

Fiksasi Bambu Gombong dan Tali

Fixation of Gombong and Tali Bamboos

Wahyu Dwianto, Toshiro Morooka dan Misato Norimoto

Abstract

This research describes stress relaxation measurement to understand the fixation mechanism of compressive deformation of water saturated Gombong bamboo (*Gigantochloa pseudarundinaceae*) and Tali bamboo (*Gigantochloa apus*). Stress relaxations are measured by compressing the specimens in radial direction to 0.2 strains between 110°C and 190°C for various periods of time in electro oil hydraulic testing system equipped with an autoclave, which was heated by high temperatures saturated steam.

The stress approximately disappears in 60min at 170°C, in 30min at 180°C, and in 20 min at 190°C for Gombong bamboo. On the other hand, the fastest release of stress is found for Tali bamboo. The plots of relationship between residual stress and strain recovery of Gombong and Tali bamboos lay on a single curve, respectively. The relationship is similar to that of Sugi wood by heating. However, the weight loss of the two bamboos is extremely higher than that of wood. The fixation is achieved at a weight loss of 20% for Gombong and Tali bamboos. From these results, the fixation mechanism is considerably dominated by the decomposition of hemicelluloses and lignin.

Key words: fixation, bamboo, water saturated, stress relaxation, residual stress, strain recovery, weight loss

Pendahuluan

Jika kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya dipres pada suhu dibawah 100°C, maka deformasi yang terjadi hanya bersifat sementara dan cenderung untuk pulih ke ketebalan semula (*recovery*) melalui perendaman air panas. Kondisi deformasi sementara ini disebut *drying set* (Norimoto dan Gril 1989). Densifikasi kayu yang bersifat permanen (fiksasi) dapat diusahakan dengan menggunakan metode perekatan; perlakuan suhu tinggi pada kondisi kering (*heat treatment*); dan perlakuan uap panas pada kondisi basah (*steam treatment*).

Fiksasi kayu dan mekanismenya telah banyak dipelajari dan dilaporkan sebelumnya. *Steam treatment* merupakan suatu cara yang efektif untuk membuat deformasi kayu menjadi permanen. Hsu *et al.* (1988) memperkirakan bahwa perlakuan uap panas mengakibatkan sebagian hemiselulosa terhidrolisa tanpa adanya perubahan pada lignin ataupun selulosa, diikuti dengan meningkatnya kemudahan kayu terdeformasi dan mengurangi tegangan dalam (*internal stress*) yang tersimpan di dinding sel selama pembebanan. Tanahashi *et al.* (1989) melaporkan bahwa perlakuan uap panas terhadap kayu pada suhu 210°C selama 1 menit mengakibatkan dekomposisi baik hemiselulosa maupun lignin dan hampir seluruh bagian dari hemiselulosa menjadi larut air. Untuk mencapai deformasi yang permanen, Inoue *et al.* (1993) memberi perlakuan uap panas terhadap kayu pada suhu 180°C selama 8 menit atau suhu 200°C selama 1 menit dimana kayu dalam keadaan terkompresi. Morooka *et al.* (1994)

menyatakan bahwa degradasi panas masih dapat diabaikan pada suhu 140°C selama 20 menit, tetapi degradasi mulai berpengaruh nyata setelah perlakuan uap panas pada suhu 180°C selama 4 menit.

Dwianto *et al.* (1999, 2000) mengukur relaksasi tegangan dan *creep* kayu dengan perlakuan uap panas dan memperkirakan bahwa fiksasi kayu diakibatkan oleh perubahan struktur kayu pada tingkat molekuler. Perubahan struktural ini dapat dibagi menjadi tiga proses tergantung dari tingkat pemulihan regangan (*strain recovery*): a) degradasi hemiselulosa, b) meningkatnya keteraturan jarak gugus kristal dari mikrofibril atau terbentuknya *cross-link* antara polimer dinding sel, dan c) dekomposisi lignin dan hemiselulosa. Penelitian tersebut dilanjutkan oleh Higashihara *et al.* (2000) dan menemukan bahwa deformasi masih dapat pulih dengan merendam ke dalam larutan tertentu (*swelling agents*: pyridine, dimethyl sulfoxide, atau 4% sodium hydroxide). Mereka berpendapat bahwa fiksasi akibat perlakuan uap panas tidak dihasilkan dari perubahan struktural polimer dinding sel, seperti *cross-link* atau kristalisasi, tetapi terbebasnya tegangan yang tersimpan di dalam dinding sel dan terbentuknya beberapa struktur kohesif yang tidak bersifat permanen.

Informasi di atas masih sangat sedikit untuk bambu. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui fiksasi bambu jenuh air dengan mengukur relaksasi tegangannya akibat perlakuan uap panas. Dengan mengetahui pengetahuan dasar mengenai bambu tersebut, khususnya dari segi kestabilan dimensinya, maka akan dapat dikembangkan teknologi yang tepat dalam usaha pemanfaatannya.

Bahan dan Metode

Jenis bambu yang digunakan adalah bambu Gombong (*Gigantochloa pseudarundinaceae*) dan bambu Tali (*Gigantochloa apus*) dengan rata-rata kerapatan kering oven yang sama, yaitu 0.83 g/cm³. Ukuran akhir contoh uji pada kondisi kering udara adalah 10 mm (L) x 10 mm (T) x 10 mm (R), dimana L = Longitudinal; T = Tangensial; R = Radial. Untuk mendapatkan contoh uji dengan ketebalan (R) 10 mm, dua potongan bambu dengan kerapatan yang sama direkatkan dengan menggunakan perekat *epoxy*.

Sebelum diuji, contoh uji direndam di dalam air sehingga mencapai jenuh air. Relaksasi tegangan (*stress relaxation*) diukur dengan membebani contoh uji pada arah radial (R) sampai tingkat regangan (*strain*) 0.2 di dalam sebuah *autoclave* yang dilengkapi dengan alat pres hidrolik (Dwianto *et al.* 1998). Uap panas (*steam*) dimasukkan ke dalam *autoclave* dengan pengaturan suhu 110°C ~ 190°C dan periode waktu 0 ~ 60 menit.

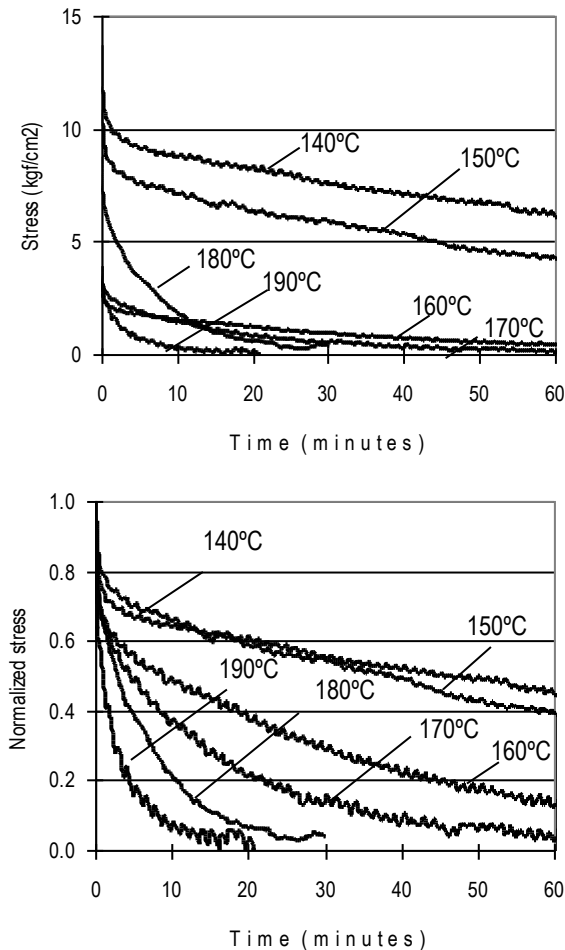


Figure 1. Stress relaxation curve (upper) and its normalized (lower) of Gombong bamboo at 140°C ~ 190°C.

Pengukuran relaksasi tegangan dilakukan pada tingkat regangan 0.2 dengan pertimbangan bahwa pembebanan belum mengakibatkan kerusakan pada dinding sel bambu mengingat kerapatan bambu yang tinggi. Sisa tegangan (*residual stress*) didefinisikan sebagai tegangan pada saat pengukuran relaksasi berakhir.

Pemulihan regangan (*strain recovery* = S_r) setiap contoh uji pada suhu dan waktu tertentu dihitung berdasarkan rumus:

$$S_r = (T_r - T_c) / (T_o - T_c),$$

dimana T_o adalah ketebalan (R) contoh uji di dalam *autoclave* sebelum pembebanan; T_c adalah ketebalan contoh uji pada saat pembebanan dan perlakuan uap panas di dalam *autoclave*; dan T_r adalah ketebalan contoh uji setelah pengujian air panas (*boiling test*). Pengujian air panas dilakukan dengan merendam contoh uji di dalam air selama 30 menit pada kondisi

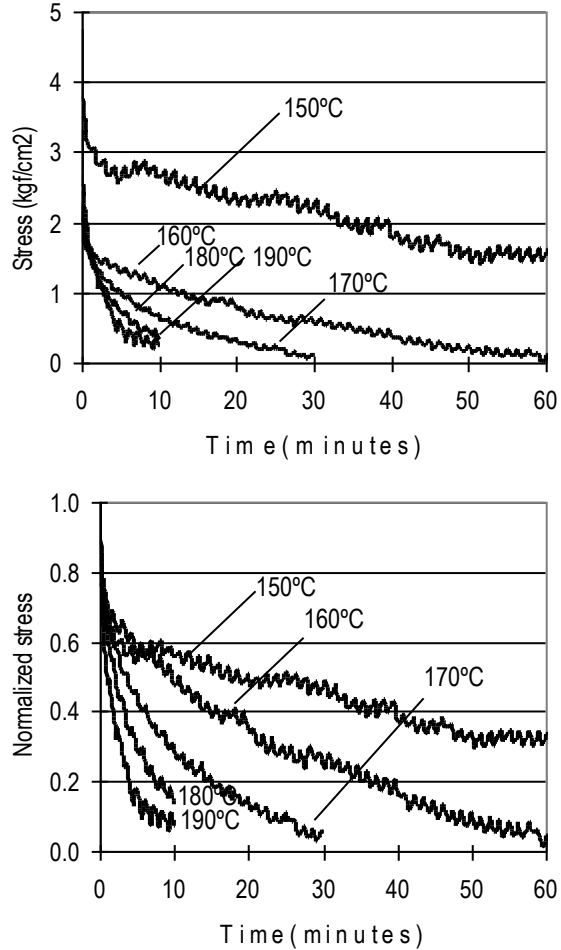


Figure 2. Stress relaxation curve (upper) and its normalized (lower) of Tali bamboo at 150°C ~ 190°C.

tekanan hampa (*vacuum pressure*), setelah itu direndam selama 210 menit pada tekanan udara normal; dan selanjutnya direndam di dalam air panas selama 30 menit (Inoue *et al.* 1993).

Prosentase kehilangan berat (*WL*) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$WL = [(W_o - W_c) / W_o] \times 100,$$

dimana *W_o* dan *W_c* adalah berat kering oven contoh uji sebelum pembebanan dan sesudah pengujian air panas.

Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 dan 2 menunjukkan kurva relaksasi tegangan dan nilai normalisasinya terhadap tegangan awal (*initial stress*) bambu Gombong dan Tali pada suhu 140°C ~ 190°C.

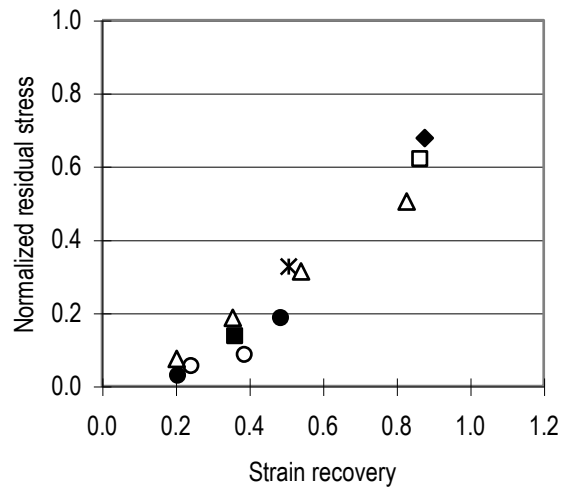
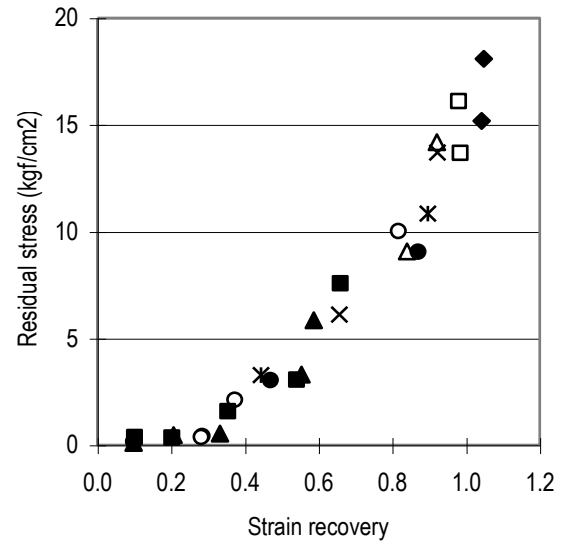
Tegangan awal bambu Gombong pada suhu 150°C dimulai dari 12 kg/cm², sedangkan bambu Tali 4 kg/cm². Hasil ini menunjukkan bahwa bambu Tali lebih mudah terpengaruh oleh perlakuan uap panas daripada bambu Gombong, walaupun kedua bambu tersebut memiliki kerapatan yang relatif sama.

Secara keseluruhan, nilai tegangan kedua bambu tersebut menurun dengan meningkatnya suhu perlakuan. Penurunan nilai tegangan bambu ini lebih cepat jika dibandingkan dengan kayu Sugi (Dwianto *et al.* 1999). Nilai tegangan ini menuju ke nol atau mencapai fiksasi setelah 60 menit pada suhu 170°C; 30 menit pada suhu 180°C; atau 20 menit pada suhu 190°C untuk bambu Gombong. Sedangkan penurunan nilai tegangan dan fiksasi bambu Tali lebih cepat.

Gambar 3 dan 4 menunjukkan hubungan antara sisa tegangan dan pemulihan regangan pada suhu antara 110°C ~ 190°C dan periode waktu 0 ~ 60 menit kedua bambu tersebut. Seluruh plot membentuk kurva tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa pemulihan regangan dapat dideteksi hanya oleh sisa tegangan pada saat berakhirnya relaksasi dan tidak tergantung pada waktu dan suhu uap panas.

Dwianto *et al.* (1999) melaporkan bahwa mekanisme fiksasi kayu oleh perlakuan uap panas tergantung dari tingkat pemulihan regangan, yaitu a) degradasi hemiselulosa pada pemulihan regangan >0.6, b) meningkatnya keteraturan jarak gugus kristal dari mikrofibril atau terbentuknya *cross-link* antara polimer dinding sel pada pemulihan regangan antara 0.6 ~ 0.2, dan c) dekomposisi lignin dan hemiselulosa pada pemulihan regangan <0.2.

Pada kedua bambu tersebut, kurva hubungan antara sisa tegangan dan pemulihan regangan serupa dengan kurva kayu Sugi yang mengalami perlakuan panas (*heat treatment*) (Higashihara *et al.* 2001). Penurunan nilai sisa tegangan pada pemulihan regangan >0.8 terutama disebabkan oleh pelunakan



- ◆ 110C (60min) □ 120C (60min)
- △ 130C (60min) × 150C (60min)
- 160C (30;60min) ○ 170C (20;30min)
- 180C (10min) △ 190C (2;5;10min)

Figure 3. Relationship between residual stress (upper) or its normalized (lower) and strain recovery for Gombong bamboo at 110°C ~ 190°C from 0 ~ 60 minutes.

hemiselulosa dan lignin yang terdapat pada dinding sel. Pada daerah pemulihan regangan antara 0.8 ~ 0.5, perlakuan uap panas menyebabkan degradasi

hemiselulosa sehingga mengakibatkan terbebasnya tegangan (*stress release*). Pada pemulihan regangan <0.5, penurunan pemulihan regangan yang tajam diikuti oleh penurunan sisa tegangan. Sisa tegangan mencapai 0 kg/cm² pada saat pemulihan regangan sekitar 0.1 ~ 0.2.

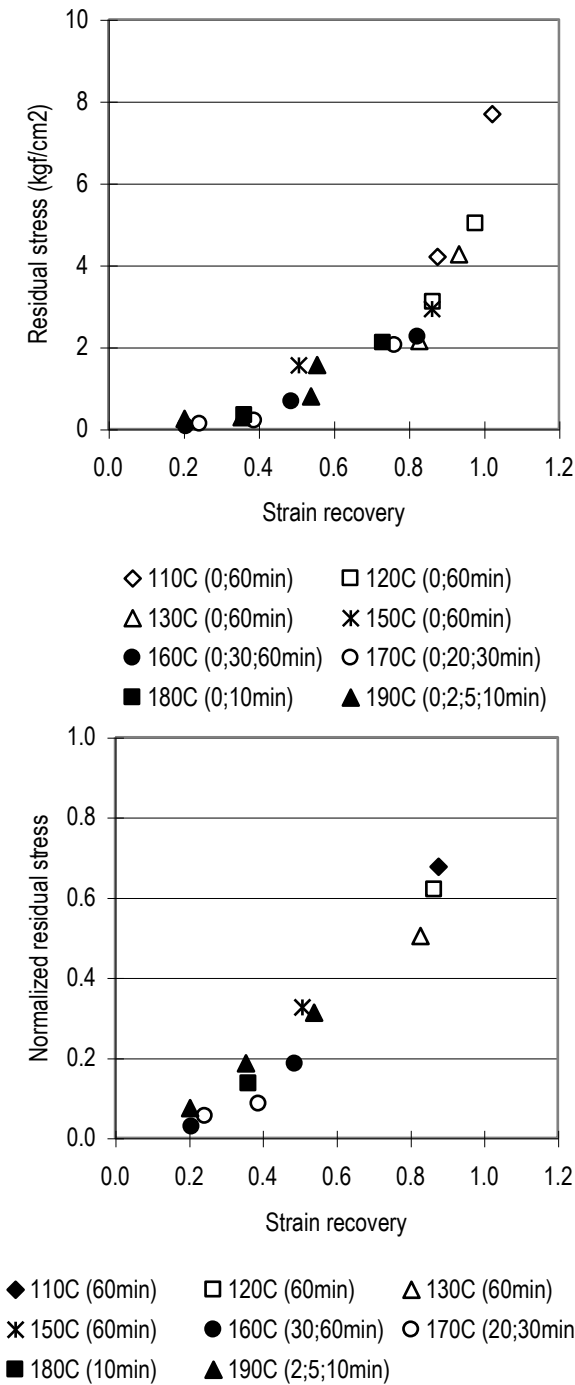


Figure 4. Relationship between residual stress (upper) or its normalized (lower) and strain recovery for Tali bamboo at 110°C ~190°C from 0~60 min.

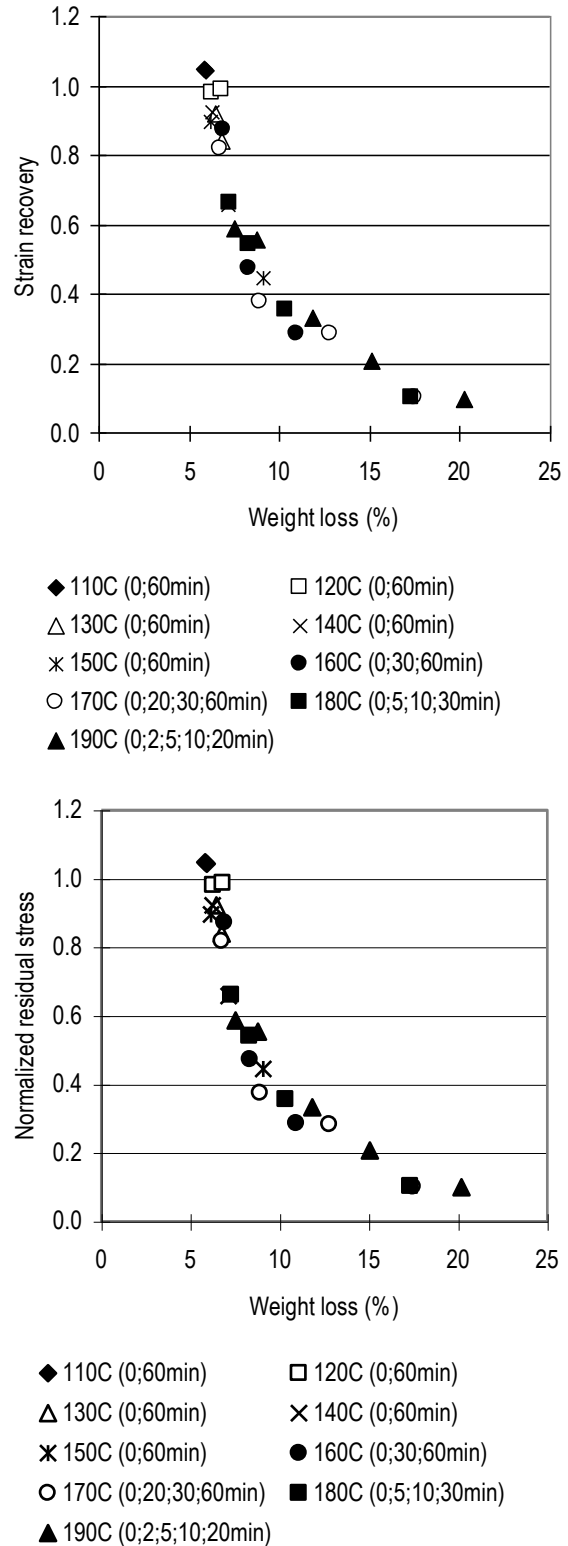


Figure 5. Relationship between strain recovery (upper) or normalized residual stress (lower) and weight loss for Gombong bamboo at 110°C ~ 190°C from 0 ~ 60 minutes.

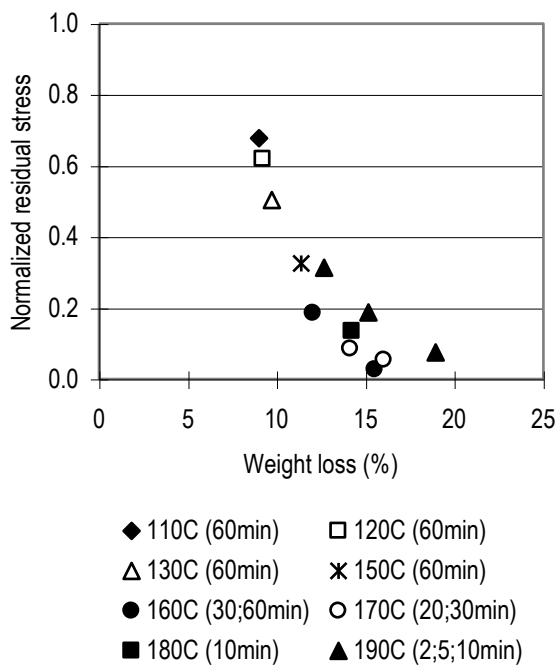
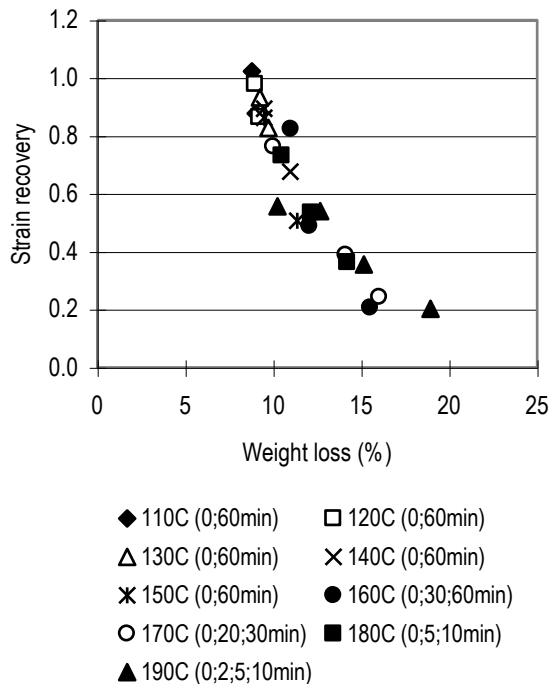


Figure 6. Relationship between strain recovery (upper) or normalized residual stress (lower) and weight loss for Tali bamboo at 110°C ~ 190°C from 0 ~ 60 minutes.

Pengaruh prosentase kehilangan berat terhadap pemulihan regangan dan sisa tegangan kedua bambu tersebut dapat dilihat pada gambar 5 dan 6. Bambu Gombong telah mengalami prosentase kehilangan berat

sekitar 5% dan bambu Tali 8% sebelum perlakuan uap panas. Pemulihan regangan menurun dengan meningkatnya prosentase kehilangan berat dan kurva tersebut juga serupa dengan kurva kayu Sugi yang mengalami perlakuan panas (Higashihara *et al.* 2001). Tetapi prosentase kehilangan berat akibat perlakuan uap panas ini sangat lebih tinggi jika dibandingkan dengan kayu (Inoue *et al.* 1996). Fiksasi tercapai pada saat prosentase kehilangan berat sekitar 20%, sehingga diperkirakan mekanisme fiksasi kedua bambu tersebut didominasi oleh dekomposisi dinding sel.

Kesimpulan

Telah diteliti mekanisme fiksasi bambu Gombong (*Gigantochloa pseduarundinaceae*) dan Tali (*Gigantochloa apus*) jenuh air dengan mengukur relaksasi tegangannya akibat perlakuan uap panas. Fiksasi dicapai setelah perlakuan uap panas selama 60 menit pada suhu 170°C; 30 menit pada suhu 180°C; atau 20 menit pada suhu 190°C untuk bambu Gombong. Sedangkan fiksasi pada bambu Tali dicapai lebih cepat. Fiksasi dicapai pada saat prosentase kehilangan berat 20%, sehingga mekanisme fiksasi diperkirakan didominasi oleh dekomposisi hemiselulosa dan lignin.

Daftar Pustaka

- Dwianto, W., Morooka, T., Norimoto, M. 1998. A Method of Measuring Viscoelastic Properties of Wood under High-Temperature and High-Pressure Steam Conditions. *Mokuzai Gakkaishi* 44(2):77-81.
- Dwianto, W., Morooka, T., Norimoto, M., Kitajima, T. 1999. Stress Relaxation of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) wood in Radial Compression under High Temperature Steam. *Holzforchung* 53(5):541-546.
- Dwianto, W., Morooka, T., Norimoto, M. 2000. Compressive Creep of Wood under High Temperature Steam. *Holzforchung* 54(1):104-108.
- Higashihara, T., Morooka, T., Norimoto, M. 2000. Permanent Fixation of Transversely Compressed Wood by Steaming and Its Mechanism. *Mokuzai Gakkaishi* 46(4):291-297.
- Higashihara, T., Morooka, T., Norimoto, M. 2001. Permanent Fixation of Transversely Compressed Wood by Heating and Its Mechanism. *Mokuzai Gakkaishi* 47(3):205-211.
- Hsu, W.E., Schwald, W., Schwald, J., Shields, J.A. 1988. Chemical and Physical Changes Required for Producing Dimensionally Stable Wood-Based Composites. Part I. Steam Presteamng. *Wood Science and Technology* 22:281-289.

- Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., Rowel, R.M. 1993. Steam or Heat Fixation of Compressed Wood. *Wood Fiber Sci.* 25(3):224-235.
- Inoue, M., Sekino, N., Morooka, T., Norimoto, M. Dimensional Stabilization of Wood Composites by Steaming I. Fixation of Compressed Wood by Pre-steaming. *Proceeding of the Third Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium*. Kyoto, Japan, December 2-5, 1996, pp 15-21.
- Morooka, T., Inoue, M., Kawai, S., Norimoto, M. 1994. Rheological Properties of Wood under High Temperature Steam Condition. In: *Properties and Utilization of Fast Growing Trees*. China Forestry Publishing House, Beijing, China, p 65-71.
- Norimoto, M., Gril, J. 1989. Wood Bending using Microwave Heating. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 24 (4):203-212.
- Tanahashi, M., Goto, T., Hori, F., Hirai, A., Higuchi, T. 1989. Characterization of Steam-Exploded Wood III. Transformation of Cellulose Crystals and Changes of Crystallinity. *Mokuzai Gakkaishi* 35(7):654-662.

Diterima tanggal 18 Nopember 2003

Wahyu Dwianto

UPT Balai Litbang Biomaterial – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
(Research and Development Unit for Biomaterials - Indonesian Institute of Sciences)
 Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong, Bogor
 Telp. 021-87914511; Fax. 021-87914510
 E-mail: wahyudwianto@yahoo.com

Toshiro Morooka dan Misato Norimoto

Property Enhancement Laboratory, Wood Research Institute, Kyoto University
 Gokasho Uji Kyoto - Japan