

PENGEMBANGAN BAHAN KAYU SEBAGAI STRUKTUR UTAMA MESIN PERKAKAS

Susilo Adi Widyanto, Febri Setianto, Anggoro Wahyu Hutomo, Achmad Widodo, Sri Nugroho

Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang 50277
Susilo70@yahoo.com

Abstrak

Penerapan sistem otomasi dalam sistem produksi telah terbukti mampu meningkatkan kualitas produk industri, produktivitas dan efisiensi produksi. Demikian halnya dalam proses pemotongan, penerapan teknologi mesin CNC telah menghasilkan lompatan besar dalam ketiga hal tersebut. Namun, di Indonesia penerapan mesin-mesin CNC dalam industri manufaktur khususnya IKM masih sangat terbatas, hal tersebut disebabkan oleh masih mahalnnya harga mesin CNC. Berdasarkan analisis ongkos produksi yang dilakukan oleh berbagai vendor, 80% harga mesin CNC ditentukan oleh ongkos produksi struktur mekanis mesin-mesin tersebut. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan kayu sebagai struktur utama mesin CNC untuk mereduksi ongkos produksi mesin. Sedangkan fokus penelitian adalah menentukan perlakuan kayu untuk memperoleh stabilitas dimensi optimal akibat perubahan kondisi kelembaban dan menentukan jenis sambungan segaris maupun tegak lurus untuk memperoleh karakteristik mekanis terbaik. Jenis sambungan yang diuji meliputi sambungan lem dan sambungan lem ditambah baut dengan variasi jumlah baut dan jarak baut. Bahan kayu yang digunakan meliputi kayu karet (*Hevea braziensis*), kayu bengkirai (*Shorea laevis*) dan kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*). Penyambungan lem dilakukan dengan tekanan sebesar $0,167 \text{ kg/mm}^2$ hingga kondisi kering (36 jam). Beberapa sambungan lem ditambahkan dengan satu dan dua baut dengan variasi jarak 1,2 cm dan 2,5 cm. Ukuran baut adalah M8 dengan luas bidang tekan 907 mm^2 dan torsi pengencangan 40 Nm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses coating dengan epoxy, kayu ulin memiliki stabilitas dimensi terbaik, sedangkan perubahan volume kayu karet paling besar diantara dua jenis kayu lainnya yaitu sekitar 0,6% pada tingkat kelembaban diatas 80%. Dari hasil pengujian kekuatan tarik sambungan kayu diperoleh bahwa kekuatan tarik maksimum yang dihasilkan oleh berbagai jenis sambungan hanya mencapai sekitar 30% dari kekuatan tarik kayu untuk kayu karet maupun kayu bengkirai. Penambahan baut pada sistem sambungan lem tidak menghasilkan kontribusi yang jelas pada peningkatan kekuatan tarik sambungan segaris. Hal ini membuktikan bahwa sifat orthotropik kayu lebih dominan dalam sifat mekanis yang dihasilkan oleh berbagai jenis sambungan.

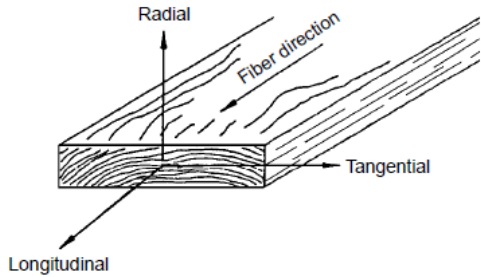
Kata kunci: struktur utama mesin perkakas, struktur kayu, sambungan segaris, sambungan tegak lurus, sambungan lem.

Pendahuluan

Kayu merupakan bahan alam yang umum digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan. Berbagai jenis kayu dipasarkan secara komersial yang harganya jauh lebih murah dibandingkan bahan-bahan logam. Selain itu proses produksinya jauh lebih mudah sehingga ongkosnya lebih murah. Paper ini mengusulkan penggunaan bahan kayu sebagai bahan struktur utama mesin perkakas. Secara khusus akan dibahas pengaruh metode pelapisan kayu dengan epoxy terhadap distorsi dimensi dan sifat mekanis sambungan segaris dan sambungan tegak lurus.

Dari sifat mekanisnya, kayu merupakan salah satu jenis bahan yang memiliki sifat yang sangat

bervariasi. Hal tersebut disebabkan karena kayu merupakan bahan alam yang kondisinya sangat dipengaruhi oleh kelembaban, kondisi tanah dan ruang tumbuhnya. Kayu digambarkan sebagai bahan ortotropik, dimana kayu memiliki sifat yang unik dan sifat mekanis yang independen pada arah longitudinal, radial dan tangensial. Arah longitudinal dinyatakan sebagai searah serat, radial sebagai arah dalam lingkaran tumbuh dan tangensial merupakan arah yang tegak lurus radial seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 (Hearmon, 1961).



Gambar 1. Persumbuan pada kayu yang digunakan untuk analisis sifat mekanis (Hearmon, 1961).

Beberapa sifat mekanis kayu dipengaruhi oleh perubahan kondisi kadar air di bawah titik jenis serat. Sifat-sifat tersebut antara lain kekuatan tekan, kekuatan geser, kekuatan bending statis dll. Secara umum sifat-sifat tersebut meningkat kekuatannya dengan penurunan kadar air. Hubungan yang menggambarkan perubahan sifat kayu pada 21°C dinyatakan dalam bentuk Persamaan 1.

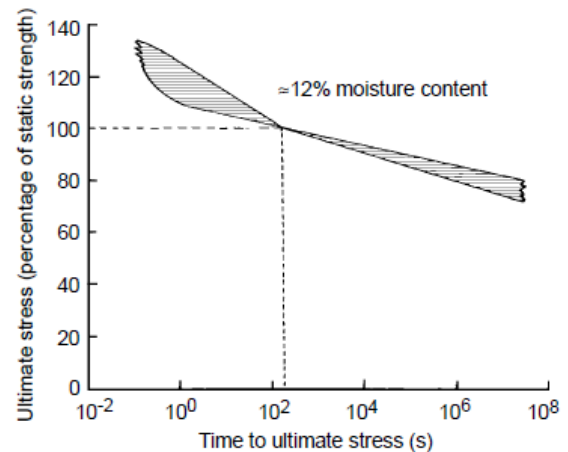
$$P = P_{12} \left(\frac{P_{12}}{P_g} \right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12} \right)} \dots\dots\dots(1)$$

Diman P adalah sifat pada kadar air M(%), P12 sifat yang sama pada 12% kadar air, Pg adalah sifat yang sama untuk kayu basah, dan Mp adalah kadar air pada perpotongan garis horisontal yang mewakili fungsi logaritma kekuatan terhadap kandungan air untuk kayu kering. Kondisi ini menunjukkan hubungan linier dalam harga Mp yang menurun terhadap titik jenuh serat (Kretschmann and Green, 1996).

Peningkatan tegangan tekan sepanjang serat akan menyebabkan kegagalan tekan. Kegagalan tekan terlihat pada permukaan di daerah sekitar lendutan. Secara umum kegagalan tekan ditunjukkan oleh garis putih yang nampak jelas secara visual (Bodig and Goodman, 1973)

Kayu memiliki sifat khusus yang menyangkut kondisi lama pembebanan. Pada pengujian kekuatan statis laju pembebanan atau laju deformasi diberikan secara bertahap sampai pada beban tertinggi yang membutuhkan waktu sekitar 5 menit. Dari hasil pengujian menyatakan bahwa harga kekuatan meningkat bila laju pembebanan ditingkatkan. Pada beberapa kondisi khusus dimana laju dan besar beban diperhitungkan, kekuatan mendekati fungsi eksponensial dari laju pembebanan. Gambar 2 menunjukkan bahwa kekuatan menurun terhadap waktu pada pemberian beban maksimum. Variasi tren yang sama ditunjukkan sebagai hasil pengujian

bending, tekan maupun geser (Kretschmann and Bendtsen, 1992)



Gambar 2. Hubungan antara tegangan ultimate dan waktu pembebanan hasil pengujian bending, uji tekan dan uji geser searah serat (Kretschmann and Bendtsen, 1992)

Sifat mekanis kayu berhubungan erat dengan kerapatannya. Secara umum kekuatan lentur statis dan kekuatan tekan sejajar serat maksimum meningkat secara linier terhadap kenaikan kerapatan kayu (Haygreen dan Bowyer, 1982).

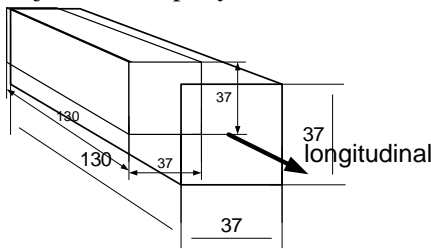
Dalam aplikasinya sambungan kayu diperlukan untuk membangun suatu konstruksi. Beberapa jenis sambungan kayu telah dikembangkan yang menggunakan paku, baut, pasak maupun lem. Jenis-jenis perekat buatan yang umum digunakan dalam sambungan kayu antara lain adalah phenol formadehyde (PF), resolsinol fromadehyde (RF), melamine formadehyde (MF) dan urea formadehyde (UF). Perekat UF jenis penekanan panas hanya sesuai untuk penggunaan non struktural, sedangkan untuk penekanan dingin cocok digunakan untuk keperluan struktural. Perekat UF hanya tahan terhadap kondisi dalam ruangan dan tidak tahan terhadap suhu dan kelembaban tinggi. Perekat jenis ini cocok untuk kayu dengan kandungan air antara 7 sampai 15%. Ketebalan garis perekatan yang menghasilkan kekuatan rekat terbaik adalah 0,01 – 0,02 inchi. Tekanan optimum untuk menghasilkan kekuatan rekat terbaik adalah 0,4-1,2 N/mm² (Prayitno, 1996).

Metode Penelitian

Bahan kayu yang digunakan dalam penelitian meliputi meliputi kayu karet (*Hevea braziensis*), kayu bengkirai (*Shorea laevis*) dan kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*) khusus untuk pengujian distorsi dimensi. Pengujian yang dilakukan meliputi: uji distorsi dimensi, uji tarik sambungan segar dan uji momen untuk sambungan tegak lurus.

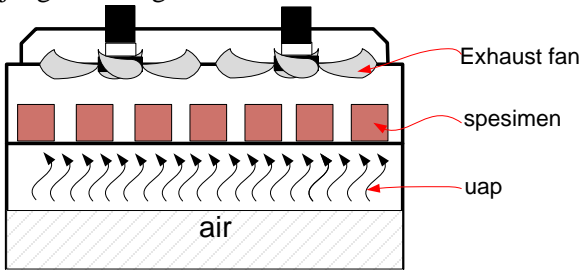
a. Pengujian stabilitas dimensi

Dimensi kayu dipengaruhi oleh kelembaban lingkungannya, tetapi dengan perlakuan yang tepat, distorsi dimensi kayu dapat diminimalkan. Setelah dioven pada temperatur 45 derajat hingga kelembaban mencapai 17%, kayu dibuat spesimen sesuai dengan ukuran pada Gambar 3. Beberapa spesimen diepoxy untuk menutup seluruh permukaannya, dikeringkan pada temperatur 45°C selama 6 jam dan diepoxy kembali.



Gambar 3. Dimensi spesimen stabilitas dimensi kayu.

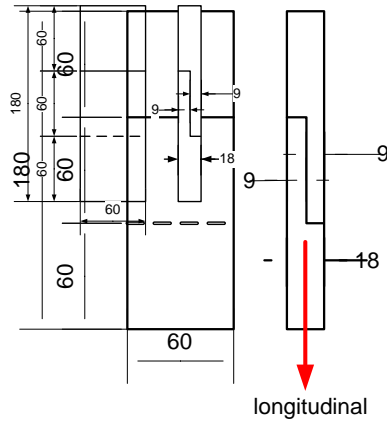
Pengujian stabilitas dimensi dilakukan dengan membandingkan pengukuran dimensi untuk menghitung volume kayu sebelum dan sesudah pengujian. Pengujian dilakukan dengan perendaman dan penguapan. Set-up pengujian dengan penguapan seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Pengukuran dimensi kayu dilakukan secara periodik setiap jam dengan menggunakan jangka sorong.



Gambar 4. Set-up pengujian distorsi dimensi kayu dengan metode penguapan.

b. Pengujian tarik sambungan segaris

Spesimen uji tarik sambungan seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Sebelum dimesin, kayu dikeringkan hingga kelembaban mencapai 17% dalam oven. Sambungan dilakukan dengan dengan pengeleman dengan lem epoxy di bawah tekanan sebesar 0,167 kg/mm² selama 36 jam. Jenis sambungan divariasikan meliputi: sambungan lem, sambungan lem + 1 baut, sambungan lem + 2 baut dengan jarak 15 mm dan sambungan lem + 2 baut dengan jarak 25 mm. Ukuran baut adalah M8 dengan luas bidang tekan 907 mm² dan torsi pengencangan 40 Nm.

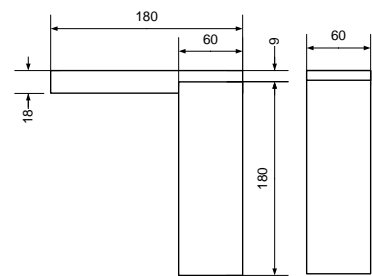


Luas pengeleman	: 4680 mm ²
Luas bidang geser	: 3600 mm ²
Luas bidang tarik	: 1080 mm ²

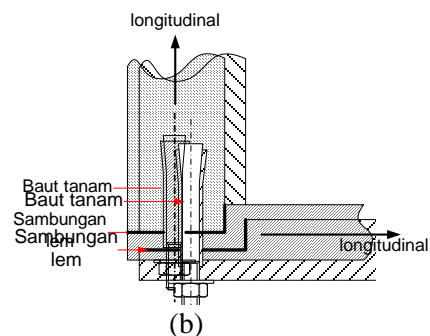
Gambar 5. Spesimen uji tarik sambungan segaris.

c. Pengujian momen sambungan tegak lurus

Beberapa sambungan pada struktur mesin perkakas berupa sambungan tegak lurus, misalnya sambungan antara base dan kolom. Akibat gaya aksial sumbu Z (gaya tekana pahat), kolom terhadap base dikenai momen. Specimen sambungan tegak lurus seperti ditunjukkan dalam Gambar 6a, sedangkan Gambar 6b menunjukkan jenis baut tanam yang digunakan untuk sambungan tegak lurus. Sebelum dibaut, antar permukaan dilakukan proses pengeleman di bawah tekanan 0,167 kg/mm² selama 36 jam. Pada pengujiannya, spesimen dipegang dengan menggunakan jig yang dibaut dengan mesin uji tarik-tekan (Gambar 7).



(a)



(b)

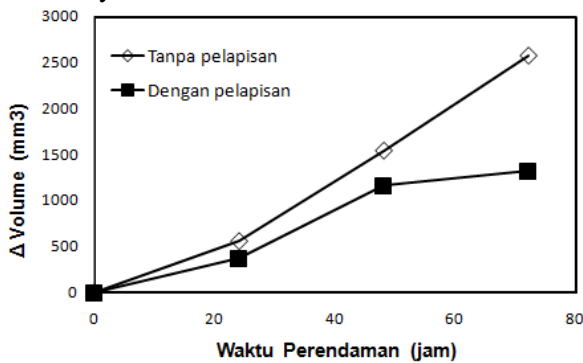
Gambar 6. a. Dimensi specimen sambungan tegak lurus, b. Baut tanam yang digunakan



Gambar 7. Jig yang digunakan untuk pengujian momen.

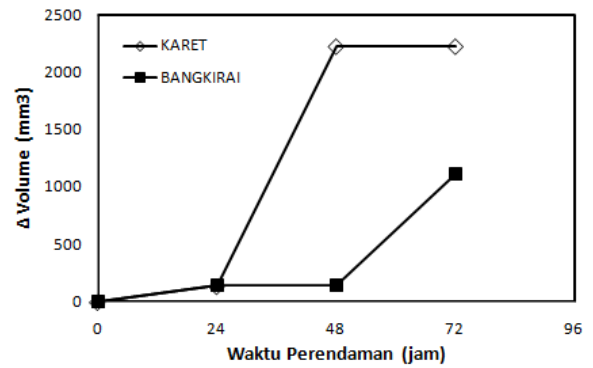
Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian stabilitas dimensi kayu menunjukkan bahwa dengan metode penguapan, dimensi kayu tanpa dan dengan epoxy tidak mengalami perubahan hingga waktu 72 jam. Dari hasil perendaman kayu dalam air memperlihatkan bahwa pelapisan dengan epoxy dapat mengurangi distorsi dimensi kayu seperti ditunjukkan dalam Gambar 8. Pelapis epoxy menutup sebagian pori-pori kayu. Kondisi ini berdampak pada berkurangnya infiltrasi air ke dalam struktur kayu yang berdampak pada peningkatan stabilitas dimensinya.



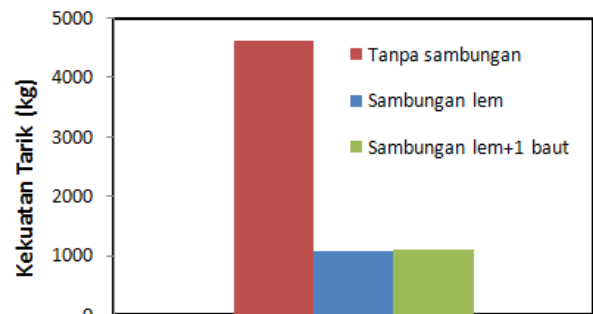
Gambar 8. Kurva perubahan volume terhadap waktu perendaman pada kayu tanpa pelapisan dan kayu dengan pelapisan.

Dibandingkan dengan kayu karet, kayu bengkirai memiliki stabilitas dimensi yang lebih baik (Gambar 9). Struktur kayu bengkirai yang lebih rapat dibandingkan kayu karet merupakan faktor utama yang berperan dalam penstabilan dimensi tersebut. Berdasarkan hasil pengukuran densitas, densitas kayu karet adalah 530 kg/m³, sedangkan densitas kayu bengkirai adalah 856 kg/m³.

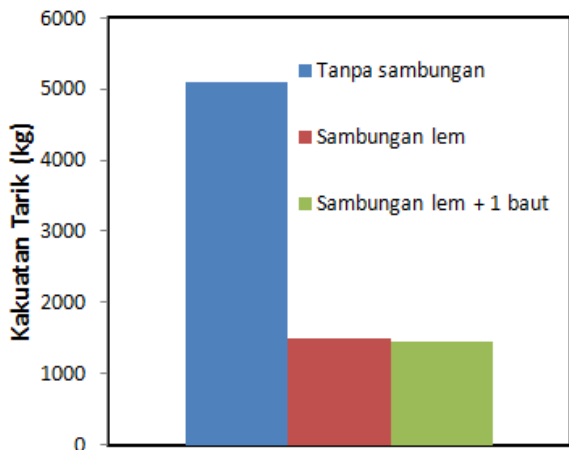


Gambar 9. Distorsi dimensi kayu karet dan bengkirai yang dilapisi dengan epoxy.

Hasil pengujian tarik sambungan segaris menunjukkan bahwa kekuatan sambungan maksimum untuk kayu karet rata-rata hanya mencapai sekitar seperempat dari kekuatan tariknya (1080/4500), sedangkan kekuatan sambungan maksimum kayu bengkirai hanya mencapai sekitar 1500/5000. Sambungan baut tidak dominan meningkatkan kekuatan tarik sambungan baik untuk kayu karet maupun kayu bengkirai. Kekuatan tarik sambungan secara dominan dihasilkan oleh daya ikat lem. Hal ini membuktikan bahwa kekuatan tarik sambungan kayu secara efektif dapat ditingkatkan dengan memperluas bidang sambungan. Kekuatan ikat yang dihasilkan oleh pengeleman dapat ditingkatkan dengan proses pengepresan dengan waktu penahanan hingga lem mengering. Penambahan sambungan baut hanya memperbaiki kekuatan ikat secara lokal yaitu di sekitar baut yang nilainya ditentukan oleh kekuatan ikat antar serat kayu. Kondisi ini ditunjukkan oleh kurva hasil pengujian tarik kayu karet dan kayu bengkirai dalam Gambar 10 dan 11.

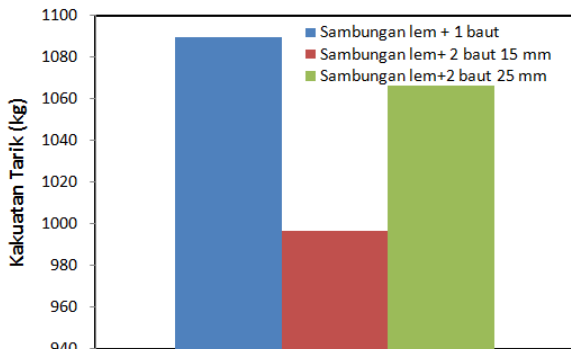


Gambar 10. Hasil pengujian tarik berbagai jenis sambungan kayu karet.

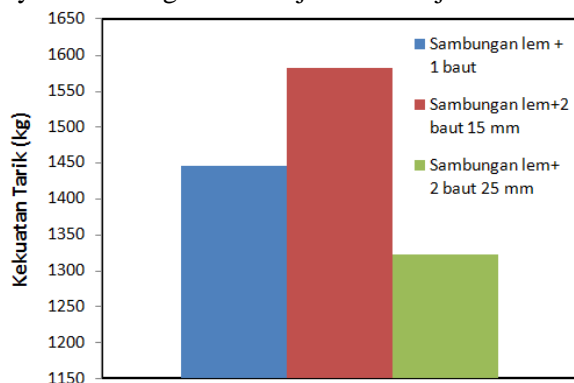


Gambar 11. Hasil pengujian tarik berbagai jenis sambungan kayu bengkirai.

Sifat orthotropik kayu lebih dominan dibandingkan metode penguatan dengan baut. Baik sambungan kayu karet maupun kayu bengkirai, variasi jumlah baut maupun jarak baut tidak menunjukkan pengaruh yang jelas pada perubahan kekuatan tarik sambungan (Gambar 12 dan 13). Dari hasil observasi kerusakan spesimen akibat beban tarik terlihat bahwa gagalnya kayu pada sambungan baut terjadi pada daerah batas/ikatan serat pada diameter baut yang digunakan (Gambar 14). Artinya kekuatan tarik kayu tidak dihasilkan oleh proyeksi luas penampang baut pada kayu yang diikat tetapi hanya oleh tahanan geser dua bidang pada batas serat kayu.



Gambar 12. Hasil pengujian tarik sambungan kayu karet dengan variasi jumlah dan jarak baut



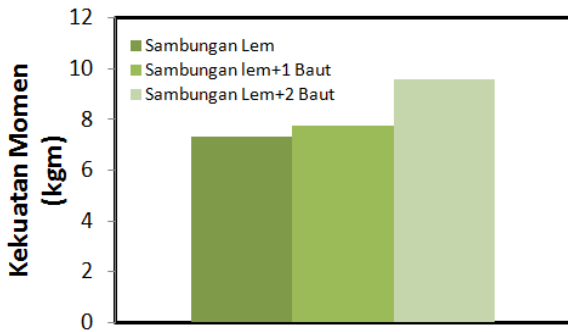
Gambar 13. Hasil pengujian tarik sambungan kayu bengkirai dengan variasi jumlah dan jarak baut



Gambar 14. Kegagalan kayu pada sambungan baut akibat beban tarik.

Hasil pengujian momen menunjukkan bahwa penambahan baut tidak signifikan meningkatkan kekuatan mekanis sambungan tegak lurus baik untuk kayu karet maupun kayu bengkirai (Gambar 15). Dari kegagalannya menunjukkan bahwa pada kayu bengkirai penambahan satu baut bidang patah terjadi pada bidang sambungan lem Pada kondisi tersebut baut tanam tertarik keluar searah beban yang diberikan. Pada pengecangan 40 Nm, gaya gesek yang dihasilkan oleh gaya desak rumah baut tanam terhadap struktur kayu lebih kecil dari gaya tariknya yang besarnya merupakan perbandingan lengan dari beban gaya maksimumnya, Kekuatan bending kayu juga lebih besar dibandingkan gaya gesek yang dihasilkan oleh gaya desak baut terhadap kayu. Namun pada kayu karet, penambahan satu baut menyebabkan separuh bidang pengeleman gagal dan kayu patah pada luasan sebidang lubang baut.

Penambahan dua baut pada sambungan kayu bengkirai menyebabkan kegagalan terjadi pada setengah bidang pengeleman dan patahnya kayu segaris dengan lubang baut sebagaimana terjadi pada penambahan satu baut pada sambungan kayu karet. Kondisi ini menunjukkan bahwa gaya gesek yang dihasilkan oleh gaya desak dua buah baut lebih kuat dibandingkan gaya ikat lem pada separuh bidang pengeleman maupun kekuatan bending kayu pada luas penampangnya dikurangi luasan penampang dua buah baut pengikatnya. Kondisi kegagalan pada masing-masing jenis sambungan seperti ditunjukkan dalam Gambar 16.

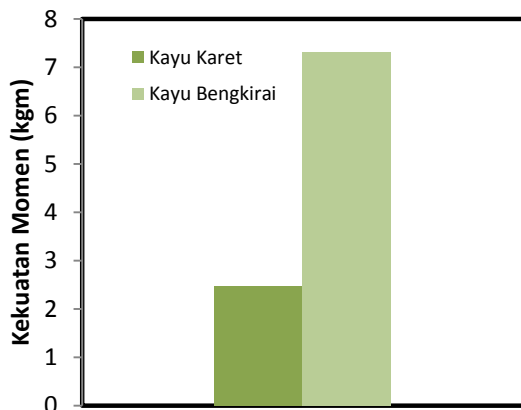


Gambar 15. Hasil pengujian kekuatan sambungan tegak lurus kayu bengkirai.



Gambar 16. Kondisi kegagalan pada jenis-jenis sambungan tegak lurus: a. Sambungan lem, b. Sambungan lem + 1 baut, c. Sambungan lem + 2 baut.

Kekuatan mekanis sambungan tegak lurus (sambungan lem) kayu bengkirai jauh lebih kuat sekitar 3 kali dibandingkan dengan kayu karet seperti ditunjukkan dalam Gambar 17. Pada sambungan tegak lurus, permukaan kayu tegak lurus serat dan searah serat dipertemukan. Dari kegagalan sambungan kayu karet maupun kayu bengkirai menunjukkan bahwa kayu searah serat terkelupas dan bagian tersebut tetap menempel pada permukaan tegak lurus serat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sambungan lem lebih kuat dibandingkan gaya ikat antar serat baik untuk kayu karet maupun bengkirai.



Gambar 17. Kekuatan momem sambungan tegak lurus kayu karet dan bengkirai.

Kesimpulan

Pelapisan permukaan dengan epoxy secara efektif dapat mentabilkan dimensi kayu akibat kelembaban. Hal tersebut ditunjukkan dari data hasil pengujian, tanpa diepoxy kayu Penambahan baut pada sistem sambungan segaris tidak memperbaiki kekuatan tarik secara

signifikan. Secara efektif peningkatan kekuatan tarik hanya dihasilkan oleh tahanan geser antar serat pada batas baut dengan kayu. Penambahan baut tanam pada sambungan tegak lurus akan meningkatkan kekuatan momen sambungan yang besarnya ditentukan oleh besar gaya desak rumah baut terhadap bahan kayu, tetapi kondisi ini dibatasi oleh kekuatan ikat antar serat kayu ybs.

Referensi

Kretschmann, D. E., bendtsen, B. A. 1992. Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation lobolly pine lumber. *Wood and Fibres Science*. 24(2): 189-203.
 Kretschmann, D. E., Green, D.W. 1996. Modeling moisture content-mechanical property relationships for clear Southern Pine. *Wood and Fiber Science*, 28(3): 320-337.
 Hearmon, R.F.S. 1961. An introduction to applied anisotropic elasticity. London, England: Oxford University Press.
 Bodig, J., Goodman, J.R. 1973. Prediction of elastic parameters for wood. *Wood Science*. 5(4): 249-264.
 Prayitno, T. A, 1996, Perekatan Kayu, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
 Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1982. *Forest Product and Wood Science: An Introduction*. The Iowa State University Press. Ames Iowa.