

RESPON POPULASI *Eucalyptus occidentalis* TERHADAP SELEKSI KONDISI GARAM TINGGI PADA UJI TERKONTROL DAN UJI LAPANGAN

Selection Responses of Eucalyptus occidentalis Populations Under High Salinity In Controlled Condition And Field Trial

Rina Laksmi Hendrati

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

ABSTRACT

Global changes together with rising number of human population, industrial development, and exploitation of natural vegetation, are the main factors causing high salinity in many regions of the world. Trees tolerant to grow in saline regions are crucially needed and can be used as an effective means to control or even decrease salinity. Eucalyptus occidentalis, a Western Australia native tree species that is highly tolerant to salt has a wide range of natural habitats from waterlogged, highly saline to arid regions. Selections of provenances and families from throughout its natural distribution are needed to identify the most tolerant genotypes within this species. Comparative performances of E. occidentalis under salt and/or waterlogged conditions were investigated under controlled condition and in field trial. An initial screening of 25 provenances was conducted for salt tolerance ranging from 0 mM to 300 mM under control, waterlogged, dry salt and salt waterlogged treatments. Nine provenances selected from the first screening were exposed to similar treatments up to 550 mM of salt concentration. The same seed collections of 23 provenances were germinated at the same time and planted in field trial in Roberts, South Western Australia. Salt concentration of 300 mM did not affect E. occidentalis growth, and therefore it is not an appropriate level for selection. Under 550 mM of salt concentration, plants were depressed and differences between provenances are much more noticeable. There were different responses of E. occidentalis populations on selection under high salinity between controlled condition and in field trial.

Key Words : Eucalyptus occidentalis, salinity, selection, controlled conditions, field trial

ABSTRAK

Perubahan global disertai kenaikan jumlah penduduk, peningkatan industri, dan eksploitasi vegetasi alam, telah menyebabkan makin meluasnya lahan-lahan di dunia yang mempunyai kadar garam tinggi. Tanaman yang dapat dikembangkan di tanah-tanah dengan kadar garam tinggi menjadi sangat diperlukan, utamanya tanaman pohon, yang berguna untuk mengontrol atau mengurangi salinitas.

Eucalyptus occidentalis, tanaman asli Australia Barat yang bertoleransi garam tinggi sering didapatkan tumbuh di berbagai habitat termasuk area tergenang, bergaram tinggi dan kering. Seleksi tanaman yang berasal dari berbagai sebaran alaminya diperlukan untuk tujuan mendapatkan genotip yang toleran terhadap kondisi bergaram tinggi. Pada penelitian ini seleksi dilakukan baik pada kondisi terkontrol maupun di lapangan. Pada pengujian pertama, 25 provenans *E. occidentalis* diujikan pada konsentrasi garam mencapai 300 mM level dengan perlakuan kontrol, tergenang, garam kering dan garam tergenang. Sembilan provenans di antaranya digunakan pada uji lanjutan sampai ke level garam air laut (550 mM NaCl) dengan menggunakan jenis perlakuan yang sama. Pada waktu yang bersamaan, koleksi yang sama dari 23 provenans juga diujikan pada lahan bergaram di lapangan di Roberts, Australia Barat. Konsentrasi garam 300 mM terbukti tidak mengganggu pertumbuhan *E. occidentalis* dan oleh karenanya tidak tepat digunakan untuk seleksi. Sementara level garam 550 mM menyebabkan tekanan yang tinggi terhadap tanaman sehingga lebih memungkinkan terjadinya perbedaan antar provenans. Terdapat perbedaan respon populasi uji *E. occidentalis* terhadap tekanan garam tinggi pada uji terkontrol dan uji lapangan.

Kata Kunci : *Eucalyptus occidentalis*, salinitas, seleksi, uji terkontrol, uji lapangan

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim serta kenaikan jumlah penduduk, industri serta eksploitasi vegetasi alam, telah menyebabkan makin meluasnya lahan-lahan di dunia yang mempunyai kadar garam tinggi. Tercatat salinitas telah mempengaruhi 7% dari lahan dunia atau lebih dari 900 juta ha (Szabolcs, 1994, berdasarkan data FAO, 1989).

Tanaman yang dapat dikembangkan di tanah-tanah dengan kadar garam tinggi menjadi sangat diperlukan. Tanaman pohon dianggap lebih berguna untuk mengontrol atau mengurangi salinitas karena perakarannya yang dalam dan umurnya yang panjang (Dunn *et al.*, 1994). *Eucalyptus occidentalis* sangat tahan terhadap lahan berkadar garam tinggi. Jenis ini diketahui mempunyai toleransi tinggi terhadap garam (Marcar dan Crawford, 2004) dan hanya mengalami penurunan 8% pertumbuhan pada 400-1300 mSm-1 dibandingkan dengan jenis ber-

toleransi moderat seperti *E. camaldulensis* yang mengalami penurunan sampai 35-54% pada umur 61 bulan (Marcar *et al.*, 2003). Spesies ini mempunyai kayu yang berguna untuk penyangga bangunan, tiang dan konstruksi berat dan sering didapatkan tumbuh pada kondisi lahan tergenang selama beberapa hari sampai beberapa minggu (Marcar *et al.*, 2000), di daerah bergaram tinggi (Harwood *et al.*, 2001; Marcar dan Crawford, 2004) serta di sekitar danau bergaram dan di daerah kering (Chippendale, 1973; Zohar dan Moreshet, 1987). Adanya variasi habitat tersebut mendorong seleksi toleransi terhadap kondisi bergaram tinggi bagi provenans dan famili dari berbagai sebaran alaminya (Hendrati, 2008).

Kebanyakan seleksi tanaman pada garam tinggi dilakukan pada salah satu kondisi; terkontrol atau kondisi lapangan. Uji terkontrol menguntungkan karena perlakuan dapat

direncanakan dan dapat diterapkan secara seragam pada semua individu, sehingga perbedaan genetik dapat dideteksi lebih akurat. Namun uji ini hanya bisa diterapkan bagi tanaman umur muda dengan jumlah individu tanaman yang sangat terbatas. Uji lapangan sebaliknya sangat penting karena mewakili kondisi kehidupan tanaman yang sebenarnya, sehingga peran akar sebagai penopang kehidupan serta peran tajuk terhadap evapotranspirasi dapat berkembang sewajarnya. Tujuan pengujian dengan menggunakan material genetik yang sama pada dua kondisi yang berbeda, uji terkontrol di persemaian dan uji trial di lapangan, adalah untuk mengetahui respon seleksi populasi dari kedua jenis uji tersebut pada kondisi kadar garam tinggi.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan Tanaman

Biji *E. occidentalis* yang dikoleksi dari sebaran alaminya (25 provenans) di Australia Barat digunakan dalam penelitian ini.

B. Langkah Penelitian

Semai di pot mini (3,5 x 3,5 x 5 cm) dengan campuran media pot (Premium P/CM, *Baileys Fertilizers*, Perth) diuji di persemaian pada kandungan garam tinggi sebanyak dua kali. Pertama, pengujian 25 provenans dengan penggenangan larutan garam (konsentrasi garam 0-300 mM) pada Maret-Juni 2004. Pengujian kedua (konsentrasi garam 0-550 mM) pada bulan Oktober 2004-Januari 2005, menggunakan 9 provenans yang dipilih dari 25 provenans pengujian pertama yang mewakili ranking penampilan tertinggi, medium dan terendah. Ranking

didapatkan dengan menjumlahkan nilai proporsional dari hasil pengujian pertama masing-masing dalam hal persen hidup, tinggi, pertumbuhan tinggi relatif dan proporsi daun akhir (%). Pada pengujian pertama, 1.200 semai dari 25 provenans (149 famili) secara random diletakkan pada masing-masing bak perlakuan 2 minggu sebelum perlakuan garam. Provenans diwakili 3-14 famili, dengan 3 - 40 tanaman per famili. Pada pengujian kedua, 1.200 semai berumur 8 bulan dari 9 provenans yang terdiri dari 30 famili diletakkan secara random pada bak-bak perlakuan. Dari koleksi provenans dan famili yang sama, biji 94 famili dari 23 provenans juga ditaburkan pada waktu yang sama dan ditanam pada lokasi bergaram tinggi di Roberts, Australia Barat.

C. Perlakuan pada Uji Terkontrol

Perlakuan pada kondisi terkontrol pertama dan kedua adalah: kontrol (K), tergenang (T), bergaram kering (GK) dan bergaram-tergenang (GT). Perlakuan kontrol dan garam-kering dilakukan dengan menghubungkan bak berisi tanaman dengan pompa yang dihubungkan dengan tandon air bernutrisi untuk mensirkulasi air dalam rangka 30 menit penyiraman 3 kali/hari. Tanaman untuk perlakuan tergenang dan tergenang bergaram diletakkan pada 2 tangki kotak yang berbeda dengan digenangi air bernutrisi (*Three Part Perfection*, Wanneroo, Western Australia) sampai ketinggian 1 cm di bawah wadah dan diganti setiap minggu. Satu tangki dibiarkan tanpa garam (T), sedangkan satu yang lain diberi larutan garam (GT) dengan peningkatan 50 mM perminggu sampai 300 mM dan dibiarkan sampai 5 minggu pada pengujian pertama hingga mendekati konsentrasi garam air

laut (550 mM NaCl, CaCl₂) dengan 2 minggu dibiarkan pada konsentrasi tertinggi sehingga total 12 minggu pada pengujian kedua.

D. Pengujian Lapangan

Semai ditanam di lapangan dengan jarak tanam 2 m x 5 m. Sembilan puluh empat famili dari 23 provenans, dengan 15 tanaman per famili didesain dalam 5 blok. Penanaman dilakukan di Roberts, Australia Barat pada bulan Juli 2004. Roberts merupakan area dengan curah hujan 583-747 mm/tahun, temperatur bulanan maksimum 14,0 - 27,3°C dan minimum 5,7 - 14,9°C, ketinggian 300 m dpl. Penggundukan dilakukan untuk mengantisipasi air yang menggenang di antara jalur tanam yang umum ditemukan di lokasi bersalinitas tinggi. Tingkat salinitas di lapangan diukur untuk masing-masing tanaman, dengan menggunakan *EM-38* (*Geonics, Mississauga, Canada*) dan diklasifikasikan menurut Marcar *et al.* (1995). Sampel tanah diambil dari lapangan (kedalaman 0-20 cm, 20-40 cm dan 40-75 cm) untuk analisis tekstur tanah dan analisis kandungan garam dalam rangka kalibrasi pembacaan *EM-38*.

E. Pengukuran dan Analisis Data

Pada uji terkontrol persen hidup tanaman direkam 1 minggu sekali. Pengukuran tanaman pada kedua uji diukur pada tingkat awal sebelum diberi garam, 300 mM (pengujian pertama) dan 550 mM (pengujian kedua). Pertumbuhan relatif dihitung berdasarkan pengukuran awal dan pengukuran terakhir ((tinggi akhir - tinggi awal/tinggi awal) x 100%). Semua daun yang ada sebelum dan sesudah pengamatan dihitung dan ditandai untuk membedakan daun lama dan daun baru dalam rangka menghitung proporsi daun akhir

((Jumlah daun akhir - jumlah daun awal/jumlah daun awal) x 100%). Pada pengujian lapangan, pengukuran persen hidup tanaman dan tinggi dilakukan pada bulan April 2005 (umur 9 bulan) dan persen hidup, tinggi dan diameter pada bulan Mei 2007 (umur 33 bulan). Data uji terkontrol dianalisis menggunakan analisis varians dua arah menggunakan *Genstat 9.2* (VSN International, Oxford) dengan provenans dan perlakuan sebagai faktor. Untuk penelitian lapangan, pengukuran *EM-38* yang menunjukkan tingkat salinitas digunakan sebagai kovariat. Nilai rata-rata hanya digunakan bagi provenans yang mempunyai minimal 3 famili. Perbedaan signifikan antar nilai rata-rata diuji menggunakan uji Tukey (Isd, $p < 0,05$).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada uji terkontrol di persemaian, perlakuan garam tergenang merupakan kondisi yang paling ekstrim yang mengganggu pertumbuhan *E. occidentalis*. Meskipun *E. occidentalis* sering ditemui pada kondisi tergenang (Marcar *et al.*, 2000), namun kombinasi tergenang dan bergaram tinggi akan memberikan dampak yang jauh lebih parah bagi tanaman. Dengan gabungan tersebut, persen hidup tanaman akan menurun secara drastis (Van der Moezel 1988; 1989; Marcar, 1993; Akilan *et al.*, 1997). Penggenangan mengurangi toleransi tanaman pada kondisi bergaram, karena fungsi akar menurun serta adanya penurunan selektivitas K⁺ terhadap Na⁺ (Craig *et al.*, 1990; Barret-Lennard, 2003). Dengan adanya gradien konsentrasi, transpor ion memerlukan banyak energi, sementara kondisi anaerobik di bawah penggenangan mengakibatkan ketersediaan energi jauh berkurang

(Armstrong, 1979). Pada kondisi garam tergenang, konsentrasi Na^+ dan Cl^- pada daun akan lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi kering (Van der Moezel *et al.*, 1998; Craig *et al.*, 1990), dan ion-ion tersebut makin lama akan makin meracuni tanaman. Kandungan ion dapat mencapai 2,5 kali lipat pada *E. globulus* dan 2-10 kali lipat pada spesies *Acacia* di bawah garam tergenang jika dibandingkan dengan garam kering (Craig *et al.*, 1990; Marcar *et al.*, 2002). Dengan demikian seleksi terhadap toleransi garam suatu tanaman terutama pada kondisi terkontrol perlu ditekankan pada kondisi tergenang bergaram dibandingkan dengan bergaram kering.

Penerapan level sampai ke konsentrasi garam di laut diharapkan mampu mengeliminasi tanaman-tanaman yang tidak tahan serta menyeleksi tanaman yang masih tahan hidup. Namun tidak adanya variasi antar provenans dalam hal persen hidup menunjukkan bahwa semua provenans tertekan pada kondisi yang relatif ekstrim, yakni pada kondisi peningkatan konsentrasi garam selama 12 minggu sampai ke level 550 mM. Demikian juga pertumbuhan relatif tidak menunjukkan perbedaan, karena semua mengalami tekanan yang sama untuk bertahan hidup. Namun, perbedaan ditunjukkan terutama oleh karakter proporsi daun akhir dan karakter tinggi pada level 550 mM ini. Toleransi tanaman pada kondisi bergaram tinggi berasosiasi erat dengan akumulasi kelebihan garam yang terserap pada daun terutama yang tua (Munns *et al.*, 2003) karena tanaman cenderung menghindari akumulasi garam pada bagian daun muda atau meristem (Allen *et al.*, 1994). Daun tua tempat akumulasi garam tidak akan bertahan lama pada tanaman,

karena akan segera mengering dan gugur. Hidup tanaman pada kondisi garam tinggi ditentukan oleh kemampuan sisa daun yang dapat berfotosintesis. Namun karakter proporsi daun akhir hanya dimungkinkan diterapkan pada pengujian terkontrol dan bukan di lapangan, sehingga untuk perbandingan pada kedua uji tersebut karakter proporsi daun tidak bisa digunakan.

Pada uji lapangan di Roberts, level garam 88-1424 mSm^{-1} diklasifikasikan pada level tinggi menurut Marcar dan Crawford (2004). Bagi jenis tanaman lain level ini sudah mengganggu pertumbuhan. Misalnya, penurunan pertumbuhan terjadi sebesar 35-54% pada *E. camaldulensis* dan hanya 8% pada *E. occidentalis* jika dibandingkan dengan kontrol (Marcar *et al.*, 2003). *E. occidentalis* yang masih mampu mempertahankan tanamannya sampai dengan persen hidup 90% pada umur 2,5 tahun di Roberts ini menunjukkan bahwa jenis ini bisa melampaui tahap awal tekanan level salinitas yang tinggi di lapangan. Studi sebelumnya juga menunjukkan pertumbuhan yang bagus dari *E. occidentalis* pada lokasi yang diklasifikasikan sebagai salinitas menengah sampai tinggi (400-1300 mSm^{-1}) sampai yang sangat tinggi ($\geq 1600 \text{ mSm}^{-1}$) (Pepper dan Craig, 1986; Benyon *et al.*, 1999; Marcar dan Crawford, 2004). Genangan air di beberapa tempat pada lokasi uji yang ditemui saat awal penanaman, dimungkinkan juga berpengaruh bagi terjadinya persen hidup yang tinggi tersebut, karena dapat mengurangi konsentrasi kandungan garam dan membantu pertumbuhan awal tanaman di lapangan.

Di antara dua percobaan, pada kondisi terkontrol dan di lapangan, sifat tanaman yang bisa dibandingkan dan yang menunjukkan per-

bedaan nyata di antara provenans pada kedua uji, adalah tinggi tanaman. Sementara itu, persen hidup, meskipun sama-sama diukur pada kedua uji, tidak menunjukkan perbedaan nyata antar provenans pada keduanya. Oleh karenanya, pola seleksi yang bisa dibandingkan pada kedua pengujian tersebut adalah dengan menggunakan karakter tinggi. Pada kondisi terkontrol, di akhir tingkat konsentrasi tertinggi garam tergenang 300 mM (minggu ke-6), baik pada keseluruhan provenans (25) pada uji pertama maupun pada 9 provenans pada uji kedua, distribusi populasi yang ada masih menunjukkan distribusi normal sehingga tidak menunjukkan arah seleksi yang jelas (Gambar. 1A dan 1B). Level garam 300 mM yang ternyata termasuk rendah bagi *E. occidentalis* ditunjukkan dengan penambahan daun serta penampilan yang relatif sama antar provenans. Studi lain menunjukkan bahwa pada level ini *E. globulus* hanya mempunyai persen hidup 47%, sementara *E. occidentalis* masih mempertahankan 100% tanamannya (Marcar, 1989). Oleh karenanya level ini sekali lagi dianggap tidak memadai untuk digunakan sebagai seleksi *E. occidentalis*.

Ketika 9 provenans diperlakukan sampai level garam tertinggi (550 mM) pada uji kedua, ternyata distribusi populasi terhadap tinggi juga tetap masih menunjukkan bentuk normal (Gambar 2), sehingga arah seleksi pada kondisi terkontrol ini tidak terlihat secara nyata pada keseluruhan populasi uji. Sebaliknya pada kondisi uji lapangan, pola seleksi menunjukkan bahwa distribusi populasi selama 2 tahun dari kurun waktu 9 sampai 33 bulan telah mengubah bentuk distribusi tanaman dari bentuk normal seperti lonceng (9 bulan) menjadi miring ke arah

kanan (33 bulan), yang mengindikasikan bahwa seleksi cenderung menuju ke arah tanaman-tanaman tinggi (Gambar 3A dan 3B). Distribusi tersebut menunjukkan bahwa tanaman pendek, yang diperkirakan kurang bagus pertumbuhannya menjadi lebih banyak yang tersingkir dan mati. Jika diasumsikan bahwa tanaman yang lebih tinggi merupakan tanaman yang memiliki vigor yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman pendek (Devine, 1982), maka seleksi yang terjadi di lapangan mengarah kepada terseleksinya tanaman bervigor baik. Seleksi yang terlihat lebih nyata di lapangan dimungkinkan disebabkan oleh perakaran tanaman bervigor baik lebih leluasa untuk berkembang serta lebih mampu untuk menghindari tanah dengan salinitas tinggi dan mampu mengakses bagian tanah dengan salinitas lebih rendah. Akses kemampuan ini akan mempunyai efek berlipat dengan adanya penambahan luas daun, fotosintesis dan akhirnya pertumbuhan yang lebih baik (Munns dan Termaat, 1986).

Penampilan pada uji terkontrol menunjukkan bahwa tekanan terhadap garam-tergenang dialami oleh tanaman dari semua provenans. Periode 12 minggu terlihat tidak menunjukkan efek seleksi ke arah tanaman bervigor tinggi secara jelas. Persen hidup juga tidak berbeda antar provenans. Terbatasnya jumlah individu dalam populasi dan lebih pendeknya periode perubahan tingkat garam dibandingkan dengan di lapangan diperkirakan mempengaruhi hal ini. Tanaman tidak mempunyai waktu yang cukup untuk melakukan perbaikan dalam tubuh serta mengembangkan mekanisme toleransi. Meskipun persen hidup juga tidak berbeda nyata di lapangan, namun kecenderungan bahwa tanaman

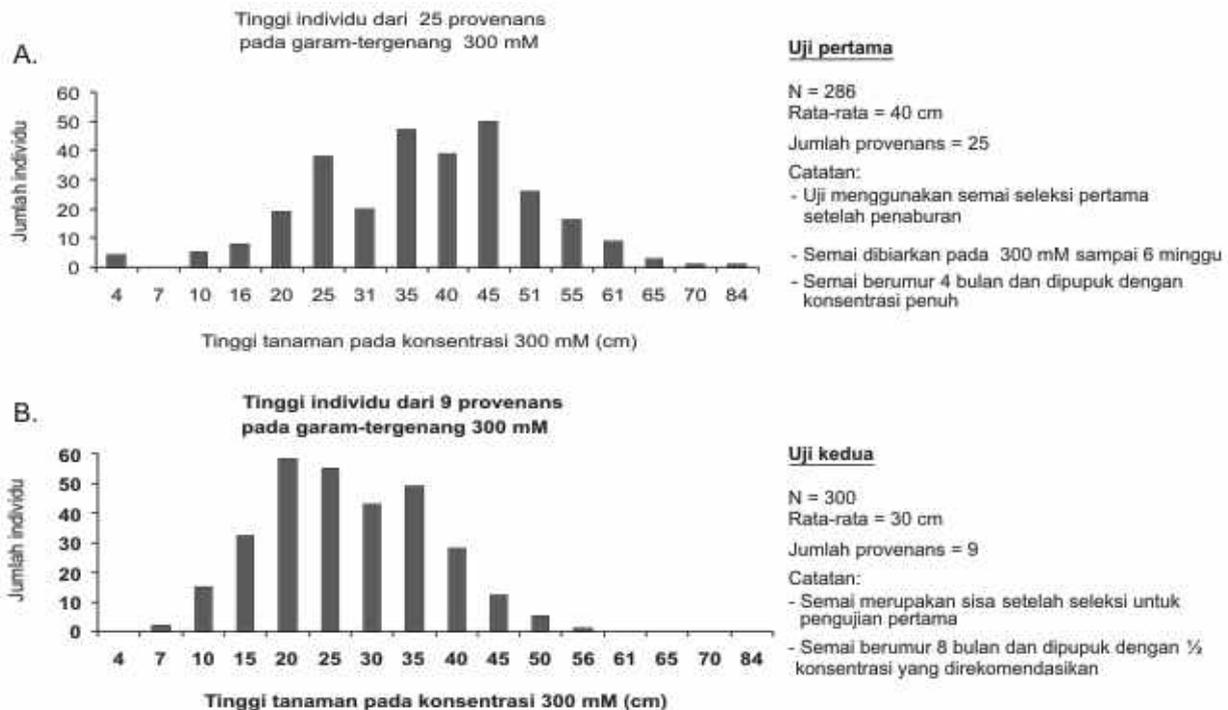
yang bervigor lebih baik lebih bisa bertahan, terlihat dari hasil distribusi tinggi tanaman di lapangan. Dengan perbedaan kelebihan dan kekurangan yang didapatkan pada masing-masing uji (terkontrol vs lapangan), dari segi level konsentrasi garam dan variasinya, jumlah populasi yang mampu diuji, lama periode tekanannya terhadap garam serta kemampuannya untuk memperbaiki diri (Van der Moezel *et al.*, 1991), maupun dari perbedaan respons seleksi dari populasi tanaman terhadap kondisi salinitas, maka pengujian terhadap garam idealnya dilakukan dengan dua cara, baik pada kondisi terkontrol maupun uji lapangan. Seyogyanya genotip yang sama (provenans, famili, klon) digunakan pada kedua uji tersebut, sehingga seleksi genotip akan menjadi lebih akurat dan perhitungan korelasi genetik akan dapat dilakukan.

IV. KESIMPULAN

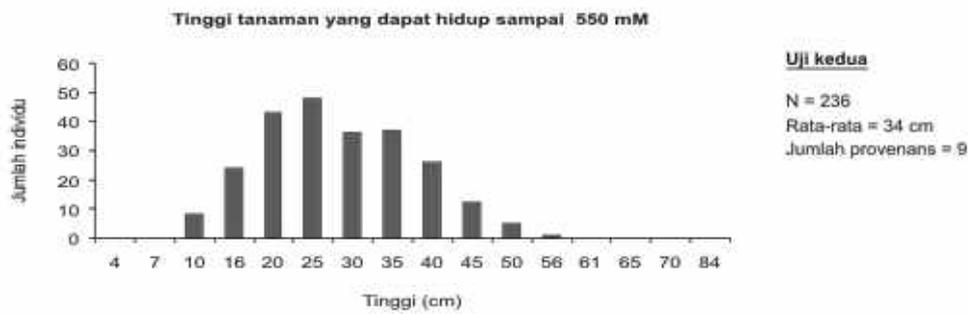
Level tekanan untuk melakukan seleksi toleransi perlu dilakukan sampai pada taraf yang dapat menciptakan perbedaan antar genotip. Respon populasi uji secara keseluruhan menunjukkan perbedaan antara uji terkontrol dan uji lapangan, dengan seleksi yang terlihat lebih jelas pada pengujian di lapangan. Namun pengujian terkontrol yang dapat memfasilitasi keseragaman perlakuan serta ketepatan penerapan level salinitas, perlu diterapkan sebagai komplemen pengujian untuk ketepatan seleksi antar genotip.

UCAPAN TERIMA KASIH

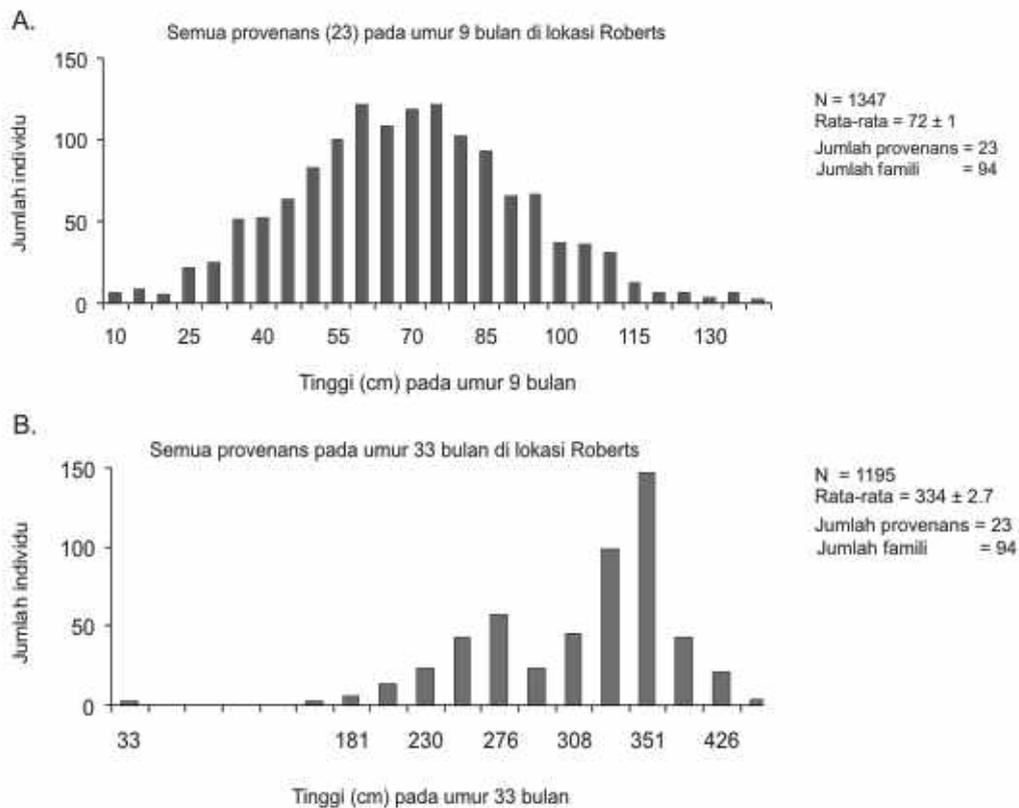
Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Julie Plummer dari The University of Western Australia dan Dr. Liz Barbour dari *Forest Product Commission* Western Australia yang mengarahkan penulisan dan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Lucy



Gambar 1. Perbandingan distribusi tinggi *Eucalyptus occidentalis* antar A) uji pertama (25 provenans) dan B) uji kedua (9 provenans) pada kondisi tergenang bergaram konsentrasi 300 mM NaCl



Gambar 2. Distribusi tinggi *Eucalyptus occidentalis* yang dapat hidup sampai konsentrasi 550 mM



Gambar 3. Perbandingan distribusi tinggi *E. occidentalis* pada uji lapangan di Roberts dari 2 provenans pada umur A. 9 dan B. 33 bulan (Hendrati 2009)

Mulcahy yang telah membantu penelitian pertama dan juga kepada *Forest Product Commission* yang telah menyediakan dana penelitian. Segala bantuan dari Ryan Abbot serta Len Norris dari persemaian *Forest Product Commission* di Wanneroo, Western Australia dalam persiapan dan pelaksanaan penelitian ini juga amat sangat berharga bagi saya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akilan, K., Marshall, J. K., Morgan, A. L., Farrell, R. C. C., Bell, D. T., and Marshall, J. K. 1997. Responses of clonal river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) to waterlogging by fresh and salt water. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37, 243-248.

- Allen, J. A., Chambers, J. L., dan Stine, M. (1994). Prospect for increasing salt tolerance of forest trees: a review. *Tree Physiology* **14**, 843-853.
- Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. *Advances in Botanical Research* **7**, 225-332.
- Barret-Lennard, E. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant and Soil* **253**, 35-54.
- Benyon, R. G., Marcar, N. E., Crawford, D. F., dan Nicholson, A. T. 1999. Growth and water use of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. occidentalis* on a saline discharge site near Wellington, NSW, Australia. *Agricultural Water Management* **39**, 229-244.
- Chippendale, G. M. 1973. "Eucalyptus of the Western Australia goldfields (and the adjacent wheat belt)." Govt. Print, Department of Primary Industry, Forestry and Timber Bureau, Canberra, Australia.
- Craig, G. F., Bell, D. T., dan Atkins, C. A. 1990. Responses to salt and waterlogging stress of ten taxa of *Acacia* from naturally saline areas of Western Australia. *Australian Journal of Botany* **38**, 619-630.
- Devine, T. E. 1982. Genetic fitting of crops to problem soils. In "Breeding Plants for Less Favorable Environments" (M. N. Christiansen and C. F. Lewis, eds.), pp. 143-173. John Wiley and Son, Brisbane, Australia.
- Dunn, G. M., Taylor, D. W., Nester, M. R., dan Beetson, T. B. 1994. Performance of twelve selected Australian tree species on a saline site in southeast Queensland. *Forest Ecology Management* **70**, 255-264.
- Harwood, C., Bulman, P., Bush, D., Mazanec, R., dan Stackpole, D. 2001. "Compendium of Hardwood Breeding Strategies.." Joint Venture Agroforestry Program (Rural Industries, Land & Water, Forest and wood Products, Research and Development Corporations), Canberra, Australia.
- Hendrati, R.L., 2008, Developing systems to identify and deploy saline and waterlogging tolerant lines of *Eucalyptus occidentalis* Endl., PhD thesis, The University of Western Australia, Perth, Australia
- Hendrati, R.L., 2009, Skrining Genotip Terhadap Lingkungan Stress dengan Sudi Kasus Toleransi Terhadap Salinitas, Prosiding Ekspose Hasil-Hasil Penelitian, Yogyakarta 1 Oktober 2009, Balai Besar Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan, Yogyakarta
- Marcar, N. E. 1989. Salt tolerance of frost-resistance eucalypts. *New Forest* **3**, 141-149.
- Marcar, N. E. 1993. Waterlogging modifies growth, water use and ion concentration in seedlings of salt-treated *Eucalyptus camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. robusta* and *E. globulus*. *Australian Journal of Plant Physiology* **20**, 1-13.
- Marcar, N. E., Arnold, R., dan Benyon, R. 2000. "Trees for saline environments," <http://www.soil-water.org.au/Ed>. Special issue: June 2000, Australian Association of Natural Resource Management.
- Marcar, N. E., Crawford, D., Leppert, P., Jovanovic, T., Floyd, R., dan Farrow, R. 1995. "Trees for Saltland: a guide to selecting

- native species for Australia," CSIRO, Division of Forestry, Canberra, Australia.
- Marcar, N. E., Crawford, D. F., Saunders, A., Matheson, A. C., dan Arnold, R. A. 2002. Genetic variation among and within provenances and families of *Eucalyptus grandis* W. Hill and *E. globulus* Labill. Subsp. *globulus* seedlings in response to salinity and waterlogging. *Forest Ecology Management* **162**, 231-249.
- Marcar, N. E., Crawford, D. F., Hossain, A. K. M. A., dan Nicholson, A. T. 2003. Survival and growth of the tree species and provenances in response to salinity on a discharge site. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **43**, 1293-1302.
- Marcar, N. E., dan Crawford, D. F. 2004. "Trees for Saline Landscapes," RIRDC Publication Number 03/108, Canberra, Australia.
- Munns, R., Rebetzke, G. J., Huzain, S., James, R. A., dan Hare, R. A. 2003. Genetic control of sodium exclusion in durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **54**, 627-635.
- Munns, R., dan Termaat, A. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* **13**, 143-160.
- Pepper, R. G., dan Craig, G. F. 1986. Resistance of selected *Eucalyptus* species to soil salinity in Western Australia. *Journal of Applied Ecology* **23**, 977-987.
- Szabolcs, I. 1994. Soils and salinisation. In "Handbook of Plant and Crop Stress" (M. Pessarakali, ed.), pp. 3-11. Marcel Dekker, New York, USA.
- Van der Moezel, P. G., Pearce-Pinto, G. V. N., dan Bell, D. T. 1991. Screening for salt and waterlogging tolerance in *Eucalyptus* and *Melaleuca* species. *Forest Ecology Management* **40**, 27-37.
- Van der Moezel, P. G., Watson, L. E., dan Bell, D. T. 1989. Gas exchange response of two *Eucalyptus* species to salinity and waterlogging. *Tree Physiology* **5**, 251-257.
- Van der Moezel, P. G., Watson, L. E., Pearce-Pinto, G. V. N., dan Bell, D. T. 1988. The response of six *Eucalyptus* species and *Casuarina obesa* to the combined effect of salinity and waterlogging. *Australian Journal of Plant Physiology* **15**, 465-474.
- Zohar, Y., dan Moreshet, S. 1987. Provenances of *Eucalyptus occidentalis* in the Arid Zone of Israel. *Forest Ecology Management* **22**, 71-77.