

KERAGAAN PERTUMBUHAN DAN KERAGAMAN GENETIK *ACACIA MANGIUM* WILLD. UMUR 7 TAHUN HASIL IRADIASI SINAR GAMMA (GENERASI M1)

Growth Performance and Genetic Diversity of 7 Years Old Gamma Irradiated Acacia mangium Willd. (M1 Generations)

Eka Perdanawati Yunus¹, Supriyanto², Iskandar Z. Siregar², Soekisman Tjirosemito³, dan Imam Mawardi⁴

¹Mahasiswa pascasarjana PS Silvikultur Tropika, Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB

²Dosen Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB

³Staf Ahli SEAMEO-BIOTROP, Bogor

ABSTRACT

Mutation breeding is a powerful tool to provide novel trait in plants. However their applications in forestry are still limited. Acacia mangium is a major commercial plantation species in Indonesia and other Southeast Asia countries. Therefore, we were trying to improve its productivity. In 2008, 1200 A. mangium seeds had been irradiated by gamma ray ¹³⁷Cs. There were 98 trees of M1 generations of 7 years old plantations that survive. Most of them are sterile with high clear bole and natural pruning, small branch with good growth angle, and almost straight cylindrical stem form. Based on growth performance, there were at least 29 M1 superior trees. During the observations, unexpected diversity in the bark colours with high and positive correlation to growth performance were discovered. Using microsatellite markers, the use of irradiations techniques provide surplus of heterozygosity with high value of Shannon's Information Index. Dendrogram showed that almost all of M1 generation formed separate cluster from M0 generation with 0.71 genetic distance.

Key words: mutation breeding, Acacia mangium, microsatellite

PENDAHULUAN

A. mangium merupakan jenis penting yang ditanam pada IUPHHK-HT (Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu – Hutan Tanaman) di Indonesia dan negara Asia Tenggara lainnya (Arisman & Hardiyanto 2006). Tanaman cepat tumbuh ini menyebar alami dari Maluku sampai Papua (Awang & Taylor 1993; CABI 2014; National Research Council 1983). *A. mangium* memiliki daya adaptasi yang sangat tinggi sehingga dapat tumbuh pada lahan-lahan marginal (Adinugraha *et al.* 2007). Tingginya daya adaptasi serta produktivitasnya menyebabkan *A. mangium* mulai diintroduksi sebagai spesies eksotik pada tahun 1979 (Arisman & Hardiyanto 2006). Cepatnya proses regenerasi menyebabkan *A. mangium* dapat menyebar dengan cepat di luar habitat alaminya. Beberapa tahun kebelakang, berkembang wacana di kalangan rimbawan bahwa *A. mangium* telah menginvasi beberapa wilayah melalui penyebaran bijinya. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi khusus untuk menekan laju penyebarannya.

Sekitar 40% dari total luas IUPHHK-HT menggunakan *A. mangium* sebagai tanaman utama (Arisman & Hardiyanto 2006). Oleh karena itu, berbagai upaya untuk meningkatkan produksi *A. mangium* telah dilakukan. Namun, nilai keragaman genetik *A. mangium* yang diperlukan untuk pemuliaan pohon masih diduga kurang. Moran *et al.* (1989) melaporkan bahwa nilai keragaman genetik (*expected*

heterozygosity) *A. mangium* yang menyebar alami dari Indonesia, Papua Nugini dan Australia hanya memiliki rata-rata 0.017 dengan menggunakan penanda isoenzim, sedangkan dengan menggunakan penanda mikrosatelit, *A. mangium* yang diteliti oleh Yuskianti dan Isoda (2012) di Kebun Benih Wonogiri memiliki tingkat keragaman sedang yakni 0.623.

Teknik pemuliaan pohon secara konvensional dan hibridisasi telah dilakukan untuk menghasilkan benih dan bibit unggul *A. mangium*. Untuk meningkatkan keragaman dan memunculkan karakter-karakter baru yang bernilai ekonomi penting, dapat dilakukan modifikasi terhadap populasi dasarnya. Strategi pemuliaan pohon yang biasa dilakukan untuk memodifikasi tanaman adalah mutasi dan transgenik.

Teknik transgenik memerlukan biaya yang cukup mahal. Selain itu, transgenik menghasilkan *Genetically Modified Organism* (GMO) yang masih diperdebatkan penggunaannya karena dianggap berbahaya bagi manusia dan lingkungan.

Sekitar 70% dari kultivar yang sukses di dunia diperoleh dari mutagenesis sinar gamma (Acquaah 2012). Teknologi ini lebih aman digunakan karena tidak menghasilkan GMO. Teknologi induksi mutasi telah menghasilkan banyak varietas baru terutama pada komoditas pangan, bunga, pakan dan buah (Shu *et al.* 2012). Namun teknologi ini masih sedikit digunakan pada pohon kehutanan. Di Indonesia, penerapan sinar gamma pada tanaman kehutanan sebagian besar baru

menargetkan peningkatan perkecambahan dan pertumbuhan bibit, serta peningkatan daya simpan benih (Zanzibar & Sudrajat c2015). Varietas baru pohon kehutanan produksi LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) yang berasal dari mutagenesis sinar gamma adalah Jati Platinum yang memiliki pertumbuhan dan ukuran lebih besar daripada Jati konvensional (Wiji *et al.* 2014).

Pada tahun 2008, Gijarto (2008) telah melakukan iradiasi pada 1200 biji *A. mangium* menggunakan sinar gamma dengan radiator ^{137}Cs . *A. mangium* tersebut diiradiasi dengan dosis 50 sampai 250 Gy untuk meningkatkan peluang terjadinya mutasi. Biji yang telah diiradiasi kemudian dikecambahkan dan ditanam di Kebun Percobaan SEAMEO BIOTROP (*Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology*). Pada saat ini, terdapat 98 pohon mutan *A. mangium* yang dapat bertahan hidup sampai umur 7 tahun pada tahun 2015.

Iradiasi menghasilkan mutan *A. mangium* yang memiliki berbagai karakter acak. Karakter-karakter tersebut dapat diseleksi sesuai dengan tujuan yang dikehendaki. Karakter fenotipe acak yang dihasilkan dari proses mutagenesis juga dapat dikaitkan dengan produktivitas *A. mangium* sehingga dapat membantu mempermudah proses penyeleksian. Kayu *Acacia mangium* Willd. dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pulp dan kertas, papan partikel, krat, kayu gergajian, *molding*, mebel, vinir dan kayu bakar (Krisnawati *et al.* 2011; Nirsatmanto *et al.* 2013; Susanto 2014). Daunnya dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak (Krisnawati *et al.* 2011).

Iradiasi yang telah dilakukan pada *A. mangium* menghasilkan mutan dengan karakter acak, sehingga perlu dilakukan penelitian dengan tujuan untuk i) menganalisis pertumbuhan *A. mangium* generasi M1 dan ii) menduga keragaman genetik *A. mangium* generasi M1 dengan menggunakan penanda mikrosatelit.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan pada tegakan *A. mangium* hasil iradiasi sinar gamma berumur 7 tahun di kebun percobaan SEAMEO BIOTROP. Analisis variasi genetik dilakukan di Laboratorium Genetika Hutan dan Kehutanan Molekuler Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan IPB. Penelitian dilakukan pada bulan Februari 2015 sampai Maret 2016.

Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan 98 pohon *A. mangium* berumur 7 tahun yang benihnya telah diiradiasi dengan sinar gamma ^{137}Cs dengan dosis 250 gray. Benih yang telah diiradiasi ini kemudian ditanam secara acak dan pohonnya disebut sebagai generasi M1. Sebagai pembanding digunakan 1 pohon yang tidak diiradiasi dengan umur yang sama di Kebun Percobaan SEAMEO BIOTROP. Pohon ini kemudian disebut sebagai generasi M0.

Keragaan tegakan diukur dengan menggunakan *phi band*, *hypsonometer*, tabel skor pohon plus, dan *tally sheet*. Data yang didapatkan kemudian dianalisis dengan menggunakan *software* Minitab 16.1.1.

Analisis variasi genetik menggunakan bahan utama berupa daun *A. mangium*. Sampel daun diambil dari 12 pohon dengan diameter terbesar (diberi kode B01 sampai B12) dan 11 pohon dengan diameter terkecil (diberi kode K01 sampai K11) dari generasi M1. Sebagai pembanding digunakan sampel daun generasi M0. Sampel daun kemudian diolah dengan alat dan bahan yang digunakan untuk analisis variasi genetik yang tertuang dalam Artonang *et al.* (2007) dengan menggunakan primer mikrosatelit (Tabel 1). Hasilnya kemudian diolah dengan menggunakan *software* Microsoft Excel yang dilengkapi dengan GenAlex 6.5, Popgen Version 1.32, dan NTSYSpc Version 20.1d.

Metode Kerja

Keragaan Tegakan

Tegakan *A. mangium* dianalisis dengan mengukur karakter pertumbuhan yakni tinggi dan diameter (White *et al.* 2007). Karakter lainnya adalah bentuk batang, diameter cabang, sudut cabang, kemampuan pemangkasan alami, sterilitas, serta warna dan kekasaran kulit (Yunus 2016; Zobel & Talbert 1984). Karakter-karakter tersebut diolah dengan menggunakan uji multivarian yakni *Principal Component Analysis* (PCA) (Booyse 2014; Susilowati 2013). Selain itu, dilakukan uji korelasi Pearson dan analisis deskriptif.

Variasi Genetik

DNA (*deoxyribonucleic acid*) daun diekstraksi dengan metode CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide*) yang dimodifikasi dan diamplifikasi dengan primer mikrosatelit (Tabel 2) yang kemudian di-*running* pada gel poliakrilamid serta diwarnai dengan metode *silver stain* (Artonang *et al.* 2007). Pola pita DNA hasil elektroforesis diinterpretasikan dalam bentuk skor (Irmayanti 2015). Hasil *scoring* kemudian diolah sehingga didapatkan dendrogram karakter genotipik dan nilai keragaman genetik.

Tabel 1 Primer mikrosatelit *A. mangium* (Butcher *et al.* 2000)

Nama Primer	Sequence (5'-3')	Repeat Motif	Panjang Fragmen (bp)	Suhu Annealing (°C)
Am012	TGAGTCGATCGCTTAGCTTG TCCCGTTTATGCCCCAAAGTG	(TC) ₁₅ (AC) ₇ (AC) ₁₀ AG	156, 154, 150	57
Am041	TAGGCTAATGGTCATATTCCTAG AGAGATAGGGGTACACACTAAAAAAC	(GT) ₃₆	147, 143, 137, 129, 123, 116, 114	57
Am136	CCCATTGCCGTTTCTTTG GCATTTCCCTTGAACAGTC	(CT) ₂₀	125, 121, 113, 111	57
Am387	TGATACAAGGGAAGACAGAGTGG CCAACTCAAAACCTGACAACG	(AT) ₂ (GT) ₂ (AT) ₂ (GT) ₁₇ (TA) ₈	114, 112, 104	57
Am465	TGGGTATCACTCCACCATT AGGCTGCTTCTTTGTGCAGG	(AC) ₂₃	180, 176, 174, 170, 162, 158, 150	57

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keragaan Tegakan

Keragaan tegakan yang dirangkum pada Tabel 2 menunjukkan keragaman yang terdapat pada tegakan *A. mangium* Generasi M1. Diameter memiliki koefisien keragaman yang cukup besar yakni 41.49% dengan rentang diameter 3.31 cm sampai 29.59 cm, sedangkan tinggi total memiliki koefisien keragaman 32.49% dengan pohon tertinggi memiliki tinggi total 27.70 m dan pohon terpendek 4.70 m. Rentang perbedaan yang cukup besar pada dimensi pertumbuhan menunjukkan bahwa iradiasi sinar gamma telah menghasilkan mutan kerdil dan besar pada populasi ini.

Generasi M0 memiliki diameter 17.90 cm dan tinggi 11.50 meter. Laporan pertumbuhan *A. mangium* yang dikumpulkan oleh Krisnawati *et al.* (2011) menunjukkan bahwa *A. mangium* Generasi M0 di Tenjo (Jawa Barat, berumur 8 tahun, jarak tanam 3 x 2 m) memiliki rata-rata diameter 21.1 cm dan tinggi 15.1 m, sedangkan di Maribaya (Jawa Barat, berumur 10 tahun, jarak tanam 3 x 2 m) berdiameter 27.8 cm dan tinggi 25.1 meter. Dibandingkan dengan dimensi Generasi M0 dan tanaman dari kumpulan laporan, Generasi M1 memiliki setidaknya 29 pohon superior (Gambar 1). Pada umur 7 tahun, beberapa pohon dari Generasi M1 telah melampaui pertumbuhan tanaman yang lebih tua dengan jarak tanam yang lebih lebar.

Tabel 3 menunjukkan korelasi antar keragaan generasi M1. Korelasi kuat ditunjukkan oleh volume dengan tinggi total (0.73) dan volume dengan diameter (0.93). Namun, korelasi volume lebih kuat dengan diameter daripada tinggi total, sehingga diameter

dianggap sebagai penduga yang lebih baik terhadap volume.

Tinggi bebas cabang dan kemampuan pemangkasan alami diwakilkan oleh nilai *Live Crown Ratio* (LCR) pada tegakan ini memiliki korelasi negatif yang kuat (-0.74) (Tabel 3). LCR dapat dikategorikan rendah (LCR > 50%), sedang (LCR 30% – 50%), dan tinggi (LCR < 30%) (Djmhuri *et al.* 2006). Pohon yang berada dalam tegakan generasi M1 memiliki kemampuan pemangkasan alami yang beragam. Terdapat 13 pohon dengan kemampuan pemangkasan alami tinggi dan 33 pohon dengan kemampuan pemangkasan alami sedang. Pohon yang memiliki kemampuan pemangkasan alami yang tinggi lebih disukai karena dapat mengurangi biaya pemangkasan yang bertujuan untuk mengontrol atau mengarahkan pertumbuhan tanaman. Pohon dengan nilai LCR yang rendah akan memiliki tinggi bebas cabang yang tinggi (berkorelasi kuat -0.74).

Pada saat pemangkasan, semakin besar diameter cabang maka akan semakin besar pula luka yang akan dihasilkan. Luka yang dihasilkan dapat menjadi jalur masuknya hama dan infeksi penyakit pada batang tanaman. Pada tegakan *A. mangium* generasi M1 ini, sebagian besar pohon memiliki diameter cabang dan sudut cabang yang cukup kecil (Tabel 2).

Sudut cabang berkorelasi positif dengan karakter diameter, tinggi total dan volume pohon (Tabel 3). Terdapat lebih dari 65% generasi M1 yang memiliki cabang dengan sudut lebih dari 50° terhadap batang utama. Sudut cabang mengarahkan daun serta organ lainnya menghadap matahari (Roychoudhry & Kepinski 2015). Sudut cabang yang lebih besar akan mempengaruhi daya tangkap daun yang akan digunakan dalam proses fotosintesis.

Tabel 2 Keragaan tegakan generasi M1

Karakter	Rata-rata	Rentang Nilai	KK (%)
Diameter (McManus <i>et al.</i>)	16.61±6.89	3.31-29.59	41.49
Tinggi Total (m)	16.32±5.30	4.70-27.70	32.49
Tinggi Bebas Cabang (m)	8.03±3.83	0.80-15.50	47.72
Volume (m ³)	0.33±0.28	0.00-1.04	83.23
Bentuk Batang	24.70±5.43	10.00-30.00	22.00
Kesilindrisan	4.80±0.48	3.00-5.00	9.91
Diameter Cabang (McManus <i>et al.</i>)	3.56±2.16	1.00-10.00	60.68
Sudut Cabang	2.44±2.15	0.00-5.00	88.33
Produksi Buah	4.66±1.24	0.00-5.00	26.48
Warna Kulit	2.22±0.94	1.00-4.00	42.10
Kekasaran Kulit	2.15±0.85	1.00-4.00	39.65
<i>Live Crown Ratio</i> (%)	51.13±17.84	10.00-90.91	34.89

Ket: KK = Koefisien Keragaman

Tabel 3 Korelasi Pearson antar keragaan tegakan generasi M1

Karakter	D	TT	TBC	V	BB	KS	DC	SC	PB	WK	KK	LCR
D	1.00											
TT	0.73	1.00										
TBC	0.48	0.68	1.00									
V	0.93	0.78	0.51	1.00								
BB	0.33	0.35	0.07	0.29	1.00							
KS	-0.26	-0.26	-0.22	-0.26	-0.15	1.00						
DC	0.68	0.34	0.11	0.59	0.22	-0.16	1.00					
SC	0.25	0.17	-0.01	0.27	0.23	-0.03	0.21	1.00				
PB	-0.33	-0.26	-0.07	-0.39	-0.25	0.13	-0.29	-0.07	1.00			
WK	0.34	0.28	0.18	0.30	0.22	-0.08	0.33	0.04	-0.10	1.00		
KK	0.64	0.46	0.22	0.56	0.29	-0.23	0.57	0.05	-0.28	0.68	1.00	
LCR	-0.01	-0.06	-0.74	-0.01	0.23	0.10	0.13	0.18	-0.10	-0.05	0.08	1.00

Ket:

D : diameter

BB : bentuk batang

PB : produksi buah

TT : tinggi total

KS : kesilindrisan

WK : warna kulit

TBC : tinggi bebas cabang

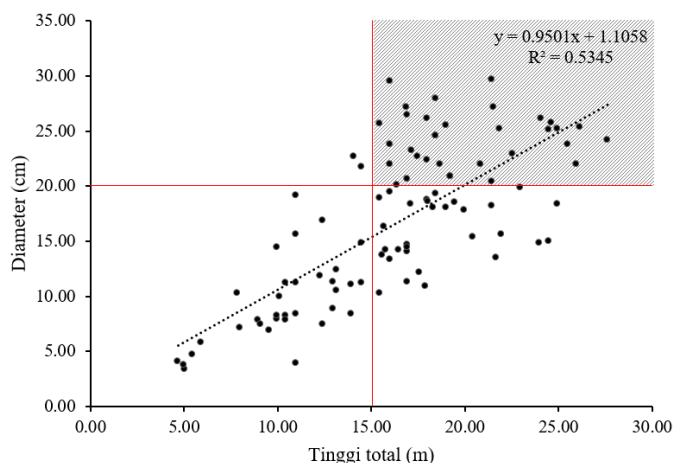
DC : diameter cabang

KK : kekasaran kulit

V : volume

SC : sudut cabang

LCR : live crown ratio



Ket

— : Batas pertumbuhan pohon superior

■ : Penyebaran pohon-pohon superior

Gambar 1 Kerangka penyebaran korelasi tinggi total dan diameter

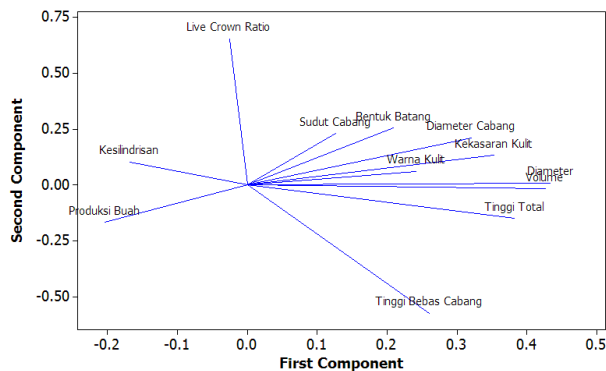
Pohon yang berada dalam tegakan generasi M1 memiliki bentuk batang spiral dan lurus serta cenderung silindris (Tabel 2). Bentuk batang yang lurus lebih mudah ditata sehingga lebih efisien pada proses transportasinya.

Pada beberapa tahun kebelakang, berkembang wacana di kalangan rimbawan bahwa *A. mangium* telah

menginvasi beberapa wilayah. *A. mangium* diduga menginvasi melalui penyebaran bijinya. Oleh karena itu, generasi M1 yang tidak menghasilkan buah dan biji (steril) lebih disukai. Pada generasi M1, hanya terdapat 7 pohon yang menghasilkan buah dan biji. Sebagian besar pohon *A. mangium* generasi M1 tidak menghasilkan buah dan biji pada umur 7 tahun.

Pada induksi mutasi, seringkali muncul sifat yang tidak diduga sebelumnya (von Wettstein 1957; Xu *et al.* 2007). Pada observasi awal penelitian ini, ditemukan keragaman pada kulit *A. mangium* generasi M1 yang berbeda dengan generasi M0. Perbedaan terlihat pada warna kulit permukaan yang berwarna coklat muda bercampur warna jingga sampai berwarna hitam. Demikian juga dengan kekasaran kulitnya, mulai dari permukaan yang halus sampai sangat kasar.

Warna kulit dan kekasaran kulit berdekatan dengan karakter pertumbuhan seperti diameter, tinggi total, dan volume pohon (Gambar 2). Dua komponen yang digunakan pada PCA, dapat mewakili 53.8% keragaman yang ada dalam data keragaman. Sama dengan pola yang ditunjukkan oleh PCA, korelasi Pearson menunjukkan juga hubungan positif antar warna dan kekasaran kulit dengan karakter pertumbuhan seperti diameter, tinggi total, dan volume (Tabel 3). Oleh karena itu, karakter-karakter ini kemudian dijadikan dasar pemilihan sampel untuk uji keragaman genetik, sifat kimia, dan dimensi serat kayu serta turunannya.



Gambar 2 Analisis komponen utama keragaman generasi M1

Variasi Genetik

Penggunaan penanda mikrosatelit untuk menganalisis tumbuhan mutan telah banyak dilakukan. Penggunaannya dilakukan untuk membedakan individu mutan dan bukan mutan, serta digunakan sebagai penanda alel yang mewakili karakter tertentu (Miri *et al.* 2014; Taheri *et al.* 2014; Ziarovska *et al.* 2013).

Analisis gerombol dengan menggunakan jarak genetik Nei 1972 menunjukkan bahwa generasi M0 beserta dengan 2 pohon generasi M1 (B03 dan B08) berada pada kelompok terpisah dengan sebagian besar generasi M1 (Gambar 3). Kedua kelompok ini berada pada klaster yang berjarak genetik cukup besar yakni 0.71. Sedangkan pohon B03 dan B08 yang termasuk ke dalam generasi M1 berada pada klaster yang sama dengan pohon generasi M0 namun memiliki jarak genetik sedang yakni 0.41. Besarnya jarak genetik

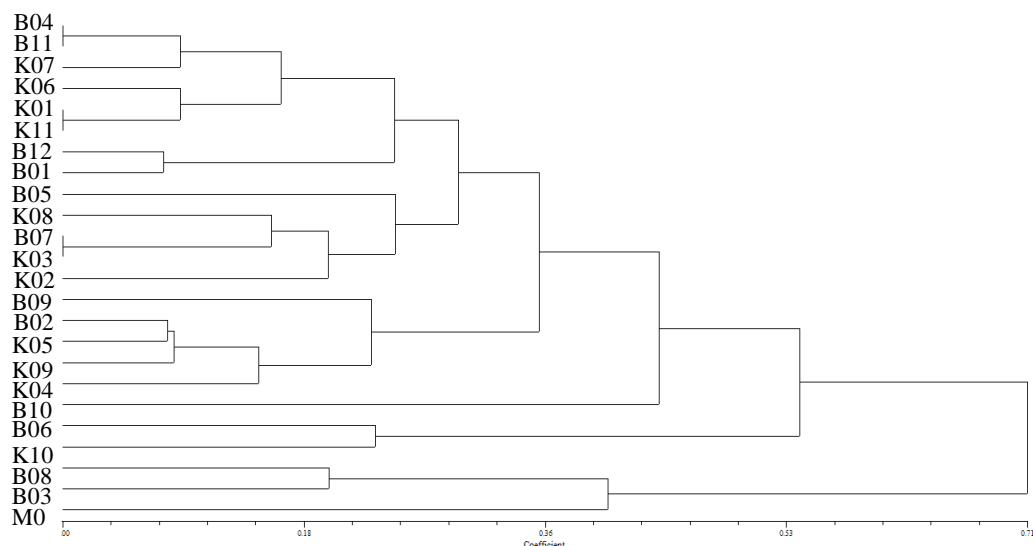
keduanya menunjukkan bahwa sebagian besar generasi M1 terpisah cukup jauh dari generasi M0 yang diduga sebagai efek dari iradiasi untuk membentuk keragaman baru. Penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh Miri *et al.* (2014) dan Ziarovska *et al.* (2013) menyimpulkan bahwa penanda mikrosatelit mampu memisahkan individu yang tidak diiradiasi dengan yang telah diiradiasi pada dendrogram.

Keragaman alel pohon berdiameter besar lebih besar daripada pohon berdiameter kecil. Jumlah alel efektif (N_e) dan alel teramati (N_a) berbeda (Tabel 4). Jumlah N_a cenderung lebih besar daripada N_e . Taheri *et al.* (2014) menjelaskan bahwa berbedanya jumlah N_a dan N_e disebabkan oleh tidak ratanya frekuensi untuk setiap alel.

Keragaman genetik di dalam populasi dapat diestimasi dengan Shannon's *Information Index* (I) dan keragaman genetik (H) (Zhang *et al.* 2007). Pohon generasi M1 berdiameter besar sebesar 1.048 dan berdiameter kecil 0.919. Hal ini berarti bahwa pohon berdiameter besar dan kecil memiliki nilai I yang cukup besar. Tingginya nilai I ini menunjukkan keefektifan lokus mikrosatelit untuk mengungkapkan variasi (Taheri *et al.* 2014) generasi M1 dan M0.

Heterozigositas teramati (H_o) merupakan proporsi dari semua homozigot dan heterozigot dalam tanaman (Finkeldey & Hattemer 2007). H_o dalam generasi M1 cukup tinggi yakni 0.713. Nilai H_o generasi M1 lebih besar daripada H_o generasi M0 yang berasal dari Kebun Benih Wonosobo yang benihnya dikumpulkan dari Papua Nugini dan Queensland, Australia (Yuskianti & Isoda 2012). Keragaman genetik di dalam populasi diukur dengan heterozigositas harapan (H_e). Rata-rata H_e pada generasi M1 adalah sebesar 0.541. Nilai keragaman genetik (H_e) generasi M1 lebih kecil dari pada generasi M0.

Nilai H_o pada Generasi M1 lebih besar daripada nilai H_e -nya, sehingga nilai *fixation index* (F) negatif (Finkeldey & Hattemer 2007). Hal ini menunjukkan bahwa dalam Tegakan *A. mangium* hasil iradiasi sinar gamma (Generasi M1) terjadi surplus heterozigot dan hukum Hardy-Weinberg tidak terpenuhi. Hukum Hardy-Weinberg dapat terpenuhi jika di dalam populasi tidak terjadi aliran gen atau migrasi, mutasi, seleksi, dan kawin acak. Pada populasi ini, tidak terpenuhinya hukum Hardy-Weinberg disebabkan oleh adanya tindakan iradiasi sinar gamma yang menyebabkan mutasi. Adanya surplus heterozigot juga berarti bahwa keragaman genetik dalam populasi ini tinggi, sehingga daya tahannya di alam juga tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Gustafsson (1946) menunjukkan bahwa mutan benih yang heterozigot mempunyai daya kecambah yang lebih baik daripada benih yang tidak termutasi.



Gambar 3 Dendrogram karakter genotipik

Tabel 4 Keragaman genetik

Kelompok	N	Na	Ne	I	Ho	He	F
Generasi M1							
Diameter Besar	12	3.800	2.788	1.048	0.717	0.563	-0.250
Diameter Kecil	11	3.200	2.499	0.919	0.709	0.519	-0.375
Rata-rata	11.5	3.500	2.644	0.984	0.713	0.541	-0.305
Generasi M0							
Kebun Benih*	64	8.480	8.454	na	0.502	0.623	0.169

Ket:

N : Number of samples

Na : Number of different alleles

Ne : Number of effective alleles

I : Shannon's information index

na : Data tidak tersedia

Ho : Observed heterozygosity

He : Expected heterozygosity

F : Fixation index

* : Kebun benih Wonosobo dengan 25 penanda mikrosatelit (Yuskianti & Isoda 2012)

KESIMPULAN

A. mangium generasi M1 memiliki laju pertumbuhan yang lebih besar daripada generasi M0, sehingga berdasarkan kuantitas kayu yang dihasilkan, didapatkan 29 pohon yang superior. Pada generasi M1, sebagian besar pohonnya memiliki kemampuan pemangkasan alami yang tinggi, tinggi bebas cabang yang tinggi, diameter cabang yang cukup kecil, sudut cabang yang baik, bentuk batang mendekati silindris dan lurus serta steril.

Berdasarkan penanda mikrosatelit, *A. mangium* generasi M0 berada pada klaster yang berbeda dengan generasi M1 dengan jarak genetik yang sedang sampai cukup tinggi. Analisis variasi genetik menunjukkan generasi M1 memiliki keragaman sedang.

SARAN

Kemajuan keragaan dan genetik *A. mangium* mutan generasi M1 perlu dipertahankan dan diseleksi, sehingga didapatkan individu-individu unggul yang dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas kayu yang sesuai dengan peruntukannya. Penelitian yang dilakukan pada *A. mangium* generasi M1 perlu dilanjutkan sehingga didapatkan generasi M1V1 (klon dari generasi

M1) dan seterusnya sehingga didapatkan individu-individu unggul dan stabil. Generasi selanjutnya juga dapat diverifikasi keunggulannya sehingga dapat ditetapkan sebagai varietas baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah G. 2012. *Principles of Plant Genetics and Breeding*. West Sussex (UK): Wiley-Blackwell.
- Adinugraha HA, Pudjiono S, Herawan T. 2007. Teknik Perbanyakan Vegetatif Jenis *Acacia mangium* [Internet]. [diunduh 2015 Jan 21]. Tersedia pada: http://www.fordamof.org/files/TEKNIK_PERBANYAKAN_VEGETATIF_JENIS_TANAMAN_Acacia_mangium.pdf
- Arisman H, Hardiyanto EB. 2006. *Acacia mangium* — A Historical Perspective on Its Cultivation. Di dalam: Potter K, Rimbawanto A, Beadle C, editor. *Heart Rot and Root Rot in Tropical Acacia Plantations*; 2006 Feb 7–9; Yogyakarta, Indonesia. Canberra (AU): Australian Centre for International Agricultural Research. hlm 11-15.

- Aritonang KV, Siregar IZ, Yunanto T. 2007. *Manual Analisis Genetik Tanaman Hutan di Laboratorium Silvikultur Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor*. Bogor (ID): Laboratorium Silvikultur Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Awang K, Taylor D. 1993. *Acacia Mangium Growing and Utilization*. Bangkok (TH): Winrock International and The Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Booyse M. 2014. *Biometrical Approaches for Investigating Genetic Improvement in Wheat Breeding in South Africa* [Disertasi]. Bloemfontein (ZA): University of the Free State.
- Butcher PA, Decroocq S, Gray W, Moran GF. 2000. Development, Inheritance and Cross-species Amplification of Microsatellite Markers from *Acacia mangium*. *J Theor Appl Genet* 101:1282-1290.
- CABI. 2014. *Invasive Species Compendium: Acacia mangium (Brown Salwood)* [Internet]. [diunduh 2015 Des 29]. Tersedia pada: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/2325>
- Djamhuri E, Supriyanto, Siregar IZ, Siregar UY, Sukendro A, Wilarso S, Pamungkas P, Safei R. 2006. *Petunjuk Teknis Seleksi Pohon Induk*. Bogor (ID): Laboratorium Silvikultur Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Finkeldey R, Hattermer HH. 2007. *Tropical Forest Genetics*. Gottingen (DE): Springer.
- Gijarto SI. 2008. *Pertumbuhan Bibit Acacia mangium dari Biji yang Diradiasi dengan Sinar Gamma* [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Gustafsson A. 1946. *The Effect of Heterozygosity on Variability and Vigour*. Swedia (SE): Institut of Genetics.
- Irmayanti L. 2015. *Potensi Hutan Rakyat Mindi (Melia azedarach L.) sebagai Sumber Benih: Variabilitas Genetik Pohon Induk, Morfologi Benih dan Pertumbuhan Bibit* [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Krisnawati H, Kallio M, Kanninen M. 2011. *Acacia mangium Willd.: Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*. Bogor (ID): CIFOR.
- McManus LJ, Sasse J, Blomstedt CK, Bossinger G. 2006. Pollen treatment for mutation induction in *Eucalyptus globulus* ssp. *Globulus* (Myrtaceae) [Abstrak]. *Australian Journal of Botany* 54(1):65-71. doi: <http://dx.doi.org/10.1071/BT05094>
- Miri S, Mousavi A, Naghavi M, Khiabani BN. 2014. Molecular Analysis of Musa Mutants Resistant to Salinity by Microsatellite Markers. *Trakia J of Sciences* 12(2):154-120.
- Moran GF, Muona O, Bell JC. 1989. *Acacia mangium: A Tropical Forest Tree of the Coastal Lowlands with Low Genetic Diversity*. *J Evolution* 43(1):231-235. doi: 10.2307/2409180
- National_Research_Council. 1983. *Innovations in Tropical Reforestation: Mangium and Other Fast-Growing Acacias for the Humid Tropics*. Washington DC (US): National Academy Press.
- Nirsatmanto A, Widyatmoko AYPBC, Setyaji T, Surip. 2013. *Pemuliaan Acacia mangium dalam Penyediaan Benih Unggul untuk Pengembangan Hutan Tanaman*. Di. *Makalah Gelar Teknologi Perbenihan Tanaman Hutan*; 2013; Riau, Indonesia. Riau (ID): Dinas Kehutanan Provinsi Riau dan Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman. hlm 1-7.
- Roychoudhry S, Kepinski S. 2015. Shoot and Root Branch Growth Angle Control-The Wonderfulness of Lateralness. *J Curr Opin Plant Biol* 23:124-31. doi: 10.1016/j.pbi.2014.12.004
- Shu QY, Foster BP, Nakagawa H. 2012. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. London (UK): CABI dan FAO.
- Susanto I. 2014. *Mengerem Deforestasi Melalui Akasia Unggul* [Internet]. [diunduh 2014 Des 16]. Tersedia pada: <http://www.fordamof.org/index.php/berita/post/1783>
- Susilowati A. 2013. *Karakterisasi Genetika dan Anatomi Kayu Pinus merkusii Kandidat Bocor Getah serta Strategi Perbanyakannya* [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Taheri S, Abdullah TL, Ahmad Z, Abdullah NA. 2014. Effect of Acute Gamma Irradiation on *Curcuma alismatifolia* Varieties and Detection of DNA Polymorphism Through SSR Marker. *J Biomed Res Int* 2014:1-18. doi: 10.1155/2014/631813
- von Wettstein D. 1957. Mutations and The Intentional Reconstruction of Crop Plants. *J Hereditas* 43(2):298-302. doi: 10.1111/j.1601-5223.1957.tb03439.x
- White TL, Adams WT, Neale DB. 2007. *Forest Genetics*. Oxfordshire (UK): CABI.
- Wiji K, Fajriutami T, Bari F, Kusumaningtyas A. 2014. *Laporan Teknik Akhir Tahun 2014 Pusat Penelitian Biomaterial Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*. Cibinong (ID): Pusat Penelitian Biomaterial Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Xu XY, Hu ZY, Li JF, Liu JH, Deng XX. 2007. Asymmetric Somatic Hybridization between UV-Irradiated *Citrus unshiu* and *C. sinensis*: Regeneration and Characterization of Hybrid Shoots. *J Plant Cell Rep* 26(8):1263-73. doi: 10.1007/s00299-007-0350-7
- Yunus EP. 2016. *Evaluasi Keragaan Pertumbuhan, Keragaman Genetik dan Kualitas Kayu Acacia mangium Willd. Hasil Iradiasi Sinar Gamma (Generasi M1)* [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Yuskianti V, Isoda K. 2012. Genetic Diversity of *Acacia mangium* Seed Orchard in Wonogiri Indonesia Using Microsatellite Markers. *Hayati J of Biosciences* 19(3):141-144. doi: 10.4308/hjb.19.3.141

- Zanzibar M, Sudrajat DJ. c2015. Prospek dan Aplikasi Teknologi Iradiasi Sinar Gamma untuk Perbaikan Mutu Benih dan Bibit Tanaman Hutan [Internet]. [diunduh 2016 Mei 29]. Tersedia pada: http://www.fordamof.org/files/6._PROSPEK_APLIKASI_IRADIASI-PAK_ZANZIBARrev.pdf
- Zhang C, Chen X, He T, Liu X, Feng T, Yuan Z. 2007. Genetic Structure of *Malus sieversii* Population from Xinjiang, China, Revealed by SSR Markers. *J of Genetics and Genomics* 34(10):947-955.doi: 10.1016/s1673-8527(07)60106-4
- Ziarovska J, Ražná K, Labajová M. 2013. Using of Inter Microsatellite Polymorphism to Evaluate Gamma-Irradiated Amaranth Mutants. *Emirates J of Food and Agriculture* 25(9):673-681.doi: 10.9755/ejfa.v25i9.15879
- Zobel BJ, Talbert J. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. New York (US): John Wiley & Sons, Inc.