

**STUDI MUTU KAYU JATI DI HUTAN RAKYAT GUNUNGKIDUL  
III. SIFAT FISIKA KAYU****SRI NUGROHO MARSOEM\*, VENDY EKO PRASETYO, JOKO SULISTYO,  
SUDARYONO, & GANIS LUKMANDARU**Bagian Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Agro No. 1, Bulaksumur, Sleman 55281  
\*Email : snmarsoem@ugm.ac.id**ABSTRACT**

*The objective of this work is to explore the variation of physical properties of wood from teak trees grown in 3 different sites (Panggang, Playen, Nglipar) from community forests of Gunungkidul Regency. The measured parameters were green moisture content (GMC), basic density (BD), and linear as well as volumetric shrinkage. The three trees were collected at each site then were divided into three axial parts i.e. base, center, and top of the trees. Further, each axial part was divided into 3 radial positions i.e. near pith, middle, and near bark. The range of BD and GMC values were 504-672 kg/cm<sup>3</sup> and 47-125%, consecutively. The result of analysis of variance showed that samples of Playen at the top parts tended to give higher average values of all physical properties measured as well as the samples at near bark of radial position. Samples from Nglipar exhibited the lowest range of GMC values (47-70%) whereas the highest values in the radial direction were observed in the near pith samples (100.51%). The range values of longitudinal, radial and tangential shrinkage were 0.39-0.88%; 2.75-3.93%; and 4.30-6.68%, respectively. By analysis of variance, site factor significantly affected of which samples of Nglipar showed the lowest levels of longitudinal and tangential shrinkage. The total shrinkage values were 5.26-15.07% as the T/R ratio were 1.38-2.13. In general, the BD levels of teak from Gunungkidul were comparable to those reported for conventional for teaks plantation and higher than those of young tissues cultural teaks. However, attention should be taken as the high magnitude of shrinkage as well as dimensional stability showed by several samples in this experiment.*

**Keywords:** *Tectona grandis*, physical properties, basic density, community forest, Gunungkidul.

**INTISARI**

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi sifat fisika kayu dari pohon jati yang tumbuh di 3 tempat berbeda (Panggang, Playen, Nglipar) hutan rakyat di kabupaten Gunungkidul. Parameter yang diukur adalah kadar air segar (KAS), kerapatan dasar (KD), dan penyusutan linier maupun volumetrik. Sebanyak 3 pohon di tiap lokasi ditebang kemudian tiap pohon dibagi menjadi 3 potongan di posisi aksial yaitu pangkal, tengah, dan ujung. Tiap potongan tersebut kemudian dibagi 3 dalam posisi radial yaitu dekat hati, tengah, dan dekat kulit. Kisaran nilai KD dan KAS adalah 504-672 kg/cm<sup>3</sup> dan 47-125%, secara berturut-turut. Hasil analisis keragaman menunjukkan sampel Playen bagian ujung cenderung memberikan nilai rerata KD lebih tinggi demikian juga bagian dekat kulit pada arah radial. Sampel Nglipar memberikan nilai kisaran KAS paling rendah (47-70%) sedangkan pada posisi radial nilai rerata tertinggi diamati di dekat hati (100,51%). Kisaran nilai penyusutan longitudinal, radial, dan tangensial adalah 0,39-0,88%; 2,75-3,93%; dan 4,30-6,68%, secara berturut-turut. Hasil analisis keragaman menunjukkan pengaruh faktor tempat tumbuh dimana sampel Nglipar memberikan nilai penyusutan longitudinal dan tangensial terendah. Nilai penyusutan total dalam kisaran 5,26-15,07%, sedangkan perbandingan penyusutan tangensial dan radial (rasio T/R) antara 1,38-2,13. Secara umum, kerapatan dasar yang diukur mempunyai nilai yang tidak jauh dengan nilai dari*

*beberapa penelitian terhadap jati konvensional serta lebih tinggi dari beberapa jati unggul dari kultur jaringan pohon umur muda. Perlu diperhatikan adalah tingginya penyusutan dan ketidakstabilan dimensi yang diukur di beberapa sampel dalam eksperimen ini.*

**Kata kunci:** *Tectona grandis, sifat fisika, kerapatan dasar, hutan rakyat, Gunungkidul.*

## PENDAHULUAN

Keberadaan hutan rakyat menjadi penting dalam mengatasi kekurangan bahan baku yang selama ini dipasok sebagian besar dari hutan tanaman. Ciri khas dari pemanfaatan kayu dari hutan rakyat adalah model tebang butuh yang umumnya pohon dalam usia muda (juvenil). Di mata awam, kayu muda ini tidak baik sifatnya sehingga harganya tidak maksimal atau lebih spesifik kerapatan kayu yang lebih rendah (Panshin dan de Zeeuw, 1980). Meski demikian, beberapa spesies sudah diandalkan untuk produk konstruksi dan mebel karena sifat dasarnya dianggap baik.

Kayu jati sudah banyak dikenal karena keunggulan sifatnya seperti keawetan alami, kekuatan maupun keindahan seratnya. Umumnya jati diarahkan ke produk kayu gergajian, mebel, dan vinir. Sifat fisik kayu merupakan salah satu sifat dasar kayu yang dijadikan patokan dalam menilai mutu kayu. Salah satu sifat fisik kayu yaitu kerapatan sejauh ini yang paling banyak diteliti dibanding sifat lainnya karena berhubungan dengan kekuatan, perubahan dimensi, dan pengerjaannya. Kondisi yang heterogen pada hutan rakyat itu sendiri diasumsikan akan berpengaruh pada kualitas kayu yang dihasilkan yang pada akhirnya akan berpengaruh pada sifat produk akhirnya. Pemahaman sifat dasar yang menyeluruh akan membantu dalam pemanfaatan kayu secara maksimal maupun peningkatan mutu kayunya.

Penelitian mengenai sifat fisik kayu jati dari hutan tanaman di Indonesia dalam dekade terakhir telah diarahkan untuk penurunan daur (Sulistyo dan Marsoem, 2000), umur muda, dan cepat tumbuh dari kultur jaringan dan klon (Wahyudi dan Arifien, 2005; Hadjib *et al.*, 2006; Basri dan Wahyudi, 2013; Yuniarti *et al.*, 2011, Hidayati *et al.*, 2014). Informasi mengenai variasi kualitas dan sifat kayu jati yang tumbuh di hutan rakyat hingga kini masih terbatas. Sebagai kelanjutan penelitian laju pertumbuhan pohon jati di hutan rakyat Gunungkidul (Marsoem, 2013), penelitian ini bertujuan untuk melengkapi data variasi sifat fisik kayu jati hutan rakyat di tempat tumbuh yang berbeda. Parameter yang diteliti adalah kadar air segar, kerapatan dasar dan penyusutan kayunya. Selain itu, korelasi kerapatan dasar kayu dengan parameter lainnya juga dibahas.

## BAHAN DAN METODE

### Penyiapan Sampel

Penelitian ini menggunakan kayu yang berasal dari pohon pada 3 tempat hutan rakyat yang berbeda di Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. Lokasi yang dipilih tersebar di 3 tempat tumbuh yang berbeda, yaitu Panggang (Desa Girisekar, zona utara), Playen (Desa Dengok, zona tengah), dan Nglipar (Desa Kedungkeris, zona selatan). Karakteristik tempat tumbuh dan sampel pohon dari Gunungkidul disajikan pada Tabel 1, data klimatis

secara detail telah disajikan di penelitian pendahuluan (Marsoem, 2013).

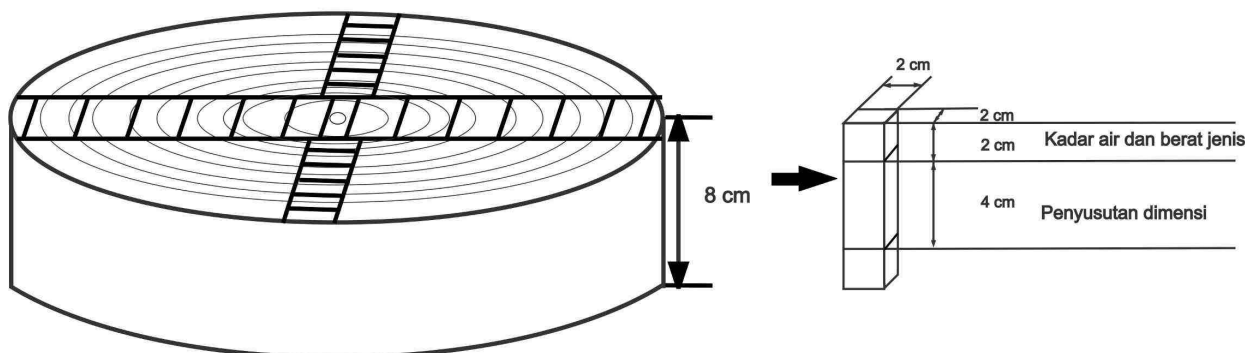
Di setiap tempat tumbuh, dipilih 3 pohon yang relatif lurus dan bebas cacat dalam kisaran diameter setinggi dada 30 cm untuk ditebang dan ditentukan kualitas (mutu) kayunya secara laboratoris. Setelah diukur tinggi dan panjang bebas cabang pohonnya, tiap batang dibagi 3 bagian pada arah aksial yaitu pangkal (1/3 ketinggian), tengah (1/3-2/3 ketinggian) dan ujung (2/3 ketinggian). Di tiap bagian batang yang paling bawah, sampel pohon tersebut kemudian dipotong melintang menjadi piringan (*disk*) berukuran tebal 8 cm yang dibagi lagi menjadi 2 *disk* untuk pengukuran sifat fisik kayunya.

Analisis sifat fisik kayu meliputi kadar air segar, kerapatan dasar, dan penyusutan kayu. Pada tiap sampel *disk* dilakukan pemotongan sampel dalam

salib sumbu searah mata angin melintas empulur. Pengukuran kadar air segar dan kerapatan dasar dengan memakai spesimen yang dipotong dalam ukuran 2 x 2 x 2 cm di *disk* pertama. Di sebelahnya yang berbatasan, dilakukan pengukuran penyusutan dimensi dengan ukuran spesimen 4 (L) x 2 (R) x 2 (T) cm di *disk* kedua (Gambar 1). Penentuan titik awal sekitar 0,5 cm dari empulur hati di kedua sisi berlawanan. Dari spesimen-spesimen dalam arah radial atau melintang tersebut, dibagi lagi menjadi 3 bagian yaitu dekat hati ( $\pm$  5-20% dari panjang jari-jari), tengah ( $\pm$  20-80% dari panjang jari-jari), dan dekat kulit ( $\pm$  80-95% dari panjang jari-jari). Jumlah spesimen bergantung besarnya diameter pohon. Nilai parameter merupakan rerata dari spesimen-spesimen dalam bagian yang sama dan berlawanan sumbu.

Tabel 1. Karakteristik kondisi tempat tumbuh dan sampel pohon dari hutan rakyat di Kabupaten Gunungkidul

Faktor	Panggung (Desa Girisekar)	Playen (Desa Dengok)	Nglipar (Desa Kedungkeris)
Ketinggian (m dpl)	270	150	115
Jenis tanah	Litosol	Grumusol	Mediteran
Tipe tanah	Berbatu	Lempung berat	Lempung
Rerata curah hujan (mm/tahun)	2000-2500	1500-2000	1500-2000
Kisaran tinggi pohon bebas cabang (m)	6-10	6-9	6-7
Kisaran dbh (cm)	28-37	29-32	31-37
Kisaran tebal kulit (cm)	1,1-1,7	0,8-1,5	1,2-1,9
Kisaran tebal gubal (cm)	2-4	2-3	2-4
Kisaran tebal teras (cm)	6-14	6-11	8-14
Kisaran jumlah lingkaran tahun	15-18	10-15	13-21



Gambar 1. Skema pengambilan spesimen kadar air, kerapatan dasar, dan penyusutan kayu dari disk jati.

### Penentuan Kadar Air Segar dan Kerapatan Dasar

Sampel yang sudah dipotong dalam bentuk *disk* dimasukkan plastik. Pembuatan sampel ukuran kadar air dan berat jenis disegerakan untuk menghindari penguapan. Setelah sesuai ukuran, spesimen ditimbang berat segarnya ( $Bb$ ). Setelah itu, spesimen direndam dalam air selama 1 minggu dan diukur volume jenuh/basahnya ( $Vb$ ) melalui metode perpindahan air. Spesimen kemudian dikering-tanurkan dalam oven ( $103 \pm 2$  °C) sampai mencapai berat kering konstan ( $Bk$ ).

Kadar air segar (KAS, %) dihitung dari berat air (g) dibagi berat kering tanur kayu (g) dengan persamaan :

$$\text{KAS} = \frac{Bb - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Kerapatan dasar ( $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>) dihitung dari pembagian berat kering tanur kayu ( $Bk$ , kg) dibagi volume basah kayu ( $Vb$ , m<sup>3</sup>), yaitu :

$$\frac{Bk}{Vb}$$

### Pengukuran Penyusutan Kayu

Pengukuran dimensi kayu dalam 3 arah (longitudinal, radial, tangensial) dalam kondisi jenuh dan kering tanur dengan kaliper (ketelitian 0,01 mm). Penyusutan linier ( $S_L$ ) dihitung di tiap arah dalam persen dari kondisi jenuh ke kering tanur, melalui persamaan :

$$S_L = \frac{Lb - Lk}{Lb} \times 100\%$$

$Lb$  merupakan dimensi saat jenuh, sedangkan  $Lk$  merupakan dimensi saat kering tanur. Penyusutan total atau volumetrik ( $S_T$ ) dihitung dari persamaan :

$$S_T = \frac{Vb - Vk}{Vb} \times 100\%$$

$Vb$  merupakan volume saat basah, sedangkan  $Vk$  merupakan volume saat kering, dihitung dari perkalian nilai dimensi longitudinal, radial dan tangensial. Koefisien anisotropi atau T/R rasio merupakan perbandingan dari  $L_T$  dan  $L_R$ .

### Analisis Data

Analisis variansi (ANOVA) prosedur model linier umum digunakan untuk mengetahui interaksi antar faktor penelitian. Pengaruh dinyatakan nyata dalam taraf uji 5% melalui penjumlahan kuadrat Tipe III. Uji pembandingan berganda Duncan dihitung untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda nyata. Korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan (koefisien korelasi) antar parameter kerapatan dasar dengan kadar air seimbang maupun penyusutan. Perhitungan statistik memakai *software* SPSS 16.0 (Windows).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kerapatan Dasar

Kerapatan sebenarnya bukan hanya satu sifat saja tetapi gabungan sifat kayu seperti proposi kayu akhir, tebal dinding sel, ukuran sel dan lainnya (Zobel dan Jett, 1995). Shmulsky dan Jones (2011), memberikan gambaran adanya variasi kerapatan atau berat jenis pada kayu dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tempat tumbuh, iklim, lokasi geografis dan spesies. Kisaran kerapatan dasar (KD) atau berat jenis kondisi basah ini dari 3 tempat tumbuh adalah 504-672 kg/cm<sup>3</sup> (Tabel 2) dimana Playen cenderung memberikan nilai kisaran lebih tinggi yaitu 555-672 kg/cm<sup>3</sup> (rerata 596 kg/cm<sup>3</sup>). ANOVA (Tabel 3) memperlihatkan bahwa faktor radial berbeda nyata ( $p < 0,01$ ) serta interaksi antara tempat tumbuh dengan posisi aksial kayu ( $p = 0,03$ ).

Perbedaan yang paling mencolok apabila dikaitkan dengan faktor edafis adalah di Panggang

tanahnya adalah berbatu dengan lapisan *solum* yang tipis sedangkan di Playen dan Nglipar relatif lebih tebal. Meski demikian, pengaruh tempat tumbuh adalah tidak nyata (Tabel 3) dalam eksperimen ini. Moya dan Perez (2008) melaporkan bahwa sifat fisik maupun kimia tanah tidak banyak berpengaruh terhadap kerapatan maupun persen kayu teras pada jati di Costa Rica. Di lain pihak, faktor lain seperti perlakuan silvikultur berpengaruh terhadap kerapatan kayu jati (Bhat, 2000; Bhat dan Priya, 2004; Yuniarti *et al.*, 2011).

Di arah radial, pola yang terlihat adalah kenaikan KD dari dekat hati ke kulit (Gambar 2a). Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan nilai rerata KD di dekat kulit adalah tertinggi ( $604 \text{ kg/cm}^3$ ), sedangkan nilai terendah di dekat hati ( $546 \text{ kg/cm}^3$ ). Pola serupa juga diamati di jati dewasa dari tegakan Perhutani (Sulistyo dan Marsoem, 2000). Hal ini diduga karena efek kayu juvenil yang umumnya mempunyai kerapatan lebih rendah (Panshin dan de Zeeuw, 1980). Kayu jati dewasa (50-70 tahun) di Timor Timur juga memberi pola serupa yang bisa dijelaskan oleh semakin kecilnya lebar lingkaran tahunnya ke

Tabel 2. Kerapatan dasar ( $\text{kg/cm}^3$ ) kayu dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

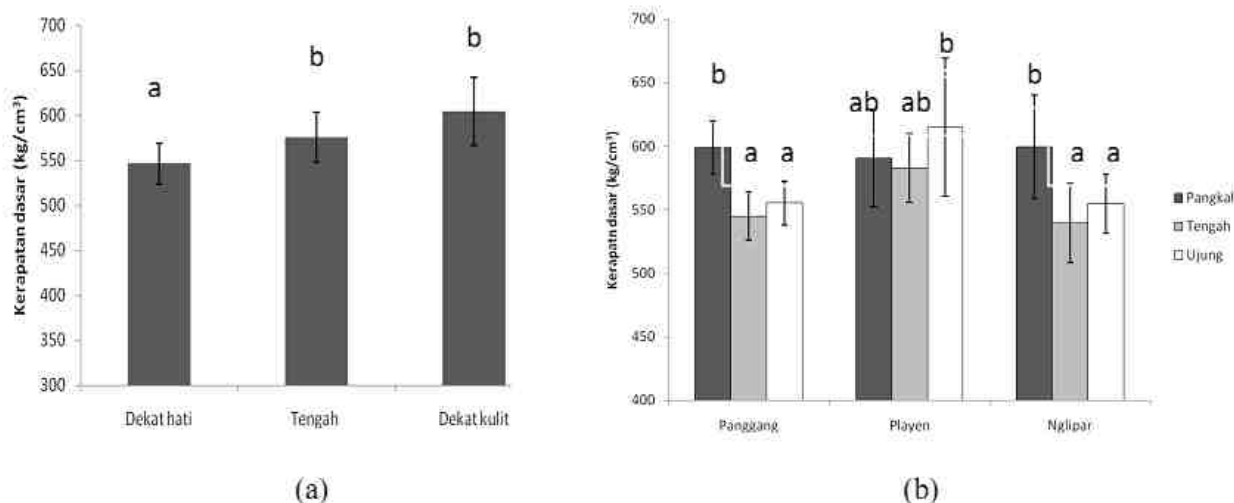
Posisi aksial	Posisi radial	Panggung	Playen	Nglipar
Pangkal	Dekat hati	577 (42)	555 (7)	553 (9)
	Tengah	600 (28)	586 (20)	617 (18)
	Dekat kulit	619 (41)	631 (13)	628 (11)
Tengah	Dekat hati	525 (8)	564 (48)	504 (35)
	Tengah	547 (4)	571 (43)	552 (20)
	Dekat kulit	563 (26)	614 (44)	562 (28)
Ujung	Dekat hati	537 (31)	564 (90)	538 (11)
	Tengah	558 (24)	609 (40)	545 (16)
	Dekat kulit	571 (43)	672 (6)	581 (26)
Rerata		566 (29)	596 (38)	564 (38)

Keterangan : Nilai berasal dari rerata 3 individu, nilai dalam kurung merupakan standar deviasi.

Tabel 3. Analisis varian untuk sifat fisika kayu jati dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

Sumber variasi	db	Kuadrat Tengah						
		KD	KAS	$L_L$	$L_R$	$L_T$	$S_T$	T/R
T	2	69072,88	0,04**	904,8*	1,24	8,83*	28,54*	0,08
A	2	2073,87	0,08	18580	1,82	15,92**	9,53	0,02
R	2	7225,30**	0,16**	0,188**	1,64	9,51	28,56*	0,01
TxA	4	336,17*	0,005	208,1	0,47	3,63	1,65	0,03
TxR	4	1068,00	0,001**	122,6	0,11	0,59	0,01	0,10
AxR	4	269,22	0,002	172,7	0,23	0,22	0,13	0,02
TxAxR	8	196,80	0,003	357,8	0,29	0,56	7,32	0,04
Galat	378	200,49	0,002	312,3	0,73	1,31	6,46	0,05

Keterangan : T : tempat tumbuh; A : arah aksial; R : arah radial; db : derajat bebas;  
 KD : kerapatan dasar; KAS : kadar air seimbang;  $L_L$  : penyusutan longitudinal  
 $L_R$  : penyusutan radial;  $L_T$  : penyusutan tangensial;  $S_T$  : penyusutan total;  
 T/R : ratio penyusutan tangensial dan penyusutan radial  
 \*\* = beda sangat nyata pada taraf uji 1% \* = beda nyata pada taraf uji 5%



Gambar 2. Kerapatan dasar berdasarkan arah radial (a) dan tempat tumbuh (b) di kayu jati dari hutan Kabupaten Gunungkidul. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5 % dalam parameter yang sama.

arah kulit (Miranda *et al.*, 2011), sedangkan jati di Pantai Gading (30 tahun) menunjukkan kerapatan berkorelasi positif dengan jarak dari hati (Bailleres dan Durand, 2000).

Secara umum terlihat adanya kesamaan pola sebaran nilai kerapatan di posisi aksial pohon yaitu KD terbesar berada pada bagian pangkal dan nilainya menurun hingga bagian tengah kemudian naik di bagian ujung batang pohon (Gambar 2b). Hasil uji Duncan menunjukkan rerata tertinggi didapatkan di sampel Playen bagian ujung ( $615 \text{ kg/cm}^3$ ). Bagian pangkal diasumsikan sel-selnya lebih tua karena terbentuk lebih awal, tetapi belum pasti penyebab kenaikan dari bagian tengah ke ujung pohon. Wahyudi dan Arifin (2005) mendapatkan pola KD tertinggi di bagian pangkal untuk jati umur muda. Pola arah aksial yang tidak konsisten diamati di beberapa umur jati dewasa dari tegakan Perhutani (Sulistyo dan Marsoem, 2000). Perez dan Kanninen (2003), mendapatkan penurunan kerapatan kering dari pangkal ke ujung di arah aksial untuk jati dengan dbh di bawah 38 cm di Costa Rica.

Dari beberapa penelitian sebelumnya, nilai kerapatan atau berat jenis jati di Indonesia cukup

bervariasi. Sulistyo dan Marsoem (2000) memperoleh rerata kerapatan kering udara kayu jati dari hutan Perhutani Madiun untuk KU IV, VI, dan VIII adalah  $556\text{-}675 \text{ kg/cm}^3$ . Penelitian oleh Wahyudi dan Arifin (2005) menunjukkan kisaran KD setara  $430\text{-}640 \text{ kg/cm}^3$  untuk jati unggul dari kultur jaringan dan  $470\text{-}700 \text{ kg/cm}^3$  untuk jati konvensional dari hutan tanaman umur 8 tahun. Hadjib *et al.* (2006) membandingkan KD kayu dari berbagai lokasi hutan tanaman jati unggul (super) dari kultur jaringan dan lokal/konvensional umur 4-7 tahun mendapatkan kisaran  $410\text{-}540 \text{ kg/cm}^3$ . Basri dan Wahyudi (2013) mendapatkan nilai berat jenis jati unggul (Jati Plus Perhutani) di tegakan umur 5, 7, dan 9 tahun adalah  $460\text{-}510 \text{ kg/cm}^3$ , sedangkan Hidayati *et al.* (2014) mendapatkan kisaran  $480\text{-}580 \text{ kg/cm}^3$  dari 9 klon Perhutani umur 12 tahun. Karena tidak tersedia data tahun tanam, berdasarkan lingkaran tumbuh di bagian pangkal, sampel yang diteliti ini berumur antara 9-20 tahun. Apabila dibandingkan dengan jati dari Perhutani untuk KU dewasa di atas, maka rerata nilainya masih dalam kisaran tetapi lebih tinggi dari beberapa jati unggul yang umumnya masih berusia muda (<10 tahun).

Dalam hal ini, umur diasumsikan merupakan faktor yang lebih dominan seperti halnya yang diamati pada jati muda atau di awal pertumbuhannya (Moya dan Ledezma, 2003).

### Kadar Air Segar

Kadar air segar (KAS) yang merupakan ukuran banyaknya air saat pohon berdiri merupakan parameter penting misalnya dalam proses pengeringan kayu atau pengangkutan log. Shmulsky dan Jones (2011) menjelaskan bahwa nilai kadar air kayu yang baru saja dipotong berkisar antara 33-249% (dari berat kayu kering mutlak) bergantung pada bagian kayu, tempat tumbuh, umur, musim panen, dan ukuran pohon. Hasil pengukuran KAS disajikan dalam Tabel 4 dimana kisarnya adalah 47-125%. Secara umum, KAS di Nglipar memberi nilai yang relatif rendah (47-70%) dengan rerata 62,43%, sedangkan nilai tertinggi diamati di Panggang (rerata 108,24%). Pada penelitian ini, faktor tempat tumbuh berpengaruh sangat nyata terhadap KAS (Tabel 3). Ditinjau dari faktor eksternal, perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan curah hujan. Laporan curah hujan antara 2009-2012 menunjukkan daerah Nglipar mempunyai curah hujan terendah, sedangkan Panggang yang tertinggi (Marsoem, 2013).

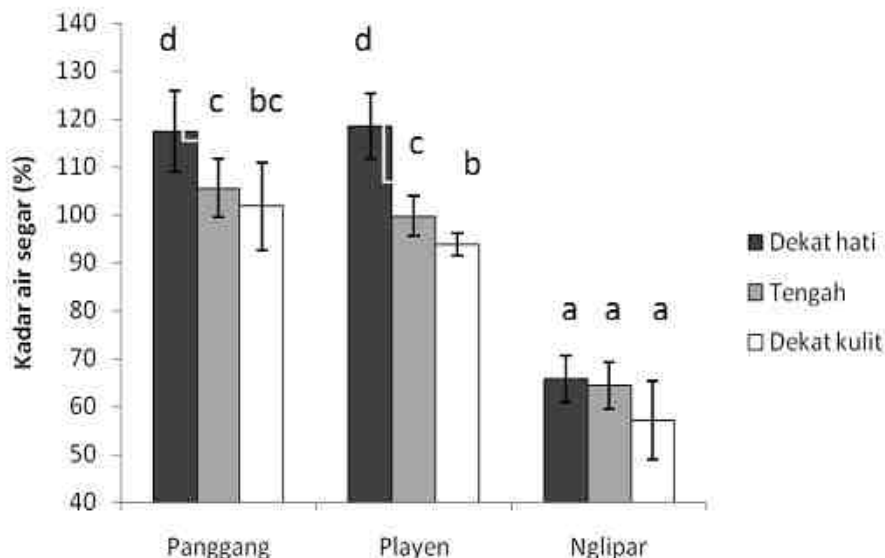
Hasil ANOVA (Tabel 3) menunjukkan adanya interaksi antara faktor tempat tumbuh dan radial ( $p < 0,01$ ), dan tidak ada pengaruh nyata faktor arah aksial. Nilai KAS terbesar (Gambar 3) terdapat pada bagian dekat hati kayu dari daerah Panggang (117,38%) dan Playen (118,46%). Selain itu, juga tampak adanya kesamaan pola kadar air segar yaitu kadar air kayu cenderung menurun dari bagian dekat hati ke arah kulit di sampel Panggang dan Playen. Hal ini tentunya perlu diperhatikan apabila diasumsikan kayu dekat hati merupakan kayu teras yang umumnya lebih kering dibandingkan bagian gubal di dekat kulit dimana sel-selnya sebagian masih hidup.

KAS yang lebih rendah tentunya lebih diinginkan dalam pemanfaatan kayunya. Penelitian sebelumnya, Sulistyono dan Marsoem (2000) pada jati dewasa dari hutan Perhutani mendapatkan kisaran rerata jati (KU IV dan VI) antara 57-124% dimana posisi aksial menunjukkan KAS di bagian pangkal lebih tinggi, sedangkan dalam arah radial tidak ada kecenderungan tertentu. Untuk umur yang lebih muda (5-9 tahun), kisarnya adalah 100-116% untuk jati unggul dari tegakan (Basri dan Wahyudi, 2013). Kayu jati dari klon di India umur 30-31 tahun menunjukkan nilai KAS sebesar 117-137% dimana klon dengan

Tabel 4. Kadar air segar (%) kayu dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

Posisi aksial	Posisi radial	Panggang	Playen	Nglipar
Pangkal	Dekat hati	120,35 (24,88)	111,20 (24,88)	60,17 (9,31)
	Tengah	101,94 (24,83)	96,53 (24,83)	58,87 (9,21)
	Dekat kulit	91,66 (10,90)	91,28 (10,90)	47,80 (6,08)
Tengah	Dekat hati	123,91 (17,83)	124,90 (18,19)	67,55 (10,76)
	Tengah	112,59 (16,69)	104,45 (23,39)	68,02 (13,62)
	Dekat kulit	109,20 (14,89)	96,13 (14,21)	62,49 (9,41)
Ujung	Dekat hati	107,89 (16,81)	119,29 (14,22)	69,36 (6,38)
	Tengah	102,26 (21,32)	98,09 (17,42)	66,40 (6,87)
	Dekat kulit	104,36 (22,03)	93,96 (19,61)	61,25 (5,74)
Rerata		108,24 (9,85)a	103,98 (11,92)a	62,43 (6,65)b

Keterangan : lihat Tabel 2. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5 %



Gambar 3. Kadar air segar berdasarkan tempat tumbuh di kayu jati dari hutan Kabupaten Gunungkidul. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5%.

penampilan bagus mempunyai nilai rerata lebih tinggi (Shukla *et al.*, 2011). Nilai yang diperoleh dari penelitian ini masih dalam kisaran jati dewasa maupun muda baik yang tumbuh secara konvensional maupun melalui perlakuan seperti kultur jaringan.

### Penyusutan Dimensi

Nilai penyusutan linier arah longitudinal ( $L_L$ ), radial ( $L_R$ ), dan tangensial ( $L_T$ ) kisarannya adalah 0,39-0,88%; 2,75-3,93%; dan 4,30-6,68%, secara berturut-turut (Tabel 5, 6, dan 7). Hasil ANOVA (Tabel 3) menunjukkan tidak ada interaksi nyata antar faktor di semua parameter serta tidak ada faktor berpengaruh nyata di  $L_R$ . Faktor tempat tumbuh berpengaruh nyata di  $L_L$  ( $p=0,04$ ) dan  $L_T$  ( $p=0,02$ ). Faktor posisi radial berpengaruh sangat nyata di  $L_L$  ( $p<0,01$ ), sedangkan posisi aksial di  $L_T$  ( $p<0,01$ ).

Berdasarkan pengaruh tempat tumbuh, nilai rerata  $L_L$  terendah diamati di Nglipar (0,52%) yang berbeda nyata dari Playen (0,64%) melalui uji lanjut Duncan (Tabel 5). Selanjutnya, nilai tertinggi diukur di dekat hati (0,63%), sedangkan terendah di bagian tengah

(0,51%) dalam arah radial (Gambar 4a). Sama halnya di nilai  $L_L$ , Nglipar menunjukkan nilai rerata  $L_T$  terendah (4,84%) secara nyata bila dibandingkan sampel Playen (5,44%) (Tabel 7). Di parameter yang sama, posisi aksial di bagian pangkal melalui uji Duncan (Gambar 4b) menunjukkan nilai rerata yang terendah (4,79%). Penelitian di jati dewasa dari tegakan Perhutani, Sulistyono dan Marsoem (2000) memperoleh nilai  $L_R$  (2,10-3,13%) dan  $L_T$  (3,59-4,47%) yang memiliki pola semakin rendah ke arah kulit, sedangkan pola di  $L_L$  (0,33-0,41%) tidak menunjukkan beda nyata pada arah radial.

Faktor edafis diduga berpengaruh terhadap sifat fisik kayu. Sebelumnya, Moya dan Perez (2008), memperoleh korelasi moderat yang nyata antara parameter sifat tanah (unsur fosfor dan besi serta kadar lumpur) terhadap nilai  $L_R$  dan  $L_T$  di jati Costa Rica, meski di penelitian ini pengaruh tempat tumbuh tidak nyata untuk  $L_R$ . Bhat *et al.* (2001), mengamati periode juvenil di jati India yang dipengaruhi oleh kecepatan tumbuh dan tempat tumbuh. Meski belum diketahui berapa persen kayu juvenil yang terbentuk di tiap tempat tumbuh, nilai relatif tinggi di dekat



Tabel 5. Penyusutan longitudinal (%) kayu dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

Posisi aksial	Posisi radial	Panggang	Playen	Nglipar
Pangkal	Dekat hati	0,62 (0,08)	0,88 (0,11)	0,66 (0,29)
	Tengah	0,43 (0,15)	0,59 (0,04)	0,48 (0,18)
	Dekat kulit	0,54 (0,04)	0,50 (0,11)	0,43 (0,14)
Tengah	Dekat hati	0,63 (0,07)	0,69 (0,20)	0,59 (0,30)
	Tengah	0,56 (0,05)	0,54 (0,02)	0,45 (0,16)
	Dekat kulit	0,59 (0,03)	0,72 (0,13)	0,39 (0,08)
Ujung	Dekat hati	0,72 (0,23)	0,53 (0,20)	0,69 (0,27)
	Tengah	0,42 (0,12)	0,58 (0,25)	0,50 (0,15)
	Dekat kulit	0,40 (0,11)	0,74 (0,27)	0,53 (0,25)
Rerata		0,54 (0,10)a	0,64 (0,12)b	0,52 (0,10)a

Keterangan : lihat Tabel 2. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5 %

Tabel 6. Penyusutan radial (%) kayu dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

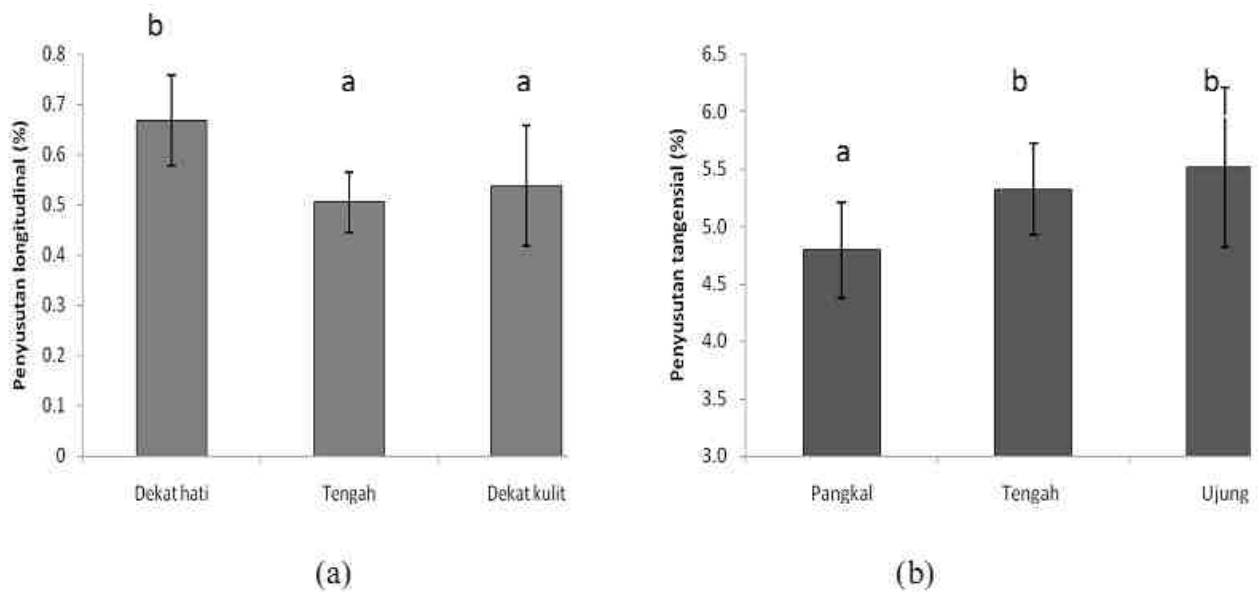
Posisi aksial	Posisi radial	Panggang	Playen	Nglipar
Pangkal	Dekat hati	2,75 (0,15)	3,15 (0,11)	2,81 (0,29)
	Tengah	2,76 (0,81)	3,30 (1,10)	2,49 (1,17)
	Dekat kulit	2,97 (1,36)	2,83 (0,70)	3,11 (0,72)
Tengah	Dekat hati	2,84 (0,94)	3,27 (0,78)	3,52 (1,45)
	Tengah	3,47 (0,93)	2,88 (0,61)	2,58 (0,70)
	Dekat kulit	2,89 (1,15)	2,92 (0,72)	3,59 (0,86)
Ujung	Dekat hati	3,15 (0,59)	3,93 (1,16)	3,30 (0,75)
	Tengah	3,02 (0,53)	3,20 (1,01)	2,98 (0,82)
	Dekat kulit	2,89 (0,56)	3,24 (0,76)	3,11 (0,78)
Rerata		2,97 (0,22)	3,19 (0,32)	3,05 (0,38)

Keterangan : lihat Tabel 2.

Tabel 7. Penyusutan tangensial (%) kayu dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

Posisi aksial	Posisi radial	Panggang	Playen	Nglipar
Pangkal	Dekat hati	4,37 (0,65)	5,44 (1,46)	4,30 (0,94)
	Tengah	4,44 (0,81)	4,85 (1,46)	4,53 (1,34)
	Dekat kulit	5,35 (1,64)	4,80 (1,49)	5,05 (1,12)
Tengah	Dekat hati	6,07 (1,47)	5,88 (1,57)	5,06 (0,91)
	Tengah	5,12 (1,43)	4,85 (1,07)	5,16 (1,05)
	Dekat kulit	5,29 (0,87)	5,36 (1,16)	5,12 (1,63)
Ujung	Dekat hati	6,15 (1,01)	5,45 (1,13)	4,61 (0,42)
	Tengah	5,23 (1,35)	6,68 (1,87)	4,95 (1,06)
	Dekat kulit	6,08 (2,32)	5,68 (1,66)	4,79 (1,40)
Rerata		5,34 (0,66)ab	5,44 (0,60)a	4,84 (0,30)b

Keterangan : lihat Tabel 2. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5 %



Gambar 4. Penyusutan longitudinal dalam arah radial (a) dan penyusutan tangensial dalam arah aksial (b) di kayu jati dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5% dalam parameter yang sama.

hati berkaitan dengan efek juvenil dimana sudut fibril sel lebih besar yang menyebabkan penyusutan longitudinal lebih besar (Shmulsky dan Jones, 2011).

Penyusutan total ( $S_T$ ) menandakan seberapa besar akan menyusut dalam 3 dimensi sehingga penyusutan yang relatif besar tentunya tidak diharapkan. Nilai perbandingan T/R yang besar menunjukkan kayu yang semakin tidak stabil. Dalam penelitian kali ini  $S_T$  berkisar antara 5,26-15,07%, sedangkan rasio T/R antara 1,38-2,13 (Tabel 8). Berdasarkan ANOVA (Tabel 3),  $S_T$  dipengaruhi secara nyata oleh tempat tumbuh ( $p = 0,02$ ) dan posisi radial ( $p = 0,01$ ). Dalam hal ini, rerata di sampel Playen secara nyata yang tertinggi (11,19%) dibandingkan sampel Nglipar (7,73%) dan Panggang (8,74%) dari uji Duncan (Gambar 5). Di dekat hati, nilai  $S_T$  menunjukkan rerata tertinggi (11,21%), sedangkan terendah di bagian tengah (7,77%) dalam posisi radial. Sebaliknya, tidak ada pengaruh faktor atau interaksi nyata di parameter nilai perbandingan T/R. Hal ini menandakan tidak stabilnya kayu tersebar secara merata di tiga faktor yang diamati. Umumnya rasio T/R semua spesies sekitar 1,5 sampai 2,5 dimana

semakin kecil nilainya maka semakin mendekati stabil, sebaliknya nilai lebih besar mengindikasikan mudahnya melengkung dalam suatu papan (Quarles dan Valachovic, 2012). Nilai yang tinggi diamati dalam eksperimen ini seperti sampel dari Panggang dekat hati baik bagian tengah (2,13) atau ujung pohon (1,95).

Kayu jati termasuk berdimensi stabil yang secara teknis dijelaskan karena adanya pengaruh ekstraktif terlarut etanol dan air panas yang mengisi sel (Simatupang dan Yamamoto, 2000) serta rendahnya kadar hemiselulosa yang terhidrolisis (Burmester dan Wille, 1975). Penelitian sebelumnya di sampel jati (10,15, 20, dan 25 tahun) dari hutan tanaman di Laos (Wanneng *et al.*, 2014) diperoleh nilai  $L_L$  0,11-0,25%,  $L_R$  2,13-2,24% serta  $L_T$  3,43-3,54%. Pengukuran rerata nilai penyusutan basah ke kering di jati dewasa Timor Timur adalah 3,5% ( $L_R$ ) dan 5,2% ( $L_T$ ), dan 7,6% ( $S_T$ ), sedangkan rasio penyusutan tangensial dan radial (T/R) adalah 1,48 yang menunjukkan resiko rendah untuk deformasi selama pengeringan (Miranda *et al.*, 2011). Selain itu, rendahnya penyusutan volumetrik ( $S_T$ ) yaitu antara

5,7 - 8,4% ditunjukkan jati dari hutan alam (Baillères dan Durand, 2000). Nilai penyusutan yang diperoleh dari penelitian ini di beberapa sampel adalah lebih besar khususnya untuk  $L_R$ ,  $S_T$ , serta perbandingan T/R sehingga perhatian khusus diperlukan dalam pengerjaan atau pengeringan kayu untuk meminimalkan cacatnya. Hal ini diduga karena proporsi kayu juvenil yang relatif besar pada sampel yang diamati, seperti yang terlihat di besaran  $L_L$  (Tabel 5). Sebelumnya, Wahyudi dan Arifin (2005) menyimpulkan bahwa jati unggul berusia muda masih dalam fase juvenil. Nilai rerata T/R yang relatif tinggi (2,45-2,97) juga diamati di jati unggul umur 5-9 tahun (Basri dan Wahyudi, 2013). Di luar Indonesia, Kokutse *et al.*, (2010) memperoleh nilai 1,7-5,5% untuk  $L_R$  dan 2,3-9,3% untuk  $L_T$  untuk jati yang tumbuh di Togo.

#### Hubungan Antara Kerapatan Dasar dengan Sifat Fisika Lainnya

Kerapatan atau berat jenis merupakan indikator banyaknya zat kayu dan berkaitan erat dengan mutu kayu maupun pengolahannya. Untuk mengetahui keeratan hubungannya dengan sifat fisika kayu lainnya yang diamati pada penelitian ini, maka

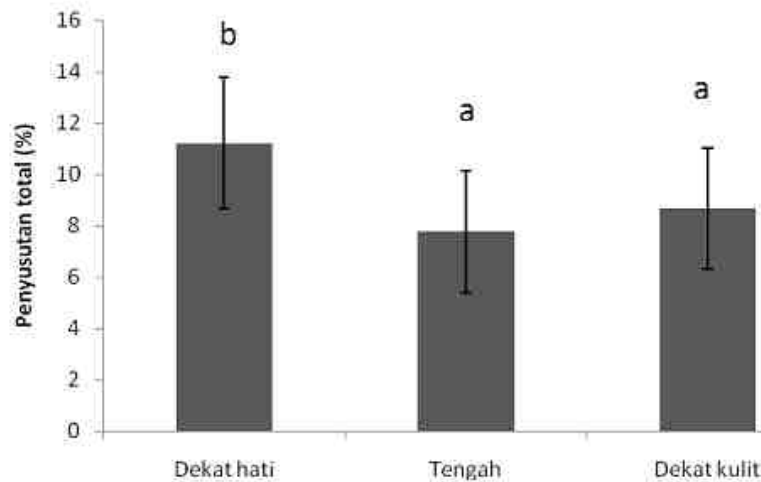
dilakukan analisis korelasi Pearson. Hasil perhitungan koefisien korelasi ( $r$ ) dipaparkan di Tabel 9. Korelasi nyata diamati antara KD dan parameter penyusutan maupun KAS dengan derajat yang berbeda-beda yang bergantung dari korelasi per tempat tumbuh maupun seluruh tempat tumbuh.

Parameter yang relatif berhubungan erat dengan KD adalah KAS dimana derajat yang erat dan sangat nyata dihitung di Nglipar ( $r=-0,84^*$ ) sedangkan apabila data semua tempat tumbuh digabung justru hubungannya rendah ( $r=-0,36^*$ ). Nilai negatif menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai KD maka nilai KAS akan semakin rendah, demikian pula sebaliknya. Penjelasan dari fenomena tersebut adalah semakin tinggi nilai KD berhubungan dengan semakin sedikitnya proporsi rongga sel yang menjadi tempat air bebas. Zobel *et al.* (1968), mendapatkan korelasi negatif antara berat jenis dan kadar air sehingga semakin tinggi berat jenis maka semakin rendah KAS. Lebih detail dari berat jenis, hal tersebut diduga berkaitan dengan proporsi kayu awal dan akhir yang terbentuk di 3 tempat tersebut. Kayu awal mempunyai kemampuan menahan air lebih rendah dan menghantarkan air lebih tinggi

Tabel 8. Penyusutan total (%) dan perbandingan nilai T/R kayu dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul.

Posisi aksial	Posisi radial	Panggung		Playen		Nglipar	
		$S_T$	T/R	$S_T$	T/R	$S_T$	T/R
Pangkal	Dekat hati	7,45	1,58	15,07	1,72	7,94	1,53
	Tengah	5,26	1,60	9,44	1,46	5,41	1,81
	Dekat kulit	8,58	1,80	6,79	1,69	6,75	1,62
Tengah	Dekat hati	10,86	2,13	13,26	1,79	10,50	1,43
	Tengah	9,94	1,47	7,54	1,68	5,99	2,00
	Dekat kulit	9,01	1,83	11,26	1,83	7,16	1,42
Ujung	Dekat hati	13,94	1,95	11,35	1,38	10,49	1,39
	Tengah	6,63	1,73	12,39	2,08	7,37	1,66
	Dekat kulit	7,02	2,10	13,61	1,75	7,89	1,54
Rerata		8,74 (2,60)a	1,80 (0,22)	11,19 (2,79)b	1,71 (0,20)	7,73 (1,77)a	1,60 (0,19)

Keterangan : lihat Tabel 2.  $S_T$  = penyusutan total, T/R = perbandingan nilai penyusutan tangensial dan radial. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5% dalam parameter yang sama.



Gambar 5. Penyusutan total dalam arah radial di kayu jati dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata uji Duncan pada taraf uji 5%.

Tabel 9. Koefisien korelasi antara kerapatan dasar dengan sifat fisika lainnya

Parameter	Seluruh sampel	Panggang	Playen	Nglipar
Kadar air segar	-0,36*	-0,70*	-0,76*	-0,84**
Penyusutan longitudinal	-0,08	-0,46	-0,04	0,39
Penyusutan radial	0,20**	-0,36	-0,30	-0,42
Penyusutan tangensial	0,26**	-0,53	0,09	-0,12
Penyusutan total	-0,11	-0,63	-0,08	-0,71*
Nilai perbandingan T/R	0,12	-0,34	0,31	0,35

Keterangan : \*\* berbeda nyata dalam taraf uji 1%; \* berbeda nyata dalam taraf uji 5%

dibandingkan kayu akhir di spesies konifer (Domec dan Gartner, 2002). Diasumsikan lebih banyak kayu awal yang terbentuk saat lebih banyak musim hujan, demikian pula sebaliknya. Nglipar dengan curah hujan yang lebih rendah diduga akan lebih banyak mempunyai proporsi kayu akhir yang lebih tinggi sehingga kapasitas menahan airnya akan lebih tinggi. Hal ini sayangnya tidak terlihat dari hasil yang diperoleh yang dimungkinkan karena perbedaan curah hujan yang kurang ekstrim atau ada faktor lain yang berpengaruh.

Secara umum hubungan positif sangat nyata antara KD dengan parameter penyusutan ( $L_R$  dan  $L_T$ ) diamati meski nilainya tidak kuat. Apabila korelasi dibatasi dalam satu tempat tumbuh saja, maka hubungan nyata antara KD dan parameter penyusutan tidak ditemukan. Meski demikian, nilai

KD di Nglipar berkorelasi nyata secara moderat ( $r=-0,71^*$ ) dengan nilai  $S_T$ . Untuk parameter yang sama, nilai moderat ( $r=-0,63$ ) diamati di sampel Panggang meski korelasinya tidak nyata. Korelasi negatif ini sebenarnya tidak diharapkan karena secara teoritis penyusutan terjadi dalam dinding sel sehingga semakin tinggi nilai KD seharusnya nilai penyusutan akan semakin besar. Rendahnya derajat hubungan ini diduga karena faktor lain yang berpengaruh seperti sifat kimia kayu. Nilai KD tidak hanya bergantung pada jumlah dinding sel tetapi juga ekstraktif yang mengisi rongga sel (Shmulsky dan Jones, 2011). Sulistyono dan Marsoem (2000) menduga kadar ekstraktif berpengaruh terhadap ketidak-konsistenan hubungan berat jenis dan penyusutan di jati pada 3 kelas umur dewasa, khususnya di sampel jati doreng. Dalam penelitian sebelumnya untuk

spesies selain jati, Barcenas-Pazos *et al.* (2000) mendapati kadar lignin secara moderat berkorelasi pada nilai  $L_R$  dan  $L_T$ . Faktor lainnya berkaitan dengan anatomi kayu seperti persen kayu awal-akhir, persentase jari-jari, sudut fibril, keberadaan kayu juvenil (Panshin dan de Zeeuw, 1980). Untuk itu, penelitian sifat anatomi dan kimia diperlukan untuk mencari sebab rendahnya derajat korelasi dalam eksperimen kali ini.

### KESIMPULAN

Sifat fisik kayu jati yang tumbuh di 3 tempat tumbuh di Gunungkidul menunjukkan nilai kerapatan dasar dalam kisaran jati konvensional serta lebih tinggi dari nilai jati unggul usia muda yang telah dilaporkan sebelumnya. Interaksi antara tempat tumbuh dan arah radial berpengaruh terhadap kadar air segar dengan korelasi yang nyata dengan nilai kerapatan dasarnya. Perhatian perlu diberikan pada tingginya nilai penyusutan di beberapa sampel yang tersebar yang diduga karena tinggi proporsi kayu juvenil. Derajat hubungan antara kerapatan dasar dan penyusutan yang relatif rendah menandakan perlunya diteliti sifat anatomi dan kimia untuk menjawab faktor yang berpengaruh. Kerapatan kayu akan berpengaruh pada kekuatan kayunya sehingga perlu dibuktikan kecenderungan terhadap sifat mekanika kayunya serta bagaimana kelas kuat dari kayu hutan rakyat dalam publikasi berikutnya.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai melalui skema Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Nomor: 177/SP2H/PP/DP2M/V/2009 - DIKTI. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Henri Wasisto dan Aulia Dwi Laksono yang telah membantu teknis pengukuran di laboratorium.

### DAFTAR PUSTAKA

- Baillères PH & Durand PY. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. *Bois et Forêts des Tropiques* **263**,17-29.
- Bárcenas-Pazos G, Velázquez-Morales P, & Dávalos-Sotelo R. 2000. Effect of lignin content on shrinkage of four Mexican woods. *Holzforchung* **54**, 541-543.
- Basri E & Wahyudi I. 2013. Sifat dasar kayu jati plus perhutani dari berbagai umur dan kaitannya dengan sifat dan kualitas pengeringan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* **31(2)**, 93-102.
- Bhat KM. 2000. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Indian plantations. *Bois et Forêts des Tropiques* **263(1)**, 6-15.
- Bhat KM & Priya PB. 2004. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the Western Ghat region in India. *IAWA Journal* **25**, 273-282.
- Bhat KM, Priya PB, & Rugmini P. 2001. Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology* **34**, 517-532.
- Burmester VA & Wille WE. 1975. Untersuchungen zur formbestandigkeit von teakholz. *Holz als Roh-und Werkstoff* **33**, 147-150.
- Domec JC & Gartner BL. 2002. How do water transport and water storage differ in coniferous earlywood and latewood? *Journal of Experimental Botany* **53**, 2369-2379.
- Hadjib N, Muslich M, & Sumarni G. 2006. Sifat fisis dan mekanis kayu jati super dan jati lokal dari beberapa daerah penanaman. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* **24(4)**, 13-31.
- Hidayati F, Ishiguri F, Iizuka K, Makino K, Marsoem SN, & Yokota S. 2014. Among-clone variations of anatomical characteristics and wood properties in *Tectona grandis* planted in Indonesia. *Wood and Fiber Science* **46(3)**, 1-9.
- Indira EP & Bhat KM. 1998. Effects of site and place of origin on wood density of teak (*Tectona grandis*) clones. *Journal of Tropical Forest Science* **10(4)**, 537-541.
- Kokutse AD, Brancheriau L, & Chaix G. 2010. Rapid prediction of shrinkage and fibre saturation point on teak (*Tectona grandis*) wood based on near-infrared spectroscopy. *Annals of Forest Science* **67**, 403.

- Marsoem SN. 2013. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul. I. Pengukuran laju pertumbuhan. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **7**, 108-122.
- Miranda I, Sousa V, & Pereira H. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. *Journal of Wood Science* **57**, 171-178.
- Moya R & Ledezma VA. 2003. Effect of plantation spacing on physical properties of teakwood along the stem. *Madera Bosques* **9**, 15-27.
- Moya R & Perez D. 2008. Effects of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* **20** (4), 248-257.
- Panshin AJ & de Zeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology. 4th Ed. Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Pérez LD & Kanninen M. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica* **37**, 45-54.
- Quarles SL & Valachovic Y. 2012. Using wood quality measures to evaluate second-growth redwood. *General Technical Report PSW-GTR-238*. 553-559.
- Shmulsky R & Jones PD. 2011. *Forest Products and Wood Science: An Introduction, Sixth Edition*. Published by John Wiley & Sons, Inc.
- Shukla SR, Rao RV, Shashikala S, Kumar P, & Sharma SK. 2011. Wood quality variation in *Tectona grandis* (teak) clones from CSO raised at Maredumilli (Rajahmundry), Andhra Pradesh. *Journal of Indian Academic Wood Sciences* **8**(2), 116-119.
- Simatupang HM & Yamamoto K. 2000. Properties of teakwood (*Tectona grandis* L.f) and Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) from manmade forest and influence on utilization. Dalam : *Proceeding of Seminar on High Value Timber for Plantation Establishment*. Hing Hon C & Matsumoto K. (Ed.). Conference Tawau, Sabah, Japan. JIRCAS. Report No 16. 103-114.
- Sulistyo J & Marsoem SN. 2000. Pengaruh umur terhadap sifat fisika dan mekanika kayu jati (*Tectona grandis* L.f). *Prosiding Seminar Nasional II MAPEKI*. Yogyakarta, 2-3 September 1999. 49-63.
- Wahyudi I & Arifien AF. 2005. Perbandingan struktur anatomis, sifat fisis, dan sifat mekanis kayu jati unggul dan kayu jati konvensional. *Jurnal Ilmu & Teknologi Kayu Tropis* **3**(2), 9-15.
- Yunianti AD, Wahyudi I, Siregar IZ, & Pari G. 2011. Kualitas kayu jati klon dengan jarak tanam yang berbeda. *Jurnal Ilmu & Teknologi Kayu Tropis* **9**(1), 93-100.
- Zobel BJ & Jett JB. *Genetics of Wood Production*. 1995. Springer-Verlag publications, Berlin. 13-115.
- Zobel BJ, Matthias M, Roberds JH, & Kellison RC. 1968. *Moisture Content of Southern Pine Trees*. Tech. Rep. 37. School Forest Research, North Carolina State University, Raleigh.