

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

Trees containing large growth stresses, leads to significant losses due to split, checked and also warped. The variation of growth-stress in teak trees grown in the three community forest sites of Gunungkidul regency was observed. The released strain levels were also discussed in relation to the growth-rate and specific gravity. The strains released in the longitudinal and tangential directions were measured by the strain-gauge method. The values of longitudinal released strain at the periphery of the stem were ranged from -130,5 to -999,5 $\mu\epsilon$ whereas tangential released strain were from -103 to 1411,5 $\mu\epsilon$. Some high values of longitudinal released strain indicated the presence of tension wood. Further, intra-tree variation of growth stress showed no particular tendencies among the samples. There were significant differences in the longitudinal strain as samples from Nglipar site showed the highest amounts (-628,25 \pm -223,73 $\mu\epsilon$). However, no significant correlation was found between the values of released strains with the growth-rate and specific gravity. The radial distributions of internal residual-stress were varied among the individuals which some trees exhibited steeper released strain gradients. Thus, it is important to reduce the gradient from pith to periphery of released-strain patterns to prevent the defect related to the growth stresses.

Keywords: *Tectona grandis, growth-stress, released strain, Gunungkidul, wood properties.*

INTISARI

Pohon dengan tegangan pertumbuhan yang tinggi dikhawatirkan akan mudah mengalami cacat seperti pecah, retak, dan pelengkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi nilai tegangan pertumbuhan pohon jati yang tumbuh di tiga tempat hutan rakyat Gunungkidul. Nilai pelepasan regangan juga dibahas dari hubungannya dengan kecepatan tumbuh dan berat jenis. Pelepasan regangan pada arah longitudinal dan tangensial ditentukan melalui metode strain-gauge. Nilai pelepasan regangan di permukaan batang berkisar antara -130,5 sampai -999,5 $\mu\epsilon$ sedangkan nilai pelepasan regangan tangensial antara -103 to 1411,5 $\mu\epsilon$. Beberapa nilai pelepasan regangan longitudinal yang cukup tinggi mengindikasikan adanya kayu tarik. Selanjutnya, variasi dalam pohon untuk tegangan pertumbuhan menunjukkan tidak ada kecenderungan tertentu. Perbedaan nyata diamati dimana sampel dari Nglipar memberikan nilai paling tinggi (-628,25 \pm -223,73 $\mu\epsilon$). Meskipun demikian, tidak ada hubungan nyata yang diukur antara nilai pelepasan regangan dihubungkan dengan laju pertumbuhan dan berat jenis. Penyebaran nilai tegangan sisa internal dalam arah radial bervariasi diantara pohon satu dengan lainnya dimana beberapa sampel menunjukkan adanya perbedaan nilai pelepasan regangan yang drastis. Untuk itu, perlu dilakukan usaha untuk mengurangi perbedaan yang mencolok di nilai pelepasan regangan dari pusat ke permukaan batang untuk mencegah cacat yang berkaitan dengan tegangan pertumbuhan.

Katakunci: *Tectona grandis, tegangan pertumbuhan, pelepasan regangan, sifat kayu, Gunungkidul.*

PENDAHULUAN

Optimalisasi penggunaan sumber daya alam seperti kayu sering terkendala oleh adanya cacat pada kayu, sementara cacat pada kayu sering digunakan sebagai dasar untuk menilai harga jual kayu. Dari berbagai cacat yang ada pada kayu, cacat yang disebabkan oleh tingginya tegangan pertumbuhan (*growth-stress*) hingga saat ini masih sedikit sekali mendapat perhatian padahal kerugian yang ditimbulkannya sangat besar. Cacat yang disebabkan oleh tegangan pertumbuhan sering berakibat pada rendahnya rendemen kayu gergajian atau juga veneer berkualitas baik yang dapat diperoleh, dan pada gilirannya akan memperkecil harga atau nilai tambah yang dapat diperoleh dari kayu tersebut.

Tegangan pertumbuhan telah didefinisikan sebagai gaya-gaya yang terdapat pada batang berkayu segar (Jacobs, 1945). Tegangan ini tidak mencakup gaya yang disebabkan oleh gaya dari luar seperti tegangan tekan (*compression stress*) yang ditimbulkan oleh berat tajuk pohon. Tegangan pertumbuhan terjadi dengan sendirinya/secara otomatis (*autogenerated*); tegangan tersebut berkembang pada pohon tumbuh, dan merupakan sejenis tegangan internal atau sisa (*residual*), yang secara khas ada pada benda pejal meskipun tak ada gaya penyebab tegangan-dari-luar yang beraksi (Kubler, 1987). Tegangan pertumbuhan berasal dari sel-sel kayu yang sedang tumbuh, dan cenderung mengakibatkan mengkerut/berkontraksinya kayu searah serat (sumbu pohon) serta mengembang pada arah melintang batang/secara transversal (Munch, 1938). Oleh karena pengerutan/kontraksinya ditahan oleh sel yang lebih tua yang terletak di bagian lebih dalam dan telah terbentuk sebelumnya, sel baru menimbulkan tarikan longitudinal (*longitudinal tension*), sementara perlawanan dari pengembangan lateral oleh sel di sebelahnya mengakibatkan

tegangan tekan tangensial (*tangential compression stress*) (Kubler, 1987). Tegangan pertumbuhan terdapat pada setiap batang dan cabang pohon. Tegangan ini diperlukan oleh pohon yang masih hidup (berdiri) karena tegangan pertumbuhan longitudinal satu-sisi membantu pohon mendapatkan kedudukan tajuk dan cabangnya yang optimal (Kubler, 1987), dan membuat pohon dapat mempertahankan kedudukan vertikalnya (Cassens dan Serrano, 2004).

Sifat tegangan pertumbuhan sebagai gaya aksi dan reaksi ini perlu diwaspadai karena pada saat kayu ditebang atau diolah lebih lanjut, gaya-gaya ini akan kembali ke posisi normal dan tidak saling bertentangan (resultan gaya sama dengan nol). Kembalinya gaya-gaya ini ke posisi normal secara mendadak dan ekstrim dengan selisih gaya yang terlampau besar akan berakibat rusaknya struktur dan susunan sel, baik pada arah longitudinal maupun lateral. Hal ini juga dapat berlangsung sampai beberapa waktu karena tegangan yang masih tersisa dari tegangan pertumbuhan tersebut. Perilaku tegangan pertumbuhan ini pada akhirnya akan sangat merugikan, misalnya pecah bontos (bintang, hati) dan pecah memanjang. Keadaan tersebut telah dikategorikan sebagai cacat di log kayu jati (BSN, 2010). Keadaan yang akan membatasi penggunaan kayu, yaitu menurunnya rendemen (terutama rendemen kayu berukuran besar) apabila dikonversi menjadi kayu gergajian, dan mempengaruhi proses pengolahannya. Alasan-alasan tersebut menunjukkan bahwa tegangan pertumbuhan harus dikurangi atau dicegah. Hal ini dapat dilakukan apabila kita mengetahui berapa nilai atau batasan dari beban yang terjadi akibat tegangan pertumbuhan, dan yang menyebabkan regangan ekstrim hingga mengakibatkan cacat.

Kayu yang diteliti adalah kayu jati (*Tectona grandis* Linn. F.) dari hutan rakyat. Meskipun merupakan jenis kayu mewah, namun sering kurang memperoleh harga layak karena terjadinya cacat yang disebabkan oleh tegangan pertumbuhan. Hal yang merugikan ini khususnya untuk pohon dengan ukuran diameter 15-30 cm, yaitu diameter kayu yang paling banyak diperdagangkan oleh masyarakat. Penelitian pendahuluan menunjukkan adanya perbedaan laju pertumbuhan jati dari 3 tempat tumbuh berbeda di Gunungkidul sehingga sifat kayu yang dihasilkannya diduga berbeda (Marsoem, 2013). Penelitian sebelumnya mengenai tegangan tumbuh pada jati di hutan tanaman Perhutani yang telah dilakukan oleh Wahyudi *et al.* (2001) serta jati dari Costa Rica oleh Solorzano *et al.* (2012), menunjukkan adanya variasi hasil dan kompleksitas faktor yang berpengaruh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi nilai tegangan pertumbuhan pohon jati di hutan rakyat Gunungkidul serta mengkaitkan dengan laju pertumbuhan dan kerapatan kayunya. Diharapkan informasi ini selanjutnya dapat membantu masyarakat pemilik hutan rakyat dan pengguna kayunya untuk mengatasi/mengurangi cacat akibat tegangan pertumbuhan dalam rangka usaha perbaikan kualitas kayu dan meningkatkan nilai tambah.

BAHAN DAN METODE

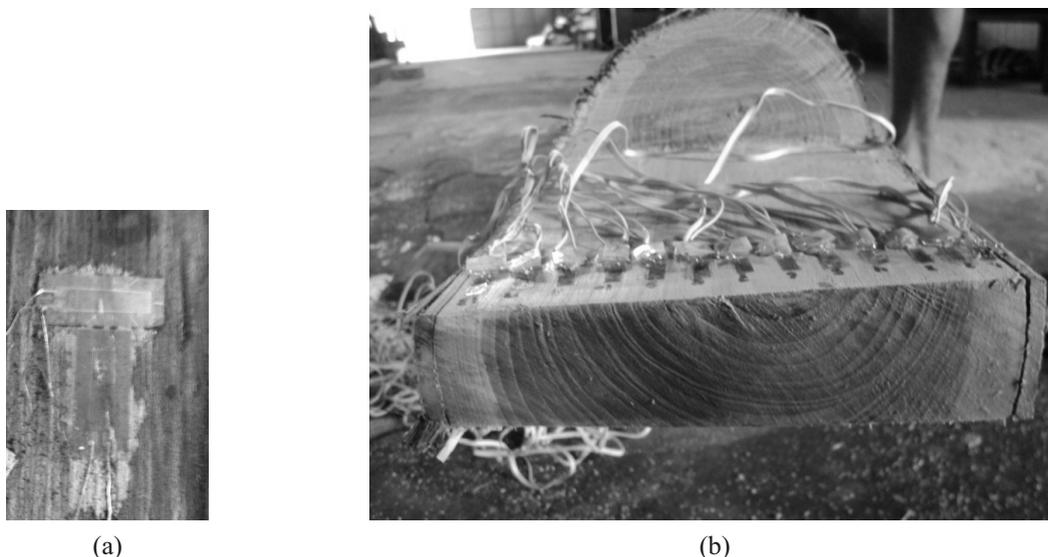
Tempat dan bahan penelitian

Penelitian dilakukan di tiga lokasi hutan rakyat yaitu Desa Girisekar, Panggang (zona selatan), Desa Dengok, Playen (zona tengah), dan Desa Kedungkeris, Nglipar (zona utara), Kab. Gunungkidul. Deskripsi tempat telah disajikan pada penelitian sebelumnya (Marsoem, 2013). Sampel yang digunakan dalam pengukuran ini adalah 3 pohon (No. 1 - 3) yang tumbuh di dekat pohon-pohon sampel untuk

pengukuran laju pertumbuhan di tiap tempat. Pohon yang dipilih adalah yang relatif sehat, percabangan sedikit dan relatif lurus dengan diameter setinggi dada dalam kisaran 25-35 cm. Setelah pengukuran tegangan pertumbuhan di bagian tepi pohon, semua pohon ditebang dan dihitung jumlah lingkaran tumbuhnya, yaitu dalam kisaran 11-20. Pohon no. 1 dan 2 di tiap lokasi digunakan sebagai sampel untuk pengukuran tegangan sisa setelah selesai pengukuran regangan pada bagian periferi atau permukaan batang pohon, sedangkan untuk pohon no. 3 tidak dilakukan pengukuran.

Pengukuran pelepasan regangan (*released strains*)

Pengambilan data untuk ketiga lokasi tersebut dilakukan pada bulan yang sama. Pengukuran regangan (*strain*) dilakukan pada waktu (bulan) yang sama dan mengacu pada metode *strain gauge* (Yoshida *et al.*, 2002). Pengukuran dilakukan di bagian permukaan/tepi/periferi batang dari pohon hidup (berdiri) yaitu dengan menempatkan *strain gauge* di 4 arah mata angin atau pada sudut 0, 90, 180, 270 derajat tepat di setinggi dada (1,3 m). Di tiap sudut, kulit dihilangkan secara hati-hati sampai dekat kambium dan dibentuk koakan sekitar 7 x 7 cm. Lembaran *strain gauge* elektrik (NMB dengan *gauge factor* $2,06 \pm 1 \%$, panjang 1,5 cm) ditempelkan dengan perekat instan ALTECO pada dua arah, yaitu 1 lembar pada arah longitudinal (sejajar sumbu pohon) dan 1 lembar pada arah tangensial (sejajar lingkaran pohon) sehingga total terdapat 4 titik tiap arah dalam 1 pohon (Gambar 1a). Pengukuran tersebut memakai alat pengukur regangan portabel yaitu *Handheld data logger* TC-32K type S-27709 dengan menghubungkannya melalui kabel *strain gauge*. Selanjutnya, tegangan pertumbuhan pohon di masing-masing dua arah sumbu utama tersebut diukur melalui pelepasan tegangannya dengan cara



Gambar 1. Pemasangan *strain gauge* pada bagian permukaan/periferi (a) dan arah radial batang (b)

mengiris kayu dengan gergaji dalam bentuk alur $\pm 1,5$ cm di bawah dan atas serta kiri dan kanan *strain gauge* kemudian dihitung reratanya. Nilai yang diperoleh dalam satuan *microstrain* (10^{-6} strain) yang merupakan perubahan dimensi panjang specimen dibagi dengan panjang total sebelum perlakuan.

Pengukuran tegangan sisa (*residual stress*) di internal pohon dilakukan mengacu pada Okuyama *et al.* (1987). Di bagian pangkal dari pohon (no. 1 dan 2 di tiap tempat) yang telah diukur tegangan pertumbuhan bagian tepinya, dipotong log sepanjang 2-2,5 m. Tegangan pertumbuhan sisa diukur searah radial dengan cara membuat koakan pada bagian tengah batang sepanjang 50 cm dengan tebal 5 cm, kemudian lembar *strain gauge* dalam arah longitudinal ditempelkan pada permukaan yang dihaluskan di tiap jarak 1,5 cm melintang (Gambar 1b). Regangan longitudinal internal diukur dengan memotong melintang masing-masing log dengan gergaji pada 2,5 cm di atas *strain gauge*.

Penentuan laju pertumbuhan

Karena tidak ada informasi tahun tanam di hutan rakyat, maka laju pertumbuhan atau riap diameter dihitung dengan perbandingan rerata diameter

dengan jumlah lingkaran tahun di bagian pangkal (cm/tahun) sampel pengukuran tegangan sisa.

Penentuan berat jenis

Setelah diukur pelepasan regangan dari arah permukaan batangnya, sampel kayu tempat pengukuran tegangan tumbuh (koakan) kemudian dipotong dengan ukuran kira-kira 5 (L) x 4 (T) x 1,5 (R) cm untuk penentuan berat jenis. Berat diperoleh dengan mengeringkan sampel pada suhu 103 ± 2 °C sampai dicapai berat konstan sedangkan volume diperoleh dalam kondisi basah melalui metode perpindahan air (ASTM D2395-02, 2002).

Analisis data

Data secara deskriptif disajikan dalam bentuk rerata dan standar deviasi. Analisis variansi satu arah (*one-way ANOVA*) digunakan untuk mengetahui pengaruh tempat tumbuh dan dilanjutkan uji perbandingan berganda Duncan apabila terdapat perbedaan nyata dalam taraf uji 95%. Korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan (koefisien korelasi) antar parameter. Perhitungan statistik memakai *software* SPSS 16.0 (Windows).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan pertumbuhan dalam permukaan batang

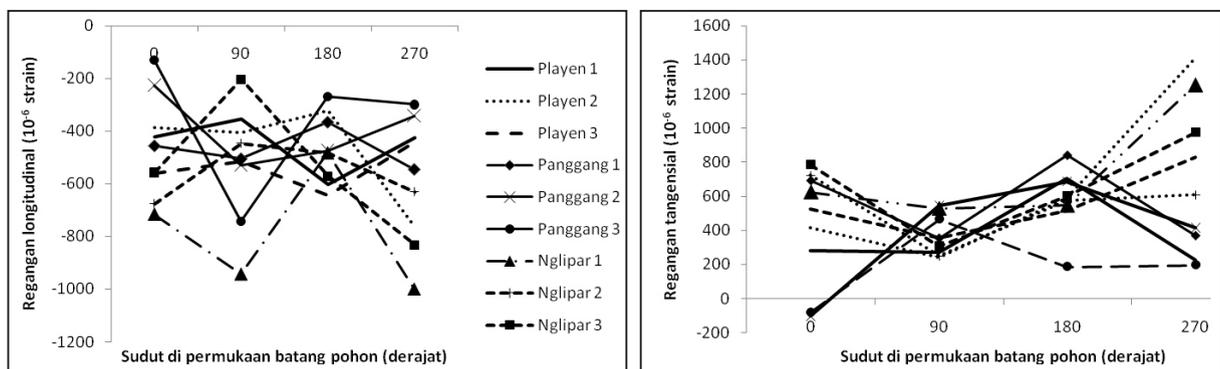
Tegangan pertumbuhan terjadi karena sel kayu yang baru terbentuk pada zona dekat kambium, menyusut secara longitudinal karena kristalisasi molekul selulosa dan mengembang secara transversal akibat lignifikasi (Archer, 1986). Hubungan linier antara regangan yang dilepas dan tegangan pertumbuhan yang sudah mantap memungkinkan pengukuran regangan yang dilepaskan menjadi indikator dari tegangan pertumbuhannya. Dalam hal ini, nilai regangan (dalam 10^{-6} strain atau $\mu\epsilon$) didapat karena ada perubahan panjang kayu apabila kayu dilepaskan tegangannya melalui pengirisan kayu dalam bentuk alur. Nilai positif menandakan adanya tegangan pertumbuhan bersifat menekan (kontraksi) sedangkan nilai negatif menandakan tegangan pertumbuhan bersifat menarik (ekspansi).

Secara umum terlihat bahwa nilai pelepasan regangan arah longitudinal (RAL) berkisar antara -130,5 sampai -999,5 $\mu\epsilon$ yang mengindikasikan sel di permukaan dalam keadaan tertarik sehingga saat adanya pelepasan tegangan pertumbuhan, maka dimensinya menjadi menciut (kontraksi). Kecenderungan di dalam satu pohon cukup bervariasi dan tidak ada kecenderungan tertentu (Gambar 2). Selisih tertinggi dalam satu pohon diamati pada pohon 3

(Panggang) dimana nilai RAL -130 $\mu\epsilon$ (sudut 0) dan -743,5 $\mu\epsilon$ (sudut 90) serta pohon 3 (Nglipar) yaitu -204 $\mu\epsilon$ (sudut 90) dan -832 $\mu\epsilon$ (sudut 270). Nilai relatif tinggi pada keempat sudut diukur pada pohon 1 (Nglipar), yaitu -714,5; -942,5; -481 dan -999,5 $\mu\epsilon$.

Nilai pelepasan regangan arah tangensial (RAT) dalam eksperimen ini diukur dalam kisaran -103 $\mu\epsilon$ sampai 1411,5 $\mu\epsilon$. Seperti halnya di RAL, tidak diamati adanya kecenderungan khusus di variasi dalam satu pohon (Gambar 2). Nilai yang umumnya positif di permukaan pohon mengindikasikan sel semula dalam keadaan tegangan tekan sehingga dimensi seratnya akan bertambah (ekspansi) saat tegangan pertumbuhan dilepaskan. Perbedaan nilai RAT yang mencolok diamati pada pohon 2 (Playen) dimana didapatkan nilai 242,5 $\mu\epsilon$ (sudut 90) dan 1411,5 $\mu\epsilon$ (sudut 270). Secara umum, nilai antar sudut di satu pohon cukup berfluktuatif. Nilai negatif diukur hanya di sampel Panggang (pohon 2 dan 3).

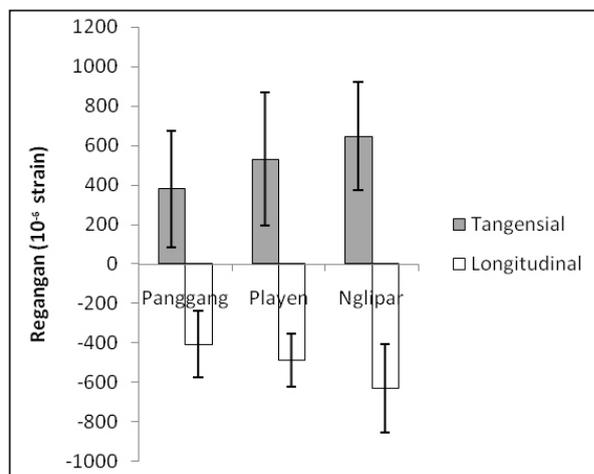
Penelitian pada nilai RAT yang dihubungkan dengan tekanan hidrostatik telah dilakukan oleh Almeiras *et al.* (2006), Yoshida *et al.* (1999), dan Okuyama *et al.* (1995). Adanya nilai positif ke negatif atau gaya tekan ke tarik yang diduga akibat adaptasi pohon terhadap lingkungan sekitar. Sayangnya belum diketahui secara pasti mengapa kecenderungan tersebut hanya diamati pada sampel di Panggang saja. Diduga hal ini berkaitan dengan



Gambar 2. Pelepasan regangan dalam dua arah pada bagian tepi batang pohon jati dari 3 tempat di hutan rakyat Gunungkidul.

adanya karakteristik tekanan hidrostatik yang khusus di dalam pohon-pohon tersebut. Kemungkinan lainnya adalah keberadaan kayu juvenil pada individu yang diamati dalam eksperimen ini apabila dihubungkan dengan jumlah lingkaran tumbuhnya. Sebelumnya, Fournier *et al.* (1990) mengamati kecenderungan pola tegangan pertumbuhan tekan dan tarik ini kadang tidak berlaku apabila diukur pada kayu reaksi atau kayu juvenil yang berdiameter kecil. Kecenderungan yang berlawanan yaitu gaya tarik ke tekan juga diamati pada pohon konifer *Cryptomeria japonica* pada nilai RAL di permukaan pohon (Watanabe *et al.*, 2012).

Tegangan pertumbuhan dalam arah longitudinal merupakan parameter terpenting dari mutu suatu kayu pejal karena pengaruhnya terhadap proses pengolahan. Valencia *et al.* (2011) mempelajari nilai RAL permukaan untuk memprediksikan kemungkinan pecah ujung pada papan *Eucalyptus nitens*. Okuyama *et al.* (2004) mendapatkan derajat cacat pecah hati di log *Eucalyptus grandis* dan *Eucalyptus globulus* berkorelasi positif dengan RAL tetapi negatif dengan RAT. RAL juga menjadi salah satu faktor penyebab dalam pelengkungan pada papan setelah digergaji (Johansson dan Omarsson, 2009). Solorzano *et al.* (2012) mendapatkan nilai tegangan pertumbuhan jati umur 4 tahun yang bervariasi berdasarkan tempat tumbuh serta arah aksialnya. Meski tidak ada kecenderungan tertentu dalam variasi satu pohon, bila dihitung reratanya, maka nilai regangan tertinggi diamati di sampel Nglipar dan terendah di Panggang (Gambar 3). Di Nglipar, rerata untuk RAT adalah $647,91 \pm 271,33 \mu\epsilon$ dan RAL adalah $-628,25 \pm -223,73 \mu\epsilon$. Hasil ANOVA menunjukkan pengaruh yang nyata dari tempat tumbuh terhadap RAL ($p = 0,01$) tetapi tidak nyata pada RAT ($p = 0,10$). Hasil uji Duncan menunjukkan nilai RAL di Nglipar secara nyata lebih tinggi



Gambar 3. Rerata nilai pelepasan regangan dalam dua arah pada bagian permukaan batang pohon jati dari 3 tempat di hutan rakyat Gunungkidul. Huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada taraf uji 95%.

dibandingkan Panggang. Diduga kondisi hutan rakyat yang heterogen dengan adanya tanaman semusim serta perbedaan zona ekologis bisa menjadi penyebab perbedaan tersebut. Penelitian di kayu Beech menunjukkan besarnya tegangan pertumbuhan yang lebih rendah pada pohon dengan tingkat tajuk beragam dibandingkan pohon dengan tajuk tunggal (Saurat dan Geuneau, 1976).

Tegangan pertumbuhan yang tinggi dalam pengolahan kayu mempunyai dua masalah utama yaitu kesulitan fisik dalam menggergaji, sedangkan yang kedua adalah kerugian finansial karena penurunan mutu (Saurat dan Gueneau, 1976). Berdasar data yang diperoleh, perlu diperhatikan untuk memilih pohon dengan nilai tegangan pertumbuhan yang rendah, variasi nilai di dalam pohon yang kecil, dan lebih cermat dalam memanfaatkan kayu dari pohon dengan nilai tegangan pertumbuhan yang tinggi. Penelitian di pohon jati umur 39 tahun yang tumbuh di hutan Perhutani menunjukkan nilai RAL di permukaan dalam kisaran -0,01 sampai -0,11% (Wahyudi *et al.*, 2001) atau setara -100 ke -1100 $\mu\epsilon$. Selanjutnya disebutkan nilai RAL yang cukup tinggi diduga

karena efek adanya kayu tarik di jati. Secara umum, kayu tarik terbentuk pada sisi atas dari bagian batang yang mengalami pembengkokan yaitu bagian yang mengalami tarikan. Kayu tarik terutama terbentuk pada pohon-pohon yang masih muda. Washusen *et al.* (2003) mengukur nilai batas RAL pada kayu tarik di *Eucalyptus globulus* adalah di atas 800μ , begitu juga halnya pada kayu sengon (Wahyudi *et al.*, 2000). Pembuktian secara anatomis diperlukan untuk mendeteksi keberadaan kayu tarik di hutan rakyat serta menghubungkannya dengan cacat yang terjadi untuk penelitian lanjutan. Perlakuan silvikultur nantinya diarahkan agar tidak banyak kayu reaksi di pohon jati yang terbentuk.

Hubungan dengan laju pertumbuhan

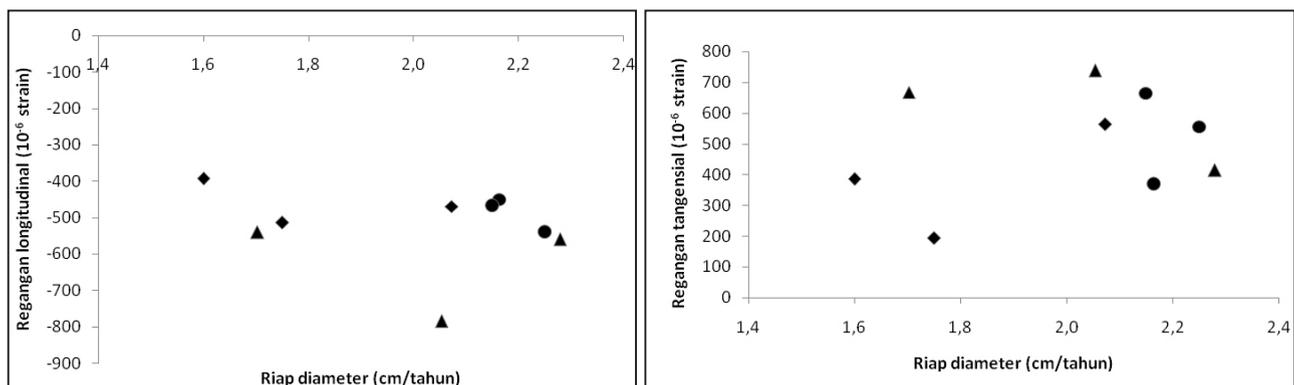
Tegangan pertumbuhan dan sifat kayu dalam sebuah pohon dipengaruhi oleh kecepatan tumbuhnya (Archer, 1986; Cown dan Ball, 2001). Dalam hal ini, kecepatan tumbuh berpengaruh pada pematangan regangan sehingga terbentuk tegangan pertumbuhan. Penelitian pendahuluan di tempat yang sama untuk kelas diameter yang sesuai diperoleh riap diameter sebesar 0,98-2,21 cm/tahun (Marsoem, 2013). Hasil pengukuran laju pertumbuhan melalui riap diameternya menunjukkan nilai di Playen relatif seragam yaitu 2,1-2,2 cm/tahun, sedangkan di dua tempat lainnya berkisar antara 1,6-2,2 cm/tahun. Nilai

tertinggi diamati di Playen (pohon 1) dan Nglipar (pohon 2) sedangkan terendah di Panggang (pohon 2). Hubungan riap diameter dengan nilai RAL maupun RAT disajikan pada Gambar 4. Terlihat bahwa tidak ada kecenderungan khusus antara kedua parameter tersebut. Hal ini juga bisa dilihat dari koefisien korelasi (r) yang rendah yaitu 0,23 untuk RAT dan 0,24 untuk RAL. Diamati bahwa riap diameter 2,2 cm/tahun mempunyai nilai yang tidak jauh beda dengan riap diameter 1,2 cm/tahun pada nilai RAT demikian pula RAL.

Tidak ada kecenderungan adanya pengaruh kecepatan tumbuh di jati bisa diartikan bahwa tidak ada masalah untuk menanam jati di hutan rakyat dari bibit unggul yang umumnya lebih cepat tumbuh sehingga diperoleh volume kayu yang lebih tinggi dalam waktu singkat. Di hutan tanaman Perhutani, Wahyudi *et al.* (2001) juga tidak menemukan adanya hubungan kuat antara kecepatan tumbuh jati (dalam kisaran 0,2-1,1 cm/tahun) dan tegangan pertumbuhannya. Demikian juga pada spesies cepat tumbuh seperti sengon dan mangium (Wahyudi *et al.*, 1999; 2000) serta di pohon *Eucalyptus grandis* dan *Eucalyptus globulus* (Okuyama *et al.*, 2004).

Hubungan dengan berat jenis

Berat jenis yang merupakan ukuran zat kayu adalah sifat dasar yang paling banyak diteliti karena



Gambar 4. Hubungan antara nilai regangan dan riap diameter pada pohon jati di tiga lokasi hutan rakyat Gunungkidul. Keterangan : ◆ = Panggang, ● = Playen, ▲ = Nglipar

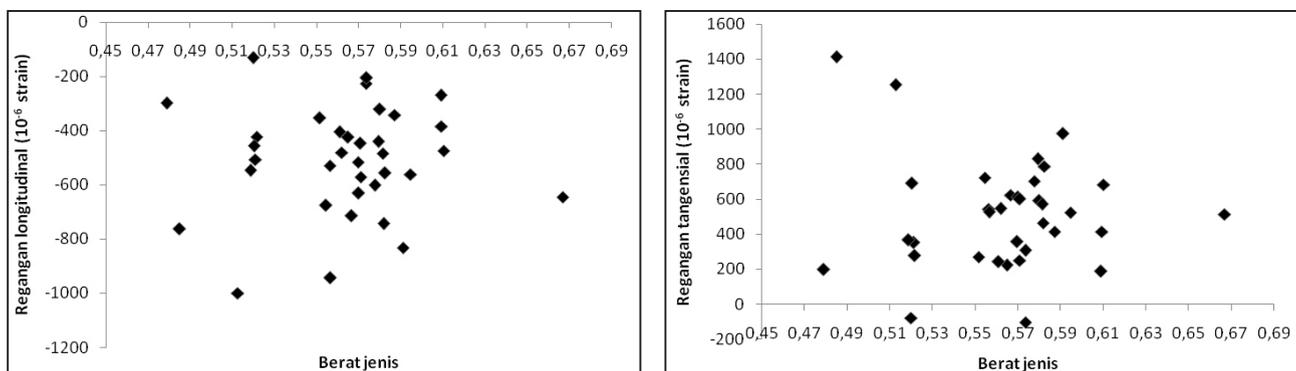
memberi informasi yang memadai dalam memprediksi mutu kayunya. Penentuannya dalam eksperimen ini adalah berat jenis dalam volume basah atau kerapatan dasar. Kisaran nilai yang diperoleh adalah 0,47-0,66 dengan rerata $0,56 \pm 0,03$. Nilai tertinggi (0,66) diperoleh pada sampel Playen pohon 3 pada sudut 180 sedangkan terendah (0,47) pada sampel Panggang pohon 3 pada sudut 270. Hubungan regangan dan berat jenis ditampilkan pada Gambar 5. Seperti halnya pada kecepatan tumbuh, tidak ada kecenderungan yang jelas pada dua arah regangan tersebut. Koefisien korelasi untuk RAT adalah 0,08 sedangkan RAL sebesar 0,03 yang menandakan hubungan yang saling bebas dengan berat jenisnya. Dalam diagram pencar terlihat tidak ada selisih yang mencolok di nilai RAT maupun RAL untuk BJ 0,47 dan 0,61. Dua nilai RAT yang negatif, yang berasal dari sampel Panggang, mempunyai berat jenis 0,51 dan 0,57.

Seperti halnya hubungan antara tegangan pertumbuhan dan kecepatan tumbuhnya, penelitian sebelumnya di jati (Wahyudi *et al.*, 2001), sengon (Wahyudi *et al.*, 2000), dan mangium (Wahyudi *et al.*, 1999) juga memperoleh kecenderungan yang sama. Tingginya nilai tersebut kemungkinan karena keberadaan kayu juvenil dimana sampel yang diamati rata-rata masih kayu muda dengan jumlah lingkaran tumbuh rata-rata di bawah 20. Secara

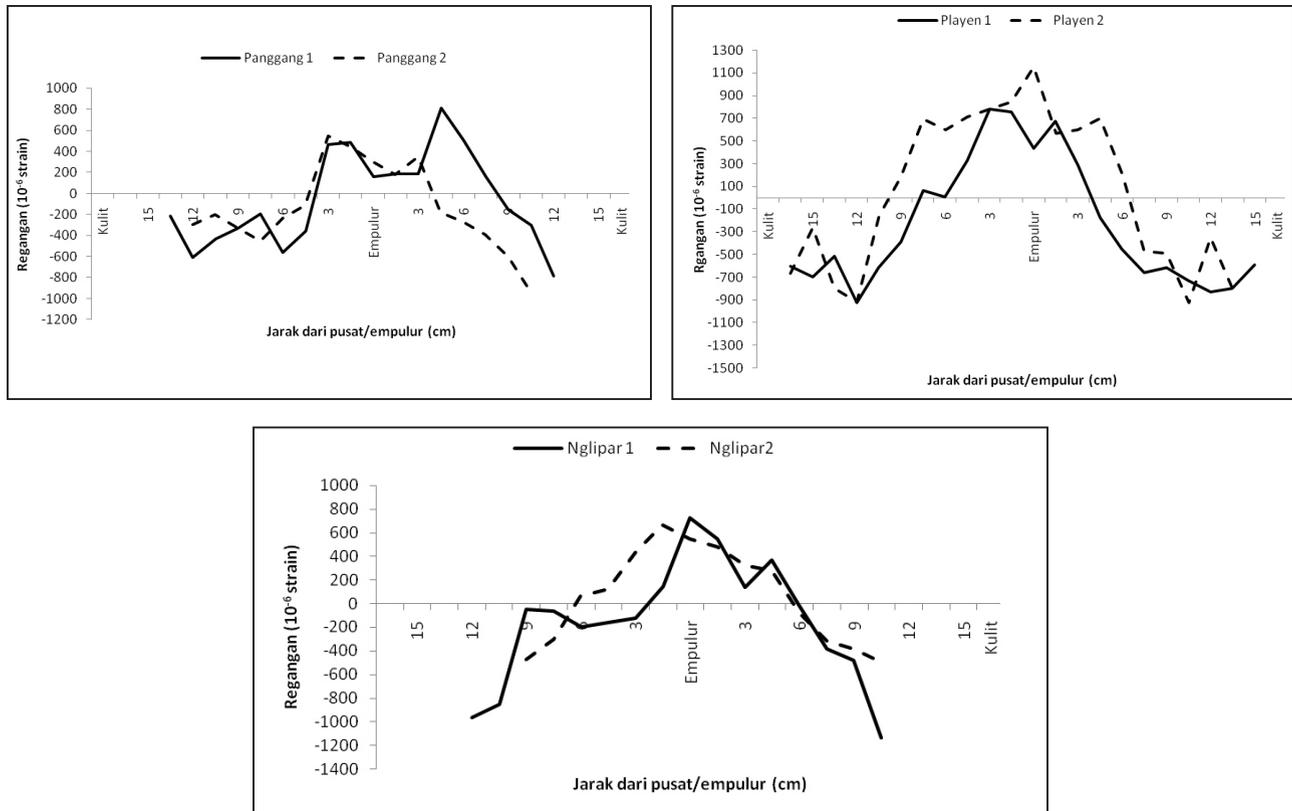
teoritis, kayu juvenil mempunyai karakteristik sifat fisik, termasuk berat jenis, yang berbeda dengan kayu dewasa. Bhat *et al.* (2001) memperkirakan pohon jati melewati masa juvenilnya setelah 20 atau 25 tahun. Faktor lainnya adalah meski belum diuji di eksperimen kali ini, keberadaan kayu tarik yang ditandai oleh tingginya nilai RAL di beberapa sampel diduga menyebabkan lemahnya derajat korelasi yang diperoleh.

Tegangan sisa internal pohon

Selama masa pertumbuhan pohon normal, batang menjadi terus-menerus tertekan di bagian tengah dan tertarik di bagian permukaan pohon (Ormarsson *et al.*, 2009). Dalam pohon berdiri, tegangan internal yang tinggi bisa menyebabkan pecah bisa berupa bentuk bintang di tengah pohon (Boyd, 1972) sehingga pengukuran tegangan pertumbuhan sisa menjadi penting dalam mengurangi cacat. Tegangan sisa dalam pohon jati diukur melalui pelepasan regangan internal dalam arah longitudinal sepanjang diameter pohon (Gambar 6). Pola umum yang diamati adalah pelepasan regangan secara kontraksi (negatif) di daerah dekat kulit dan berangsur-angsur menjadi regangan yang mengembang (positif) di daerah dekat pusat pohon atau empulur meski nilainya berfluktuasi. Sebaran semacam ini merupakan karakteristik pohon yang tumbuh normal



Gambar 5. Hubungan antara nilai regangan dan berat jenis pada pohon jati di tiga lokasi hutan rakyat Gunungkidul.



Gambar 6. Pelepasan regangan internal dalam arah radial pohon jati yang tumbuh di tiga tempat di hutan rakyat Gunungkidul.

baik dalam kayu daun lebar maupun konifer (Boyd, 1972).

Nilai regangan dan selisih antar titik yang terlalu tinggi tentunya tidak diharapkan karena mengindikasikan lebih mudahnya terjadi pecah. Selain itu, kurva yang curam dari tegangan bersifat tarikan ke tekanan menyiratkan mudahnya terjadi pelengkungan (Okuyama dan Sasaki, 1979). Nilai regangan dalam tarikan tertinggi adalah -1139 di Nglipar (pohon 1), sedangkan regangan dalam tekanan sebesar 1151 di sampel Playen (pohon 2). Nilai regangan dalam tarikan di atas $-800 \mu\epsilon$ diamati lebih banyak di sampel Playen (pohon 2) dan Nglipar (pohon 1). Sampel Nglipar (pohon 2) yang berdiameter relatif kecil menunjukkan nilai regangan yang lebih rendah dibandingkan individu-individu lainnya. Dari data sebarannya, kurva relatif curam diamati pada sampel Panggang (pohon 2), Playen (pohon 1), dan Nglipar (pohon 1). Ketiganya

memperlihatkan perpindahan regangan tarikan ke tekanan di sekitar 1/3 panjang jari-jari pohonnya.

Diasumsikan efek negatif dari tegangan pertumbuhan akan lebih terlihat pada beberapa spesies yang cepat tumbuh, pohon muda, dan pohon tua dengan diameter kecil (Boyd, 1972). Wahyudi *et al.* (2001) mengamati adanya kurva regangan tarik-tekan yang lebih curam pada pohon jati dengan laju pertumbuhan rendah dibandingkan dengan laju pertumbuhan tinggi. Apabila dihubungkan dengan laju pertumbuhannya, juga tidak ada kecenderungan yang jelas dari sampel yang diamati. Laju pertumbuhan antara pohon 1 dan pohon 2 di Playen relatif sama yaitu 2,1 cm/tahun tetapi kurva yang dihasilkan cukup berbeda. Di sampel Panggang, pohon 1 (riap 2,0 cm/tahun) memberikan kurva yang lebih landai dibandingkan pohon 2 (riap 1,6 cm/tahun). Diameter yang lebih kecil pada pohon 2 (riap 2,2 cm/tahun) di Nglipar ternyata memberikan

kurva yang lebih landai dibandingkan pohon 1 (riap 2,0 cm/tahun). Untuk itu, penelitian berikutnya dengan sampel yang lebih banyak diharapkan bisa menjawab faktor-faktor yang mempengaruhi kecenderungan sebaran tegangan pertumbuhan sisa dalam arah radial.

KESIMPULAN

Pengukuran tegangan pertumbuhan dilakukan di tiga tempat hutan rakyat di Gunungkidul. Dari 4 titik/sudut pengukuran dalam satu pohon, nilai pelepasan regangan longitudinal (RAL) di permukaan batang berkisar antara -130,5 sampai -999,5 $\mu\epsilon$, sedangkan nilai pelepasan regangan tangensial (RAT) antara -103 sampai 1411,5 $\mu\epsilon$. Nilai ini cukup berfluktuasi dan tidak ada kecenderungan tertentu. Pengaruh tempat tumbuh adalah nyata untuk parameter RAL dimana sampel Nglipar memberikan nilai yang relatif tinggi. Tidak ada hubungan kuat antara nilai pelepasan regangan dengan laju pertumbuhan pohon maupun berat jenis kayu. Hasil pengukuran tegangan sisa menunjukkan perbedaan pola sebaran arah radial di antara individu pohon yang diteliti meski dalam satu tempat tumbuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui skema Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Nomor : 177/SP2H/PP/DP2M/V/2009-DIKTI. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Sukimin (Ds. Dengok), Suradal (Ds. Kedungkeris), dan Margiyo (Ds. Girisekar) untuk bantuan teknis selama pengukuran di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Almeiras T, Yoshida M, & Okuyama T. 2006. Strains inside xylem and inner bark of a stem submitted to a change in hydrostatic pressure. *Trees* **20**, 460-467.
- Archer RR. 1986. *Growth Stresses and Strains in Trees*. Springer, Berlin.
- ASTM. 2002. ASTM D 2395-02. Standard test method for specific gravity of wood and wood-based materials. Annual book of ASTM standards. Volume 04.10-Wood. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- BSN. 2010. *Kayu Bundar Jenis Jati - Bagian 1. : Klasifikasi, persyaratan, dan penandaan*. Standar Nasional Indonesia 7535.1:2010. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Bhat KM, Priya PB, & Rugmini P. 2001. Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology* **34**, 517-532.
- Boyd JD. 1972. Tree growth stresses. V. Evidence of an origin in differentiation and lignification. *Wood Science and Technology* **6**, 251-262.
- Cassens DL & Serrano JR. 2004. Growth stress in hardwood timber. *Proceedings of the 14th Central Hardwood Forest Conference*. March 16 - 19, 2004, Wooster, Ohio. pp. 106-115.
- Cown DJ & Ball R. 2001. Wood densitometry of ten *Pinus radiata* age at seven contrasting sites: influence of tree age, site, and genotype. *New Zealand Journal of Forestry Science* **31(1)**, 88-100.
- Fournier M, Bordonne PA, Guitard D, & Okuyama T. 1990. Growth stress patterns in tree stems : A model assuming evolution with the tree age of maturation strains. *Wood Science and Technology* **24**, 131-142.
- Jacobs MR. 1945. The growth stresses of woody stems. *Comm For Bur Aust Bull* **24**, 36
- Johansson M & Ormarsson S. 2009. Influence of growth stresses and material properties on distortion of sawn timber - numerical investigation. *Annals of Forest Science* **66**, 604
- Kubler H. 1987. Growth stresses in trees and related wood properties. *For. Abstr.* **48**, 131-189.
- Marsoem SN. 2013. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunung Kidul. I. Pengukuran laju pertumbuhan. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **7**, 108-122.

- Munch E. 1938. Statics and dynamics of the cell wall's spiral structure, especially in compression wood and tension wood. *Flora* **32**, 357-424.
- Okuyama T, Kanagawa Y, & Hattori Y. 1987. Reduction of residual stresses in logs by direct heating method. *Mokuzai Gakkaishi* **33**, 837-843.
- Okuyama T & Sasaki Y. 1979. Crooking during lumbering due to residual stresses in the tree. *Mokuzai Gakkaishi* **25**, 681-687.
- Okuyama T, Yoshida M, & Yamamoto H. 1995. An estimation of the turgor pressure change as one of the factors of growth stress generation in cell walls. Diurnal change of tangential strain of inner bark. *Mokuzai Gakkaishi* **41**, 1070-1078.
- Okuyama T, Doldán J, Yamamoto H, & Ona T. 2004. Heart splitting at crosscutting of eucalypt logs. *Journal of Wood Science* **50**, 1-6
- Ormarsson S, Dahlblom O, & Johansson M. 2009. Finite element study of growth stress formation in wood and related distortion of sawn timber. *Wood Science and Technology* **43**, 387-403.
- Saurat J & Gueneau P. 1976. Growth stresses in Beech. *Wood Science and Technology* **10**, 111-123.
- Solorzano S, Moya R, & Murillo O. 2012. Early prediction of basic density, shrinking, presence of growth stress, and dynamic elastic modulus based on the morphological tree parameters of *Tectona grandis*. *Journal of Wood Science* **58**, 290-299.
- Valencia J, Harwood C, Washusen R, Morrow A, Wood M, & Volker P. 2011. Longitudinal growth strain as a log and wood quality predictor for plantation-grown *Eucalyptus nitens* sawlogs. *Wood Science and Technology* **45**, 15-34.
- Wahyudi I, Okuyama T, Hadi YS, Yamamoto H, Yoshida M, & Watanabe H. 1999. Growth stresses and strains in *Acacia mangium*. *Forest Product Journal* **49**, 77-81.
- Wahyudi I, Okuyama T, Hadi YS, Yamamoto H, Yoshida M, & Watanabe H. 2000. Relationship between growth rate and growth stresses in *Paraserianthes falcataria* grown in Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* **6(1)**, 95-105.
- Wahyudi I, Okuyama T, Hadi YS, Yamamoto H, Watanabe H, & Yoshida M. 2001. Relationship between released strain and growth rate in 39 year-old *Tectona grandis* planted in Indonesia. *Holzforchung* **55**, 63-66.
- Washusen R, Ilic J, & Waugh G. 2003. The relationship between longitudinal growth strain, tree form and tension wood at the stem periphery of ten- to eleven-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. *Holzforchung* **57**, 308-316.
- Watanabe K, Yamashita K, & Noshiro S. 2012. Non-destructive evaluation of surface longitudinal growth strain on Sugi (*Cryptomeria japonica*) green logs using near-infrared spectroscopy. *Journal of Wood Science* **58**, 267-272.
- Yoshida M, Yamamoto O, Tamai Y, Sano Y, Terazawa M, & Okuyama T. 1999. Investigation of change in tangential strain on the inner bark of the stem and root of *Betula platyphylla* var. *japonica* and *Acer mono* during sap season. *Journal of Wood Science* **45**, 361-367.
- Yoshida M & Okuyama T. 2002. Techniques for measuring growth stress on the xylem surface using strain and dial gauges. *Holzforchung* **56**, 461-467.