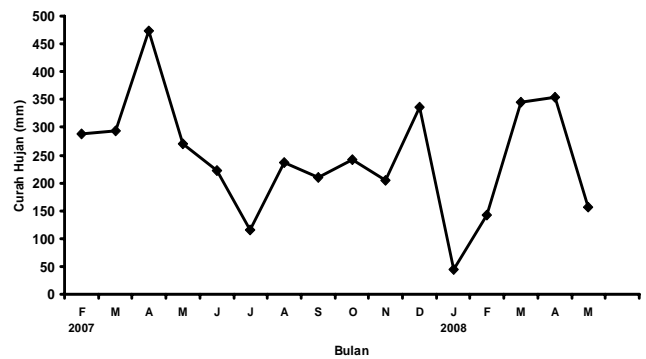
Temperatur dan kelembaban di bawah kanopi pohon kakao diukur dengan menggunakan Hobo yang diletakkan pada tiang kayu pada ketinggian 80 cm dan 200 cm. Untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara serta curah hujan harian di lokasi penelitian dibangun sebuah stasiun cuaca yang terletak 20 m di samping kanan plot penelitian dengan tinggi 5 m. Temperatur dan kelembaban udara relatif diukur menggunakan CS 215, Campbell Scientific Inc., Logan, UT USA, sementara curah hujan diukur dengan menggunakan ARG 100, Campbell. Data terekam pada interval waktu lima detik disimpan dalam data logger CR800 (Campbell) setiap 30 menit sekali.

#### Analisis data

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

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

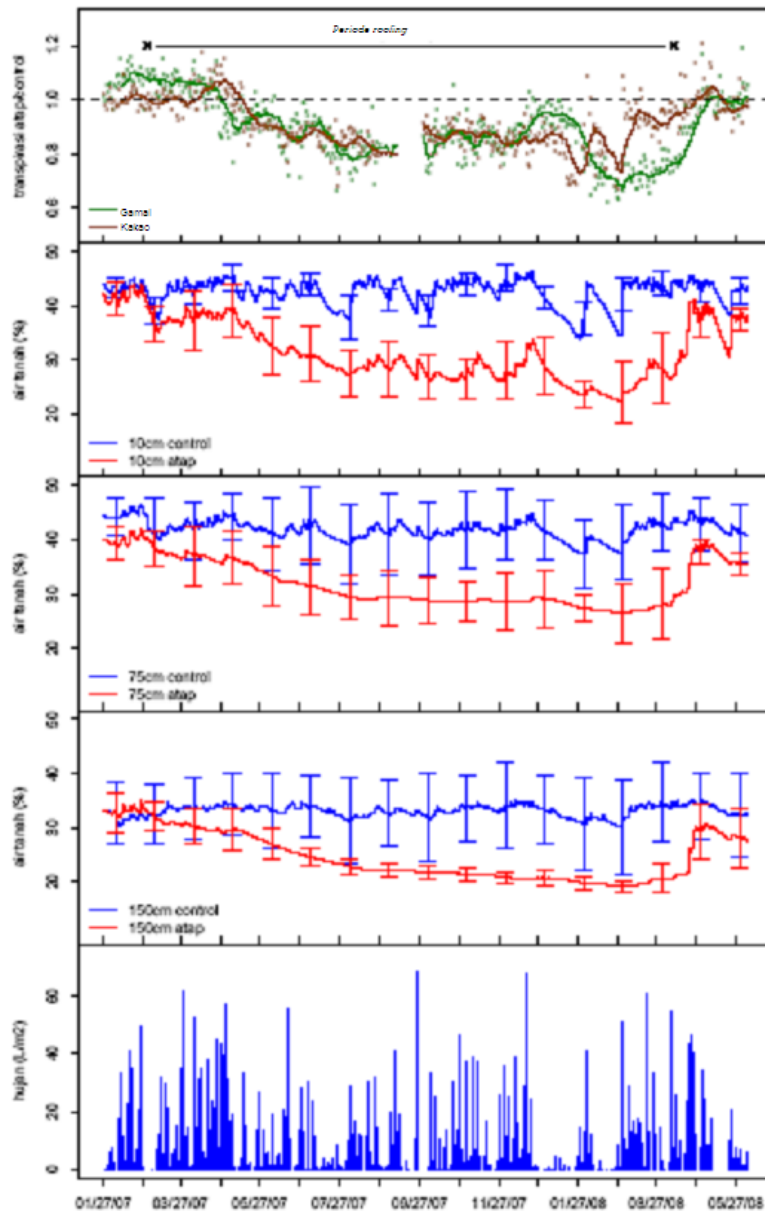
Secara geografis lokasi penelitian berada pada ketinggian 585 m di atas permukaan laut, jumlah curah hujan 2844 mm per tahun, kelembaban udara rata-rata berkisar 79-84%, suhu udara di atas kanopi pohon rata-rata 24,4°C sedangkan di bawah kanopi pohon suhu udara lebih rendah yaitu 23,4°C. Curah hujan yang terjadi dari bulan Februari 2007 sampai Mei 2008 menunjukkan penyebaran curah hujan yang hampir merata sepanjang tahun. Curah hujan yang paling rendah terjadi pada bulan Januari 2008 yaitu 44,18 mm (Gambar 2).



**Analisis kandungan air tanah**

Perubahan kandungan air tanah di sekitar pohon kakao dan *G. sepium* selama cekaman kekeringan disajikan pada Gambar 3.

**Gambar 2.**Data curah hujan bulanan mulai Februari 2007 (F 07) sampai dengan Mei 2008 di plot penelitian Marena, Sulawesi Tengah.



**Gambar 3.**Data curah hujan bulanan mulai Februari 2007 (F 07) sampai dengan Mei 2008 di plot penelitian Marena, Sulawesi Tengah (M.Köhler 2008, data tidak dipublikasikan)

Tabel 1. *Fineroot* hidup dan mati pada akar kakao ( $\text{g/m}^3$ )

<i>Fineroot</i> pohon kakao	Sebelum <i>roofing</i>		Periode <i>roofing</i>					
	Februari 2007		Juli 2007 (5 bulan)		September 2007 (7 bulan)		Maret 2008 (13 bulan)	
	Roofing	Non roofing	Roofing	Non roofing	Roofing	Non roofing	Roofing	Non roofing
Hidup	94,52 ±78,95c	138,31 ±82,60c	102,46 ±72,25c	129,53 ±97,59c	161,82 ±173,96b	118,72 ±75,86b	1089,42 ±298,04 a	993,11 ±555,42 a
Mati	12,36 ±4,34b	10,77 ±7,75b	36,54 ±15,45a	24,58 ±20,62a	9,88 ±14,29bc	3,18 ±4,96bc	6,47 ±13,95bc	6,47 ±13,95bc

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada setiap baris berbeda nyata (Uji DMRT pada  $p < 0,05$ )

Pengukuran kandungan air tanah pada *soil pit* menunjukkan perbedaan kandungan air tanah antara plot *roofing* dan kontrol baik pada kedalaman tanah 10, 40, 75 dan 150 cm. Dari data terlihat perbedaan kandungan air tanah mulai berbeda nyata mulai bulan Juli 2007 hingga Maret 2008. Satu bulan setelah pembukaan atap terlihat kandungan air tanah pada plot *roofing* dan kontrol relatif sama (M.Köhler 2008, data tidak dipublikasikan)

### Vitalitas akar *fineroot*

#### *Fineroot* hidup

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan TDE tidak berpengaruh terhadap vitalitas akar *fineroot* kakao hidup ( $p=0.3761$ ) namun dipengaruhi oleh bulan pengambilan sampel ( $p_{\text{kakao}}=0.0001$ ) (Tabel 14). Pada akar kakao pertumbuhan akar *fineroot* hidup paling tinggi setelah penutupan atap selama 13 bulan (Maret 2008).

Pertumbuhan biomasa *fineroot* hidup paling tinggi diperoleh setelah penutupan atap selama 12 bulan (Maret 2008) sedangkan kematian paling tinggi *fineroot* kakao terjadi pada bulan Juli 2007. Pengamatan biomassa *fineroot* pada kedalaman tanah 20 cm, menunjukkan bahwa *fineroot* hidup kakao terjadi peningkatan sejalan dengan semakin lamanya waktu penelitian.

#### *Fineroot* mati

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan TDE tidak berpengaruh terhadap *fineroot* mati pada akar kakao ( $p=0.1961$ ) namun dipengaruhi oleh bulan pengambilan sampel ( $p_{\text{kakao}}=0.0001$ ). Kematian akar *fineroot* paling tinggi terjadi setelah penutupan atap selama 5 bulan (Juli 2007), pada akar *fineroot* kakao maupun *G. sepium* (Tabel 2) dan menurun setelah 7 dan 13 bulan. Hasil pengamatan pada *fineroot* mati kakao menunjukkan pada bulan ke-5 menunjukkan kematian yang tertinggi. Namun pengamatan bulan ke-7 dan 13 menunjukkan penurunan kematian *fineroot* kakao (Tabel 1).

### Pembahasan

*Fineroot* yang hidup berperan dalam penyerapan air dan hara dari dalam tanah. Menurut Zuidema et al. (2005) pohon kakao mempunyai akar pokok dan akar lateral, dimana akar lateral paling banyak (lebih dari 80%) terletak dilapisan tanah paling atas (0-20 cm). Pengukuran kandungan air tanah pada lapisan tanah 10 cm menunjukkan nilai terendah dibanding lapisan tanah pada kedalaman 40, 75 dan 150 cm. Kondisi tanah yang

cenderung lebih kering akan memacu pertumbuhan akar *fineroot* lebih tinggi. Peningkatan ini diperlukan diperlukan pohon kakao untuk perluasan penyerapan air dan nutrisi. Cekaman kekeringan selama 13 bulan belum menjadi pemicu kematian *fineroot* kakao, hal itu terlihat dengan menurunnya kematian *fineroot* kakao. Pada keadaan cekaman kekeringan berat biasanya terjadi kematian akar yang tinggi. Menurut Guo et al. (2004) energi tersimpan seperti pati tersedia digunakan untuk metabolisme pada akar dan perbaikan pertumbuhan daun dengan cepat. Ditambahkan juga bahwa kematian akar sering terjadi jika energi tersimpan dan kapasitas fotosintesis rendah. Leuschner et al. (2006) menyatakan biomassa *fineroot* sangat berkorelasi dengan karakteristik tegakan terutama penutupan tajuk, diameter pohon dan luas bidang dasar. Selain faktor tersebut faktor kualitas tanah (seperti bobot isi, kadar air dan kesuburan) dan curah hujan juga berpengaruh terhadap dinamika pertumbuhan akar.

Menurunnya kematian *fineroot* kakao selama periode cekaman kekeringan juga dimungkinkan karena peranan pohon *G. sepium*. Pada sistem agroforestri kakao, pohon pelindung seperti *G. sepium* dapat mengurangi sinar matahari yang masuk ke pohon kakao, sehingga kondisi di bawah kanopi pohon kakao menjadi lebih lembab dan temperatur udara juga lebih rendah. Kondisi ini juga berpengaruh terhadap pertumbuhan *fineroot* kakao yang sebagian besar terletak di permukaan tanah lapisan atas.

### 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 Göttingen Jerman dalam proyek penelitian “*Stability of Rainforest Margins in Indonesia*” (STORMA), serta *BMZ scholarship* dari pemerintah Jerman.

### 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.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bolte A, Villanueva I. 2006. Interspecific competition impacts on the morphology and distribution of fineroots in European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.). *Eur J For Rest* 125: 15-26.
- Grossnickle SC. 2000. Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings. NRC Research, Ottawa, Ontario, Canada.
- Guo DL, Mitchell RJ, Hendricks JJ. 2004. Fine root branch orders respond differentially to carbon source-sink manipulations in a longleaf pine forest. *Oecologia* 140: 450-457.
- JimenezEM, Moreno FH, Penuela MC, Pati S and Lloyd J. 2009. Fine root dynamics for forests on contrasting soils in the Colombian Amazon. *Biogeosciences* 6: 2809-2827.
- Leuschner C, Wiens M, Harteveld M, Hertel D, Tjitrosemito S. 2006. Patterns of fineroot mass and distribution along a disturbance gradient in tropical montane forest, Central Sulawesi. *Pl Soil* 283: 163-174.
- Rao PB. 2005. Effect of shade on seedling growth of five important tree species in Tarai region of Uttaranchal. *Bull Nat Inst Ecol* 15: 161-170.
- Sharp RE, Poroyko V, Hejlek LG, Spollen WG, Springer GK, Bohnert HJ, Nguyen HT. 2004. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *J Exp Bot* 55 (407): 2343-2351.
- Sheng-He JS, Zhang QB, Bazzaz FA. 2005. Differential drought responses between saplings and adult trees in four co-occurring species of New England. *Trees* 19: 442-450.
- Wang FZ, Wang QB, Kwon SY, Kwak SS, Su WA. 2005. Enhanced drought tolerance of transgenic rice plants expressing a pea manganese superoxide dismutase. *J Plant Physiol* 162: 465-472.
- Zhu J.K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Ann Rev Plant Biol* 53: 247-273.
- Zuidema PA, Leffelaar PA, Gerritsma W, Mommer L, Anten NPR. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agric Syst* 84: 195-225.