

Modifikasi Alat Pelengkung Kayu Skala Pilot dengan Menggunakan Pemanas

Modification of Pilot-scale Wood Bending by Heating Elements

Teguh Darmawan, Jayadi, Sudijono, Ika Wahyuni, Yusuf Amin dan Wahyu Dwianto

Abstract

This paper deals with manufacturing and modification of pilot-scale wood bending machine by heating elements. The machine has specifications as follows: 1000 mm width; 1305 mm height; 430 mm and 470 mm radius of upper part and bottom part of bent plates, respectively; and a manual stick pressure with 870 mm length. The upper part and bottom part of bent plates are equipped with heating elements, which the maximum of temperature is arranged to 200°C by the electric force of 220V/2000 watt. Left and right sides of bent plates are covered by 1150 mm x 950 mm insulation board to maintain the heat. From the temperature measurement, the heating plates were reached 50°C in 2.5 minutes, 100°C in 9.5 minutes, and 180°C in 28 minutes. The modified machine has successfully bent Acacia solid wood with dimensions of 1100 mm(L) x 50 mm(T) and 10 mm, 20 mm, and 30 mm in thickness (R).

Key words: pilot-scale, wood bending, bent plate, heating elements.

Pendahuluan

Kayu lengkung telah digunakan secara meluas untuk berbagai bagian lengkung dari produk kayu seperti *furniture*, kusen pintu/jendela, peralatan musik dan olah raga, mainan, serta keperluan lainnya. Pada umumnya komponen kayu lengkung tersebut dibuat dari balok ukuran besar yang kemudian digergaji menjadi bentuk lengkung dan disambung. Hal ini mengakibatkan pemborosan bahan baku kayu.

Pelengkungan kayu dapat dilakukan dengan memanfaatkan sifat *viscoelastic* kayu. Pada saat melunak tersebut kayu dapat dilengkungkan (Dwianto *et.al.* 2004).

Berbagai penelitian mengenai perilaku beberapa jenis kayu yang diberi panas pada kondisi basah telah banyak dilakukan. Perlakuan tersebut antara lain adalah dengan perendaman air panas, pemanasan dengan *microwave*, atau pemberian uap panas (*steaming*). Telah diketahui bahwa bahan berlignoselulosa yang mengandung polimer *amorphous* dapat berubah dari kondisi seperti gelas (*glassy states*) menjadi kondisi seperti karet (*rubbery conditions*) dan memungkinkan untuk terdeformasi ketika dipanaskan dalam keadaan basah pada suhu tertentu (Hillis dan Rozsa 1978). Suhu transisi (*glass transition*) selulosa, hemiselulosa dan lignin dikatakan sebagai penyebab perilaku kayu tersebut (Goring 1963), dimana hal ini tidak terjadi pada kayu pada kondisi kering. Menurut Hillis dan Rozsa (1978), suhu transisi hemiselulosa kayu segar (*green wood*) terjadi pada suhu sekitar 70°C~80°C, sedangkan lignin terjadi pada suhu 80°C~100°C. Penambahan waktu pada perlakuan uap panas akan semakin menurunkan suhu transisi tersebut.

Pada penelitian sebelumnya untuk mengetahui jenis-jenis kayu yang mudah dilengkungkan dengan pengujian lentur statis contoh uji bebas cacat pada

kondisi pelunakan menunjukkan bahwa nilai MOE dan MOR menurun pada kondisi jenuh air jika dibandingkan dengan kondisi kering udara (Prianto *et.al.* 2004). Selanjutnya diketahui bahwa pelengkungan kayu membutuhkan kecepatan yang sangat rendah untuk mencegah agar kayu tidak mengalami kerusakan. Jenis kayu yang berhasil dilengkungkan secara manual adalah kayu Afrika, Akasia, Albizia, Ambon, Angsana, Bacang, Cemara, Jengkol, Pinus dan Randu. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa faktor penyebab keberhasilan ataupun kegagalan pelengkungan kayu merupakan kombinasi antara kerapatan, nilai relatif MOE dan nilai defleksi pada saat patah, dimana kayu yang mudah dilengkungkan adalah kayu yang mempunyai kerapatan rendah sampai sedang; nilai relatif MOE rendah; dan nilai defleksi tinggi.

Dari tinjauan di atas dapat disimpulkan bahwa tahapan pelengkungan kayu dapat dibagi menjadi: (1) pelunakan (*softening*): pelunakan dapat dicapai dengan merendam kayu sampai jenuh air dan dilanjutkan dengan perlakuan panas; (2) pelengkungan (*forming*): pelengkungan dapat dimungkinkan pada saat kayu masih lunak jika dibandingkan dengan kayu kering; (3) *drying set (setting)*: *drying set* merupakan proses pengeringan pada saat kayu dalam kondisi lengkung; (4) fiksasi (*fixation*): fiksasi merupakan usaha/perlakuan tertentu agar kayu yang telah dilengkungkan tidak kembali ke bentuk semula atau bersifat permanen. Penelitian mengenai fiksasi kayu lengkung dengan perlakuan uap panas telah dilakukan antara lain oleh Makinaga, *et al.* (1997). Mereka melaporkan bahwa hubungan antara suhu dan waktu perlakuan uap panas ditunjukkan oleh kurva hiperbolik, dimana untuk mencapai fiksasi kayu lengkung membutuhkan suhu minimal 160°C selama 15 menit.

Tahap pertama, dengan anggaran penelitian tahun sebelumnya, telah dibuat alat pelengkung kayu

skala pilot yang dapat digunakan untuk membuat LVL (*Laminated Veneer Lumber*) berbentuk lengkung yang terdiri dari 25 lapis *veneer* dengan perekat *resorsinol* dimana tidak memerlukan panas pada proses perekatannya. Akan tetapi alat pelengkung tersebut belum mampu digunakan untuk melengkungkan kayu *solid* dengan ketebalan di atas 10 mm.

Berdasarkan prinsip bahwa proses pelengkungan kayu membutuhkan panas, maka dengan ditambahkan elemen pemanas sebagai penyempurnaan alat pelengkung kayu sebelumnya, diharapkan dapat melengkungkan kayu *solid*. Hal ini akan sangat bermanfaat dan membantu dalam upaya mengurangi pemborosan bahan baku kayu yang biasa dilakukan dalam pembuatan komponen kayu lengkung.

Tujuan dan sasaran kegiatan ini adalah untuk: (1) memodifikasi alat pelengkung kayu skala pilot yang telah ada dan diharapkan dapat digunakan untuk melengkungkan kayu *solid* sesuai dengan ukuran pemakaian, serta (2) pembuatan prototipe kayu lengkung.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk pemasangan komponen pemanas pada plat lengkung alat pelengkung kayu skala pilot tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Constructing materials used for heating equipment.

Materials	Size	Total
Stainless Steel plate	120 x 1600 x 6 mm	2
Heater 2000 watt	90 x 1500 x 4 mm	2
Asbes Plate	1000 x 1000 x 5 mm	3
Bolt L M8	M 8 x 40	24
Box panel	400 x 500 x 200 mm	1
Thermo control	90 x 90 mm	2
Magnetic Contactor	15 A, 220 Volt	2
On/off button	25 mm	2
Terminal 50 A	6 kaki	1
Heat-resistant cable	6 mm	10 m
YYY Single cable	6 mm	20 m
YYY Single cable	4 mm	20 m
Scun cable	6 mm + 4 mm	1 pack
Rell contactor	-	1
Handle switch	50 A	1
YYY cable	3 x 6 mm	5 m

Metode

Pernyataan Kebutuhan Spesifikasi Alat: Untuk melengkungkan kayu dibutuhkan pengepresan panas pada suatu cetakan yang berbentuk lengkung. Faktor pemanas tersebut bertujuan untuk melunakan kayu sehingga dapat dilengkungkan tanpa terjadi cacat.

Perencanaan dan Proses Pembuatan Alat:

Perencanaan yang dilakukan adalah memodifikasi alat pelengkung kayu yang telah dibuat sebelumnya, diantaranya (1) menambahkan elemen pemanas pada cetakan dengan suhu yang dapat diatur sampai batas maksimum 200°C, (2) menambahkan penyekat isolator panas pada ke dua sisi cetakan, (3) mengganti bentuk dan ukuran engkol pemutar manual, (4) mengurangi tinggi alat dan mengubah kedudukan mesin pada alat, (5) menambahkan plat fleksibel sebagai dukungan kayu yang akan dilengkungkan, dan (6) mengubah jari-jari cetakan atas dan bawah.

Cetakan atas memiliki jari-jari kelengkungan 430 mm dan cetakan bawah 470 mm direncanakan akan digunakan untuk melengkungkan kayu dengan ketebalan 40 mm. Hasil dari tahap ini adalah desain alat berupa gambar kerja yang akan digunakan pada proses pembuatan alat.

Uji Coba Alat: Uji coba alat ditujukan untuk mengetahui kinerja alat yang telah dibuat. Waktu yang dibutuhkan untuk kenaikan suhu pada elemen pemanas diukur dari 50°C s/d 180 °C dengan menggunakan *thermocouple*.

Contoh uji kayu yang dilengkungkan adalah Pinus (*Pinus merkusii*) dan Akasia (*Acacia mangium*) dengan ukuran 1100 mm (L) x 50 mm (T) dan ketebalan (R) bervariasi dari 10 mm, 20 mm, dan 30 mm. Jenis kayu tersebut dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya terhadap contoh uji bebas cacat ukuran 300 mm (L) x 20 mm (T) x 10 mm (R), bahwa kayu Pinus dan Akasia termasuk jenis kayu yang tidak mengalami kerusakan pada saat dilengkungkan secara manual dengan diameter pelengkungan 150 mm dari 15 jenis kayu yang dilengkungkan (Prianto *et.al.* 2004).

Faktor keberhasilan pelengkungan kayu merupakan kombinasi antara kerapatan, nilai relatif MOE dan nilai defleksi pada saat patah, dimana kayu yang mudah dilengkungkan adalah kayu yang mempunyai kerapatan rendah s/d sedang; nilai relatif MOE (MOE jenuh air/MOE kering udara) rendah; dan nilai defleksi tinggi. Kerapatan kering oven Pinus adalah 0.61, sedangkan Akasia 0.51. Nilai MOE Pinus (1000 kgf/cm²) pada kondisi kering udara dan jenuh air adalah 9.31 dan 3.96. Sedangkan Akasia adalah 5.74 dan 3.24 (Prianto *et.al.* 2004).

Kayu yang akan dilengkungkan dilunakkan terlebih dahulu dengan cara perendaman sampai jenuh air, selanjutnya di bungkus dengan aluminium foil sehingga air kayu tidak menguap keluar dan dapat

berfungsi sebagai faktor pelunak pada saat kayu dipanaskan. Pelengkungan dilakukan pada suhu 100°C, 150°C, dan 180°C, dengan waktu 30 menit. Kayu diletakkan pada cetakan pelengkung dan dipres secara perlahan-lahan dengan cara memutar engkol pemutar batang ulir dengan kecepatan kurang lebih 20 mm/menit.

Hasil dan Pembahasan

Alat Pelengkung Kayu Sebelum Dimodifikasi

Cetakan atas dan cetakan bawah alat yang telah dibuat pada tahap pertama memiliki radius yang sama, sehingga pada saat digunakan terjadi perbedaan jarak pada bagian tengah dan pinggir cetakan (Gambar 1). Engkol pemutarnya berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter 450 mm; dengan bentuk dan ukuran tersebut ternyata pada saat digunakan memerlukan tenaga yang

cukup besar, sehingga kesulitan jika digunakan untuk melengkungkan kayu *solid*.

Model dari dudukan mesin alat sebelumnya hanya berupa batang siku yang dibaut dengan kaki-kaki alat, sehingga alat bergerak pada saat digunakan. Alat ini baru mampu digunakan untuk membuat LVL (*Laminated Veneer Lumber*) berbentuk lengkung dari 25 lapis *veneer* dengan perekat *resorsinol* yang tidak memerlukan panas pada proses perekatannya. Akan tetapi alat pelengkung ini belum mampu digunakan untuk melengkungkan kayu *solid* dengan ketebalan diatas 10 mm.

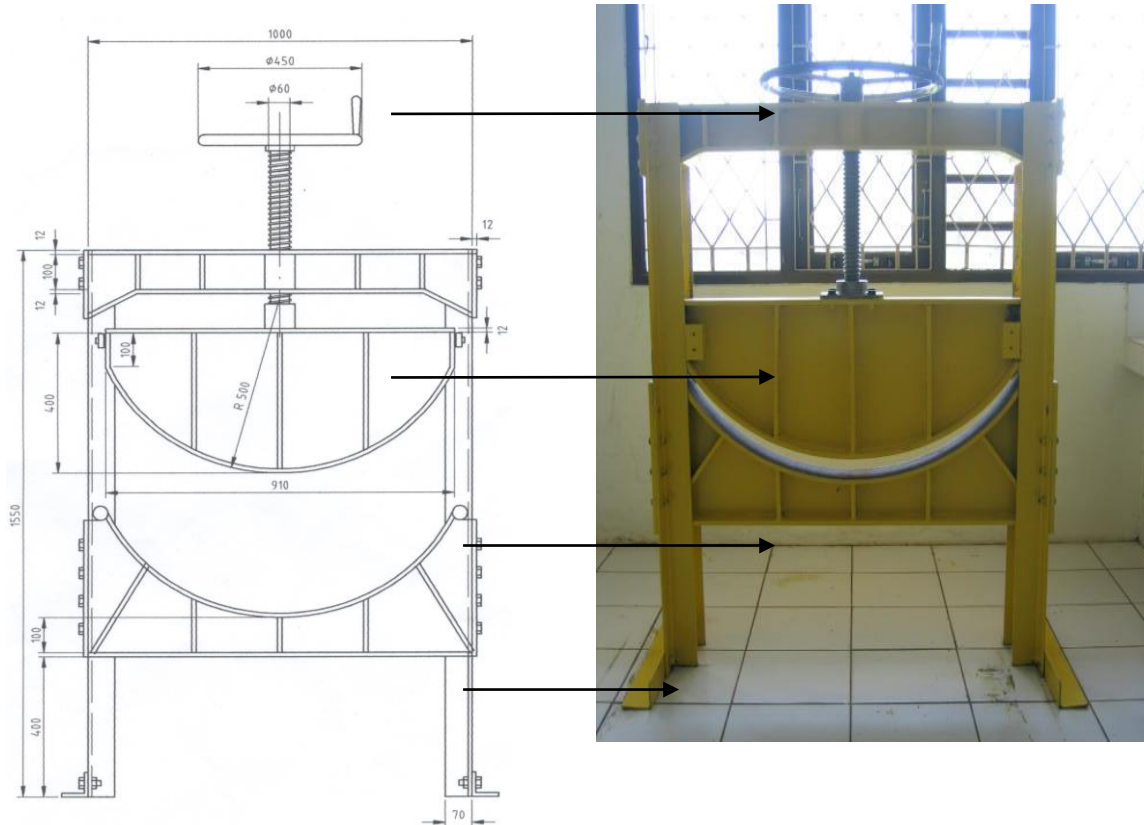


Figure 1. The design of wood bending machine before modified (mm unit).

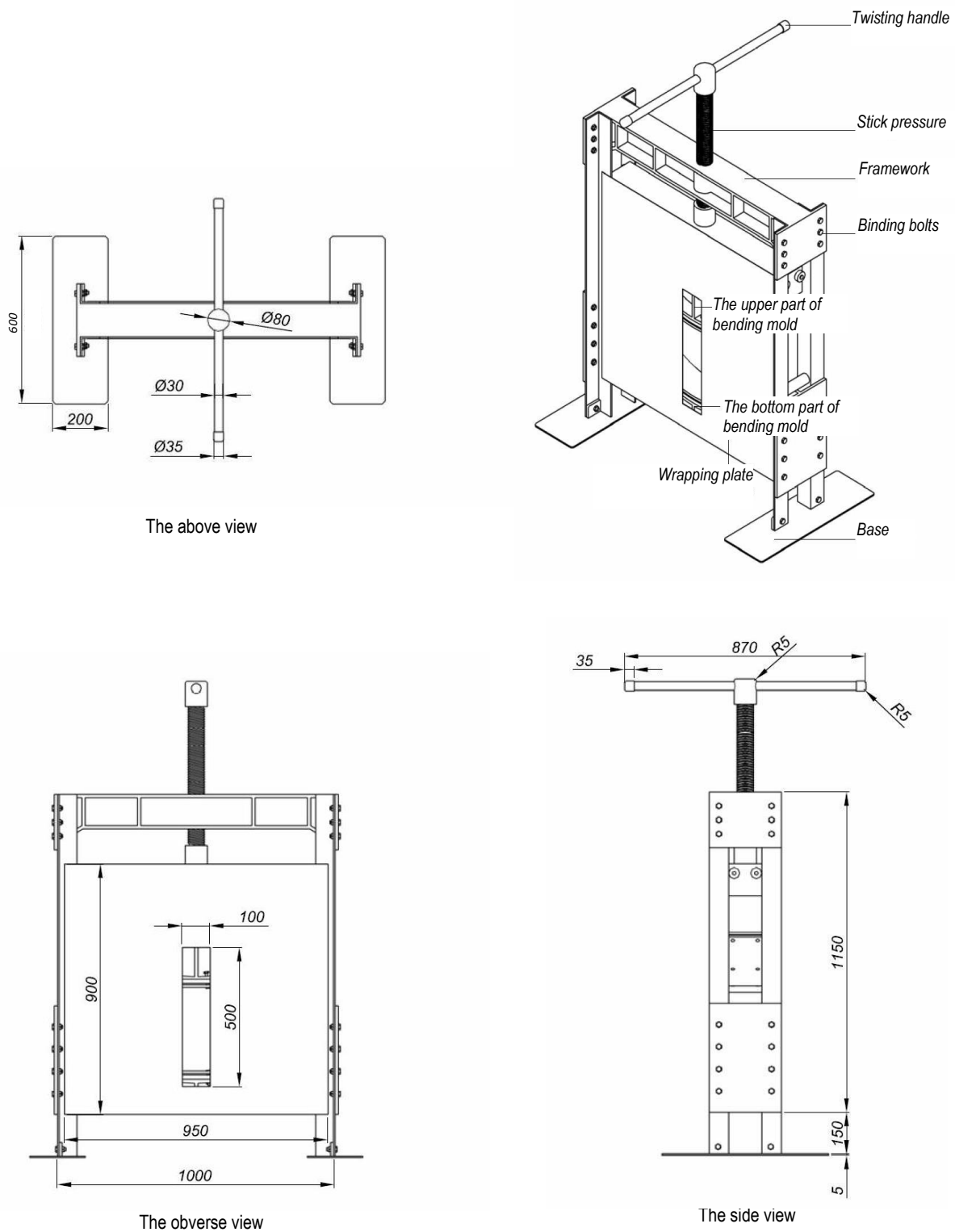


Figure 2. Modified design of wood bending machine (mm unit).

Alat Pelengkung Kayu Setelah Dimodifikasi

Untuk memudahkan penggunaannya dilakukan pengurangan tinggi alat dan perubahan dudukan mesin, sehingga alat dapat di letakkan pada pondasi untuk menahan alat agar tidak bergerak. Engkol pemutarnya berupa batang dengan panjang 870 mm yang bisa digeser; dengan bentuk dan ukuran yang baru, tenaga yang digunakan akan lebih ringan dan lebih mudah secara operasional (Gambar 2).

Jika suatu balok dilengkungkan, maka selain tegangan lengkung akan terjadi perbedaan tegangan di sisi dalam dan sisi luar. Pada sisi dalam terjadi tegangan tekan dan pada sisi luar terjadi tegangan tarik. Hal ini dapat mengakibatkan gagalnya pelengkungan yang dilakukan. Untuk mengatasi hal tersebut pada alat yang telah dimodifikasi dilengkapi dengan plat fleksibel sebagai dudukan kayu yang dilengkungkan, serta untuk meredam konsentrasi tegangan yang terjadi (Gambar 3).

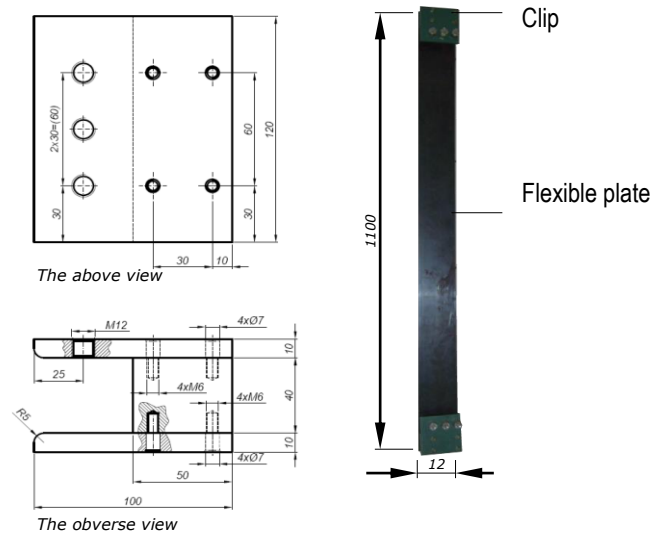
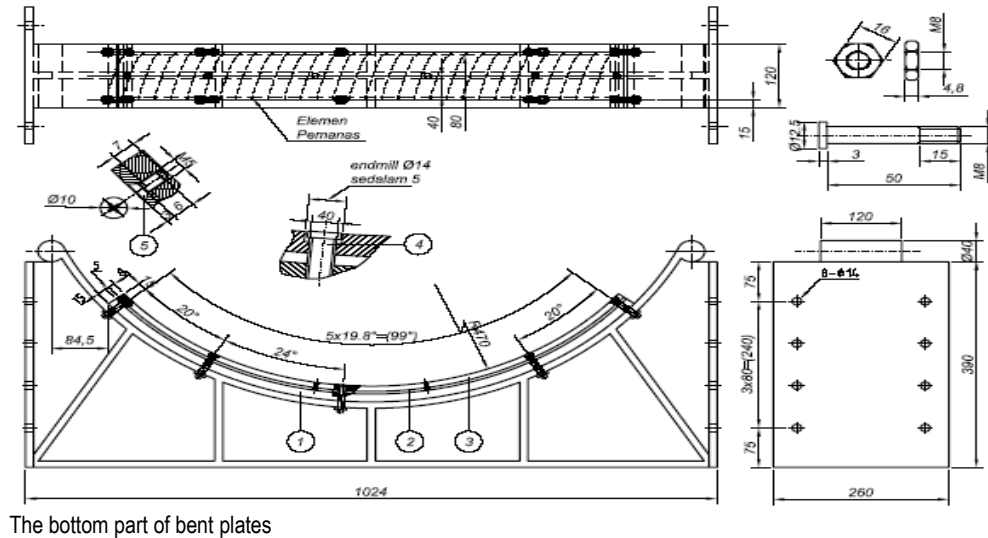


Figure 3. Wood base design (mm unit).



Notes:

1. Asbes
2. Heating elements
3. Stainless steel heating plate
4. Bolt to fasten the heating devise
5. Bolt to fasten the heating element

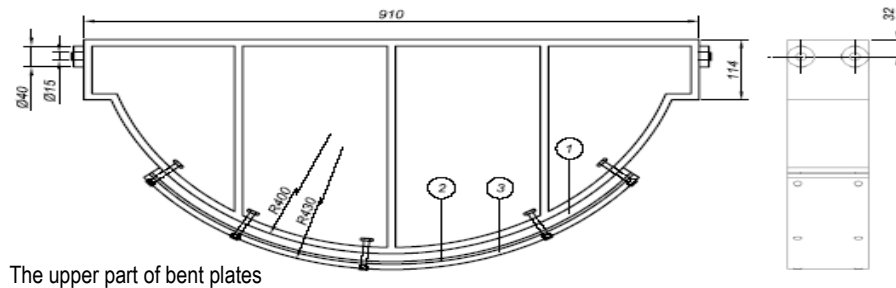


Figure 4. The upper and bottom part of bent plates modified with heating elements (mm unit).

Kegiatan utama dalam modifikasi ini adalah (i) menambahkan komponen pemanas pada kedua cetakan, dan (ii) mengubah jari-jari kelengkungan cetakan dari alat sebelumnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Cetakan bagian bawah memiliki jari-jari 470 mm dan bagian bawah 430 mm, sehingga terdapat selisih 40 mm antara kedua jari-jari cetakan tersebut. Hal ini ditujukan agar cetakan memiliki jarak yang sama, baik di bagian tengah maupun di tepi pada saat selisih antara kedua jari-jari cetakan 40 mm. Elemen pemanas yang dipasang menggunakan daya listrik dengan input 220 V/2000 watt dan suhunya dapat diatur sampai 200°C. Untuk menghindari hilangnya panas ke udara sekitar, ditambahkan penyekat pada kedua sisi elemen pemanas.

Alat tersebut secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut cetakan atas dan bawah tertutup oleh penyekat sebagai isolator panas. Alat tersebut dilengkapi dengan panel pengatur suhu dan waktu.



Figure 5. Modified wood bending machine.

Mekanisme kerja alat yang telah dimodifikasi untuk melengkungkan kayu adalah sebagai berikut:

1. Aliran listrik ke elemen pemanas dinyalakan dengan menekan tombol *on* pada panel pengatur suhu. Pada saat dinyalakan, cetakan atas dan bawah didekatkan satu sama lain untuk mempercepat proses pemanasan. Selain itu pengatur suhu telah di *set* pada suhu yang diinginkan. Dari hasil pengukuran suhu tercatat bahwa plat pemanas alat ini dapat mencapai suhu 50°C dalam waktu 2.5 menit, 100°C dalam waktu 9.5 menit, dan 180°C dalam waktu 28 menit (Gambar 6).
2. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, cetakan atas dinaikkan dengan memutar engkol secara manual sampai ketinggian dimana kayu yang masih dalam keadaan lurus dapat dimasukkan di

antara cetakan atas dan bawah (cetakan bawah tidak bisa bergerak).

3. Kayu yang telah dipersiapkan seperti dijelaskan pada Metode, diletakkan di atas plat fleksibel, kemudian dimasukkan di antara cetakan atas dan bawah dan diposisikan tepat di tengah.
4. Selanjutnya kayu segera dilengkungkan pada saat masih basah dan terbungkus aluminium foil dengan menurunkan kembali cetakan atas sampai mencapai ketebalan kayu. Kecepatan pelengkungan juga berpengaruh pada keberhasilan pelengkungan kayu. Terlalu cepat mengakibatkan kerusakan karena kayu mengalami tegangan tekan pada sisi bagian dalam yang mendadak, sedangkan terlalu lama akan membuat kayu segera kering sebelum melengkung pada radius yang diharapkan.
5. Setelah mencapai waktu yang ditetapkan, aliran listrik dimatikan dengan menekan tombol *off*. Suhu plat pelengkung dibiarkan menurun perlahan-lahan sampai sama dengan suhu ruang. Setelah itu penyekat pada kedua sisi elemen pemanas dibuka agar dapat membuka pembungkus kayu dari sisi tebalnya (*radial*), sedangkan kayu tetap dibiarkan di antara cetakan. Proses pengondisian ini membutuhkan waktu 8 jam sampai kayu mencapai kadar air kering udara.

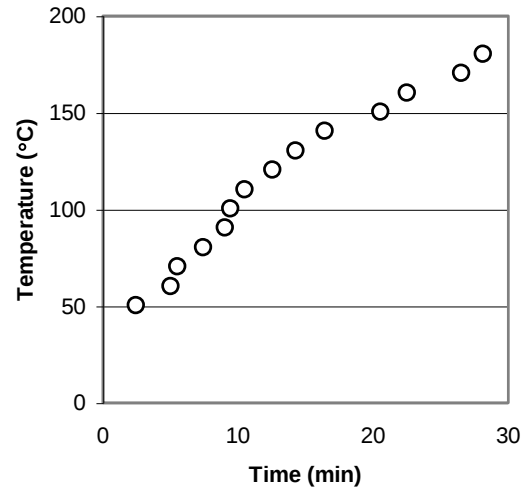


Figure 6. Relationship between temperature and time.

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan terhadap alat yang telah dimodifikasi tersebut mampu melengkungkan kayu *solid* Akasia dengan ukuran 1100 mm (L) x 50 mm (T), serta sampai ketebalan 30 mm (R) pada suhu 150°C dan waktu 30 menit tanpa terjadi kerusakan (Gambar 7), sedangkan kayu Pinus pada ketebalan 20 mm dan 30 mm, terjadi keretakan di sisi luar lengkungan walaupun tidak patah (Gambar 8). Hal

ini kemungkinan disebabkan oleh arah serat yang miring atau tidak sejajar dengan arah panjang kayu. Kemungkinan lainnya adalah adanya mata kayu di bagian dalam yang tidak terlihat secara *visual*.



Figure 7. Acacia solid woods with 10 mm, 20 mm, 30 mm thickness that have successfully bent.



Figure 8. Pinus bent woods with 10 mm, 20 mm, and 30 mm thickness.

Pada uji coba ini, kayu yang akan dilengkungkan dilunakkan terlebih dahulu dengan cara perendaman sampai jenuh air. Proses penjemuran air kayu dengan ukuran panjang 1100 mm membutuhkan waktu kurang lebih 2 minggu. Proses pelunakan dapat juga dilakukan dengan perebusan atau dimasak di dalam *autoclave* untuk mempersingkat waktu, tetapi membutuhkan peralatan perebusan atau *autoclave* yang cukup besar. Dengan memanaskan kayu jenuh air yang dibungkus rapat menyebabkan air kayu tidak dapat menguap keluar dan berubah menjadi uap panas (*steam*) yang berfungsi sebagai faktor pelunak kayu.

Pelengkungan kayu ini belum ditargetkan untuk mencapai fiksasi pelengkungan dan hampir dapat dipastikan hasil pelengkungan ini akan terjadi *springback* jika direndam atau direbus, karena suhu yang digunakan hanya 150°C selama 30 menit. Untuk mencapai fiksasi

pelengkungan contoh uji bebas cacat (*small clear specimen*) dengan perlakuan uap panas (*steam treatment*) membutuhkan suhu minimal 160°C selama 15 menit (Makinaga, *et.al.*1997). Diperkirakan untuk mencapai fiksasi dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang hanya dari plat pemanas membutuhkan suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama.

Kelemahan-kelemahan dari alat ini adalah (1) hanya dapat melengkungkan kayu dengan jari-jari lengkungan yang tidak dapat diubah-ubah, yaitu 430 mm; (2) tidak dibuatnya sistem pendinginan pada plat lengkung mengakibatkan pengkondisian kayu hingga mencapai kadar air kering udara setelah dihentikannya proses pemanasan membutuhkan waktu yang lama (3) kecepatan pelengkungan kayu tidak konstan karena dilakukan secara manual dengan memutar engkol.

Kesimpulan

Modifikasi alat pelengkung kayu telah berhasil dilakukan, yaitu dengan (1) menambahkan elemen pemanas pada cetakan dengan suhu yang dapat diatur sampai batas maksimum 200°C, (2) menambahkan penyekat isolator panas pada ke dua sisi cetakan untuk menghindari hilangnya panas ke udara sekitar, (3) mengganti bentuk dan ukuran engkol pemutar manual sehingga tenaga yang digunakan akan lebih ringan, (4) mengurangi tinggi alat dan mengubah kedudukan mesin pada alat untuk memudahkan penggunaannya dan menahan alat agar tidak bergerak, (5) menambahkan plat fleksibel sebagai dukungan kayu yang akan dilengkungkan untuk meredam konsentrasi tegangan yang terjadi, dan (6) mengubah jari-jari cetakan atas dan bawah sehingga dapat digunakan untuk melengkungkan kayu dengan ketebalan 40 mm.

Dari hasil pengukuran suhu tercatat bahwa plat pemanas alat ini dapat mencapai suhu 50°C dalam waktu 2.5 menit, 100°C dalam waktu 9.5 menit, dan 180°C dalam waktu 28 menit.

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan terhadap alat yang telah dimodifikasi tersebut mampu melengkungkan kayu *solid* Akasia dengan ukuran 1100 mm (L) x 50 mm (T), serta sampai ketebalan 30 mm (R) pada suhu 150°C dan waktu 30 menit tanpa terjadi kerusakan.

Pelengkungan kayu dapat dilakukan dengan memanfaatkan sifat *viscoelastic* kayu. Pada saat melunak tersebut kayu dapat dilengkungkan. Pelengkungan kayu dengan cara terlebih dahulu merendam kayu sampai jenuh air cukup efektif terutama untuk kayu dengan ukuran besar karena dengan memanaskan kayu jenuh air yang dibungkus rapat menyebabkan air kayu tidak dapat menguap keluar dan berubah menjadi uap panas (*steam*) yang berfungsi sebagai faktor pelunak kayu.

Selain berbagai faktor penyebab keberhasilan pelengkungan, antara lain ada-tidaknya cacat, arah serat, kerapatan, nilai relatif MOE, nilai defleksi, dan kecepatan pelengkungan; hal yang terpenting adalah meniadakan tegangan tarik pada sisi luar kayu yang dilengkungkan, sehingga yang terjadi hanya tegangan tekan pada sisi bagian dalam. Oleh karena itu sangat mutlak digunakan plat fleksibel untuk meletakkan kayu pada saat dilengkungkan.

Hasil pelengkungan kayu pada uji coba ini masih mengalami *springback* jika direndam atau direbus. Diperkirakan untuk mencapai fiksasi membutuhkan suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama. Hal ini akan dilakukan pada penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

Dwianto, W.; A.H. Prianto; Y. Amin,. Metode Pemilihan Jenis untuk Kayu Lengkung II – Pengujian Tekan Sejajar Serat pada Kondisi Pelunakan. Prosiding

Seminar Nasional VII MAPEKI, Makasar 5-6 Agustus 2004.

Goring, D.A.I. 1963. Thermal Softening of Lignin, Hemicellulose dan Cellulose. Pulp and Paper Magazine Canada 64 (12), 517 – 527.

Hillis, W.E; A.N. Rozsa. 1978. The Softening Temperature of Wood. Holzforchung 32 (2), 68 – 73.

Makinaga, M.; M. Norimoto; M. Inoue. 1997. Permanent Fixation of Bending Deformation of Wood by Steam Treatment. Wood Research Bulletin 84, 39 - 41.

Prianto, A.H.; W. Dwianto; Y. Amin. Metode Pemilihan Jenis untuk Kayu Lengkung I – Pengujian Lentur Statis pada Kondisi Pelunakan. Prosiding Seminar Nasional VII MAPEKI, Makasar 5-6 Agustus 2004.

Diterima (*accepted*) tanggal 14 Februari 2006

Teguh Darmawan, Jayadi, Ika Wahyuni, Yusuf Amin dan Wahyu Dwianto
UPT Balai Litbang Biomaterial (*Research and Development Unit for Biomaterials*)
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (*Indonesian Institute of Sciences*)
Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong, Bogor
Tel : 021-87914509
Fax : 021-87914510
E-mail : wahyudwianto@yahoo.com

Sudijono
Pusat Penelitian Fisika (*Research Center for Physics*)
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (*Indonesian Institute of Science*)
Komplek Puspiptek Serpong
Tel : 021-7560089
Fax : 021-7560554