

KERAGAMAN ANTAR POPULASI DAN KORELASI ANTAR KARAKTER BIBIT JABON PUTIH (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) PADA CEKAMAN KEKERINGAN DAN GENANGAN AIR

*Variation among Populations and Correlation among Seedling Characters of White Jabon (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) under Drought and Water Logging Stress*

Dede J. Sudrajat^{1*}, Iskandar Z. Siregar², Nurul Khumaida³
Ulfah J. Siregar², Irdika Mansur²,

¹Balai Penelitian Teknologi Perbenihan Tanaman Hutan Bogor
Jl. Pakuan Ciheuleut PO BOX. 105 Bogor, Jawa Barat, Indonesia

²Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Lingkar Kampus IPB, Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

³Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Lingkar Kampus IPB, Darmaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

*E-mail: djsudrajat@yahoo.com

Diterima 28 Nopember 2015; revisi terakhir 7 Maret 2016; disetujui 10 Maret 2016

ABSTRAK

Cekaman kekeringan dan genangan air merupakan faktor lingkungan yang sangat kritis yang berpengaruh terhadap daya hidup dan pertumbuhan bibit tanaman hutan. Pada penelitian ini, 12 populasi jabon putih (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) dievaluasi untuk menentukan keragaman genetik antar populasi dan korelasi antar karakter morfo-fisiologi bibit pada kondisi cekaman kekeringan dan genangan air. Dua unit percobaan disusun dengan rancangan acak lengkap dengan pola faktorial 2 x 12, yaitu (1) faktor cekaman kekeringan (2 perlakuan) dan populasi (12 populasi), dan (2) faktor cekaman genangan (2 perlakuan) dan populasi (12 populasi). Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon bibit jabon putih bervariasi antar populasi terhadap cekaman kekeringan dan genangan air. Bibit jabon putih memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap cekaman genangan air dari pada terhadap kekeringan. Populasi Kampar dan Gowa memiliki daya adaptasi yang lebih baik terhadap cekaman genangan air. Pada cekaman kekeringan, populasi Gowa memiliki adaptasi yang lebih baik pada kondisi kekeringan diikuti oleh populasi Nusa Kambangan. Karakter tinggi, berat kering total dan kandungan prolina berdasarkan nilai heritabilitas dalam arti luas dan korelasi antar karakter dapat dijadikan indikator penting untuk kegiatan pemuliaan populasi tahan cekaman kekeringan, sedangkan pada kondisi genangan air, karakter tinggi, berat kering total, panjang akar dan luas daun dapat dipertimbangkan sebagai indikator penting untuk kegiatan pemuliaan jabon putih terhadap cekaman genangan air.

Kata kunci: Jabon putih (*Neolamarckia cadamba*), cekaman, heritabilitas dalam arti luas, populasi

ABSTRACT

*Drought and water logging stress are the most critical environmental factors that affect tree seedling survival and growth in the field. In this study, 12 populations of white jabon (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) were evaluated to determine the genetic variability among populations and correlation among morpho-physiological seedling characters under drought and water logging stresses. Two research units were carried out by the randomized complete design with 2 x 12 factorial arrangements, i.e. (1) drought stress (2 treatments) and population (12 populations), and (2) water logging stress (2 treatments) and population (12 populations). Results showed that the responses of seedling traits were varied among populations under drought and water logging stresses. White Jabon seedling has higher adaptation to water logging stress than to drought stress. Kampar and Gowa populations have better adaptation to water logging stress. In drought stress, Gowa population had better adaptation followed by Nusa Kambangan population. Seedling height, total biomass and proline content characters based on value of broad sense heritability and correlation among characters, could be considered as important indicators for improvement programs for drought tolerance, while in the water logging stress, height, total biomass, root length and leaf area could be considered as important indicators for improvement program of white Jabon for tolerance on waterlogged sites.*

Keywords: White jabon (*Neolamarckia cadamba*), stress, broad sense heritability, population

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan dan produktivitas tanaman sangat dipengaruhi oleh cekaman alami dari faktor biotik maupun abiotik. Kekeringan dan genangan air merupakan cekaman abiotik yang sangat berpengaruh pada tahap awal pertumbuhan dan mengancam kelangsungan hidup tanaman (Kozlowski, 1997; Jaleel *et al.*, 2009). Intensitas kekeringan dan genangan air atau banjir diprediksi semakin meningkat dengan adanya fenomena perubahan iklim yang menghasilkan peningkatan suhu, perubahan pola dan intensitas hujan (Chimura *et al.*, 2011), yang menjadikan beberapa wilayah di Indonesia rentan terhadap kondisi kekeringan dan banjir (Tim Sintesis Kebijakan Kementerian Pertanian, 2008). Kondisi tersebut akan memengaruhi keberhasilan penanaman hutan dan rehabilitasi lahan. Untuk meningkatkan keberhasilan penanaman, tentunya jenis atau populasi yang adaptif pada kondisi ekstrim kering dan genangan air sangat diperlukan.

Jabon putih (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser, sinonim *Anthocephalus cadamba* Miq.) merupakan salah satu jenis potensial yang banyak ditanam pada berbagai tipe tapak baik dalam skala besar seperti di beberapa daerah Sumatera Utara, Riau dan Kalimantan Tengah, maupun skala kecil oleh petani, terutama di Jawa dan Kalimantan Selatan (Kallio *et al.*, 2011; Krisnawati *et al.*, 2011). Beberapa studi menunjukkan bahwa jabon putih kurang cocok untuk rehabilitasi lahan kritis yang didominasi alang-alang (Vuokko dan Otsamo, 1996), tidak mampu tumbuh optimal pada tanah dengan kandungan air rendah (Soetrisno, 1996) atau kedalaman air tanah yang dangkal (Mansur dan Surahman, 2011). Beberapa laporan menyebutkan ada beberapa populasi yang mampu tumbuh pada

kondisi marginal seperti lahan kering atau tergenang air (Orwa *et al.*, 2009; Krisnawati *et al.*, 2011). Untuk meningkatkan keberhasilan penanaman jabon, maka pemilihan populasi atau provenansi yang adaptif terhadap lahan marginal sangat diperlukan. Beberapa penelitian lainnya menunjukkan bahwa pemilihan populasi (genotipe) yang adaptif terhadap cekaman kekeringan dan genangan air dapat meningkatkan keberhasilan program penanaman dan produktivitas tanaman (Rashidi dan Seyfi, 2007; Duan *et al.*, 2007; Djazuli, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keragaman genetik antar populasi dan korelasi antar karakter bibit jabon putih pada kondisi cekaman kekeringan dan genangan air.

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Lokasi Penelitian

Benih dikumpulkan dari 12 populasi yang tersebar di 8 pulau di Indonesia. Jumlah pohon induk tiap populasi berkisar antara 5-20 pohon dengan jarak antar pohon induk 25-50 m (Tabel 1). Pohon-pohon dinyatakan sebagai satu populasi apabila berada pada suatu lokasi tertentu yang memungkinkan terjadinya penyerbukan antar satu pohon dengan pohon lainnya. Benih dari setiap pohon induk dikompositkan per populasi dan disemaikan untuk dijadikan bibit untuk pengujian cekaman. Pengujian cekaman kekeringan dan genangan air dilakukan di rumah kaca Balai Penelitian Teknologi Benih Tanaman Hutan Bogor. Penelitian ini dilakukan selama 13 bulan dari mulai pengumpulan benih (Maret-Juni 2012), pembuatan bibit (Juli-Nopember 2012) dan pengujian cekaman (Desember 2012 - Maret 2013).

Tabel 1. Informasi lokasi dari populasi yang diuji
Table 1. Information of location of the investigated populations

Populasi (<i>Population</i>)	Pulau (<i>Island</i>)	Lintang (<i>Latitude</i>)	Bujur (<i>Longitude</i>)	Ketinggian tempat (<i>Altitude</i>) (m dpl)	Jumlah pohon induk (<i>Mother tree</i>)
Cagar Alam Rimbo Panti (RPS)	Sumatera	00°19' U	100°05' T	294	10
Kampar (KRS)	Sumatera	00°18' U	100°57' T	50	14
Jejawi, Ogan Komering Ilir (OKS)	Sumatera	03°12' S	104°51' T	23	20
Pakenjeng, Garut Selatan (GSJ)	Jawa	07°26' S	107°42' T	628	20
Nusa Kambangan (NKJ)	Nusa Kambangan	07°43' S	108°55' T	40	17

Tabel 1. Lanjutan
Table 1. Continued

Populasi (<i>Population</i>)	Pulau (<i>Island</i>)	Lintang (<i>Latitude</i>)	Bujur (<i>Longitude</i>)	Ketinggian tempat (<i>Altitude</i>) (m dpl)	Jumlah pohon induk (<i>Mother tree</i>)
Taman Nasional Alas Purwo (APJ)	Jawa	08°38' S	114°21' T	33	20
Batulicin (BLB)	Kalimantan	03°19' S	115°41' T	47	10
Kapuas Tengah (KTB)	Kalimantan	01°00' S	114°28' T	147	10
Gowa (PGC)	Sulawesi	05°14' S	119°35' T	119	17
Pomalaa (PKC)	Sulawesi	04°03' S	121°39' T	210	20
Batu hijau (BHS)	Sumbawa	08°58' S	116°48' T	53	10
Kuala Kencana, Timika (KKP)	Papua	04°24' S	136°52' T	107	5

B. Rancangan Penelitian

1. Persiapan bibit dan prosedur penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua unit penelitian yang menggunakan rancangan acak lengkap yang disusun secara faktorial (2 perlakuan cekaman x 12 populasi), yaitu:

- Faktor cekaman kekeringan (kontrol dan kapasitas lapang air tanah 50%) dan populasi,
- Faktor cekaman genangan air (kontrol dan genangan air dengan ketinggian 3 - 5 cm) dan populasi.

Untuk setiap populasi, sebanyak 40 pot berukuran diameter 18,5 cm dan tinggi 16 cm ditanami bibit yang digunakan untuk dua unit percobaan, yaitu 20 pot untuk uji cekaman kekeringan dan 20 pot untuk uji cekaman genangan air. Satu bibit merupakan unit ulangan dan setiap perlakuan terdiri dari 10 bibit. Secara keseluruhan untuk satu unit penelitian (2 perlakuan cekaman dan 12 populasi) digunakan 240 pot.

Persemaian bibit jabon putih pada tahap awal dilakukan dengan pemeliharaan secara optimal. Setelah bibit berumur 2 bulan, bibit dipindahkan ke rumah kaca untuk perlakuan cekaman kekeringan. Perlakuan cekaman kekeringan dilakukan setelah bibit berada dalam rumah kaca selama 1 bulan. Penyiraman pada perlakuan cekaman kekeringan dilakukan setiap 2 hari sekali dengan menimbang setiap pot dan menambahkan air sesuai dengan air yang hilang (diupkan melalui evapotranspirasi) sehingga berat media pada kondisi kapasitas lapang 50% dapat dipertahankan. Pada perlakuan cekaman genangan air, pot-pot diletakkan pada kolam dengan ketinggian air dipertahankan 3-5 cm di atas permukaan media bibit. Perlakuan kedua cekaman tersebut dilakukan selama 120 hari. Selama percobaan, rata-rata suhu siang hari dan malam hari adalah 34°C and 29°C dan kelembaban udara 60-75%.

2. Pengukuran parameter pertumbuhan

Tinggi dan diameter bibit diukur pada awal dan akhir penelitian. Pertumbuhan tinggi dan diameter bibit diperoleh dari selisih pengukuran akhir dengan pengukuran awal. Panjang akar diukur dari pertemuan antara akar dan batang hingga ujung akar terpanjang. Berat kering total diukur dengan pengovenan pada suhu 70°C selama 48 jam. Rasio akar pucuk dihitung dengan membagi berat kering akar dengan berat kering pucuk. Luas daun diukur dengan mengambil dua daun pertama dari apikal yang telah berkembang sempurna dengan menggunakan alat *Systronics leaf area meter 211*. Contoh daun yang digunakan berjumlah 20 lembar untuk setiap perlakuan dan setiap populasi. Tebal daun diukur dari 3 contoh daun pertama dari apikal yang telah berkembang sempurna dari 3 bibit berbeda yang diambil secara acak. Pengukuran dilakukan dengan membuat irisan melintang daun dan diletakkan di mikroskop cahaya (Olympus L15643). Untuk setiap contoh daun diambil 3 irisan dari bagian berbeda dan kemudian dirata-ratakan per bibit.

Kadar air relatif (KAR) ditentukan secara gravimetrik. Sampel daun diambil dari tiga bibit dengan mengambil 3 lembar daun per bibit pada bagian tengah kanopi bibit. Dari setiap lembar daun diambil satu bulatan sampel daun diambil menggunakan *cork borer* berdiameter 1 cm. Sampel daun ditimbang untuk memperoleh bobot segar (BS), kemudian dilakukan hidrasi selama 24 jam untuk memperoleh bobot jenuh (BJ). Selanjutnya, sampel daun dioven pada suhu 70°C selama 48 jam untuk mendapatkan bobot kering (BK). KAR diperoleh dengan persamaan (Li *et al.*, 2011):

$$\text{KAR (\%)} = [(BS - BK) / (BJ - BK)] \times 100 \quad (1)$$

Kerapatan stomata diukur dengan menggunakan cat kuku (Sanchez *et al.*, 2011) yang dioleskan pada permukaan bagian bawah

daun yang diambil dari daun pertama yang telah berkembang sempurna dari 6 bibit berbeda pada setiap perlakuan. Kerapatan stomata dihitung dengan menggunakan mikroskop cahaya pada 3 titik permukaan sampel secara acak dengan pembesaran 40 kali. Kerapatan stomata ditentukan dengan membagi jumlah stomata dengan luas bidang pandang (0,19625 mm²).

Kandungan klorofil dan prolina ditentukan pada daun kedua dari apikal. Klorofil dianalisis menggunakan metode *Lichtenthaler* (1987) dengan mengekstrak 0,025 g daun segar per ulangan menggunakan nitrogen cair. Klorofil diukur pada panjang gelombang 663 dan 647 dengan menggunakan spektrofotometer (UV-1201, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japan). Kandungan prolina ditentukan berdasarkan metode *Bates* (1973). Sebanyak 0,5 g daun diekstrak dengan menambahkan 10 ml of 3% *aqueous sulfosalicylic acid*, kemudian disimpan pada suhu -20°C. Ekstrak tersebut disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 10 menit, kemudian 2 ml filtrate dikombinasikan dengan masing-masing 2 ml *acid-ninhydrin reagent* dan *glacial acetic acid* dalam tabung uji dan dipanaskan dalam air selama 1 jam pada suhu 100°C. Reaksi dihentikan dengan menyimpannya dalam es. Sebanyak 4 ml *toulen* dicampurkan ke dalam tabung dan kandungan prolina dilihat pada 520 nm dengan menggunakan Hitachi U-3900H spectrophotometer dan dinyatakan dalam mikrogram per gram per unit berat basah yang menggunakan standar prolina (L-Proline, Sigma-Aldrich, Inc., MO, USA).

3. Analisis Data

Model matematis dari rancangan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (2)$$

Keterangan :

Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada faktor cekaman ke i dan faktor populasi ke j pada ulangan ke k

μ = Nilai tengah populasi

A_i = Pengaruh dari faktor cekaman (A) ke-i

B_j = Pengaruh dari faktor populasi (B) ke-j

AB_{ij} = Pengaruh interaksi faktor cekaman ke i dan faktor populasi ke j

ϵ_{ijk} = Galat pada faktor cekaman ke i dan faktor populasi ke j pada ulangan ke k

Analisis keragaman dan koefisien korelasi sederhana (*Pearson*) digunakan untuk menghitung perbedaan karakter bibit antar

populasi dan hubungan antar karakter yang diukur. Heritabilitas dalam arti luas (H^2_{BS}) dihitung dengan menggunakan formulasi sebagai berikut (Burton dan Devane, 1953; Zheng *et al.*, 2009):

$$\begin{aligned} H^2_{BS} &= KG/(KG+KL) \\ KG &= (MSG-MSE)/r \\ KL &= MSE \end{aligned} \quad (3)$$

Keterangan:

KG = Ragam genetik,

KL = Ragam lingkungan,

MSG = Kuadrat tengah populasi,

MSE = Kuadrat tengah galat,

r = Jumlah ulangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Analisis ragam pada percobaan cekaman kekeringan menunjukkan bahwa populasi berpengaruh nyata terhadap hampir semua karakter bibit, kecuali pada kadar air relatif daun. Kuadrat tengah faktor cekaman juga menunjukkan nilai yang nyata kecuali untuk karakter kerapatan stomata. Interaksi populasi dan perlakuan cekaman juga berpengaruh nyata kecuali untuk beberapa karakter seperti diameter pangkal batang, panjang akar, kadar air relatif, dan kadungan klorofil (A, B, dan totalnya) (Tabel 2). Pada cekaman genangan air, populasi berpengaruh nyata terhadap semua karakter bibit kecuali pada rasio akar pucuk. Faktor cekaman memberikan pengaruh nyata terhadap karakter bibit, kecuali pada kadar air relatif daun, sedangkan untuk interaksi populasi dan cekaman hampir semuanya tidak berpengaruh nyata kecuali pada karakter tinggi bibit dan kerapatan stomata (Tabel 3). Pada kondisi kontrol, pertumbuhan bibit terbaik ditunjukkan oleh populasi Kuala Kencana (KKP), sedangkan pada kondisi cekaman genangan, populasi Kampar (KRS) memiliki pertumbuhan yang lebih baik, yang diikuti oleh populasi Gowa. Pada kondisi cekaman kekeringan, populasi Gowa (PGC), Nusa Kambangan (NKJ) dan Pomalaa (PKC) memiliki pertumbuhan yang relatif lebih baik (Gambar 1).

Cekaman kekeringan menurunkan pertumbuhan bibit dan karakter bibit, kecuali rasio akar pucuk, tebal daun dan kandungan prolina yang mengalami kenaikan. Pada cekaman genangan air, sebagian besar karakter juga mengalami penurunan kecuali pada diameter pangkal batang, tebal daun, kerapatan stomata dan kandungan prolina yang meningkat dibandingkan dengan kontrol (Tabel 4).

Tabel 2. Kuadrat tengah 12 populasi jabon putih pada perlakuan cekaman kekeringan untuk beberapa karakter pertumbuhan bibit

Table 2. Mean squares of 12 populations in drought stress for various traits of seedling growth

Karakter bibit (Seedling characters)	Populasi (Population)	Cekaman kekeringan (Drought stress)	Interaksi (Interaction)	Galat (Error)
TB	321,773**	14842,101**	126,233**	18,071
DPB	2,532**	418,543**	0,662ns	1,023
BKT	35,200**	1251,034**	13,278**	0,833
PA	527,968**	1671,383*	115,345ns	127,919
RAP	0,105**	6,096**	0,102**	0,036
LD	13567,184**	426040,496**	2886,829**	1160,842
TD	1121,130**	23868,743**	836,670**	67,443
KAR	25,276ns	2600,251**	47,261ns	27,570
KS	17963,207**	0,723ns	15323,540**	5174,207
KLA	0,075**	3,873**	0,023ns	0,018
KLB	0,016**	0,673**	0,007ns	0,005
TKL	0,158**	7,533**	0,046ns	0,042
PRO	0,001**	0,002**	0,001**	0,000

Keterangan: TB = tinggi bibit, DPB = diameter pangkal bibit, BKT = berat kering total, RAP = rasio pucuk akar, LD = luas daun, KAR = kadar air relatif, KS = kerapatan stomata, KLA = klorofil A, KLB = klorofil B, TKL = total klorofil, PRO = prolina, ** = nyata pada 1%, * = nyata pada 5%, ns = tidak nyata, interaksi = interaksi antara populasi dan cekaman

Remarks: TB = seedling height, DPB = root collar diameter, BKT = total biomass, RAP = top-root ratio, LD = leaf area, KAR = relative water content, KS=stomatal density, KLA =chlorophyll A, KLB = chlorophyll B, TKL = total chlorophyll, PRO = proline, **= significant at 1%, *=significant at 5%, ns= non significant, interaction = population between interaction and stress

Tabel 3. Varian dari 12 populasi jabon putih pada perlakuan cekaman genangan air untuk beberapa karakter pertumbuhan bibit

Table 3. Variance of 12 populations in waterlogging stress for various traits of seedling growth

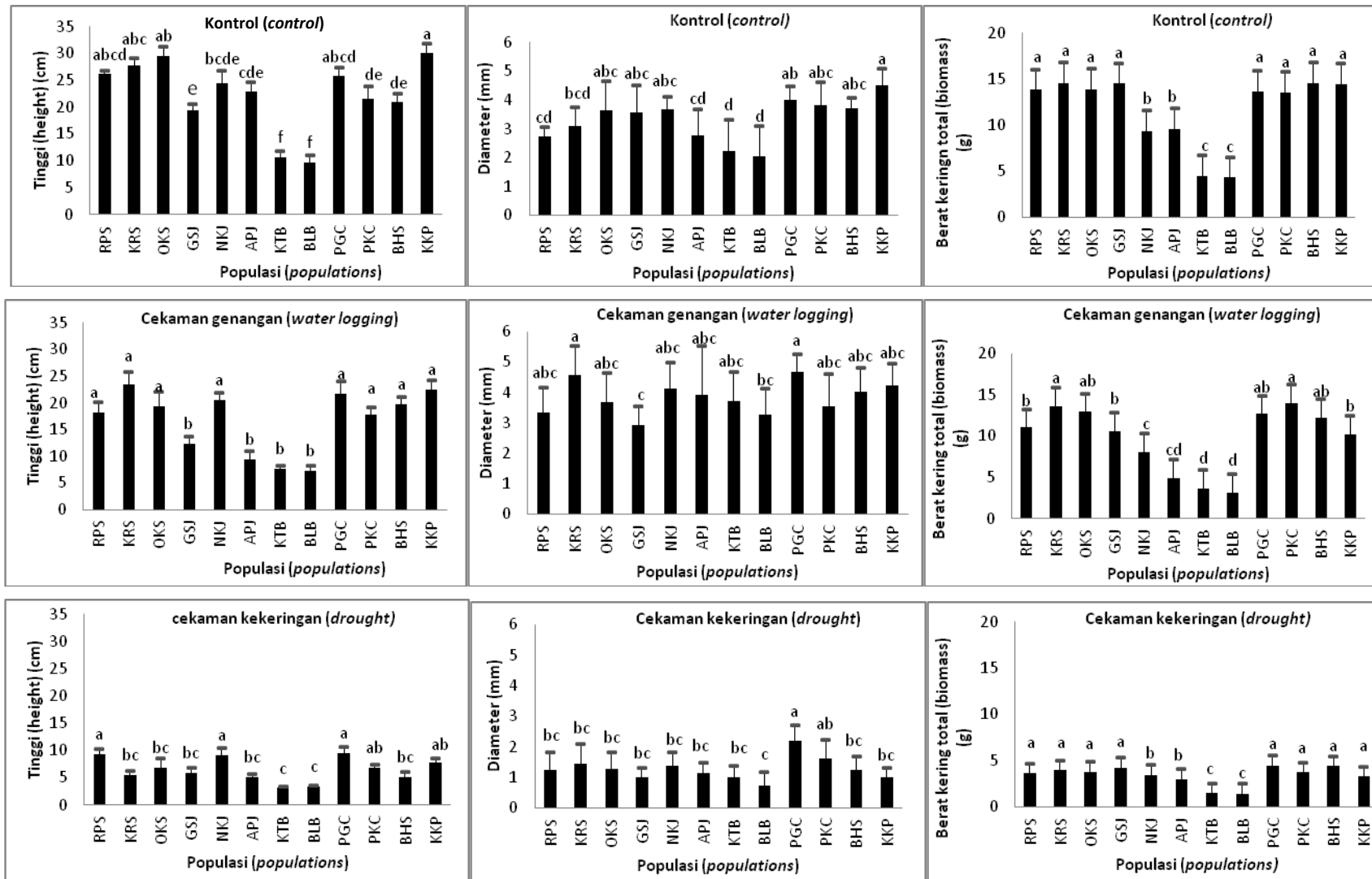
Karakter bibit (seedling characters)	Populasi (population)	Cekaman genangan (waterlogging stress)	Interaksi (Interaction)	Galat (Error)
TB	721,736**	1970,547**	63,229 *	28,257
DPB	5,682**	16,313**	2,551ns	1,426
BKT	87,262**	71,617**	3,836ns	3,742
PA	284,859**	4084,573**	57,888ns	100,007
RAP	0,014ns	0,071*	0,008ns	0,011
LD	18638,802**	197379,969**	1391,531ns	1353,646
TD	495,271**	23563,922**	570,370**	23,688
KAR	65,557*	45,364ns	35,395ns	27,556
KS	28582,572**	382240,275**	12947,699**	4410,277
KLA	0,108**	3,931**	0,042ns	0,021
KLB	0,018**	0,645**	0,007ns	0,006
TKL	0,215**	7,476**	0,072ns	0,051
PRO	0,003**	0,152**	0,001**	0,000

Keterangan: Lihat Tabel 2 untuk keterangan karakter bibit dan notasi statistik

Remarks: See Table 2 for seedling characters information and statistical marks

Pendugaan heritabilitas pada beberapa karakter seperti tinggi bibit, berat kering total dan luas daun menunjukkan nilai yang tinggi baik dalam kondisi normal maupun cekaman. Namun tinggi bibit, diameter pangkal batang, berat kering dan kerapatan stomata mempunyai heritabilitas yang lebih rendah pada kondisi cekaman. Sebaliknya untuk panjang akar, rasio akar pucuk, luas daun, kandungan klorofil dan prolina, nilai heritabilitasnya lebih tinggi pada kondisi

cekaman. Heritabilitas untuk karakter tinggi bibit, berat kering total, kadar air relatif, tebal daun, kerapatan stomata, klorofil A, klorofil B, total klorofil dan prolina cenderung lebih tinggi pada kondisi cekaman genangan air dibandingkan dengan nilai heritabilitas karakter tersebut pada kondisi cekaman kekeringan. Untuk panjang akar, rasio pucuk akar dan luas daun cenderung lebih tinggi pada kondisi cekaman kekeringan (Tabel 4).



Keterangan: Lihat Tabel 1 untuk singkatan populasi, huruf yang sama di atas grafik batang menunjukkan nilai parameter bibit yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan.

Remarks: See Tabel 1 for population abbreviation, the same letter upper the bar graphic shows the parameter values that are not significantly different at 95 % confident level of Duncan's multiple range test.

Gambar 1. Perbandingan pertumbuhan bibit jabon putih antar populasi pada kondisi kontrol, kekeringan dan genangan air.
Figure 1. Growth comparison on the white jabon seedling among populations in the control, drought and waterlogging conditions.

Tabel 4. Nilai kisaran, rata-rata, persen penurunan, dan heritabilitas dalam arti luas (H^2_{BS}) pada perlakuan cekaman kekeringan dan genangan air terhadap kontrol
Table 4. Range, mean, percentage of decrease, and broad sense heritability (H^2_{BS}) under drought and waterlogging compared with control conditions

Karakter (Characters)	Perlakuan (Treatments)	Kisaran (Range)	Rata-rata (Mean) \pm S.E	% Penurunan terhadap kontrol (% Decrease to control)	H^2_{BS}
TB	Kontrol (Control)	9,65-30,01	22,37 \pm 0,73	-	0,93
	Kekeringan (Drought)	3,11-9,58	6,46 \pm 0,32	70,60	0,80
	Genangan air (Waterlogging)	7,19-23,37	16,64 \pm 0,70	26,76	0,91
DPB	Kontrol (Control)	2,06-4,50	3,32 \pm 0,11	-	0,78
	Kekeringan (Drought)	0,84-2,19	1,27 \pm 0,06	61,57	0,63
	Genangan air (Waterlogging)	2,94-4,69	3,83 \pm 0,12	-15,36	0,38
BKT	Kontrol (Control)	4,28-14,58	11,72 \pm 0,64	-	0,97
	Kekeringan (Drought)	1,41-4,45	3,38 \pm 0,255	71,10	0,72
	Genangan air (Waterlogging)	3,11-14,01	9,73 \pm 0,72	17,01	0,85
PA	Kontrol (Control)	36,96-62,00	49,12 \pm 1,96	-	0,20
	Kekeringan (Drought)	17,73-54,90	39,48 \pm 2,57	19,62	0,73
	Genangan air (Waterlogging)	22,67-45,67	34,05 \pm 1,72	30,67	0,60
RAP	Kontrol (Control)	0,58-0,79	0,678 \pm 0,01	-	0,01
	Kekeringan (Drought)	0,89-1,69	1,260 \pm 0,03	-85,84	0,86
	Genangan air (Waterlogging)	0,52-0,73	0,615 \pm 0,02	9,29	0,07
LD	Kontrol (Control)	82,07-159,90	129,239 \pm 3,11	-	0,83
	Kekeringan (Drought)	40,52-94,02	69,654 \pm 1,63	46,10	0,91
	Genangan air (Waterlogging)	46,79-120,43	88,68 \pm 2,21	31,38	0,90
TD	Kontrol (Control)	100,59-156,51	125,78 \pm 2,51	-	0,95
	Kekeringan (Drought)	118,40-197,62	162,19 \pm 2,51	-28,94	0,92
	Genangan air (Waterlogging)	137,48-185,49	161,96 \pm 1,98	-28,76	0,96
KAR	Kontrol (Control)	74,72-85,45	80,29 \pm 0,889	-	0,45
	Kekeringan (Drought)	61,20-72,03	68,27 \pm 0,068	14,97	0,04
	Genangan air (Waterlogging)	72,61-85,68	78,70 \pm 0,945	1,98	0,45
KS	Kontrol (Control)	351,59-517,19	448,76 \pm 8,86	-	0,82
	Kekeringan (Drought)	365,18-520,59	448,62 \pm 10,70	0,03	0,52
	Genangan air (Waterlogging)	463,39-656,47	551,80 \pm 10,69	-22,96	0,76
KI A	Kontrol (Control)	1,09-1,61	1,29 \pm 0,03	-	0,64
	Kekeringan (Drought)	0,55-0,99	0,82 \pm 0,02	35,94	0,64
	Genangan air (Waterlogging)	0,59-1,17	0,82 \pm 0,03	36,25	0,75
KI B	Kontrol (Control)	0,45-0,72	0,53 \pm 0,01	-	0,45
	Kekeringan (Drought)	0,21-0,43	0,34 \pm 0,01	36,19	0,70
	Genangan air (Waterlogging)	0,26-0,46	0,34 \pm 0,01	35,26	0,61
TKI	Kontrol (Control)	1,54-2,34	1,81 \pm 0,04	-	0,53
	Kekeringan (Drought)	0,76-1,39	1,16 \pm 0,05	35,67	0,65
	Genangan air (waterlogging)	0,85-1,64	1,17 \pm 0,03	35,50	0,72
PRO	Kontrol (Control)	0,01-0,09	0,036 \pm 0,003	-	0,75
	Kekeringan (Drought)	0,03-0,17	0,127 \pm 0,005	-256,42	0,92
	Genangan air (Waterlogging)	0,008-0,101	0,046 \pm 0,004	-30,45	0,96

Keterangan: S.E = standar error, H^2_{BS} = heritabilitas dalam arti luas, lihat Tabel 2 untuk keterangan karakter bibit

Remarks: S.E = standard error, H^2_{BS} = broad sense heritability, see Table 2 for seedling characters information

Pada kontrol menunjukkan adanya korelasi yang nyata antar tinggi dengan diameter, berat kering total dan luas daun. Korelasi positif dan tinggi juga terjadi antara panjang akar dengan berat kering total dan antar luas daun dengan diameter, berat kering

total dan panjang akar. Karakter lainnya seperti kadar air relatif berkorelasi positif dengan berat kering total dan panjang akar, sedangkan kandungan klorofil hanya berkorelasi dengan komponen-komponen klorofil lainnya (Tabel 5).

Tabel 5. Koefisien korelasi antar karakter bibit 12 populasi jabon putih pada kondisi kontrol
Table 5. Correlation coefficients of seedling characters among 12 populations under control conditions

	TB	DPB	BKT	PA	RAP	LD	TD	KAR	KS	KLA	KLB	TKL
DPB	0,701*											
BKT	0,801**	0,744**										
PA	0,406	0,556	0,767**									
RAP	-0,170	-0,173	-0,126	-0,016								
LD	0,767**	0,744**	0,804**	0,635*	-0,167							
TD	0,383	0,436	0,400	0,026	-0,290	0,187						
KAR	0,370	0,264	0,601*	0,689*	0,091	0,363	0,148					
KS	-0,357	0,220	-0,078	0,014	-0,160	-0,010	0,137	-0,276				
KLA	0,337	0,362	0,004	-0,028	0,341	0,049	0,014	-0,180	-0,067			
KLB	0,193	0,205	-0,126	-0,124	0,315	0,015	0,130	-0,179	0,116	0,854**		
TKL	0,220	0,212	-0,087	-0,058	0,458	0,012	0,250	-0,158	-0,020	0,936**	0,961**	
PRO	-0,187	0,048	-0,049	-0,193	0,219	-0,273	0,088	-0,124	-0,064	-0,069	-0,339	-0,216

Keterangan: ** = nyata pada 1%, *=nyata pada 5%, lihat Tabel 2 untuk keterangan karakter bibit

Remarks: ** = significant at 1%, *= significant at 5%, see Table 2 for seedling characters information

Tabel 6. Koefisien korelasi antar karakter bibit jabon putih pada kondisi cekaman kekeringan (diagonal atas) dan genangan air (diagonal bawah)

Table 6. Simple correlation coefficients of various characters of white jabon seedlings under drought (upper diagonal) and waterlogging (lower diagonal) stresses conditions

	TB	DPB	BKT	PA	RAP	LD	TD	KAR	KS	KLA	KLB	TKL	PRO
TB		0,926**	0,825**	0,425	0,164	0,824**	0,575	-0,213	-0,342	0,154	0,183	0,164	0,594*
DPB	0,926**		0,768**	0,224	0,264	0,868**	0,396	-0,315	-0,252	0,164	0,104	0,150	0,872**
BKT	0,624*	0,768**		0,696*	0,407	0,859**	0,572	-0,074	-0,196	0,056	0,134	0,077	0,650*
PA	0,435	0,224	0,764**		0,272	0,467	0,443	-0,087	-0,095	-0,119	0,042	-0,076	0,278
RAP	0,430	0,264	0,516	0,618*		0,328	0,678*	0,141	0,131	0,516	0,532	0,525	0,599*
LD	0,522	0,868**	0,794**	0,731**	0,571		0,372	-0,223	-0,037	0,089	0,070	0,085	0,084
TD	-0,652*	-0,509	-0,538	-0,097	0,110	-0,529		0,880**	0,352	-0,604*	-0,746**	-0,642*	0,369
KAR	-0,347	-0,315	-0,112	0,070	0,117	-0,023	-0,280		0,153	0,203	0,340	0,241	0,535
KS	0,724**	-0,252	0,243	0,178	0,199	0,216	0,236	-0,578*		-0,275	-0,305	-0,285	0,366
KLA	0,031	0,164	-0,336	-0,089	-0,186	-0,324	-0,227	0,207	0,128		0,962**	0,997**	-0,101
KLB	-0,160	0,104	-0,546	-0,274	-0,352	-0,450	-0,307	0,224	0,082	0,926**		0,979**	-0,266
TKL	-0,012	0,150	-0,390	-0,139	-0,237	-0,363	-0,250	0,204	0,126	0,996**	0,956**		-0,143
PRO	0,223	0,277	0,000	-0,115	-0,128	-0,096	0,224	-0,133	-0,142	-0,093	-0,154	-0,109	

Keterangan: ** = nyata pada 1%, *=nyata pada 5%, lihat Tabel 2 untuk keterangan karakter bibi

Remarks: ** = significant at 1%), *= significant at 5%, see Table 2 for seedling characters information)

Pada kondisi cekaman kekeringan, korelasi antar karakter hampir sama dengan kontrol. Tinggi berkorelasi positif dengan diameter, berat kering total, luas daun dan kandungan prolina. Diameter juga berkorelasi positif dengan berat kering total, luas daun dan kandungan prolina. Panjang akar berkorelasi positif dengan berat kering total. Karakter

tebal daun mempunyai korelasi positif yang nyata dengan kadar air relatif daun dan berkorelasi negatif dengan kandungan klorofil (A, B dan totalnya). Prolina selain berkorelasi dengan tinggi dan diameter bibit, juga berkorelasi dengan rasio akar pucuk (Tabel 6, diagonal atas). Perlakuan cekaman genangan air menghasilkan beberapa korelasi nyata

antar karakter bibit, seperti tinggi bibit dengan diameter, berat kering dan kerapatan stomata. Luas daun juga memberikan korelasi positif yang nyata dengan karakter diameter, berat kering total dan panjang akar. Kerapatan stomata berkorelasi negatif dengan kadar air relatif daun. Kandungan klorofil A hanya berkorelasi dengan komponen klorofil lainnya (klorofil B dan totalnya) dan tidak menunjukkan adanya korelasi dengan karakter pertumbuhan bibit (Tabel 6, diagonal bawah).

B. PEMBAHASAN

Populasi dan perlakuan cekaman secara umum memengaruhi hampir semua karakter pertumbuhan bibit, seperti tinggi, diameter, berat kering total, panjang akar dan luas daun dan karakter bibit lainnya seperti kadar air relatif daun, kerapatan stomata dan kandungan klorofil. Interaksi pada beberapa karakter bibit menunjukkan nilai yang tidak nyata meskipun kedua faktor tunggalnya (populasi dan perlakuan cekaman) berpengaruh nyata, seperti pada Tabel 2 (klorofil A, klorofil B dan total klorofil) dan Tabel 3 (diameter, berat kering total, panjang akar, klorofil A, klorofil B dan total klorofil). Bila interaksi tidak nyata maka hal ini berarti bahwa faktor-faktor tunggal bertindak bebas satu sama lainnya, sehingga meskipun faktor tunggalnya berpengaruh nyata ada kemungkinan interaksinya tidak nyata. Pada kondisi ini pengaruh suatu faktor sama pada semua taraf terhadap faktor lainnya atau selisih respons terhadap faktor populasi sama untuk populasi kontrol dan populasi yang diberi perlakuan (cekaman). Tidak adanya interaksi ini karena tidak ada perubahan arah atau besarnya respons antara kedua faktor tersebut walaupun masing-masing faktor tunggalnya berpengaruh nyata (Steel dan Torrie, 1993).

Perbedaan respons pertumbuhan yang nyata dari sebagian besar karakter bibit pada tingkat populasi menunjukkan adanya keragaman genetik antar populasi (Rawat dan Bakshi, 2011). Cekaman kekeringan pada beberapa penelitian sebelumnya juga berpengaruh terhadap pertumbuhan beberapa jenis tanaman seperti pada *Eucalyptus* (Gindaba et al., 2005), *Swietenia macrophylla* (Cordeiro et al., 2009), *Khaya senegalensis* (Ky-Dembele et al., 2010), *Betula pendula* dan *Populus tremula* (Possen et al., 2011). Begitu juga dengan cekaman genangan air yang telah banyak dilaporkan pengaruhnya terhadap penurunan pertumbuhan seperti pada

Distylium chinense (Xiaoling et al., 2011) dan *Alnus subcordata* (Ghanbary et al., 2012).

Penurunan pertumbuhan bibit jabon putih lebih besar pada kondisi cekaman kekeringan dari pada penurunan pada cekaman genangan air. Hal ini diduga karena jabon putih lebih adaptif terhadap genangan air sesuai dengan habitat alaminya yang banyak ditemukan pada daerah endapan yang lembab di sepanjang sempadan sungai (Krisnawati et al., 2011). Bahkan untuk diameter pangkal batang, bibit jabon putih yang tergenang air memiliki diameter yang lebih besar. Menurut Kozłowski (1997), genangan air sering berpengaruh terhadap produksi xilem dan phloem. Pada bibit *Pinus halepensis*, *P. densiflora* dan *Cryptomeria japonica*, tanah yang tergenang dapat meningkatkan pertumbuhan diameter batang sebagai hasil dari peningkatan ketebalan kulit dan hipertrofi yang kemudian menyebabkan peningkatan xilem. Peningkatan ketebalan kulit batang berhubungan dengan proliferasi yang dipercepat pada sel-sel parekim dan perluasan ruang antar sel dalam phloem.

Pada cekaman genangan air, rasio akar pucuk jabon putih mengalami penurunan, sebaliknya pada kondisi kekeringan rasio akar pucuk mengalami peningkatan. Pada kondisi genangan air, kondisi tanah mengalami kekurangan oksigen yang berpengaruh terhadap pertumbuhan akar (Kozłowski, 1997; Xiaoling et al., 2011). Akar primer pada bibit jabon putih pada cekaman genangan air berwarna kehitaman dan tidak berkembang. Menurut Kozłowski (1997), genangan air meningkatkan kematian akar, yang berpengaruh terhadap formasi dan percabangan akar, dan pertumbuhan akar yang ada. Sebagai mekanisme adaptasi terhadap cekaman genangan air, pada pangkal batang bibit jabon terbentuk akar adventif dan lentisel dalam jumlah yang cukup banyak (Gambar 2) yang berfungsi untuk meningkatkan pengambilan oksigen untuk sistem perakaran (Glenz et al., 2006; Iwanaga dan Yamamoto, 2008). Pada kondisi cekaman kekeringan, akumulasi biomasa bagian atas tanaman tidak mengalami peningkatan secara normal akibat dari berkurangnya jumlah daun, luas daun dan pertumbuhan secara umum, namun rasio akar pucuknya akan meningkat (Susiluoto dan Berninger, 2007). Menurut Li et al. (2011), rasio akar pucuk meningkat disebabkan oleh bagian akar lebih tahan terhadap penghambatan pertumbuhan oleh potensial air yang rendah daripada bagian atas tanaman.

Kerapatan stomata memiliki kecenderungan yang berlawanan dengan rasio akar pucuk, kerapatan stomata berkurang pada kondisi cekaman kekeringan dan meningkat pada kondisi cekaman genangan air. Hasil yang sama dilaporkan Sciutti dan Morini (1995) bahwa peningkatan kelembaban mengakibatkan meningkatnya kerapatan stomata. Pada kondisi cekaman kekeringan, kerapatan stomata berkurang sebagai mekanisme daun untuk mengurangi transpirasi. Menurut Lake dan Wood (2008), kerapatan stomata berkurang sejalan dengan meningkatnya konsentrasi ABA, dan juga dengan meningkatnya transpirasi. Konsentrasi prolina pada daun bibit jabon putih juga meningkat baik pada kondisi cekaman genangan air maupun kekeringan. Prolina memegang peran penting dalam keseimbangan osmosis dan memainkan peran perlindungan terhadap tanaman dalam hubungannya dengan cekaman lingkungan (Ahmed *et al.*, 2009). Prolina juga berperan penting dalam stabilisasi protein dan membran seluler dalam sel tanaman (Farooq *et al.*, 2009; Singh dan Reddy, 2011).

Secara umum, populasi Kampar dan Gowa memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi pada kondisi cekaman genangan air, sedangkan pada kondisi cekaman kekeringan, populasi Gowa, Nusa Kambangan dan Pomalaa memiliki pertumbuhan yang relatif lebih baik. Perbedaan pertumbuhan ini menunjukkan adanya perbedaan genetik dalam hubungannya dengan respon morfofisiologinya terhadap cekaman kekeringan dan genangan air.

Nilai heritabilitas morfofisiologi bibit dalam kondisi kontrol dan cekaman berkisar antara 0,01 (rendah) hingga 0,97 (tinggi). Heritabilitas untuk tinggi, diameter, berat kering total, dan kerapatan stomata mengalami penurunan pada kondisi cekaman baik kekeringan maupun genangan air, sedangkan panjang akar, rasio akar pucuk, lebar daun, kandungan klorofil dan prolina mengalami kenaikan pada kondisi cekaman. Tinggi bibit, berat kering total, lebar daun, tebal daun, kerapatan stomata dan kandungan prolina mempunyai nilai heritabilitas yang relatif tinggi baik pada kondisi kontrol, cekaman kekeringan dan cekaman genangan air. Nilai heritabilitas yang lebih tinggi pada suatu karakter bermanfaat untuk seleksi sifat-sifat tertentu yang diharapkan dari karakter-karakter yang diuji (Mehri *et al.*, 2009). Bagaimanapun seleksi harus dilakukan secara

hati-hati sebab nilai heritabilitas tersebut dalam arti luas. Menurut Khan *et al.* (2010), studi korelasi antar karakter bibit mungkin dapat meningkatkan efisiensi seleksi.

Nilai korelasi yang positif dan nyata mengindikasikan seleksi tidak langsung terhadap karakter-karakter berbeda dapat dilakukan dan memberikan informasi kepada pemulia tentang pentingnya suatu karakter dalam melakukan seleksi yang lebih efisien. Pada kondisi kontrol, karakter tinggi, berat kering total, panjang akar, dan lebar daun berkorelasi positif satu dengan yang lain. Pada kondisi cekaman kekeringan, tinggi, berat kering total dan kandungan prolina saling berkorelasi positif, sedangkan pada kondisi cekaman genangan air, tinggi, berat kering total, panjang akar dan lebar daun mempunyai nilai korelasi yang positif. Karakter-karakter yang saling berkorelasi positif memungkinkan seleksi pada satu karakter bibit dapat meningkatkan kinerja pada karakter bibit lainnya (Khan *et al.*, 2010).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Bibit jabon putih dari populasi Gowa dan Nusa Kambangan lebih toleran atau adaptif pada kondisi cekaman kekeringan, sedangkan populasi Kampar dan Gowa lebih toleran pada kondisi cekaman genangan air. Pada kondisi cekaman kekeringan, karakter tinggi, berat kering total dan kandungan prolina memiliki nilai heritabilitas tinggi dan berkorelasi positif dengan karakter lainnya. Sedangkan pada kondisi cekaman genangan air, karakter tinggi, berat kering total, panjang akar dan lebar daun memiliki nilai heritabilitas tinggi dan saling berkorelasi positif. Dengan demikian masing-masing karakter tersebut dapat dijadikan sebagai indikator dalam seleksi genotipe yang tahan terhadap cekaman kekeringan dan terhadap cekaman genangan air.

B. Saran

Penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan masukan untuk penyusunan pedoman transfer benih jabon putih. Benih dari populasi yang relatif tahan terhadap cekaman kekeringan seperti populasi Gowa dan Nusa Kambangan, ditransfer ke daerah-daerah yang agak kering. Sedangkan benih dari populasi-populasi yang relatif tahan terhadap cekaman genangan air (populasi Kampar dan Gowa) sebaiknya ditransfer ke daerah-daerah yang rawan banjir atau genangan air. Namun demikian penelitian ini masih perlu

dilanjutkan pada tingkat lapang untuk mengetahui korelasi antar umur (*juvenile-mature correlation*), yaitu korelasi antara kinerja bibit saat diberikan perlakuan cekaman di persemaian dan setelah tumbuh menjadi tanaman di tingkat lapang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktur SEAMEO BIOTROP yang memberi bantuan biaya penelitiannya melalui *a research grant* No. 047.20/PSRP/ST-PNLT/III/2012.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed C.B., B.B. Rouina, S. Sensoy, M. Boukhris, and F.B. Abdallah. (2009). Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 67(2), 345-352.
- Bates L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Burton, G.W. and E.W. Devane, (1953). Estimating heritability in tall fascue from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, 45(10), 478-481.
- Chimura, D.J., P.D. Anderson, G.T. Howe, C.A. Harrington, J.E. Halofsky, D.L. Peterson, D.C. Shaw, and J.B. St. Clair. (2011). Forest responses to climate change in the northwestern United States: Ecophysiological foundations for adaptive management. *Forest Ecology and Management*, 261, 1121-1142.
- Cordeiro, Y.E.M., H.A. Pinheiro, B.G. dos Santos Filho, S.S. Correa, J.R.R. de Silva and M.B. Dias-Filho. (2009). Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest Ecology and Management*, 258, 1449-1455.
- Djazuli, M. (2010). Pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan beberapa karakter morfo-fisiologis tanaman nilam. *Buletin Littro*, 21(1), 8-17.
- Duan, B., Y. Yang, Y. Lu, H. Korpelainen, F. Berninger and C. Li. (2007). Interactions between water deficit, ABA, and provenances in *Picea asperata*. *Journal of Experimental Botany*, 58(11), 3025-3036.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185-212.
- Ghanbary, E., M. Tabari, E. Gonzalez and M. Zarafshar. (2012). Morphophysiological responses of *Alnus subcordata* (L.) seedlings to permanent flooding and partial submersion. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(3), 1211-1222.
- Gindaba, J., A. Rozanov and L. Negash. (2005). Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two *Eucalyptus* and three indigenous tree species of Ethiopia under moisture deficit. *Forest Ecology and Management*, 205(1-3), 127-138.
- Glenz, C., R. Schlaepfer, I. Iorgulescu and F. Kienast. (2006). Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. *Forest Ecology and Management*, 235, 1-13.
- Iwanaga, F. and F. Yamamoto. (2008). Effects of flooding depth on growth, morphology and photosynthesis in *Alnus japonica* species. *New Forests*, 35, 1-14.
- 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 Agriculture and Biology*, 11(1), 100-105.
- Kallio M.H., H. Krisnawati, D. Rohadi and M. Kanninen. (2011). Mahogany and kadam planting farmers in South Kalimantan: The link between silvicultural activity and stand quality. *Small-scale Forestry*, 10(1), 115-132.
- Khan, A.B., S.U. Allah and S. Sadique. (2010). Genetic variability and correlation among seedling traits of wheat (*Triticum aestivum*) under water stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2), 247-250.
- Krisnawati H, Kallio M, Kanninen M. (2011). *Anthocephalus cadamba* Miq.: ekologi, silvikultur dan produktivitas. Bogor: Center for International Forestry Research, p 11.
- Konzlowski, T.T. (1997). Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph*, 1, 1-28.
- Ky-Dembele, C., J. Bayala, P. Savadogo, M. Tigabu, P.C. Odén and I.J. Bouslim. (2010). Comparison of growth responses of *Khaya senegalensis* seedlings and stecklings to four irrigation regimes. *Silva Fennica*, 44(5), 787-798.
- Lake, J.A. and F.I. Woodward. (2008). Response of stomatal numbers to CO₂ and humidity: control by transpiration rate and abscisic acid. *New Phytologist*, 179(2), 397-404.
- Li F.L., W.K. Bao and N. Wu. (2011). Morphological, anatomical and physiological responses of *Campylotropis polyantha* (Franch.) Schindl. seedlings to progressive water stress. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 436-443.

- Lichtenthaler H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148C: 350–382.
- Mansur I, and Surahman. (2011). Respon tanaman jabon (*Anthocephalus cadamba*) terhadap pemupukan lanjutan (NPK). *Jurnal Silvikultur Tropika*, 3(1), 71-77.
- Mehri, N., R. Fotovat, J. Saba and F. Jabbari. (2009). Variation in stomatal dimension and densities in tolerant and susceptible wheat cultivars under drought stress. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7(1), 167-170.
- Orwa, C., A. Mutua, R. Kindt, R. Jamnadass and S. Anthony. (2009). Agroforestry tree database: a tree reference and selection guide vers 4.0. http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Anthocephalus_cadamba.pdf. diakses 12 Juli 2013.
- Possen, B.J.H.M., E. Oksanen, M. Rousi, H. Ruhanen, V. Ahonen, A. Tervahauta, J. Heinonen, J. Heiskanen, S. Kärenlampi, and E. Vapaavuori. (2011). Adaptability of birch (*Betula pendula* Roth) and aspen (*Populus tremula* L.) genotypes to different soil moisture conditions. *Forest Ecology and Management* 262(8), 1387–1399.
- Rashidi, M. and K. Seyfi. (2007). Effect of water stress on crop yield and yield components of cantaloupe. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(2), 271-273.
- Rawat, K. and M. Bakshi. (2011). Provenance variation in cone, seed and seedling characteristics in natural populations of *Pinus wallichiana* A.B. Jacks (Blue Pine) in India. *Annals of Forest Research*, 54(1), 39-55.
- Sanchez, A.C. S. de Smedt, N. Haqa and R. Samson. (2011). Variation in baobab seedling morphology and its implications for selecting superior planting material. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 109-117.
- Sciutti, R. and S. Morini. (1995). Water-loss and photosynthesis of plum plantlets is influenced by relative-humidity during rooting in-vitro. *Journal of Horticultural Science*, 70(2), 221-228.
- Singh, S.K. and K.R. Reddy. (2011). Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 105(1), 40-50.
- Steel, R.G.D. dan J.H. Torrie. (1993). *Prinsip dan prosedur statistik, suatu pendekatan biometrik*. Edisi Kedua (terjemahan). Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Susiluoto, S. dan F. Berninger. (2007). Interactions between morphological and physiological drought responses in *Eucalyptus microtheca*. *Silva Fennica*, 41(2), 21–233.
- Soetrisno, K. (1996). Pengaruh kandungan air tanah terhadap pertumbuhan anakan jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq). *Frontir*, 18, 99-109.
- Tim Sintesis Kebijakan Kementerian Pertanian. (2008). Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian, serta strategiantisipasi dan teknologi adaptasi. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 1(2), 138-140.
- Vuokko, R. and A. Otsamo. (1996). Species and provenance selection for plantation forestry on grassland. In *Reforestation: meeting the future industrial wood demand. Proceedings of a workshop held in Jakarta, 30 April-1 May 1996*. Ministry of Forestry of Indonesia and Enso Forest Development Oy Ltd. Jakarta.
- Xiaoling, L., L. Ning, Y. Jin, Y. Fuzhou, Y. Faju and C. Fangqing. (2011). Morphological and photosynthetic responses of riparian plant *Distylium chinense* seedlings to simulated autumn and winter flooding in three Gorges Reservoir Region of the Yangtze River, China. *Acta Ecology Sinica*, 31(1), 31-39.
- Zheng, Y.I., W.B. Sun, Y. Zhou, and D. Coombs. (2009). Variation in seed and seedling traits among natural populations of *Trigonobalanus doichangesis* (A. Camus) Forman (Fagaceae), a rare and endangered plant in Southwest China. *New Forests*, 37, 285-294.