

RESPON KEKERINGAN TERHADAP PERTUMBUHAN, KADAR PROLIN DAN ANATOMI AKAR *Acacia auriculiformis* Cunn., *Tectona grandis* L., *Alstonia spectabilis* Br., DAN *Cedrela odorata* L.

(Drought Responses on Growth, Proline Content and Root Anatomy of *Acacia auriculiformis* Cunn., *Tectona grandis* L., *Alstonia spectabilis* Br., and *Cedrela odorata* L.)

Rina Laksmi Hendrati^{1*}, Diah Rachmawati², dan Asri Cahyaning Pamuji³

¹Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan (B2PBPTH)
Jl. Palagan Tentara Pelajar Km.15, Purwobinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta, Indonesia Kode Pos 55582
Telp. (0274) 895954, Fax. (0274) 896080

² Lab. Fisiologi Tumb. Fak. Biologi UGM, Yogyakarta, Indonesia
Jl. Teknika Selatan, Sekip Utara, Yogyakarta Indonesia 55281 Telp. (0274) 580839; 6492354; 6492355

³ Fak. Biologi UGM, Yogyakarta, Indonesia
Jl. Teknika Selatan, Sekip Utara, Yogyakarta Indonesia 55281 Telp. (0274) 580839; 6492354; 6492355

*E-mail: rina.l.hendrati@gmail.com

Diterima 19 Nopember 2015; revisi terakhir 25 Mei 2016; disetujui 30 Mei 2016

ABSTRAK

Pemanasan global yang terjadi beberapa tahun terakhir telah menyebabkan terjadinya cuaca ekstrem dan peningkatan suhu bumi yang juga menyebabkan kekeringan. Dalam upaya mengantisipasi pemanasan global diperlukan adanya lingkungan yang dapat menyerap emisi karbon, salah satunya adalah hutan. Salah satu upaya untuk mempertahankan keberadaan hutan, perlu dilakukan identifikasi spesies yang adaptif terhadap kondisi kekeringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan tanaman dan anatomi akar *Acacia auriculiformis* Cunn., *Tectona grandis* L., *Alstonia spectabilis* Br. dan *Cedrela odorata* L. serta membandingkan spesies yang lebih adaptif terhadap kondisi kekeringan. Penelitian pada uji terkontrol ini, menggunakan perlakuan kekeringan selama 10, 20, 30 dan 40 hari serta tanaman kontrol yang disiram setiap 2 hari sekali. Masing-masing perlakuan dilakukan dengan 3 ulangan. Pertumbuhan tanaman yang diamati adalah tinggi, diameter, jumlah dan luas daun tanaman, kadar prolin akar serta aspek anatomis berupa diameter trakea. Pengamatan dan pengambilan *sample* dilakukan setiap 10 hari sekali. Data pertumbuhan dan prolin yang diperoleh dianalisis dengan uji T dan data anatomi dianalisis menggunakan ANOVA dilanjutkan uji Duncan dengan taraf signifikansi 95%. Kekeringan pada *A. auriculiformis* Cunn., *T. grandis* L., *A. spectabilis* Br. dan *C. odorata* L. mempengaruhi pertumbuhan tanaman berupa penurunan tinggi, diameter dan jumlah daun, namun terjadi peningkatan kadar prolin akar dan pertambahan diameter trakea akar. Hasil studi ini mengindikasikan bahwa spesies yang paling toleran dan kemungkinan adaptif terhadap kekeringan adalah spesies yang mempunyai lebih banyak variasi mekanisme respon terutama yang kemunculannya baru terlihat pada tekanan kekeringan yang tinggi.

Kata kunci: Kekeringan, jenis pohon, pertumbuhan, prolin, anatomi

ABSTRACT

Global warming causes extreme weather and temperature leading to drought. Identification of drought adaptive species is essential. This research is aimed to examine growth, proline content and root anatomy of *Acacia auriculiformis*, *Tectona grandis*, *Alstonia spectabilis*, and *Cedrela odorata* and to compare the most adaptive species under drought condition. Controlled dry treatments applied were 10, 20, 30, and 40 days unwatered, and compared with control plants, each with 3 replications. Characteristics measured were height, diameter, leaf number and area, root proline content and root tracheal diameter. Data and samples were collected every 10 days. Growth and physiological data were analyzed by using T-Test, while anatomical data were analyzed by using ANOVA and DUNCAN test. Results showed that drought on *A. auriculiformis*, *T. grandis*, *A. spectabilis*, and *C. odorata* has decreased plant height, stem diameter and number of leaves but increasing proline content, and diameter of tracheas belonging to the roots. This study indicates that the most likely tolerant and adaptive species to drought are those that have the most variation of mechanisms to respond in which these characters would likely to appear at higher level of stress condition.

Keywords: Drought, trees species, growth, proline, anatomy

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim dapat menyebabkan banyak perubahan kondisi di bumi, seperti kenaikan suhu, dan pada lokasi-lokasi tertentu menyebabkan berkurang atau bertambahnya curah hujan, peningkatan hujan musiman dan terjadinya peningkatan kejadian cuaca ekstrim (IPCC, 2007). Akibatnya frekuensi serta intensitas bencana menjadi makin meningkat (Sivakumar, 2005). Tercatat pada tahun 2011-2014 di Indonesia terdapat 68 krisis bencana kebakaran hutan yang parah terutama pada musim kemarau (BNPB, 2016). Oleh karenanya Indonesia dengan hutan seluas 124 juta ha (BPS 2015) dapat berperan secara nyata dalam upaya menanggulangi pemanasan global, dengan cara menjaga penutupan vegetasi serta menyediakan lingkungan yang dapat digunakan sebagai penyerap emisi karbon (Anonim, 2007). Upaya ini termasuk melestarikan keberadaan hutan dan vegetasi penyusunnya.

Proses adaptasi terhadap efek pemanasan global, termasuk kekeringan diperlukan oleh makhluk hidup tak terkecuali tumbuhan, untuk menjaga kelestariannya. Perubahan iklim dapat menyebabkan dampak berantai yang sangat merugikan dan mempengaruhi fungsi spesies bahkan berakhir dengan hilangnya spesies (Steffen *et al.*, 2009). Perubahan iklim telah terbukti menunjukkan banyak gangguan kematian pada tanaman (Allen, 2010; Chenchouni, 2010) dan salah satunya adalah kematian skala besar di semua kelas umur pada tanaman *Cedrus atlantica* (Chenchouni, 2010). Oleh karenanya hanya tanaman yang telah teruji mempunyai kemampuan adaptasi tinggi pada kondisi kekeringan yang dapat tumbuh dengan baik.

Tanaman dalam menghadapi kondisi kekeringan yang kurang menguntungkan, akan merespon untuk menghindari kekeringan (*avoidance*), toleransi terhadap kekeringan (*tolerance*) dan resistensi terhadap kekeringan. Secara umum, kekeringan akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman berupa perubahan fisiologi maupun anatomi. Kekeringan dapat menyebabkan menurunnya kecepatan fotosintesis dan luas daun. Pada tingkat seluler dan organ tumbuhan dapat menyebabkan menutupnya stomata dan meningkatnya konsentrasi materi terlarut (*solute*) di dalam sel, termasuk prolin (Ashraf dan Foolad, 2007). Pada tanaman yang toleran cekaman kekeringan, mekanisme untuk mempertahankan turgor dilakukan dengan cara meningkatkan kadar senyawa osmotik

seperti prolin dan asam-asam organik untuk penyesuaian osmotik sehingga tidak terjadi plasmolisis. Kandungan prolin pada tanaman yang toleran terhadap kekeringan terlihat meningkat akumulasinya dibandingkan tanaman yang peka terhadap kekeringan (Yoshida *et al.*, 1997). Kadar prolin bisa digunakan sebagai salah satu indikator sifat ketahanan terhadap cekaman kekeringan (Ashraf dan Foolad, 2007), namun tidak semua tanaman memproduksinya, termasuk spesies yang tahan kekeringan sekalipun.

Setiap tumbuhan memiliki tingkat toleransi yang berbeda-beda terhadap perubahan lingkungan yang terjadi. Dalam mempertahankan penutupan lahan melalui kelangsungan hidup tanaman, variasi respon antar spesies akan terjadi. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah dalam rangka identifikasi berbagai respon pada empat spesies terhadap kondisi kekeringan akibat perubahan iklim. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan karakter pertumbuhan bibit dan anatomi akar pada *Acacia auriculiformis* Cunn., *Tectona grandis* L., *Alstonia spectabilis* R.Br., dan *Cedrela odorata* L.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan di persemaian Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan (BBPBPTH) Yogyakarta, sedangkan analisis biokimia dan pengamatan anatomi akar dilakukan di Laboratorium Biokimia dan Laboratorium Struktur dan Perkembangan Tumbuhan Fakultas Biologi UGM. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Mei sampai dengan September 2012.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah bibit berumur 12 bulan dengan media tanam berupa tanah : kompos = 2 : 1 sebanyak 6,5 kg yang dimasukkan dalam *polybag*. Media tanam diukur kapasitas lapang tanahnya, untuk menentukan volume penyiraman yakni dengan menghitung jumlah air yang dapat ditahan oleh tanah tersebut. Bibit yang telah ditanam di dalam *polybag* disusun acak dan diberi label sesuai dengan perlakuannya. Bahan untuk pekerjaan di laboratorium adalah asam sulfosalisilat 3%, asam ninhydrin (asam ninhydrin), asam asetat glasial, asam fosfat, kertas saring whatman No. 1.

Alat yang digunakan adalah kaliper, kounter, pita ukur, alat tulis, timbangan analitik, gelas piala, tabung reaksi, *stirrer*, toluen, pipet, kuvet dll.

C. Rancangan Penelitian

Perlakuan kekeringan diterapkan pada 4 spesies yakni *Acacia auriculiformis* Cunn. (akor), *Tectona grandis* L. (jati), *Alstonia spectabilis* Br. (legaran pantai), dan *Cedrela odorata* L. (cedrela). Nama lokal akan digunakan di dalam pembahasan untuk mengacu jenis. Perlakuan kekeringan yang diterapkan adalah 10, 20, 30 dan 40 hari tanpa penyiraman, dengan masing-masing periode kekeringan diberikan 3 tanaman kontrol yang disiram secara normal (2 hari sekali).

D. Variabel yang diukur

Pengamatan dilakukan setiap 10 hari dengan sifat yang diamati meliputi tinggi, diameter batang, jumlah dan luas daun, kadar prolin dan diameter trakhea pada akar. Pengukuran tinggi dilakukan dari pangkal (1 cm) sampai ujung titik tumbuh. Diameter diukur menggunakan kaliper pada bagian batang yang berada paling dekat dengan tanah (1 cm). Jumlah daun yang dihitung adalah daun yang telah membuka dengan sempurna dan luas daun dihitung menggunakan *milimeter block*.

Analisis kadar prolin akar dilakukan dengan metode Bates (1973), sebagai berikut:

- Akar tanaman sebanyak 0,5 gr ditumbuk dalam larutan asam sulfosalisilat 3% sebanyak 10 ml, kemudian disaring dengan kertas whatman No. 1.
- Filtrat sebanyak 2 ml direaksikan dalam 2 ml asam ninhydrin. Asam ninhydrin dibuat dengan cara memanaskan 1,25 g ninhydrin di dalam 30 ml asam asetat glasial dan 20 ml asam fosforat sampai larut.
- Filtrat dan asam ninhydrin ditambahkan asam asetat glasial kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam.
- Reaksi diakhiri dengan memasukkan tabung reaksi berisi filtrat ke dalam gelas piala berisi es. Campuran filtrat, ninhidrin dan asam asetat glasial ditambahkan toluen dan diaduk dengan *stirrer* selama 15-20 detik sehingga terbentuk dua lapisan cairan berwarna beda.
- Toluena berwarna merah yang mengandung prolin diambil dengan pipet kemudian dimasukkan kuvet dan dibaca OD-nya dengan panjang gelombang 520 nm.

- Penghitungan kadar prolin dilakukan dengan membuat standar prolin, membuat larutan induk 2,5 µM dan diencerkan dengan asam sulfosalisilat 3%. Pengenceran dimaksudkan untuk mendapatkan variasi konsentrasi prolin. Larutan direaksikan dengan asam ninhidrin dan asam asetat glasial. Larutan dimasukkan dalam kuvet dan dibaca OD-nya dengan panjang gelombang 520 nm.

Pengukuran diameter trachea akar dilakukan dengan pembuatan preparat anatomi akar secara manual kemudian mengirisnya tipis-tipis yang ditampung dalam wadah yang berisi air. Irisan diletakkan di atas gelas benda, ditetesi air dan ditutup dengan gelas penutup. Preparat diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 10 x 40.

E. Analisis Data

Data pertumbuhan dan kandungan prolin lebih ditekankan pada perbandingan tampilan antara tanaman kontrol dan tanaman dengan perlakuan kekeringan pada masing-masing periode (10, 20, 30 dan 40), karenanya uji T digunakan. Sementara penampilan antar periode kekeringan umumnya menunjukkan tampilan yang sangat jelas berbeda nyata. Oleh karenanya analisis varians tidak digunakan kecuali untuk diameter trakea.

Data pertumbuhan dan kandungan prolin yang diperoleh dianalisis dengan Uji-T dengan rumus

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{S^2_1}{N_1} + \frac{S^2_2}{N_2}}} \quad (1)$$

Keterangan:

- t = Perolehan t
- X_1, X_2 = Rata-rata dari 2 group (kontrol dan perlakuan)
- S^2_1, S^2_2 = Varians dari 2 group (kontrol dan perlakuan)
- N_1, N_2 = Jumlah masing-masing dari 2 group (kontrol dan perlakuan)

Data anatomi (diameter trakea) dianalisis dengan analisis varian menggunakan model matematis sbb:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + E_{ij} \quad (2)$$

Keterangan:

- Y_{ij} : Pengamatan individual data pada perlakuan ke-i dan ulangan ke j
- μ : Rata-rata populasi
- P_i : Pengaruh perlakuan ke- i
- E_{ij} : Random error pada perlakuan ke-i dan ulangan ke j

Uji lanjutan dilakukan dengan uji jarak berganda Duncan dengan taraf kepercayaan 95%.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Akor (*Acacia auriculiformis*)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa media tanah yang ditumbuhi akor menunjukkan kelengasan tanah > 20% sampai kekeringan 40 hari dari 67-70% sebelum perlakuan dan 35% setelah 10 hari kekeringan

(Lampiran 1). Namun demikian luas daun menunjukkan berkurang hanya pada kekeringan 10 hari (Tabel 1), meskipun dari segi jumlah daun menunjukkan perbedaan setelah 30 hari kekeringan. Kemampuan akor untuk mempertahankan daunnya yang hijau saat musim kemarau pada lahan-lahan marginal tidak nampak di persemaian karena pada tekanan kekeringan 40 hari tidak ada daun yang dipertahankan. Pada pertumbuhan meninggi akor mempunyai kemampuan bertahan sampai >30 hari kekeringan.

Tabel 1. Tinggi, diameter batang, jumlah daun, luas daun dan kadar prolin akar akor
Table 1. Height, diameter, leaf number, total leaf area and root prolin content of akor

| Karakter (Trait) | Perlakuan (Treatments) | Tinggi Tanaman (cm) (hari ke-) (Height observed on day -) | | | |
|--|---------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Tinggi (cm) (Height) | Kontrol (Control) | 112,77 ± 1,34 ^a | 90,77 ± 12,27 ^a | 79,50 ± 20,37 ^a | 88,47 ± 6,02 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 96,33 ± 8,75 ^a | 82,57 ± 21,28 ^a | 69,83 ± 2,75 ^a | 68,00 ± 4,09 ^b |
| Diameter(mm) (Diameter) | Kontrol (Control) | 7,73 ± 0,79 ^a | 6,51 ± 0,56 ^a | 6,69 ± 0,44 ^a | 7,43 ± 0,13 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 6,34 ± 0,45 ^a | 5,98 ± 0,65 ^a | 5,54 ± 0,05 ^b | 5,37 ± 0,16 ^b |
| Jumlah daun (Leaf number) | Kontrol (Control) | 41,00 ± 5,29 ^a | 34,00 ± 3,61 ^a | 36,00 ± 3,61 ^a | 33,33 ± 2,08 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 36,00 ± 4,58 ^a | 29,33 ± 3,05 ^a | 20,33 ± 1,53 ^b | 00,00 ± 0,00 ^b |
| Luas daun (cm ²) (Leaf area) | Kontrol (Control) | 815,49 ± 34,45 ^a | 676,26 ± 26,10 ^a | 716,04 ± 34,26 ^a | 663,00 ± 11,48 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 716,04 ± 34,16 ^b | 583,44 ± 31,81 ^b | 404,43 ± 30,38 ^b | 0,00 ± 00,00 ^b |
| Kand. Prolin akar (µmol) (Root prolin) | Kontrol (Control) | 3,88 ± 0,22 ^a | 2,00 ± 0,07 ^a | 2,55 ± 0,02 ^a | 2,09 ± 0,29 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 3,95 ± 0,08 ^a | 2,13 ± 0,06 ^a | 2,63 ± 0,06 ^a | 2,29 ± 0,16 ^a |

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti dengan huruf yang sama pada masing-masing spesies menunjukkan tidak beda nyata antara kontrol dan perlakuan kekeringan berdasarkan uji T level signifikansi 95%.

Remarks: Values in one column of each species that are followed by the same letter are not significantly different at 95% level

Akar akor cukup cepat bereaksi pada kondisi kurang air dengan bertambahnya diameter trakea akar sehingga mengoptimalkan jalan saluran air. Diameter ini selalu meningkat dengan bertambahnya tekanan sehingga mencapai peningkatan 185% (Lampiran 2).

Dari sejumlah 9 karakter yang diamati (Lampiran 3), akor mempunyai 8 indikasi karakter (88%) yang bertahan hingga mencapai tekanan kekeringan tinggi (30-40 hari).

2. Jati (*Tectona grandis*)

Pada tanaman jati, kelengasan media yang ditanamnya ternyata menurun sangat drastis hingga 12% (Lampiran 1). Bahkan sebelum perlakuan kekeringan kelengasan media hanya berkisar 50%. Tanaman jati yang mempunyai

daun sangat lebar, transpirasi di permukaan daun nampaknya tidak bisa dihindarkan.

Luas daun menunjukkan sangat sensitif pada jati dan mulai berkurang pada tekanan kekeringan 10 hari. Kemampuan jati untuk menggugurkan daun juga ditunjukkan dengan hilangnya daun setelah 40 hari tidak disirami. Pada tanaman kontrol yang disiram secara normal, luas dan jumlah daun terlihat makin berkurang dari sejak awal sampai 40 hari. Hal itu dimungkinkan karena hasil metabolisme difokuskan untuk pertumbuhan meninggi dan pembesaran diameter karena kedua karakter tersebut tidak berbeda antara kontrol maupun kering sampai akhir perlakuan (Tabel 2). Jati menunjukkan memproduksi prolin mulai kekeringan 30 hari.

Pada jati diameter trakea akar juga makin meningkat hingga 110% (Lampiran 2),

meskipun demikian dari 9 karakter yang diamati hanya 55% yang menunjukkan mekanisme respon serta semua respon muncul

pada awal tekanan kisaran 10-30 hari kering (Lampiran 3).

Tabel 2. Tinggi, diameter batang, jumlah daun, luas daun dan kadar prolin akar jati
Table 2. Height, diameter, leaf number, total leaf area and root prolin content of jati

| Karakter (Trait) | Perlakuan (Treatments) | Tinggi Tanaman (cm) (hari ke-) (Height observed on day -) | | | |
|--|------------------------|---|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Tinggi (cm) (Height) | Kontrol (Control) | 36,33 ± 4,73 ^a | 41,63 ± 6,47 ^a | 41,77 ± 1,57 ^a | 42,00 ± 7,27 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 35,00 ± 5,57 ^a | 30,13 ± 6,02 ^a | 40,60 ± 4,49 ^a | 39,23 ± 5,92 ^a |
| Diameter(mm) (Diameter) | Kontrol (Control) | 12,59 ± 0,63 ^a | 12,25 ± 2,91 ^a | 13,97 ± 4,19 ^a | 13,41 ± 3,46 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 11,18 ± 0,51 ^a | 11,07 ± 1,76 ^a | 10,25 ± 2,27 ^a | 10,44 ± 0,42 ^a |
| Jumlah daun (Leaf number) | Kontrol (Control) | 8,33 ± 1,15 ^a | 7,00 ± 1,00 ^a | 5,33 ± 0,57 ^a | 5,33 ± 1,15 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 7,33 ± 1,15 ^a | 6,67 ± 0,57 ^a | 3,67 ± 0,57 ^b | 0,00 ± 0,00 ^b |
| Luas daun (cm ²) (Leaf area) | Kontrol (Control) | 1087,94 ± 120,19 ^a | 839,90 ± 108,90 ^a | 440,38 ± 20,78 ^a | 403,53 ± 9,74 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 462,88 ± 55,88 ^b | 394,05 ± 39,21 ^b | 176,26 ± 31,15 ^b | 0,00 ± 00,00 ^b |
| Kand. Prolin akar (µmol) (Root prolin) | Kontrol (Control) | 1,09 ± 0,023 ^a | 1,39 ± 0,061 ^a | 1,80 ± 0,040 ^a | 1,47 ± 0,046 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 1,58 ± 0,140 ^a | 1,49 ± 0,061 ^a | 1,98 ± 0,061 ^b | 1,64 ± 0,040 ^b |

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti dengan huruf yang sama pada masing-masing spesies menunjukkan tidak beda nyata antara kontrol dan perlakuan kekeringan berdasarkan uji T taraf signifikansi 95%.

Remarks: Values in one row of each species that are followed by the same letter are not significantly different according to Duncan test at 95% level.

3. Legaran (*Alstonia spectabilis*)

Legaran, jenis tanaman yang mempunyai daun lebar tipis, juga menunjukkan kelengasan yang rendah (15%) lebih tinggi dari jati setelah kekeringan 40 hari. Namun penurunan kelengasan ini terjadi sangat drastis karena awalnya kelengasan media berkisar cukup tinggi (66-79%). Transpirasi yang tinggi pada permukaan yang lebar serta daun yang tipis diperkirakan memberikan pengaruh tersebut (Lampiran 1).

Luas daun pada legaran berpengaruh pada awal perlakuan (10 hari kekeringan)

seperti pada jati, namun jenis ini menunjukkan sensitifitasnya dengan memproduksi prolin langsung saat perlakuan kekeringan diterapkan (Tabel 3).

Diameter trakea pada akar legaran menunjukkan peningkatan yang tinggi sebesar 154% (Lampiran 2.). Pada karakter yang diamati hanya 5 dari 9 yang diamati menunjukkan respon (55%) namun sebagian besar di bawah 20 hari kekeringan (Lampiran 3).

Tabel 3. Tinggi, diameter batang, jumlah daun, luas daun dan kadar prolin akar legaran
Table 3. Height, diameter, leaf number, total leaf area and root prolin content of legaran

| Karakter (Trait) | Perlakuan (Treatments) | Tinggi Tanaman (cm) (hari ke-) (Height observed on day -) | | | |
|--|------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Tinggi (cm) (Height) | Kontrol (Control) | 22,50 ± 1,50 ^a | 24,27 ± 5,91 ^a | 26,50 ± 6,06 ^a | 30,07 ± 3,48 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 20,17 ± 2,75 ^a | 18,90 ± 3,55 ^a | 23,90 ± 1,68 ^a | 26,83 ± 5,10 ^a |
| Diameter(mm) (Diameter) | Kontrol (Control) | 4,01 ± 0,31 ^a | 4,72 ± 1,11 ^a | 5,13 ± 3,54 ^a | 6,16 ± 1,49 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 3,77 ± 0,64 ^a | 3,47 ± 0,76 ^a | 4,97 ± 1,12 ^a | 5,13 ± 0,64 ^a |
| Jumlah daun (Leaf number) | Kontrol (Control) | 22,33 ± 3,78 ^a | 25,00 ± 2,64 ^a | 21,00 ± 2,00 ^a | 19,33 ± 1,52 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 16,33 ± 0,57 ^a | 18,00 ± 2,64 ^b | 15,00 ± 3,00 ^b | 14,00 ± 1,00 ^b |
| Luas daun (cm ²) (Leaf area) | Kontrol (Control) | 395,35 ± 30,75 ^a | 418,24 ± 24,10 ^a | 394,88 ± 48,58 ^a | 409,92 ± 24,12 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 238,49 ± 48,82 ^b | 295,08 ± 41,43 ^b | 352,37 ± 39,35 ^a | 209,37 ± 31,06 ^b |
| Kand. Prolin akar (µmol) (Root prolin) | Kontrol (Control) | 1,63 ± 0,34 ^a | 3,75 ± 0,08 ^a | 2,52 ± 0,06 ^a | 1,23 ± 0,08 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 3,15 ± 0,25 ^b | 3,93 ± 0,06 ^b | 2,86 ± 0,08 ^b | 1,44 ± 0,07 ^b |

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti dengan huruf yang sama pada masing-masing spesies menunjukkan tidak beda nyata antara kontrol dan perlakuan kekeringan berdasarkan uji T taraf signifikansi 95%.

Remarks: Values in one column of each species that are followed by the same letter are not significantly different according to T test at 95% level.

4. Cedrela (*C. Odorata*)

Media dengan penanaman cedrela masih bisa mempertahankan >20% kelengasannya setelah kekeringan 4 minggu (Lampiran 1). Tanaman ini terpengaruh pertumbuhannya pada kekeringan 30-40 hari, dan diameter lebih terpengaruh dibandingkan tinggi. Jenis ini pada awal perlakuan kekeringan juga sudah memproduksi prolin, sama seperti jati dan legaran. Namun dari segi jumlah dan luas daun

mampu bertahan dan baru merespon setelah 30 hari kering (Tabel 4).

Cedrela kurang mempunyai kemampuan memperbesar trakea akar tanaman karena perbesarannya hanya meningkat sampai 78% dibandingkan jenis lain yang perbesarannya >100% (Lampiran 2), namun secara keseluruhan ada 8 karakter (88%) yang menunjukkan respon (Lampiran 3).

Tabel 4. Tinggi, diameter batang, jumlah daun, luas daun dan kadar prolin akar cedrela
Table 4. Height, diameter, leaf number, total leaf area and root prolin content of cedrela

| Karakter (Trait) | Perlakuan (Treatments) | Tinggi Tanaman (cm) (hari ke-) (Height observed on day -) | | | |
|--|---------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Tinggi (cm) (Height) | Kontrol (Control) | 30,50 ± 3,28 ^a | 34,50 ± 2,78 ^a | 41,87 ± 5,29 ^a | 40,17 ± 1,89 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 28,00 ± 3,46 ^a | 34,17 ± 1,75 ^a | 39,67 ± 7,37 ^a | 36,60 ± 0,53 ^b |
| Diameter(mm) (Diameter) | Kontrol (Control) | 8,66 ± 0,57 ^a | 11,08 ± 2,18 ^a | 13,51 ± 0,69 ^a | 14,47 ± 0,33 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 8,43 ± 0,53 ^a | 8,98 ± 0,44 ^a | 11,57 ± 0,53 ^b | 11,10 ± 1,61 ^b |
| Jumlah daun (Leaf number) | Kontrol (Control) | 92,67 ± 4,16 ^a | 97,00 ± 18,08 ^a | 102,00 ± 15,13 ^a | 93,67 ± 12,66 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 87,67 ± 3,51 ^a | 84,00 ± 18,08 ^a | 46,00 ± 13,22 ^b | 17,00 ± 22,87 ^b |
| Luas daun (cm ²) (Leaf area) | Kontrol (Control) | 236 ± 101 ^a | 102 ± 92 ^a | 230 ± 34 ^a | 218 ± 31 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 220 ± 91 ^a | 35 ± 185 ^a | 102 ± 31 ^b | 40 ± 55 ^b |
| Kand. Prolin akar (µmol) (Root prolin) | Kontrol (Control) | 2,27 ± 0,08 ^a | 2,53 ± 0,05 ^a | 2,05 ± 0,05 ^a | 2,03 ± 0,05 ^a |
| | Kekeringan (Drought) | 3,63 ± 0,32 ^b | 2,87 ± 0,08 ^b | 2,28 ± 0,04 ^b | 2,19 ± 0,06 ^b |

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti dengan huruf yang sama pada masing-masing spesies menunjukkan tidak beda nyata antara kontrol dan perlakuan kekeringan berdasarkan uji T taraf signifikansi 95%.

Remarks: Values in one column of each species that are followed by the same letter are not significantly different according to T test at 95% level.

B. Pembahasan

Jenis tanaman akan mempunyai mekanisme yang berbeda dalam merespon adanya tekanan lingkungan dan spesifik untuk setiap jenis tanaman (Humphreys dan Humphreys, 2005). Hal ini berarti bahwa karakter-karakter yang diekspresikan tidak sama antara satu spesies dengan spesies yang lain. Tekanan dengan respon variasi lebih banyak, lebih saling melengkapi dalam mendukung tanaman tersebut untuk bertahan dalam menghadapi kondisi sulit dibandingkan dengan yang hanya mempunyai kemampuan mekanisme respon yang terbatas saja.

Kelengasan tanah pada media menunjukkan kemampuan tanaman untuk dapat mempertahankan air dalam media, atau kemampuan menahan penguapan air melalui daun. Kelengasan tanah ini dipengerahui oleh fungsi umum daun mempertahankan kehilangan air yang dipengaruhi oleh bentuk, ukuran serta struktur daun (Atwell *et al.*, 2003). Karakter daun yang diperkirakan mempengaruhi kondisi tertekan terutama dari faktor luas daun (Wullschleger *et al.*, 2005).

Oleh karenanya karakter luas daun yang kecil dan tebal akan menguntungkan seperti yang banyak ditemui pada tanaman Xerofit yakni khas tanaman lahan kering (Romero *et al.*, 1999). Daun dari varietas tahan kering umumnya lebih kecil dan memiliki rasio luas permukaan dan volume yang lebih rendah dibandingkan jenis yang telah beradaptasi pada kondisi kelembaban yang memadai, selain itu luas area daun yang lebih rendah merupakan alat untuk menjaga kelembaban dengan pengurangan transpirasi (Bhutta *et al.*, 2006).

Pertumbuhan merupakan penampilan yang diekspresikan oleh tanaman sebagai hasil dari berbagai proses fisiologi yang terjadi di dalam tubuh tanaman. Pertumbuhan dapat diekspresikan dengan tinggi, diameter, jumlah dan luas daun serta biomasa dari berbagai bagian tubuh tanaman. Tanaman yang mengalami kekurangan air secara umum mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh normal (Kurniasari *et al.*, 2010). Demikian juga yang ditunjukkan pada penelitian ini, bahwa

dari semua karakter yang diukur untuk pertumbuhan pada semua jenis tanaman, ternyata menunjukkan bahwa ukuran tanaman yang kering lebih kecil dibandingkan dengan tanaman yang disirami normal. Oleh karenanya karakter pertumbuhan yang digunakan pada penelitian ini berpotensi untuk dijadikan indikator respon kekeringan pada tanaman. Berbeda dengan kemampuan untuk memproduksi prolin yang tidak semua spesies bisa memproduksinya, karakter pertumbuhan jelas lebih dapat diaplikasikan karena bisa diukur pada semua spesies.

Masing-masing karakter pertumbuhan menunjukkan sensitifitas yang berbeda. Pada cedrela dan akor misalnya, tanaman yang terpengaruh pada kekeringan 30 hari ini menunjukkan bahwa diameter lebih terpengaruh terhadap kekeringan dibandingkan karakter tinggi yang baru berpengaruh setelah kondisi lebih ekstrim yakni 40 hari kekeringan. Namun menariknya bahwa pada 2 jenis lain yang pertumbuhannya lambat yakni jati dan legaran, kedua karakter tinggi dan diameter tidak terpengaruh secara nyata. Ini menunjukkan bahwa bagi tanaman dengan kecepatan tumbuh yang berbeda, sensitifitas karakter pertumbuhan dimungkinkan untuk berbeda. Bagi jenis yang pertumbuhannya lebih cepat dari cedrela dan akor yakni *Eucalyptus occidentalis*, pada uji ekstrim garam tinggi, yang mempunyai efek hampir sama dengan kekeringan, menunjukkan bahwa tinggi lebih responsif dibandingkan diameter (Hendrati, 2009). Jenis *Eucalyptus occidentalis* yang mempunyai pertumbuhan yang sangat cepat ini menunjukkan umur 1 tahun sudah berbunga dan ternyata bahwa pada tanaman yang sangat cepat tumbuh, tinggi tanaman lebih berpengaruh pada kondisi tertekan. Disini ditemukan pola bahwa tanaman sangat cepat tumbuh seperti *E. occidentalis*, karakter tinggi lebih dipengaruhi kekeringan, tanaman yang lebih lambat tumbuh seperti akor dan cedrela lebih dipengaruhi diameternya, sementara tanaman lambat tumbuh seperti jati dan legaran tidak dipengaruhi baik tinggi maupun diameternya.

Pertumbuhan tanaman kontrol lebih besar dibanding tanaman dengan perlakuan kekeringan. Hal ini juga ditemukan pada studi ini, pada semua karakter pertumbuhan yang diamati di semua spesies. Hal itu disebabkan karena pertumbuhan juga dipengaruhi oleh asupan air yang diperoleh tumbuhan tersebut. Ketika tanaman pada kondisi kering, batang

tanaman akan cenderung mengkerut atau mengecil serta pertumbuhan sekunder batang terganggu. Komponen sel sebagian besar diisi oleh air, ketika suplai air dari lingkungan mulai berkurang, maka sel-sel akan mengalami kekeringan dan menyusut. Kondisi kering juga menyebabkan terhambatnya pembesaran sel, mempengaruhi perubahan hormon yang berdampak pada berbagai proses fisiologi dan biokimia termasuk fotosintesis, respirasi, translokasi, pengambilan ion, metabolisme karbohidrat dan nutrisi serta pemacu tumbuhan (Farooq *et al.*, 2008; Jaleel *et al.*, 2009;). Karena salah satu fungsi air adalah untuk pembentangan sel, maka ketersediaan air di dalam tumbuhan mempengaruhi tekanan turgor yang juga berpengaruh dalam kinerja hormon pertumbuhan seperti auksin dan sitokinin (Salisbury dan Ross, 1995). Oleh karenanya, kurangnya ketersediaan air di lingkungan dapat menghambat proses pertumbuhan tanaman.

Berbeda dari karakter jumlah daun, perbedaan karakter luas daun sudah terlihat sejak awal (10 hari kekeringan) pada semua spesies kecuali cedrela. Hal itu menunjukkan bahwa luas daun lebih sensitif terpengaruh dibandingkan jumlah daun. Salah satu mekanisme toleransi tanaman merespon cekaman kekeringan adalah dengan menurunkan luas daun agar tetap tumbuh saat kondisi kekurangan air (Lestari, 2006). Penurunan luas daun ini berhubungan dengan akibat transpirasi yang juga akan makin berkurang, sehingga tanaman tidak akan terlalu banyak kehilangan air.

Kadar prolin merupakan karakter yang umumnya digunakan untuk menunjukkan kemampuan toleransi. Akor dimungkinkan kemungkinan besar tidak mempunyai kemampuan untuk memproduksi prolin, karena memang tidak semua tanaman mempunyai mekanisme bertahan pada kekeringan dengan memproduksi prolin (Ashraf dan Foolad, 2007). Cara tanaman mengatur tekanan osmotik ketika menghadapi kekeringan diperkirakan merupakan proses adaptif, dengan diproduksinya senyawa terlarut (*solute*) yang tidak bersifat toksik (termasuk prolin) di dalam sel sehingga mengurangi potensial osmotik saat terjadi defisit air (Lapanjang *et al.*, 2008). Prolin merupakan solut yang dibentuk tanaman untuk bertahan pada kondisi kekeringan sebagai mekanisme mempertahankan turgor sehingga tidak terjadi plasmolisis. Hasil regulasi osmotik ini berupa tekanan turgor

yang tetap dipertahankan di atas nol, sehingga proses pembelahan sel tetap berlangsung serta menghindari kelayuan yang dapat membahayakan sel (Naiola, 2005). Namun demikian, tidak semua spesies memproduksi prolin (Ashraf dan Foolad, 2007), karena pada spesies yang berbeda jenis solut yang diproduksi dimungkinkan bisa berbeda pula, misalnya, gula, glycin maupun bethain. Oleh karenanya pemilihan jenis solute yang diamati perlu pertimbangan yang matang. Banyak studi menggambarkan hubungan positif antara osmolit dengan toleransi tanaman terhadap tekanan, namun sebagian lagi menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi tersebut merupakan produk pada kondisi tertekan dan bukan merupakan respons adaptif terhadap stres, sehingga usaha untuk pengaplikasian Glycine betaine atau proline eksogen pada tanaman mulai menarik perhatian. Namun demikian pertimbangan ekonomis masih menjadi sesuatu yang banyak dipertimbangkan (Ashraf dan Foolad, 2007).

Hasil analisis diameter trakea akar pada seluruh tanaman yang diteliti, menunjukkan adanya efek perlakuan kekeringan yang berbeda nyata dengan tanaman kontrol. Diameter trakea tanaman kontrol (0 hari kekeringan) menunjukkan berukuran lebih kecil dibandingkan dengan tanaman yang mengalami kekeringan 10-40 hari. Sampel akar berdiameter sama, dari tanaman yang telah mengalami kekeringan menjadi mempunyai diameter trakea yang makin besar sejak 10 hari pada jati dan cedrela dan 20 hari pada akar dan legaran. Peningkatan perbesaran ini tidak sama antar spesies sampai akhir perlakuan dan berkisar antara 185% kali sampai hanya 78% pada periode yang sama. Kemampuan membentuk diameter trakea akar yang besar ini menguntungkan untuk mengoptimalkan jalan lewatnya air karena peningkatan diameter trakea akar merupakan suatu bentuk adaptasi untuk menambah penyerapan air dari tanah (Patakas *et al.*, 2002). Meskipun demikian, perbesaran diameter ini dimungkinkan juga karena disebabkan pertumbuhan tanaman yang menjadi lebih besar. Karena jika dibandingkan dengan tanaman dengan penyiraman normal, maka diameter trakea tanaman yang tertekan kering masih lebih kecil dibandingkan dengan pada tanaman normal (Makbul *et al.*, 2011).

Trakea merupakan salah satu komponen dari xilem yang berfungsi untuk mengangkut air. Dalam kondisi lingkungan kurang air, tanaman akan melakukan mekanisme untuk

mengoptimalkan penyerapan air yang ada. Salah satunya adalah dengan cara memperbesar diameter akar (De Micco dan Aronne, 2010). Kondisi kekurangan air berpengaruh terhadap meningkatnya sintesis hormon Asam absisat (ABA) yang merupakan salah satu indikator tanaman mengalami cekaman, termasuk saat kondisi kurang air. Peningkatan ABA ini nantinya akan menghambat kerja auksin dan sitokinin sehingga proses pembelahan dan pembentangan sel akan terganggu (Salisbury dan Ross, 1995), dan berpengaruh terhadap pembelahan dan pembentangan sel-sel parenkim xilem pada akar.

Pemahaman pada tanaman yang didasarkan pada perubahan dengan basis morfologis, anatomis dan fisiologis, saat bertahan pada kondisi kekurangan air, memungkinkan kita untuk menyeleksi tanaman dengan produktifitas yang lebih baik pada kondisi air terbatas (Nam *et al.*, 2001; Martinez *et al.*, 2007). Reaksi tanaman umumnya akan sangat bervariasi dan tergantung pada spesies tanaman, waktu dan level kekeringan serta tahapan pertumbuhan. Jika respon pada karakter pertumbuhan makin awal ditunjukkan, menunjukkan bahwa spesies tersebut lebih sensitif dan berarti kurang toleran. Makin banyak mekanisme respon pada suatu spesies, akan saling melengkapi untuk memperkuat ketahanannya. Respon yang munculnya terlihat pada kondisi keekstriman yang sudah tinggi akan lebih bagus, karena menunjukkan kemampuan toleransinya pada level tekanan yang lebih ringan. Tanaman akar yang berasal dari daerah kering dan terbukti tahan hidup pada daerah marginal kering tidak memproduksi prolin. Namun demikian dipastikan terdapat banyak mekanisme lain yang dikembangkan spesies ini, sehingga makin tinggi ketahanannya. Pada habitat aslinya spesies akar merupakan tanaman yang berasal dari daerah kering dengan rata-rata curah hujan minimum (600-800 mm/th) yang lebih rendah dibanding ketiga tanaman lain dalam penelitian ini. Pengujian dengan melibatkan spesies yang sama pada 3 kondisi kekeringan yang berbeda, juga menunjukkan bahwa spesies akar memiliki persentase hidup yang lebih tinggi sampai umur 3 tahun.

Pemahaman tentang respon tanaman terhadap kekeringan menjadi sangat penting karena merupakan bagian fundamental manakala seleksi tanaman yang bertahan terhadap kondisi tertekan akan dilakukan

(Zhao *et al.*, 2008). Jika pada level spesies telah diketahui ketahanannya, maka seleksi pada level provenan, dan individu dapat dilakukan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan variasi mekanisme respon antar spesies terhadap kekeringan, baik dari jenis responnya maupun dari waktu kemunculannya pada level tekanan kekeringan yang berbeda. Karakter yang tepat perlu dipilih untuk dijadikan kriteria untuk memilih individu yang toleran terhadap kekeringan sesuai dengan karakter spesies. Hasil studi ini mengindikasikan bahwa spesies yang paling toleran dan kemungkinan adaptif terhadap kekeringan adalah spesies yang mempunyai lebih banyak variasi mekanisme respon terutama yang kemunculannya baru terlihat pada tekanan kekeringan yang tinggi.

B. Saran

Spesies yang terbukti tahan terhadap kekeringan, maka pencarian genotip yang paling toleran dari spesies tersebut perlu dilanjutkan pada level provenan, famili, atau klon. Perlu dilakukan penelitian pada species lain yang bermanfaat bagi masyarakat dan toleran pada kondisi kering.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Kepala Balai B2PBPTH dan staf terkait sehingga bisa terlaksananya penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada Ketua jurusan dan Lab. Fisiologi Fakultas Biologi UGM beserta staf. Kepada rekan-rekan tim yang membantu penelitian, kami sampaikan penghargaan setinggi-tingginya karena tanpa perhatian teman-teman, kegiatan ini tidak akan terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Allen, CD. (2010). Drought-induced tree mortality: global interview of patterns and emerging climate change risks for forests, JA Parrota dan MA Carr. Eds. The International Forestry Review. XXIII IUFRO World Congress, Forest for the future: sustaining society and the environment, 23-28 Agustus 2010. Seoul, Republic of Korea.

Anonim, (2007). *Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup. 1-13p.

Ashraf, M., and M.R. Fooland. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216.

Atwell, B., P. Kriedemann dan C. Turnbull (2003). *Plants in Action: Adaptation in Nature performance in cultivation*, Melbourne, Australia: Macmillan Education Australia Pty Ltd.

Bates, LS. (1973). Rapid Determination of Free Proline for water-stressed studies. *Plant and soil*, 39, 205 -207.

Bhutta, WM., M. Ibrahim, Tahira. (2006). Comparison of water relations and drought related flag leaf traits in hexaploid spring wheat (*Triticum aestivum L.*). *Plant Soil Environ*, 52(5), 234-238.

BNPB (2016). Data Bencana Kebakaran Hutan, <http://geospasial.bnpb.go.id/pantauanbencana/data/datakbhutanall.php>, URL: <http://data.ukp.go.id/storage/f/2014-04-20T11%3A55%3A15.773Z/data-bencana-kebakaran-hutan-2011-2014.xlsx> Diakses tanggal 13 Juni 2016

BPS (2015). Kawasan Hutan dan Perairan Menurut Provinsi <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1716> Diakses tanggal 13 Juni 2016

Chenchouni, H. (2010). Drought-induced mass mortality of Atlas cedar forest (*Cedrus atlantica*) in Algeria, JA Parrota dan MA Carr. Eds. The International Forestry Review, XXIII IUFRO World Congress, Forest for the future: sustaining society and the environment. 23-28 Agustus 2010. Seoul. Republic of Korea.

De Micco, V., and G. Aronne. (2010). Root structure of *Rumex scutatus L.* growing on slopes. *International Association of Wood Anatomists Journal*, 31(1), 13-28.

Farooq, M, S.M.A. Basra, A. Wahid, Z.A. Cheema, M.A. Cheema, and A. Khaliq. (2008). Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa L.*). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 325-333.

Hendrati, R.L. (2009). Developing systems to identify and deploy saline and waterlogging tolerant lines of *Eucalyptus occidentalis* Endl., (PhD Thesis). The University of Western Australia.

Humphreys, M.O., and M.W. Humphreys. (2005). Breeding for Stress Resistance: General Principles. In Abiotic Stresses Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approach (Chapter 2). (Ashraf M dan Harris P.J.C Eds.), Food Production Press. An Imprint of The Haworth Press. Inc. Oxford.

- IPCC, 2007. Climate Change. (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (eds) Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jaleel, C.A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biology*, 11, 100–105.
- Kurniasari, A.M., Adisyahputra dan R.Rosman (2010). Pengaruh Kekeringan pada Tanah Bergaram NaCl terhadap Pertumbuhan Tanaman Nilam. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*, 21(1), 18- 27.
- Lapanjang, I., B.S. Purwoko, S.W. Hariyadi, Budi dan M. Melati. (2008). Evaluasi beberapa Ekotipe Jarak Pagar untuk Toleransi Tanaman Kekeringan. *Buletin Agronomi*, 36(3), 263-269.
- Lestari, E.G. (2006). Hubungan antara kerapatan stomata dengan ketahanan kekeringan pada somaklon pada Gajah Mungkur, Towuti dan IR 64. *Jurnal Biodiversitas*, 7, 44-48.
- Martinez, J.P., H. Silva, J.F. Ledent and M. Pinto. (2007). Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 26, 30–38.
- Makbul, S., N.S. GÜLER, N. Durmus and S. GÜVEN (2011). Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stress. *Turkish Journal of Botany*. 35, 369-377.
- Naiola, B.P. (2005). Akumulasi dan regulasi osmotik dalam sel tumbuhan pada kondisi stres Air. *Berita Biologi*, 7(6), 333-340.
- Nam, N.H., Y.S. Chauhan and C. Johansen (2001). Effect of timing of drought stress on growth and grain yield of eXtra-short duration pigeon pea lines. *Journal of Agricultural Science*, 136, 179-189.
- Patakas, A., N. Nikoou, E. Zioziou, K. Radoklou and B. Noitsakis. (2002). The Role of Organic Solute and in Accumulation in Osmotic Adjustment in Drought-stressed Grapevines. *Plant Science*, 163, 361-367.
- Romero, M., A. Casanova, G. Iturra, A. Reyes, G. Montenegro and M. Alberdi (1999). Leaf anatomy of *Deschampsia antarctica* (Poaceae) from the Maritime Antarctic and its plastic response to changes in the growth conditions. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72, 411-425.
- Salisbury, F.B., dan C.W. Ross. (1995). *Fisiologi Tumbuhan Jilid 3* (Edisi Bahasa Indonesia). Bandung: Penerbit ITB (Institut Teknologi Bandung).
- Sivakumar, M.V.K. (2005). Impacts of natural disasters in agriculture, rangeland and forestry: an overview. 1-22p In: (M.V.K. Sivakumar, R.P. Motha and H.P. Das eds.) *Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture*. Berlin: Springer.
- Steffen, W., A. Burbidge, L. Hughes, R. Kitching, D. Lindenmayer, W. Musgrave, S.M. Stafford, dan P. Werner. (2009). Australia : Biodiversity and Climate Change: Summary for Policy Makers. Summary of a report to the Natural Resource Management Ministerial Council Prepared for the Australian Government by the Biodiversity and Climate Change Expert Advisory Group. Department of Climate Change. Canberra.
- Wullschleger, S.D., T.M. Yin, S.P. DiFazio, T.J. Tschaplinski, L.E. Gunter, M.F. Davis, and G.A. Tuskan. (2005). Phenotypic variation in growth and biomass distribution for two advanced-generation pedigrees of hybrid poplar. *Canadian Journal of Forest Research*, 35, 1779–1789.
- Yoshida, Y., T. Kiyosue, K. Nakashima, S. Yamaguchi, and K. Shinozaki. (1997). Regulation of Levels of Proline as an Osmolyte in Plants Underwater Stress. *Plant & Cell Physiology*, 38, 1095-1102.
- Zhao C.X., L.Y. Guo, C.A. Jaleel, H.B. Shao, and H.B. Yang. (2008). Prospects for dissecting plant-adaptive molecular mechanisms to improve wheat cultivars in drought environments. *Comptes Rendus Biologie*, 331, 579–586.

Lampiran 1. Kadar Lengas Tanah pada media tumbuh perlakuan kekeringan
Appendix 1. Soil moisture content (%) of unwatered media

| No. | Spesies (Species) | % Kadar Lengas Tanah (hari tak disirami) (% soil moisture content of - days unwatered) | | | | |
|-----|----------------------|---|----|----|----|----|
| | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 1. | Akor | 67-70 | 35 | 27 | 25 | 23 |
| 2. | Jati | 46-53 | 16 | 14 | 13 | 12 |
| 3. | Legaran | 66-79 | 18 | 17 | 16 | 15 |
| 4. | Cedrela | 61-63 | 30 | 22 | 28 | 21 |

Lampiran 2. Diameter Trakea Diameter Trakea (μm) akar perlakuan kekeringan.
Appendix 2. Root trachea diameter of drought treatments

| No. | Spesies (Species) | Diameter trakea akar (μm) (Diameter of root trachea) | | | | |
|-----|----------------------|--|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | Perlakuan Kekeringan (hari) Drought (day) | | | | |
| | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 1. | Akor | 1,29 \pm 0,17 ^a | 1,42 \pm 0,09 ^{ab} | 1,88 \pm 0,02 ^b | 2,57 \pm 0,33 ^c | 3,68 \pm 0,44 ^d |
| 2. | Jati | 2,11 \pm 0,25 ^a | 3,33 \pm 0,34 ^b | 3,39 \pm 0,14 ^b | 4,43 \pm 0,50 ^b | 4,43 \pm 0,50 ^c |
| 3. | Legaran | 0,83 \pm 0,14 ^a | 1,10 \pm 0,12 ^{ab} | 1,39 \pm 0,08 ^b | 1,78 \pm 0,25 ^c | 2,11 \pm 0,25 ^c |
| 4. | Cedrela | 1,59 \pm 0,34 ^a | 2,47 \pm 0,09 ^b | 2,54 \pm 0,67 ^b | 2,80 \pm 0,13 ^b | 2,83 \pm 0,12 ^b |

Keterangan: Angka dalam satu baris yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan uji Duncan taraf signifikansi 95%.

Remarks: Values in one row of each species that are followed by the same letter are not significantly different according to Duncan test at 95% probability.

Lampiran 3. Perbandingan respon tanaman terhadap kekeringan
Appendix 3. Comparison of drought responses among plants

| Spesies (Species) | Respon pada karakter yang diamati setelah perlakuan kekeringan (Responses of each character after drought treatment) | | | | | | | | |
|----------------------|---|------------------------|------------------------------|--------------------------|---|----------------|------------------|------------------|--|
| | Tinggi (Height) | Diameter (Diameter) | Jumlah daun (No. Of leaf) | Luas daun (Leaf area) | Kadar Prolin akar (Root proline content) | Berat Kering | | | Diameter Trakea (Diameter of trachea) |
| | | | | | | Akar (Root) | Tajuk (Shoot) | Rasio (Ratio) | |
| Akor | + (40) | + (30) | + (30) | + (10) | - | + (40) | +(40) | + (40) | + (10) |
| Jati | - | - | +(30) | + (10) | + (30) | - | +(30) | - | + (10) |
| Legaran | - | - | +(20) | + (10) | + (10) | + (40) | - | - | + (10) |
| Cedrela | + (40) | + (30) | + (30) | + (30) | + (10) | + (20) | +(10) | - | + (10) |