

SUATU TINJAUAN PEMANFAATAN KAYU HUTAN TANAMAN UNTUK GLULAM

(A Review of The Utilization of Wood from Plantation Forest for Glulam)

Yusuf Sudo Hadi¹ & Andi Sri Rahayu Diza Lestari²

¹Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor
Jl. Ulin Kampus Darmaga Bogor 16680. Telp./ Faks.: (0251) 8621285

²Universitas Hasanuddin Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km.10 Makassar 90245. Telp./Faks.: (0411) 586200

Email: yshadi@indo.net.id

Diterima 15 September 2021, direvisi 29 Desember 2021, disetujui 22 Februari 2022

ABSTRACT

Plantation forests is generally harvested at the age of less than 10 years, thus the log is in small diameter, inferior physical-mechanical properties, and susceptible to bio-deterioration. The application of glued-laminated timber (glulam) could overcome these issues and increase its utilization. This paper reviews the utilization of wood from plantation forest for glulam. Currently, wood from plantations forest studied in glulam research were jabon (*Anthocephalus cadamba*), rubber-wood (*Hevea brasiliensis*), mahogany (*Swietenia sp.*), mangium (*Acacia mangium*), manii (*Maesopsis eminii*), mindi (*Melia azedarach*), pine (*Pinus merkusii*), sengon (*Falcataria moluccana*), and sungkai (*Peronema canescens*). Kempas wood (*Koompassia malaccensis*) and merbau (*Intsia sp.*) from natural forests were used as a layer combination of the glulam. The adhesives used for manufacturing glulam were tannin-based adhesives from mangium, mahogany, and merbau, as well as synthetic adhesives, namely isocyanate and phenol resorcinol formaldehyde (PRF). The results shows that glulam bonded with tannin-based adhesive has physical-mechanical properties comparable with those of solid wood and glulam adhered with PRF adhesive. The physical-mechanical properties of glulam glued with isocyanate were similar with its solid wood. However, the shear strength of glulam was lower than solid wood. There was no delamination occurred in both cold and boiling water delamination tests. Thus, it fulfilled JAS 1152- 2007. The polystyrene impregnation applied in sengon and mindi glulams manufacturing resulted in a few effect of color change, comparable shear strength to its solid wood, and increases its resistance to subterranean termites (*Coptotermes curvignathus* Holmgren) attack.

Keywords: Glued-laminated timber, natural adhesive, synthetic adhesive, polystyrene

ABSTRAK

Hutan tanaman umumnya dipanen pada umur kurang dari 10 tahun, sehingga kayu berdiameter kecil, inferior sifat fisis-mekanisnya, serta rentan terhadap bio-deteriorasi. Agar kayu ini dapat dimanfaatkan lebih berdaya-guna, maka rekayasa pembuatan *glued-laminated timber* (glulam) dapat diaplikasikan, sehingga diperoleh batang kayu berukuran lebih besar dan ketahanannya terhadap serangan organisme perusak kayu dapat ditingkatkan. Saat ini, jenis kayu hutan tanaman yang telah dipelajari untuk dibuat menjadi adalah jabon (*Anthocephalus cadamba*), karet (*Hevea brasiliensis*), mahoni (*Swietenia sp.*), mangium (*Acacia mangium*), manii (*Maesopsis eminii*), mindi (*Melia azedarach*), pinus (*Pinus merkusii*), sengon (*Falcataria moluccana*), dan sungkai (*Peronema canescens*), sedangkan kayu dari hutan alam untuk kombinasinya yaitu kayu kempas (*Koompassia malaccensis*) dan merbau (*Intsia sp.*). Sementara perekat yang digunakan dalam pembuatan glulam yaitu perekat nabati tanin mangium, tanin mahoni, dan tanin merbau, serta perekat sintetis yaitu isosianat dan *phenol resorcinol formaldehyde* (PRF). Hasilnya menunjukkan bahwa glulam yang dibuat dengan perekat berbasis tanin mempunyai sifat fisis dan mekanis sebanding dengan kayu solidnya maupun dengan menggunakan perekat PRF. Demikian pula sifat fisis-mekanis glulam dengan perekat isosianat tidak berbeda dengan kayu solidnya, kecuali keteguhan geser glulam lebih rendah dari kayu solidnya, selain itu glulam tersebut tahan terhadap delaminasi baik pada perendaman air dingin maupun air mendidih, serta berhasil memenuhi standar JAS 1152-2007. Pada pembuatan glulam dengan impregnasi polistirena pada kayu sengon dan mindi menunjukkan bahwa impregnasi polistirena tersebut memberikan pengaruh perubahan warna yang sangat kecil, keteguhan rekatnya sebanding dengan kayu solidnya, dan ketahanan terhadap serangan rayap tanah (*Coptotermes curvignathus* Holmgren) meningkat.

Kata kunci: *Glued laminated timber*, perekat nabati, perekat sintetis, polistirena

I. PENDAHULUAN

Sejak tahun 2000 produksi kayu bulat Indonesia diutamakan dari hutan tanaman, dan pada akhir-akhir ini pasokan kayu bulat untuk industri perkayuan mencapai sekitar 85% dari hutan tanaman, dan sisanya dari hutan alam. Kayu dari hutan tanaman pada umumnya diproduksi dari tegakan berumur muda, yaitu kurang dari 10 tahun, di mana kayu bulat tersebut mempunyai diameter kecil yakni sekitar 20 cm atau kurang, serta kayunya didominasi kayu gubal dan persentasi kayu remajanya (*juvenile wood*) masih relatif tinggi. Dengan demikian, kayu gergajian yang dihasilkan berupa papan atau balok dengan ukuran lebar dan tebal terbatas, serta mempunyai sifat fisis-mekanis yang lebih rendah dibanding kayu dewasa (*mature wood*), dan lebih mudah diserang organisme perusak kayu (Hadi, Rahayu & Danu, 2015).

Agar kayu dari hutan tanaman yang berukuran kecil dan rentan diserang organisme bio-deteriorasi, maka sebaiknya sebelum digunakan direkayasa menjadi ukuran lebih besar dan lebih tahan terhadap organisme perusak kayu. Salah satu teknologi tepat guna untuk hal ini yaitu dibuat produk *glued laminated timber* atau glulam yang mempunyai ukuran lebar maupun tebal, dapat dikombinasi dari beberapa jenis kayu agar lebih efisien dan efektif, serta dapat ditingkatkan ketahanannya terhadap organisme bio-deteriorasi. Perekat yang digunakan bisa bersifat *thermosetting* atau cukup dengan kempa dingin saja. Tulisan ini meninjau secara singkat tentang pemanfaatan kayu dari hutan tanaman untuk pembuatan glulam dengan menggunakan perekat sintetis maupun perekat nabati. Kayu-kayu hutan tanaman yang digunakan berasal dari daerah Bogor dan sekitarnya dengan diameter sekitar 20 cm, dan umur tebang kurang dari 10 tahun.

II. KAYU HUTAN TANAMAN

Jenis kayu dari hutan tanaman baik Hutan Tanaman Industri maupun hutan rakyat diperkirakan akan mendominasi pasar kayu pada masa mendatang seiring dengan menurunnya produktivitas dan kualitas tegakan dari hutan alam yang ada. Kayu yang berasal dari hutan tanaman tersebut memiliki perbedaan karakteristik bila dibandingkan dengan kayu yang berasal dari hutan alam, sehingga membutuhkan perlakuan tertentu sebelum digunakan. Kayu hasil hutan tanaman pada umumnya mempunyai diameter log yang kecil, serta karakteristiknya lebih inferior khususnya dari segi kekuatan dan keawetan (Shepard, 1982; Fajriani, Ruelle, Dlouha, Fournier, Hadi, & Darmawan, 2013). Oleh karena itu, kayu ini sebaiknya diberi perlakuan sebelum dimanfaatkan sesuai peruntukannya.

Perlakuan tersebut untuk meningkatkan kekuatan dan keawetan, maupun untuk membuat ukuran panel atau papan yang lebih besar.

Di Indonesia, jumlah IUPHHK-HT pada tahun 2019 mencapai 296 unit dengan luas 11,27 juta ha (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2020) total produksi kayu bulat Indonesia di tahun 2019 mencapai 57,93 juta m³ dan berasal dari hutan tanaman sekitar 53 juta m³ (91,5%). Beberapa contoh jenis kayu yang berasal dari hutan tanaman adalah mangium (*Acacia mangium*), ekaliptus (*Eucalyptus* sp.), sengon (*Falcataria moluccana*), dan pinus (*Pinus merkusii*). Jenis kayu tersebut merupakan jenis kayu cepat tumbuh (*fast growing species*) dengan daur panen 5–10 tahun (Wijayanto & Hartoyo 2013; Nandika, Darmawan, & Arinana, 2015).

III. GLULAM

Penurunan kapasitas produksi industri pengolahan kayu tidak terlepas dari berkurangnya pasokan kayu bulat. Pada dasarnya untuk memenuhi ketersediaan komponen struktural dengan dimensi yang tidak tergantung dengan ukuran diameter kayu bulatnya, maka dikembangkan bentuk struktur bukan kayu utuh (*non-solid wood*) seperti komponen laminasi yang dibuat melalui perekatan atau biasa disebut dengan balok laminasi atau balok glulam (*glued laminated timber*) (Lestari, Hadi, Hermawan, & Santoso, 2015; Hadi, Efendi, Massijaya, Arinana, & Pari, 2016). Glulam merupakan produk rekayasa kayu yang terdiri dari dua atau lebih lapisan kayu yang direkat satu dengan lainnya secara bersama-sama dengan arah serat longitudinal dan seluruh lapisan disebut sebagai lamina, paralel terhadap panjangnya (Moody, Hernandez, & Liu, 1999). Dengan kata lain, glulam merupakan susunan beberapa lapis kayu (lamina) yang direkatkan satu sama lain secara sempurna menjadi satu kesatuan tanpa terjadi diskontinuitas perpindahan tempat (Serrano, 2002).

Dibandingkan dengan kayu solid sebagai material struktural, glulam mempunyai beberapa keuntungan, antara lain: (1) lebih efisien karena untuk menghasilkan balok besar dapat dibuat dari kayu (log) berdiameter kecil; (2) dari segi arsitektural, dapat dibuat untuk bentang besar, sebagai material terekspose atau elemen dekoratif; (3) proses pengeringan lamina penyusun glulam lebih mudah dan cepat sehingga pengaruh retak pada produk glulam dapat diminimalkan, dengan cara pengkondisian papan lamina sebelum digunakan sebagai produk glulam; (4) dapat didesain dengan penampang melintang yang berbeda sepanjang arah longitudinal sesuai dengan kekuatan dan kekakuan

yang ditentukan; (5) dapat disusun dari papan lamina dengan kelas kuat kayu yang berbeda, spesies kayu juga dapat bervariasi disesuaikan fungsi glulam (Sulistyawati, 2009). Karakteristik struktur balok glulam dipengaruhi oleh lamina-lamina penyusunnya, di mana lamina-lamina dapat diatur sedemikian rupa, sehingga mampu meningkatkan kekuatan kayu yang digunakan (Komariah, Hadi, Massijaya, & Suryana, 2015). Pada prinsipnya, berbagai jenis kayu dapat digunakan sebagai produk glulam selama digunakan perekat yang sesuai, karena perekat sebagai material yang ada pada glulam memungkinkan terjadinya perubahan sifat seperti kekuatan glulam (Sulistyawati, Nugroho, Surjokusumo, & Hadi, 2008).

Perekat merupakan material yang memiliki sifat berbeda dengan kayu. Adanya perekat di antara lapisan kayu pada glulam, memungkinkan terjadinya perubahan sifat mekanis pada kayu, seperti kekakuan dan kekuatannya. Dengan dimensi penampang melintang glulam yang sama, dapat disusun sejumlah lamina secara horizontal dengan ketebalan tertentu. Semakin banyak jumlah lamina, maka semakin tipis tebal laminanya, namun semakin banyak jumlah lamina maka semakin besar luas bidang rekatnya (Sulistyawati, 2009). Faherty dan Williamson (1999) mengemukakan bahwa dalam pembuatan glulam digunakan perekat dengan kekuatan dan ketahanan yang lebih besar dari kayu yang direkat. Pemilihan jenis perekat pada balok laminasi dipertimbangkan secara teknis maupun ekonomis agar disesuaikan dengan penggunaannya.

IV. PERBANDINGAN PEREKAT SINTETIS DAN ALAMI PADA GLULAM

Perekat yang biasanya digunakan dalam pembuatan glulam adalah jenis perekat sintetis seperti *polyurethane* (PU), *phenol resorcinol formaldehyde* (PRF), dan *methylene diphenyl diisocyanate* (MDI) atau dikenal dengan nama isosianat. Jenis perekat sintetis tersebut bersifat *thermosetting* (ITTO 2009). Lestari, Hadi, Hermawan, & Santoso (2018), melaporkan bahwa pembuatan glulam menggunakan perekat MDI memiliki keteguhan rekat yang tidak berbeda nyata dengan kayu solidnya. Glulam yang menggunakan kayu jabon memiliki keteguhan rekat sebesar 7,4 MPa dan kayu solidnya memiliki keteguhan rekat sebesar 6,6 MPa. Glulam dari kayu pinus memiliki keteguhan rekat sebesar 14,1 MPa dan keteguhan rekat kayu solidnya tidak berbeda jauh yaitu sebesar 13,7 MPa.

Komariah, Hadi, Massijaya, & Suryana (2015) menggunakan perekat isosianat pada pembuatan glulam dari tiga jenis kayu yakni mangium, manii, dan sengon dengan kerapatan masing-masing 533, 392, dan 271 kg/m³. Glulam berukuran 5 cm x 7 cm x 160

cm (masing-masing untuk tebal, lebar, dan panjangnya) tersusun atas tiga dan lima lapisan lamina. Lapisan lamina tersebut disusun dari spesies kayu yang sama pada setiap lapisannya, demikian pula kombinasinya yaitu mangium pada lapisan *face* dan *back*, serta manii atau sengon pada lapisan *core*-nya. Selain glulam, sampel kayu solid dengan ukuran yang sama untuk ketiga spesies, juga dibuat sebagai pembanding. Hasilnya menunjukkan bahwa sifat glulam yang terbuat dari jenis kayu yang sama tidak berbeda dengan kayu solidnya, kecuali keteguhan geser glulam lebih rendah dari kayu solid-nya. Spesies kayu mempengaruhi sifat glulam, namun jumlah lapisan lamina tidak mempengaruhi sifat fisis dan mekanis glulam kecuali nilai MOE-nya. Semua glulam tahan terhadap delaminasi baik pada perendaman dalam air dingin maupun air mendidih. Glulam yang berhasil memenuhi standar JAS adalah glulam mangium tiga dan lima lapis, manii lima lapis, dan glulam mangium-manii lima lapis.

Selain perekat sintetis, peneliti juga mulai mengembangkan perekat yang berbahan dasar alami untuk produk balok laminasi seperti glulam. Pengembangan perekat alami ditujukan untuk mendapatkan bahan baku yang bersifat *renewable*, lebih ramah lingkungan, dan memiliki harga yang terjangkau dibandingkan dengan perekat sintetis (Santoso, Hadi, & Malik, 2014). Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait pemanfaatan perekat alami dalam pembuatan glulam adalah sebagai berikut:

- Pembuatan produk laminasi (*composite flooring*) menggunakan perekat tanin *Intsia* spp. (Santoso, Hadi, Malik, 2014), dilakukan dengan cara ekstrak cair tanin merbau (M) dikopolimerisasi dengan resorsinol (R) dan formaldehida (F) dalam kondisi basa, menggunakan rasio berat 100:5:10 (M:R:F). Perekat tanin tersebut digunakan untuk memproduksi produk *composite flooring* tiga lapis yang terdiri dari lapisan belakang (*back*) menggunakan kayu karet, lapisan tengah (*core*) menggunakan kayu sengon, dan lapisan muka (*face*) menggunakan salah satu dari tujuh jenis kayu yaitu, sengon, sungkai, mangium, kayu karet, mahoni, kempas, dan merbau. Perekat dioleskan pada bagian *face* dan *back* dengan berat labur 170 g/m² menggunakan metode *single glue spread*, yang dilanjutkan dengan pengempaan dingin menggunakan tekanan spesifik 11 kg/cm² selama 3 jam dan dilanjutkan dengan pengkondisian selama 10 hari. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sifat fisis-mekanis dan kualitas geser dari *composite flooring* menggunakan

perekat tanin *Intsia* spp. mirip dengan produk yang menggunakan perekat fenolik sintetis.

- Lestari, Hadi, Hermawan, Santoso, & Pizzi (2019), mengujicobakan penggunaan perekat tanin dari *Swietenia* sp. yang merupakan hasil kopolimerisasi dari tanin (T): resorsinol (R): formaldehida (F) masing-masing 100:3:5 (b/b/b) dalam kondisi basa. Perekat tanin tersebut digunakan untuk merekatkan glulam tiga lapis yang terbuat dari kayu jabon, pinus dan sengon yang direkatkan dengan berat labur 280 g/m², lalu dikempa dengan metode pengempaan dingin pada tekanan spesifik 1,47 MPa selama 4 jam, dilanjutkan dengan proses klem selama 24 jam. Sifat fisis-mekanis glulam diuji berdasarkan standar *Japanese Agricultural Standard* (JAS) 1152-2007. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kadar air dan MOR keseluruhan glulam memenuhi standar JAS 1152-2007 dan kualitas perekatan perekat tanin *Swietenia* sp. sama dengan perekat sintetis *phenol resorcinol formaldehyde*.
- Hendrik, Hadi, Massijaya, Santoso, & Pizzi (2019) membuat glulam dari kayu sengon, jabon, dan kayu mangium dengan perekat tanin mangium. Balok glulam lima lapis berdimensi 5 cm x 6 cm x 120 cm masing-masing untuk tebal, lebar, dan panjangnya direkat dengan berat labur 280 g/m², lalu dikempa menggunakan metode kempa dingin (tekanan spesifik 10,5 kgf/cm²) selama 4 jam, lalu dilanjutkan dengan pengkleman selama 20 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa kerapatan dan kadar air glulam berbeda dari kayu solidnya, dengan mangium yang memiliki kadar air terendah (9,58%) dan kepadatan tertinggi (0,66 g/cm³). Nilai MOR untuk semua balok glulam memenuhi standar JAS 1152-2007 (40,87 Mpa – 85,85 Mpa) dan nilai MOE glulam dibuat dengan perekat TRF tidak berbeda dengan kayu solid dan perekat sintetis PRF, namun nilai MOE dan keteguhan geser seluruh glulam tidak memenuhi standar. Di sisi lain, balok glulam yang dibuat dengan perekat tanin mangium memiliki delaminasi yang tinggi, namun glulam yang terbuat dari kayu sengon dan jabon memenuhi persyaratan standar JAS 1152-2007.

V. GLULAM POLISTIRENA

Impregnasi polistirena maupun metil metakrilat pada kayu dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis serta ketahanan terhadap serangan biodeteriorasi. Hadi, Nawawi, Herliyana, & Lawniczak (1998) menjelaskan bahwa kayu *Alnus glutinosa*, *Populus maximowiczii*, *Salix alba*, dan *Pinus silvestris* dari Polandia yang diimpregnasi dengan polistirena

dengan persen penambahan berat untuk masing-masing kayu sebesar 106, 135, 123, dan 88%. Kayu tersebut diuji ketahanannya terhadap serangan rayap kayu kering *Cryptotermes cynocephalus* di laboratorium berdasarkan SNI 01.7207-2006, dan terhadap rayap tanah *Macrotermes gilvus* di lapangan selama satu tahun. Keempat jenis kayu tanpa perlakuan mempunyai ketahanan yang relatif sama terhadap kedua jenis rayap tersebut.

Selanjutnya dikemukakan bahwa pada pengujian rayap kayu kering nilai-nilai mortalitas rayap, kehilangan berat dan tingkat ketahanan contoh uji untuk kayu tanpa perlakuan mencapai 26%; 1,38%; dan 6,3%, sedangkan untuk kayu-polistirena 44,9%; 0,1%; dan 9,9% untuk masing-masing nilai. Pada pengujian rayap tanah selama satu tahun nilai-nilai kehilangan berat dan tingkat ketahanan contoh uji kayu tanpa perlakuan masing-masing sebesar 100% dan 0%, serta untuk kayu-polistirena sebesar 19,2% dan 7,4%. Dengan demikian, kayu-polistirena jauh lebih tahan terhadap serangan rayap kayu kering maupun rayap tanah dibandingkan kayu tanpa perlakuan.

Selanjutnya Nurhanifah (2021) membuat glulam-polistirena dari kayu sengon dan mindi yang dipotong menjadi lamina berukuran 30 cm x 5 cm x 2,5 cm dan dipastikan memiliki kadar air sekitar 12% sebelum perlakuan impregnasi. Impregnasi dilakukan dengan dua metode berbeda yakni perendaman 24 jam dan vakum-tekan. Monomer yang digunakan dalam impregnasi adalah stirena dicampur dengan kalium persulfat sebanyak 0,5% dari jumlah stirena yang digunakan. Kayu yang sudah direndam maupun vakum-tekan ditiriskan selama beberapa saat dan dibungkus menggunakan aluminium foil. Kemudian kayu diletakkan pada oven dengan suhu 60°C selama 24 jam agar terjadi proses polimerisasi. Setelah itu, lamina kayu dikondisikan pada suhu ruang selama 2 minggu. Lamina yang telah diimpregnasi diberi perekat isosianat dengan berat labur sebanyak 280 g/m². Dua buah lamina disusun sejajar arah serat, lalu dikempa dingin dengan tekanan spesifik 10 kg/cm² selama 24 jam. Setelah itu, glulam dikondisikan pada suhu ruang selama 10 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa impregnasi polistirena memberikan pengaruh perubahan warna yang sangat kecil ($0,2 < \Delta E < 2$) terhadap sengon maupun mindi dengan metode perendaman dan vakum tekan. Nilai keteguhan rekat glulam sengon tertinggi terdapat pada metode vakum-tekan (73,45 kg/cm²) sedangkan pada glulam mindi terdapat pada metode perendaman (99,34 kg/cm²). Jika dibandingkan dengan glulam tanpa perlakuan, keteguhan rekat glulam sengon terimpregnasi

polistiren dengan metode vakum tekan meningkat sebesar 36,96% dan glulam mindi terimpregnasi polistiren dengan metode perendaman meningkat sebesar 40,98%. Selain itu, impregnasi polistirena terhadap sengon dan mindi dapat meningkatkan kelas ketahanan glulam dari V menjadi III–IV pada sengon, dan kelas IV menjadi I–II pada mindi.

VI. KESIMPULAN

Dari beberapa hasil penelitian yang ada, sifat fisis dan mekanis glulam yang menggunakan jenis perekat alami maupun perekat sintetis tidak berbeda nyata dengan kayu solidnya. Sementara untuk glulam terimpregnasi polistirena jika dibandingkan dengan glulam tanpa perlakuan, memiliki peningkatan nilai keteguhan rekat dengan nilai kenaikan tertinggi sebesar 40,98%. Selain itu, pembuatan glulam terimpregnasi polistirena juga meningkatkan ketahanan kayu sengon dari kelas V menjadi III–IV, dan kelas IV menjadi I–II pada kayu mindi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa walaupun kayu bulat yang dihasilkan dari hutan tanaman mempunyai diameter kecil, didominasi kayu gubal, tingginya persentase kayu remaja, dan rentannya terhadap serangan organisme perusak kayu, namun dengan pembuatan glulam maka produk kayu yang akan digunakan dapat berukuran lebih besar, sifat fisisnya lebih baik, kekuatannya dapat ditingkatkan, serta ketahanannya terhadap organisme bio-deteriorasi dapat ditingkatkan. Dengan kata lain, rekayasa kayu untuk dibuat *glued laminated timber* atau glulam dapat menunjang kegiatan pembangunan hutan tanaman.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide dan desain dilakukan oleh YSH; pengumpulan data dilakukan oleh YSH dan ASRDL; penulisan manuskrip oleh YSH dan ASRDL; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh YSH dan ASRDL.

DAFTAR PUSTAKA

- Faherty, K.F., & Williamson, T.G. (1999). *Wood engineering and construction handbook*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Fajriani, E., Ruelle, J., Dlouha, J., Fournier, M., Hadi, Y.S., & Darmawan, W. (2013). Radial variation of wood properties of sengon (*Paraserianthes falcataria*) and jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Journal of the Indian Academy of Wood Science* 10(2): 110-117.
- Hadi, Y.S., Nawawi, D.S., Herliyana, E.N., & Lawniczak, M. (1998). Termite attack resistance of four polystyrene impregnated

woods from poland. *Forest Products Journal*, 48(9), 60-62.

- Hadi, Y.S., Rahayu, I.S., & Danu, S. (2015). Termite resistance of jabon wood impregnated with methyl methacrylate. *Journal of Tropical Forest Science*, 27(1), 25-29
- Hadi, Y.S., Efendi, M., Massijaya, M.Y., Arinana, & Pari, G. (2016). Technical note: Subterranean termite resistance of smoked glued laminated lumber made from fast-growing tree species in Indonesia. *Wood Fiber Science*. 48(3), 211-216.
- Hendrik, J., Hadi, Y.S., Massijaya, M.Y., Santoso, A., & Pizzi, A. 2019. Properties of glued laminated timber made from fast-growing species with mangium tannin and phenol resorcinol formaldehyde adhesives. *Journal Korean Wood Science and Technology*, 47(3), 253-264.
- The International Tropical Timber Organization (ITTO). (2009). Standar prosedur pengolahan kayu yang efisien. Technical Report No.2. Jakarta
- Japan Agricultural Standard (JAS). (2007). *Glued laminated timber*. (JAS 1152). Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Tokyo, Japan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). Statistik 2019 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.
- Komariah, R.N., Hadi, Y.S., Massijaya, Y.M., & Suryana, J. (2015). Physical-mechanical properties of glued laminated timber made from tropical small-diameter logs grown in Indonesia. *Journal Korean Wood Science Technology*, 43(2), 156-167.
- Lestari, A.S.R.D., Hadi, Y.S., Hermawan D., & Santoso A. (2015). Glulam properties of fast-growing species using mahogany tannin adhesive. *BioResources*, 10(4), 7419-7433.
- Lestari, A.S.R.D., Hadi, Y.S., Hermawan, D., & Santoso, A. (2018). Physical and mechanical properties of glued laminated lumber of pine (*Pinus merkusii*) and jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Journal Korean Wood Science Technology*, 46(2), 143-148.
- Lestari, A.S.R.D., Hadi, Y.S., Hermawan, D., Santoso, A., & Pizzi, A. (2019). Physical and mechanical properties of glued-laminated lumber from fast-growing tree species using mahogany tannin adhesive. *Wood and Fiber Science*, 51(2), 132-143.
- Moody, R.C., Hernandez, R., Liu, J.Y. (1999). *Glued structural members*. Di dalam: *Wood handbook-wood*

- as an engineering material. General Technical Report FPLGTR-113. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Wisconsin, USA.
- Nandika, D., Darmawan, W., & Arinana. (2015). Peningkatan kualitas kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) melalui teknik kompregnasi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 25(2), 125–135.
- Nurhanifah, Hermawan, D., Hadi, Y.S., Arsyad, W.O.M., & Abdillah, I.B. (2020). Shear strength and subterranean termite resistance of polystyrene impregnated sengon (*Falcataria moluccana*) glulam. *ICFP 2020: 12th International Symposium of IWoRS, Bogor, 1 September 2020*, p.B02
- Santoso, A., Hadi, Y.S., Malik, J. (2014). Composite flooring quality of combined wood species using adhesive from merbau wood extract. *Forest Product Journal*, 64(5/6), 179-186.
- Shepard, R.K. 1982. Fertilization effect on specific gravity and diameter growth of red spruce. *Wood Science*, 14(3), 138 -144.
- Serrano, E. (2002). *Mechanical performance and modelling of glulam*. Dalam: S. Thelandersson, H.J. Larsen (Editor). *Timber engineering*. New York: John Willey & Sons.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2006). *Pengujian ketahanan kayu dan produk kayu terhadap organisme perusak kayu*. SNI 01.7207-2006. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Sulistiyawati, I., Nugroho, N., Surjokusumo, S., & Hadi Y.S. (2008). Kekakuan dan kekuatan lentur maksimum balok glulam dan utuh kayu mangium. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(3), 113-119.
- Sulistiyawati, I. (2009). *Karakteristik glued laminated timber dari tiga jenis kayu berdiameter kecil dengan dua ketebalan lamina*. (Disertasi). Institut Pertanian Bogor.
- Wijayanto, N., & Hartoyo, A.P.P. (2013). Teknik dan biaya budidaya jabon (*Antbocephalus cadamba* Miq.) oleh petani kayu rakyat. *Jurnal Silviculture Tropika*, 4(3), 178–182.