

Tahanan Lateral Bambu Laminasi dengan Konektor Pelat Disisipkan Menggunakan Sambungan Baut

I G.L.B. Eratodi*¹, A.Triwiyono*², A. Awaludin*³

*¹guss_todi@yahoo.co.id

*²ahdreactri@yahoo.com

*³ali_hokkaido@yahoo.com

¹Jurusan Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional (Undiknas) Denpasar

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, FT, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Abstrak— Analisis tahanan lateral beberapa alat sambung telah diusulkan European Yield Model (EYM) tahun 1949. Beban leleh berupa nilai tahanan lateral (Z) dapat diprediksi dengan mengetahui nilai geometri sambungan, tegangan leleh dowel dan kuat tumpu dowel. Pengujian tahanan lateral ini dilakukan dalam rangka mengetahui kemampuan sebuah baut dengan model sambungan pelat besi disisipkan pada bambu laminasi. Tahanan lateral sejajar dan tegak lurus arah serat-serat dibutuhkan dalam merencanakan sambungan struktural. Pada uji tahanan lateral ini dibedakan menjadi dua, tahanan lateral tegak lurus serat dan tahanan lateral sejajar serat. Dimensi benda uji tahanan lateral tegak lurus serat adalah 2 buah balok bambu laminasi dengan dimensi 37,5×76×180 mm, dan dimensi tahanan lateral sejajar serat 83×76×200 mm. Hasil penelitian menunjukkan teori Yield Mode dari EYM dapat memprediksi nilai tahanan lateral bambu laminasi. Perbedaan hasil eksperimen sebesar 8,05% lebih tinggi dari teori yield mode pada tahanan lateral tegak lurus serat dan 8,38% pada tahanan lateral sejajar serat. Nilai Poffset 5% sebesar 12,34 kN selip pada 4,82 mm dan kekakuan rata-rata sebesar 3,050 kN/mm pada tahanan lateral tegak lurus serat. Uji tahanan lateral sejajar serat memiliki nilai Poffset 5% rata-rata sebesar 20,3 kN dan kekakuan awal sebesar 6,144 kN/mm pada nilai selip rata-rata 3,99 mm.

Kata kunci— tahanan lateral, yield mode, bambu laminasi.

PENDAHULUAN

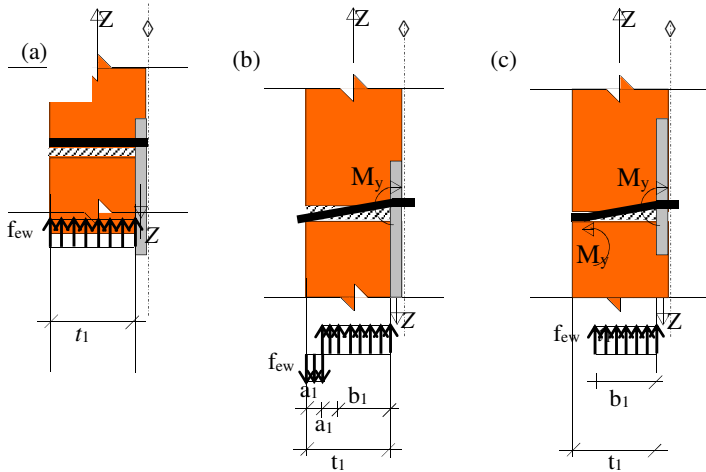
European Yield Model (EYM) telah mengusulkan dasar untuk menganalisis kapasitas tahanan pembebanan pada beberapa alat sambung paku, baut dan sekrup (AF & PA, 2001). EYM menguraikan beban leleh suatu sambungan dapat diprediksi dengan mengetahui nilai geometri sambungan, tegangan leleh *dowel* dan kuat tumpu *dowel*. Tahanan lateral digunakan untuk merencanakan model sambungan dan kebutuhan jumlah baut pada struktur sambungan tersebut. Pendekatan teori model kegagalan sambungan (*yield mode theory*) menurut teori tahanan lateral sambungan antara kayu dengan pelat besi yang disisipkan (Awaludin, 2011), dalam beberapa model kelelahan diaplikasikan pada eksperimen ini sebagai prediksi tahanan lateral (Z) sambungan. Mode kelelahan III akan memiliki kelangsingan minimum, ditentukan oleh $\lambda_y, 2$. Selain itu, pendekatan yang sangat efisien pada penggunaan pelat baja yang telah dimasukkan atau disisipkan ke dalam batang kayu. Jika persyaratan kelangsingan dipertahankan, dengan beberapa pelat baja memberikan jumlah yang lebih tinggi dari bidang geser dalam kasus menggunakan dua pelat baja di bagian luar batang (atau salah satu ada di dalam). Dalam penelitian Awaludin (2008), contoh dari jenis sambungan yang menganut prinsip-prinsip seperti

model penelitian ini adalah sambungan BSB (*Sistem Blumer Binder*). Satu hal yang penting dalam pembuatan sambungan *dowel* atau baut yaitu toleransi pada proses pengeboran kayu dan pelat baja. Ini berakibat penurunan kekakuan sambungan serta *splitting* dini karena kecilnya daerah *bearing* akibat lubang yang besar (Blass dkk., 2000 dan Carmen dkk., 2010). Standar analisis biasanya membatasi toleransi lubang maksimum.

Pengujian tahanan lateral ini dilakukan dalam rangka mengetahui kemampuan sebuah baut dengan model sambungan pelat besi disisipkan pada struktur bambu laminasi. Tahanan lateral sejajar dan tegak lurus arah serat-serat dibutuhkan dalam merencanakan sambungan struktural model sambungan ini. Hubungan tahanan lateral sejajar arah serat dan tegak lurus serat nantinya digunakan untuk memprediksi kemampuan sambungan melalui perhitungan tahanan momen dengan gaya yang membentuk sudut tertentu. Formula sambungan Hankinson nantinya digunakan untuk menghitung nilai kapasitas baut pada arah sudut beban tertentu terhadap arah serat. Uji tahanan lateral ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Awaludin (2011) tahanan lateral sambungan antara kayu dengan pelat besi yang disisipkan dalam beberapa mode kelelahan seperti terlihat pada Gambar 1.



Sumber : Awaludin (2011)

Gambar 1. Gambar sambungan kayu-pelat baja-kayu pada tiga mode kelelahan: a. Mode kelelahan I, b. Mode kelelahan III, dan c. Mode Kelelahan IV

A. Model kelelahan I (a)

Sambungan dengan mode kelelahan I (a) terjadi kegagalan pada bagian kayu, formula tahanan lateral pada mode kelelahan ini adalah:

$$Z = f_{ew}dt_1 \tag{1}$$

B. Model kelelahan III (b)

Sambungan dengan mode kelelahan III (b) terjadi kegagalan dominan pada kayu yang dilanjutkan kegagalan pada bagian ujung baut dekat pelat baja, formula tahanan lateral pada mode kelelahan ini adalah sebagai berikut:

$$Z = f_{ew}db_1 = f_{ew}dt_1 \left(\sqrt{2 + \frac{4M_{yb}}{f_e dt_1^2}} - 1 \right) \tag{2}$$

C. Model kelelahan IV (c)

Sambungan dengan mode kelelahan IV (c) terjadi kegagalan pada sisi kayu dekat pelat baja dan diikuti kegagalan baut pada bagian posisi kayu terluar dan ujung baut dekat pelat baja, formula tahanan lateral pada mode kelelahan ini adalah:

$$Z = f_e db_1 = \sqrt{4M_{yb} f_e d} \tag{3}$$

dengan:

- Z : tahanan lateral acuan;
- d : diameter baut;
- t₁ : tebal kayu (1/2 bagian);
- f_{ew} : kuat tumpu kayu;
- M_{yb} : momen lentur baut; dan
- f_e : kuat tarik pelat baja.

METODE DAN BAHAN

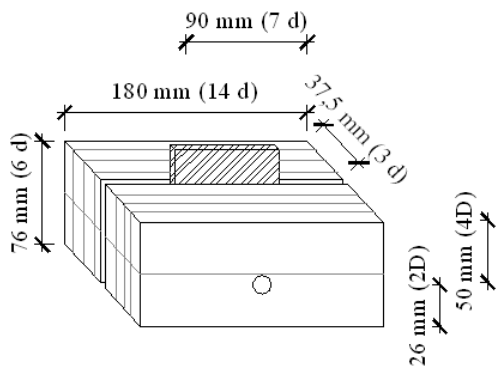
Pengujian tahanan lateral bambu laminasi dengan konektor pelat disisipkan setebal 8 mm, menggunakan alat sambungan baut berdiameter 12,2 mm. Beban pengujian menurut sudut beban sejajar dan tegak lurus terhadap arah serat. Pengujian tahanan lateral ini dilakukan dengan model benda uji lubang penuh ukuran p × l × t adalah 6d × 7d × 14d dan pelat konektor baja disisipkan tepat ditengah-tengah benda uji lebar 7d. Toleransi antara lubang baut dan lubang pada benda uji sebesar 0,8-1,6 mm (ASTM D5764, 2002). Pelat baja ditarik dengan kecepatan tarik *crosshead* pengujian sebesar 1,2 mm per menit.

Pembuatan sambungan pelat konektor baja disisipkan pada balok bambu laminasi dalam rangka mengetahui tahanan lateral, dengan pemberian beban tarik sejajar serat dan tekan tegak lurus serat. Pengujian struktur sambungan tahanan lateral menggunakan benda uji seperti tampak pada gambar 2 dan 3. Benda uji terdiri dari 2 jenis yaitu pertama, jenis uji tahanan lateral tekan tegak lurus serat menggunakan pelat baja dan 2 buah balok laminasi dengan kode benda uji *Strength of Bolt Capacity* ⊥ (SBC⊥-xx= *single bolt capacity* (tahanan lateral) tegak lurus serat pada benda ke-xx). Kedua, uji tahanan lateral tarik sejajar serat menggunakan pelat baja kode benda uji *Strength of Bolt Capacity* // (SBC//xx= *single bolt capacity* (tahanan lateral) sejajar arah serat pada benda ke-xx). dengan pengulangan masing-masing lima kali. Benda uji berupa balok bambu laminasi. Tabel 1. tampak variasi benda uji tahanan lateral. Konfigurasi pengujian tampak pada Gambar 4 dan 5. Instrumentasi alat uji menggunakan UTM dengan kapasitas 200 kN, LVDT dan CPU.

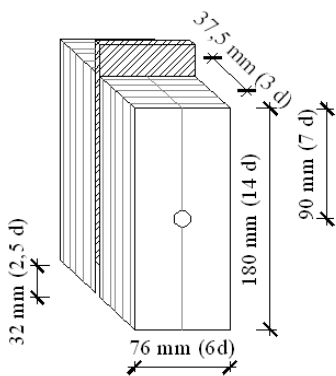
Tabel 1. Variasi benda uji tahanan lateral

No	Kode benda uji	Jml benda uji
1.	SBC//XX	5
2.	SBC⊥-XX	5

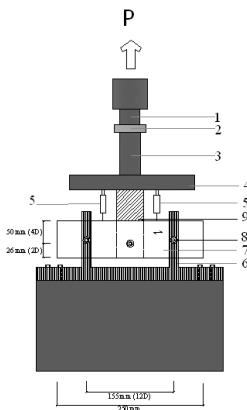
Tahanan Lateral Bambu Laminasi dengan Konektor Pelat Disisipkan Menggunakan Sambungan Baut



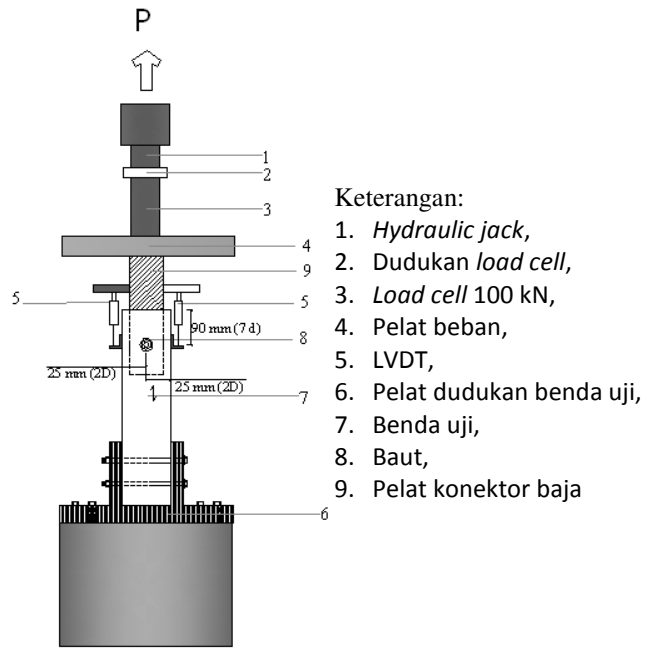
Gambar 2. Benda uji tahanan lateral tegak lurus serat (NDS)



Gambar 3. Benda uji tahanan lateral sejajar serat (NDS)



Gambar 4. Konfigurasi uji tahanan lateral tegak lurus serat (NDS),



Keterangan:

1. Hydraulic jack,
2. Dudukan load cell,
3. Load cell 100 kN,
4. Pelat beban,
5. LVDT,
6. Pelat dukungan benda uji,
7. Benda uji,
8. Baut,
9. Pelat konektor baja

Gambar 5. Konfigurasi uji tahanan lateral sejajar serat

Dalam penelitian ini digunakan baut berulir dengan kode pabrik M12, nilai kuat lentur sebesar 382,45 MPa, kuat tarik 574,23 MPa dan modulus elastisitas rata-ratanya 207,98 GPa. Bambu laminasi menggunakan bahan bambu petung dari dusun Turgo, desa Purwobinangun kecamatan Pakem, kabupaten Sleman, Yogyakarta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan sampai benda uji mengalami kegagalan. Perilaku mekanik selama proses pengujian diamati sehingga dapat diketahui perilaku nonlinieritas bahan dan model kelelahan yang terjadi. Tabel 2 menampilkan hasil perhitungan masing-masing model kelelahan, yang selanjutnya dibandingkan dengan hasil eksperimen menggunakan bambu laminasi dan pelat dikarter.

Tabel 2. Perhitungan tahanan lateral (Z) berdasarkan teori *yield mode*

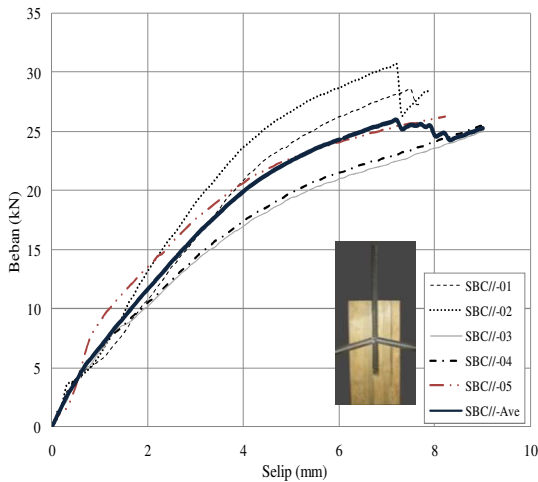
Jenis Uji	F_e (MPa)	YMT (a)	YMT (b)	YMT (c)	Lateral Load	Z (kN)
1. 0°	28,82	12,87	9,35	12,75	9,35	18,71
2. 30°	26,42	11,79	8,88	12,21	8,88	17,76
3. 45°	23,68	10,57	8,33	11,56	8,33	16,66
4. 60°	23,09	10,31	8,21	11,42	8,21	16,42
5. 90°	20,75	9,26	7,73	10,82	7,73	15,46

A. Tahanan Lateral Sejajar Serat

Pengujian tarik pelat pada uji tahanan lateral sejajar serat dengan kontrol selip ini dipantau melalui alat LVDT

yang telah terintegrasi dalam alat UTM. Hasil pengujian berupa hubungan beban dengan selip masing-masing variasi pengujian tampak pada Gambar 6. Nilai hasil uji tahanan lateral sejajar arah serat bambu laminasi terlihat pada Tabel 3. Tampak pada Gambar 7 benda uji tahanan lateral sejajar arah serat bambu laminasi. Perilaku yang terjadi diawal pengujian yaitu interaksi gesek antara pelat dengan bahan bambu laminasi akibat cengkeraman *prestressed* baut, selanjutnya perubahan mikro pada dimensi lubang baut yang berbentuk sedikit oval. Pasca mulai menurunnya interaksi gesek antara pelat dengan bambu laminasi, maka terjadi lentur elastis pada baut yang dimulai dari ujung baut dekat permukaan pelat.

Beban tarik dan selip yang terus meningkat, bautpun mengalami peningkatan lentur, ring dan baut tertarik sebagai bentuk tumpu *washer* terhadap bambu laminasi ke arah tegak lurus benda uji bambu laminasi sampai membuat ring terbenam mendesak ke dalam bambu laminasi. Kegagalan dengan model kelelahan III diawali lubang baut berbentuk oval, lentur baut dan puncaknya benda uji terjadi *splitting* sejajar arah serat dari lubang baut sampai di ujung benda uji terbebani, seperti tampak pada Gambar 8.



Gambar 6. Grafik hubungan beban-selip terhadap tahanan lateral sejajar arah serat dengan pelat konektor baja

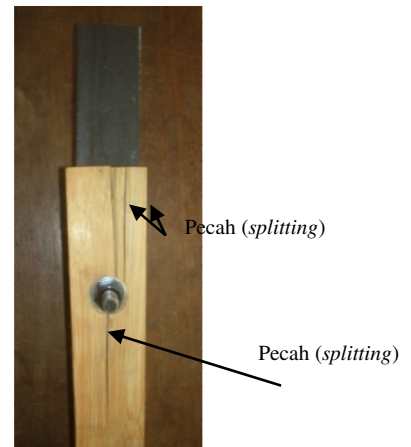
Beban maksimum yang mampu dicapai rata-rata sebesar 29,6 kN, begitu pula untuk kekakuan awal (K_0) sebesar 6,144 kN/mm. Sedangkan untuk P_{offset} 5% memiliki nilai sebesar 20,3 kN. Perbedaan hasil eksperimen 8,38% lebih tinggi terhadap teori *yield mode* tahanan lateral untuk kayu. Persamaan $Z = -0,018\delta^3 - 0,287\delta^2 + 6,320\delta$ ($R^2 = 0,997$) menggambarkan hubungan nilai tahanan lateral terhadap selip hasil eksperimen, dimana Z =tahanan lateral (kN) dan δ sebagai selip dalam satuan mm.

Tabel 3. Hasil uji tahanan lateral sejajar arah serat bambu laminasi

No	Kode Benda Uji	P_{max}	Selip saat P_{max}	$P_{offset5\%}$	Selip saat $P_{offset5\%}$	K_0
		(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN/mm)
1	SBC//01	28,6	7,55	24,0	4,99	5,405
2	SBC//02	30,7	7,18	25,5	4,52	6,250
3	SBC//03	29,2	12,33	17,2	4,05	5,195
4	SBC//04	29,9	12,46	17,0	3,84	3,922
5	SBC//05	29,4	10,33	18,0	2,58	9,950
	Rata-rata	29,6	9,97	20,3	3,99	6,144



Gambar 7. Uji tahanan lateral sejajar arah serat bambu laminasi



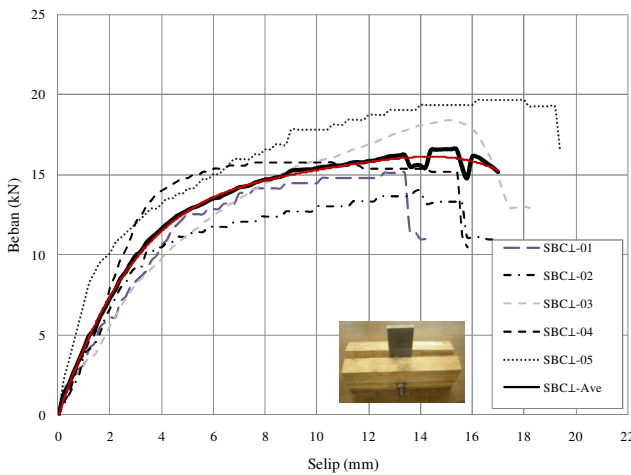
Gambar 8. Tampak samping model kegagalan uji tahanan lateral sejajar arah serat

B. Uji Tahanan lateral Tegak Lurus Serat

Pengujian tarik pelat pada uji tahanan lateral tegak lurus arah serat ini dengan kontrol selip ini dipantau melalui alat LVDT dan pelat baja konektor yang diberikan beban tarik seperti tampak pada Gambar 9. Gambar 10 menampilkan hasil uji berupa hubungan beban dengan selip uji tahanan lateral tegak lurus serat.



Gambar 9. Uji tahanan lateral tegak lurus arah serat at



Gambar 10. Grafik hubungan beban-selip terhadap tahanan lateral tegak lurus arah serat dengan pelat konektor tanpa dikarter

Tabel 4. Hasil uji tahanan lateral tegak lurus arah serat bambu laminasi

No	Kode Benda Uji	P_{max}	Selip saat P_{max}	$P_{off5\%}$	Selip saat $P_{off5\%}$	K_0
		(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	
1	SBC1-01	15,12	12,57	12,60	5,63	2,632
2	SBC1-02	14,01	13,82	10,80	3,95	3,125
3	SBC1-03	18,39	14,86	11,45	5,17	2,597
4	SBC1-04	15,79	7,33	14,50	4,51	3,846
5	SBC1-05	19,64	16,09	10,60	2,19	6,667
	Rata-rata	15,83	12,14	12,34	4,82	3,050

Perilaku mekanik yang terjadi pada uji ini, diawal pemberian beban terjadi interaksi gesek antara pelat dengan bahan bambu laminasi. Pada uji ini bidang geseknya jauh lebih kecil dari benda uji tahanan lateral sejajar serat sehingga interaksi geseknyapun lebih kecil. Selanjutnya terjadi perubahan dimensi lubang yang berbentuk sedikit oval keatas sesuai arah beban tarik. Proses menurunnya interaksi gesek pelat dengan bambu laminasi dan lentur pada baut yang dimulai dari ujung baut dekat permukaan pelat terjadi hampir

bersamaan. Beban tarik meningkat disertai selip yang terus meningkat, baut mengalami peningkatan lentur, sejalan dengan itu ring dan baut tertarik terbenam mendesak kedalam bambu laminasi. Benda uji kegagalan ditandai terjadi pecah tarik belah arah horizontal disebelah kiri dan kanan baut seperti tampak pada Gambar 11 dan 12, sebagai model kelelahan III.

Beban maksimum yang dicapai rata-rata sebesar 15,83 kN, kekakuan awal (k_0) rata-rata sebesar 3,050 kN/mm dengan $P_{offset5\%}$ sebesar 12,34 kN selip pada 4,82 mm. Hasil pengujian tahanan lateral dapat dilihat pada Tabel 4. Perbedaan hasil eksperimen sebesar 8,05% lebih tinggi dari teori *yield mode*. Hubungan beban terhadap selip dapat digambarkan sebagai hubungan $Z = 0,037\delta^3 - 0,616\delta^2 + 4,800\delta$ ($R^2 = 0,996$).



Gambar 11. Tampak samping benda uji tahanan lateral tegak lurus arah serat



Gambar 12. Tampak samping model kegagalan uji tahanan lateral tegak lurus arah serat

KESIMPULAN

Teori *Yield Mode* dari EYM dapat memprediksi nilai tahanan lateral bambu laminasi. Nilai tahanan lateral dipengaruhi oleh nilai kuat tumpu, diameter baut dan dimensi benda uji. Perbedaan hasil eksperimen sebesar 8,05% lebih tinggi dari teori *yield mode* pada tahanan lateral tegak lurus serat dan 8,38% pada tahanan lateral sejajar serat. Nilai $P_{offset5\%}$ sebesar 12,34 kN selip pada 4,82 mm dan kekakuan rata-rata sebesar 3,050 kN/mm pada tahanan lateral tegak lurus serat. Uji tahanan lateral sejajar serat memiliki nilai $P_{offset 5\%}$ rata-rata sebesar 20,3 kN dan kekakuan awal sebesar 6,144 kN/mm pada nilai selip rata-rata 3,99 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- American Forest and Paper Association (AF&PA), American Wood Council, 2001, National Design Specification ANSI/AF&PA NDS-2001, Washington D.C.
- American Society of Mechanical Engineers, 2002. ASTM D5764: Standard test method for evaluating dowel-bearing strength of wood and wood-based products. Annual book of ASTM Standards, Vol. 04.10., West Conshohocken, PA, USA.
- Awaludin, A., Hirai, T., Hayashikawa, T., Sasaki, Y. dan Oikawa, A., 2008. Load-Carrying Capacity Of Steel-To-Timber Joints With A Pretensioned Bolt. Journal Wood Science. The Japan Wood Research Society.
- Awaludin, 2011. Timber Engineering and Technology. Bahan Ajar Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Blass, H., J., Schmid, M., Litze, H. dan Wagner, B.. Nail plate reinforced joints with dowel-type fasteners. In: 6th World Conference on Timber Engineering, paper 8.6.4., 2000.
- Carmen, S., Vries, P. dan Kuilen, W. 2010, Double-Shear Timber Joints With High Strength Steel Dowels, Journal Wood Science. Wood Conference on Timber Engineering (WCTE).