

ANALISA KEKUATAN TAHANAN LATERAL SAMBUNGAN KAYU-BETON

Efa Suriani

Fakultas Sains dan Teknologi UINSA, Surabaya

efasuriani@gmail.com

Abstrak

Perkiraan kekuatan tahanan lateral pada sambungan kayu beton menggunakan alat sambung *Lag-screw* atau sekrup kunci akibat beban lateral sangat diperlukan dalam desain konstruksi sambungan. Hal tersebut diperlukan agar diketahui perilaku sambungan sehingga kegagalan sambungan dapat diprediksi. Dalam penelitian ini untuk mengetahui kekuatan tahanan lateral dilakukan pengujian geser sambungan dengan pembebanan monotonik dan model analisa mengadopsi dari model EYM (*European Yield Model*). Kayu yang digunakan: *Toona sureni* (berat jenis 0,45), *Swietenia mahagoni* (berat jenis 0,51) dan *Artocarpus heterophyllus* (berat jenis 0,54) dan mutu beton aktual 15,93 MPa. Sekrup kunci dipakai diameter 8 mm (panjang 130 mm), ring penutup diameter 22,8 mm, dan *fischer S14*. Hasil penelitian menunjukkan persentase tahanan lateral (metode 5% offset) antara prediksi dengan eksperimen adalah 36,40% sampai 48,15%. Hasil ini memperlihatkan tahanan lateral prediksi dengan persamaan tahanan lateral EYM cukup mendekati dari hasil tes.

Keywords: *EYM, tahanan lateral, sekrup kunci, kayu, beton*

1. Pendahuluan

Pelaksanaan struktur konstruksi kayu untuk tipe rumah kayu konvensional pada sambungan pondasi umpak beton dengan balok sloof yang terbuat dari kayu digunakan alat sambung angkur (diameter 12 mm). Pada saat pemasangan angkur dipasang dengan melubangi kayu terlebih dahulu selanjutnya dicor setempat bersama dengan pondasi umpaknya. Sesuai dengan perkembangan jaman dan perkembangan konstruksi struktur rumah kayu di Indonesia. Teknologi konstruksi rumah kayu berkembang dengan pembuatan rumah kayu dirancang secara rakitan atau pra-fabrikasi (*knock down*). Konstruksi yang berkembang disesuaikan kebutuhan yang mendesak dan

kepraktisan dalam pelaksanaan dengan tidak meninggalkan kaidah yang berlaku. Oleh karena itu, perlu diteliti untuk mengetahui kekuatan lateral sambungan pondasi beton umpak dan sloof kayu dengan menggunakan alat sambung sekrup kunci. Untuk pondasi beton umpak digunakan pondasi beton tanpa tulangan.

Hasil akhir yang diharapkan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku moda kegagalan sambungan dan memperoleh nilai kekuatan tahanan lateral dengan menggunakan beberapa jenis kayu lokal di Indonesia.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Sudarsana (2005 tentang pengujian ketahanan tarik sekrup

kunci dari kayu bengkirai menunjukkan moda kegagalan diakibatkan oleh kegagalan pada kayu bengkirai baik kegagalan tumpuan pada kayu samping maupun tercabutnya sekrup dari kayu. Perbedaan kegagalan ini karena ketidakberadaan dari ring diantara kepala sekrup dengan kayu. Kekuatan tarik maksimum rata-rata yang ditancapkan sejajar serat kayu sepanjang 40 mm kedalam kayu bengkirai adalah 12,0 kN. Prediksi kekuatan cabut untuk sekrup kunci dengan panjang 60 mm sebesar 24,10 kN.

3. Pembahasan

3.1. Metode

Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode eksperimen yaitu pengujian geser (*shear connector*) untuk sambungan kayu-beton dengan dibebani pembebanan monotonik (statik). Hasil dari eksperimen di laboratorium kemudian di analisa dan dibandingkan dengan hasil hitungan menggunakan metode pendekatan EYM.

3.2. Eksperimen

Pekerjaan persiapan yang dilakukan untuk penelitian ini adalah mempersiapkan material yang akan digunakan dalam penelitian. Pembelian material kayu cukup memakan waktu yang lama, karena beberapa material didatangkan dari luar kota. Selain itu, pembelian material kayu harus melewati pemesanan terlebih dahulu disebabkan stok persediaan beberapa jenis kayu tidak selalu ada. Setelah material kayu tersedia selanjutnya dilakukan pemilahan.

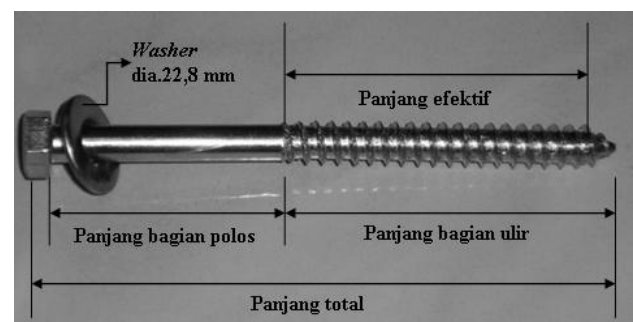
Pemilahan kayu dengan pengamatan secara makroskopis atau visual. Kayu yang dipilih adalah kayu yang memiliki tekstur kayu yang bebas dari cacat kayu. Kayu-kayu yang sudah dipilih tidak langsung digunakan sebagai sampel. Namun, masih melalui beberapa proses yang memerlukan bantuan mesin kayu. Proses tersebut seperti, proses kayu diserut beberapa kali sampai

bentuk permukaan rata (proses penghalusan), proses pemotongan kayu dan proses pengeringan kayu sehingga memperoleh kelembaban kayu yang diinginkan. Kondisi kayu juga diukur kadar kelembaban air yang terkandung di dalam kayu. Perlakuan yang sama untuk ketiga jenis kayu yang digunakan.

Penggunaan material untuk beton dalam penelitian ini dibuat dengan melibatkan salah satu perusahaan *ready mix* untuk beton. Proses pembuatan sampel beton juga memakan waktu yang cukup lama. Selain itu, peneliti juga harus membuat *begeesting* atau cetakan beton yang sudah didesain terlebih dahulu disesuaikan ukuran benda sampel. Pembuatan *begeesting* menggunakan beberapa sekrup sehingga dibuat agar mudah dibongkar pada saat benda sampel telah mengeras dengan sempurna.

Penentuan jenis kayu yang digunakan dipilih dengan pertimbangan berat jenis yang berbeda untuk setiap jenis kayu. Kayu jenis lokal tersebut adalah, *Toona sureni* (berat jenis 0,45), *Swietenia mahagoni* (berat jenis 0,51) dan *Artocarpus heterophyllus* (berat jenis 0,54).

Penggunaan beton digunakan dengan mutu beton aktual yaitu 15,93 MPa. Perkiraan mutu beton tersebut disesuaikan dengan konstruksi rumah kayu yang biasanya ada di lapangan.

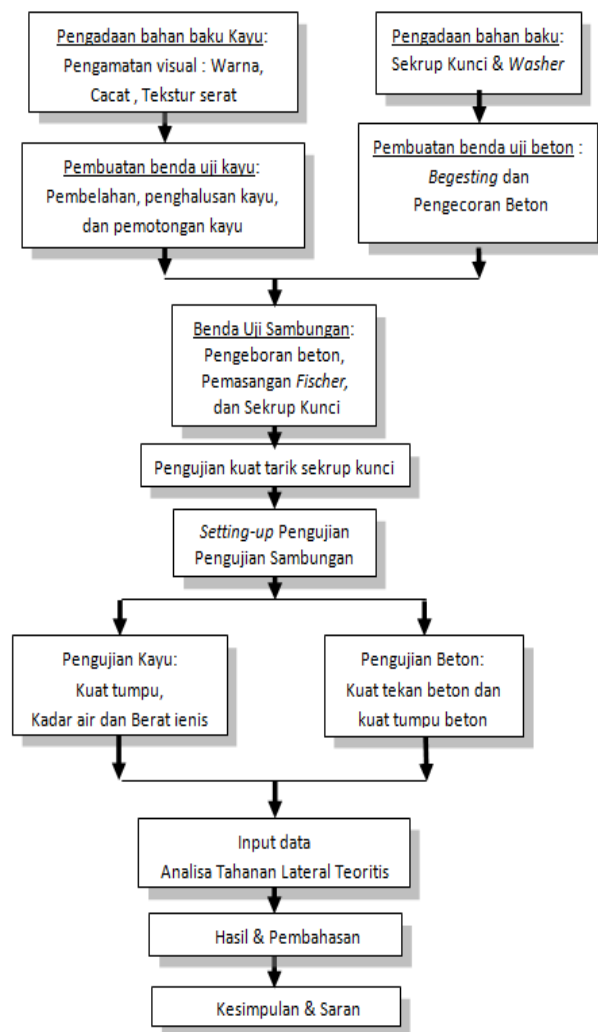


Gambar 1. Properties Sekrup Kunci
(sumber: dokumen pribadi)

Gambar 1 merupakan bentuk alat sambung mekanik yang dipakai, yaitu jenis sekrup kunci

dengan diameter 8 mm (panjang 130 mm) pada Gambar 1, ring penutup dengan diameter 22,8 mm, dan *fischer* S14. Untuk pemasangan sekrup kunci pada sambungan dilakukan dengan bantuan alat bor. Pekerjaan pengeboran memerlukan tenaga ahli yang sudah terbiasa dengan pengeboran. Pengeboran dilakukan pada semua benda sampel termasuk pemasangan *fischer* S14.

Metodologi pada penelitian ini dipaparkan dalam alur penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Tahapan Pelaksanaan Penelitian Tahanan Lateral Sambungan Kayu-Beton

Analisa penelitian dapat dilakukan dengan mengetahui semua karakter dan kekuatan yang

dimiliki masing-masing bahan yang digunakan dalam sambungan kayu-beton. Untuk mengetahui hal tersebut perlu dilakukan pengujian material yang dipakai. Untuk menghemat waktu, pengujian ini dapat dilakukan bersamaan dengan persiapan benda sampel. Pengujian yang dapat dilakukan adalah pengujian pada benda sampel alat sambung sekrup kunci. Pengujian pada sekrup kunci adalah pengujian tarik. Pengujian kuat tarik dilakukan untuk memperoleh kuat leleh lentur sekrup kunci. Benda sampel pengujian tarik, sekrup kunci yang dipakai diperkecil terlebih dahulu dikondisikan sesuai dengan standar pengujian kuat tarik. Pengujian kuat tarik dilakukan pada laboratorium teknik mesin.

Pada material beton sebelum dilakukan pengecoran. Sesuai dengan peraturan standar pembuatan beton. Terdapat tes *slump* untuk mengetahui pengukuran terhadap kadar air beton. Tujuan tes ini agar kualitas atau mutu beton dapat terjaga dengan mengetahui kekentalan campuran beton. Sehingga mutu beton yang diinginkan dapat tercapai dengan baik. Selanjutnya untuk mengetahui mutu beton dilakukan pengujian kuat tekan kubus pada usia 28 hari. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton aktual yang dipakai.

Kuat tumpu atau kekuatan material kayu dan beton dapat diketahui dengan melakukan pengujian kuat tumpu. Pengujian kuat tumpu kayu dan beton dilakukan setelah pengujian geser sambungan. Pengujian kuat tumpu beton mengikuti standar pengujian kuat tumpu kayu dikarenakan belum adanya standar pengujian kuat tumpu beton. Pengujian dan perhitungan kadar air termasuk berat jenis kayu eksperimen juga dilakukan setelah pengujian sambungan.

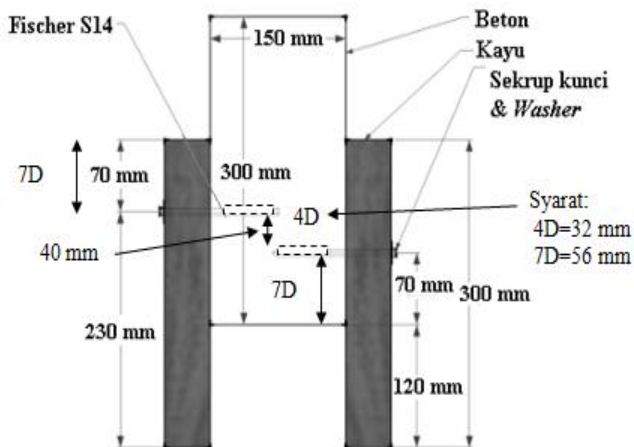
Pengambilan sampel pengujian kuat tumpu kayu, kadar air dan berat jenis kayu eksperimen diambil pada sampel kayu didaerah terdekat terjadinya kerusakan sambungan. Dengan harapan dapat diketahui properties kayu sampel eksperimen yang sesungguhnya sesuai dengan

kondisi di saat pengujian. Beberapa jumlah dan standar pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah dan Standar Pengujian Eksperimen

No	Pengujian	Jml	Standar
1	Uji tarik sekrup kunci	3 bh	ASTM E 8M
2	Uji tekan kubus beton	3 bh	SNI 03-1973-1990
3	Uji kuat tumpu kayu (untuk tiga jenis kayu)	72 bh	ASTM D5764 (model benda uji setengah lubang)
4	Uji kuat tumpu beton	3 bh	Mengikuti uji kuat tumpu kayu
5	Kadar air dan berat jenis kayu (untuk tiga jenis kayu)	72 bh	ASTM D442 (utk kadar air) dan ASTM D2395-02 (berat jenis)

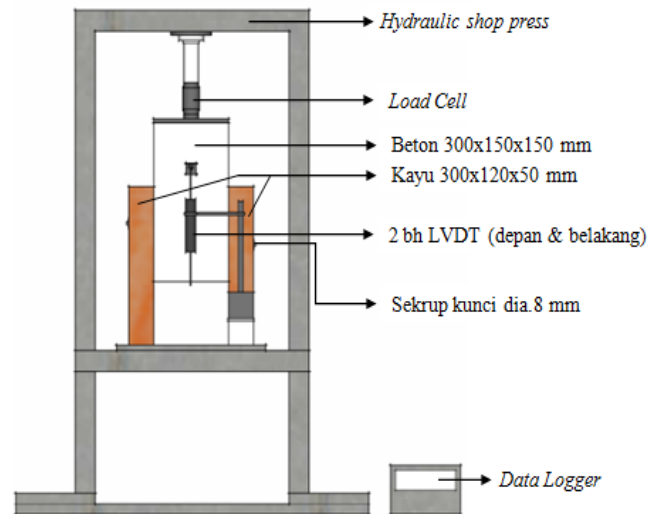
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Metode pengujian sambungan kayu-beton dengan uji geser sambungan dengan pembebanan monotonik (statik). Acuan penentuan jarak sekrup kunci pada sambungan komposit kayu-beton sesuai dengan SNI-05 2002, untuk beban sejajar serat pada sambungan horizontal.



Gambar 3. Jarak Pemasangan Sekrup Kunci

Jarak minimum untuk jarak tepi ujung adalah $7D=56$ mm (D adalah diameter sekrup kunci) dan spasi dalam baris alat pengencang

adalah $4D=32$ mm. Sesuai persyaratan tersebut dan kemudahan dalam pengerjaan (simetris) diambil jarak sekrup kunci untuk jarak tepi ujung 70 mm dan spasi dalam baris alat pengencang 40 mm (Gambar 3) dan *setting-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Setting-up* Pengujian

3.3. Pengujian Utama

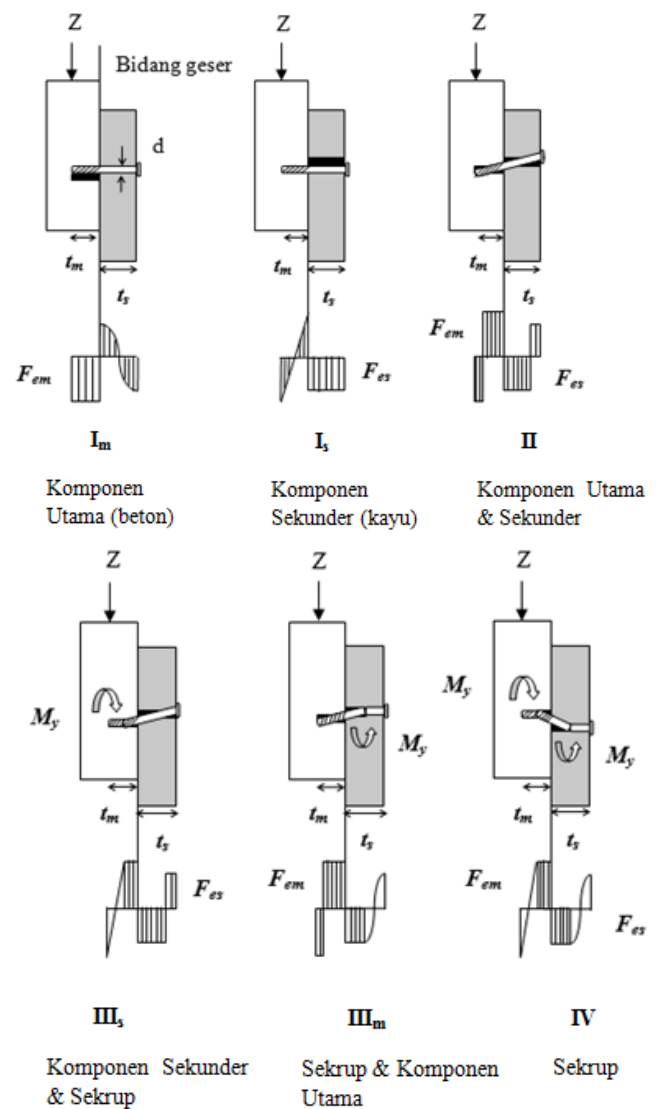
Agar hasil yang diperoleh akurat, maka pengujian benda sampel sambungan kayu-beton dilakukan masing-masing sebanyak enam kali pengulangan. Sehingga jumlah sampel kayu sebanyak 36 contoh sampel dengan tiga jenis kayu yang berbeda (kiri dan kanan). Jumlah tersebut diletakkan beberapa sampel kayu, karena dikhawatirkan pada saat pengujian terjadi kegagalan pengeboran atau kerusakan pada kayu. Kemungkinan ini dapat terjadi karena kayu bersifat higroskopis, sehingga terkadang kayu muda mengalami penyusutan yang akan mengubah dimensi kayu. Pada saat proses pengujian utama. Pengujian sambungan kayu-beton menggunakan alat sambung sekrup kunci dilakukan *setting* alat terlebih dahulu. Posisi benda uji sambungan harus simetris sesuai dengan desain sambungan. Hal ini perlu

diperhatikan karena apabila benda uji dalam kondisi memiliki kemiringan tertentu, maka hasil perlakuan yang diperoleh akan berbeda dari yang diprediksi.

4. Program Analisis

Pendekatan dalam menghitung nilai kekuatan tahanan lateral digunakan persamaan berdasarkan teori *Yield Model* yang diusulkan oleh Johansen (1949). Teori ini lebih dikenal sebagai EYM (*European Yield Model*). Penentuan kegagalan sambungan dengan mengetahui moda kelelahan atau moda kegagalan. Moda kelelahan untuk sambungan kayu dengan beton dengan alat sambung sekrup kunci yang mengadopsi dari teori *Yield Model* ditunjukkan pada Gambar 5.

Moda kelelahan ini mengacu pada pada sambungan baut kayu dengan kayu Awaludin, (2005), dengan mengganti distribusi tegangan tumpu beton sesuai hasil eksperimen. Penggambaran distribusi tegangan dapat diketahui dengan melakukan perhitungan mekanika teknik berdasarkan momen yang terjadi. Pembebanan dimisalkan dari beban hidrolik pada pengujian sambungan kayu-beton. Perhitungan reaksi dan aksi sehingga terjadi keseimbangan pada sambungan. Distribusi tegangan tumpu digambarkan dengan disimbolkan pada bawah gambar sambungan. Terdapat empat kemungkinan terjadinya kegagalan pada sambungan. Kegagalan pertama pada komponen utama adalah terjadinya kerusakan pada beton atau kegagalan pada komponen sekunder yaitu pada kayu. Kegagalan kedua dimungkinkan terjadi kegagalan pada beton dan kayu.



Gambar 5. Moda kelelahan dan distribusi tegangan tumpu sambungan kayu dan beton dengan alat sambung sekrup kunci.

Kegagalan ketiga terjadi pada kayu dan sekrup, atau pada sekrup dan beton. Sedangkan kegagalan yang ke-empat terjadi pada sekrup. Kegagalan tersebut dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan tahanan lateral. Persamaan tahanan lateral (sesuai dengan EYM) yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2, berikut ini.

Tabel 2. Tahanan lateral (Z) sambungan baut satu irisan (kayu dengan kayu). (Awaludin, 2005)

Mode Kelelahan	Tahanan Lateral (Z)
I _m	$F_{em} t_m D$
I _s	$F_{es} t_s D$
II	$\frac{F_{es} D t_s}{(1 + R_e)} \left[\sqrt{R_e + 2 R_e^2 \left[1 + \frac{t_m}{t_s} + \left(\frac{t_m}{t_s} \right)^2 \right] + R_e^3 \left(\frac{t_m}{t_s} \right)^2} - R_e \left(1 + \frac{t_m}{t_s} \right) \right]$
III _m	$\frac{F_{es} D t_m}{(2 R_e + 1)} \left[\sqrt{2 R_e^2 (R_e + 1) + \frac{4 R_e (2 R_e + 1) M_y}{F_{es} D t_m^2}} - R_e \right]$
III _s	$\frac{F_{es} D t_s}{(2 + R_e)} \left[\sqrt{2 R_e (R_e + 1) + \frac{4 R_e (2 + R_e) M_y}{F_{es} D t_s^2}} - R_e \right]$
IV	$\sqrt{\frac{2 R_e}{1 + R_e}} \sqrt{2 M_y F_{es} D}$

Notasi:
d : diameter baut (mm),
F_{es} : kuat tumpu kayu samping (*side*) (N/mm²),
F_{em} : kuat tumpu kayu utama (*main*) (N/mm²),
M_y : momen plastis baut (Nmm),
R_e : rasio $\frac{F_{em}}{F_{es}}$, dan
t_s, *t_m* : tebal kayu samping dan kayu utama (mm).

Persamaan tahanan lateral berdasarkan EYM tersebut diatas untuk sambungan sekrup kunci belum memperhitungkan tambahan dari gaya cabut (*withdrawal*) sekrup kunci dan gaya tekan dari ring penutup atau lebih dikenal dengan istilah *rope effect* (Awaludin, dkk, 2010). Sehingga, kekuatan tahanan lateral dalam penelitian ini belum memperhitungkan kedua hal tersebut.

Setelah diperoleh data hasil pengujian eksperimen dilakukan analisis untuk prediksi tahanan lateral. Prediksi dengan teori 1 adalah digunakan persamaan tahanan lateral (EYM) dengan asumsi kuat tumpu kayu dan beton menggunakan peraturan *National Design and Specification* atau NDS (1997). Untuk prediksi dengan teori 2 adalah digunakan persamaan tahanan lateral (EYM) dengan kuat tumpu kayu dan beton adalah hasil eksperimen. Untuk kedua teori tersebut penentuan kuat leleh lentur sekrup kunci digunakan persamaan 1 berdasarkan NDS, berikut ini.

$$F_{yb,5\%} = 0,5 (F_y + F_u) \dots \dots \dots (1)$$

dimana, *F_y* adalah tegangan leleh sekrup kunci

(MPa), dan *F_u* adalah tegangan ultimit sekrup kunci (MPa).

Prediksi kuat tumpu kayu berdasarkan *National Design and Specification* (NDS) dengan (*Specific gravity* atau SG) berkisar 0,36 – 0,58 adalah sebagai berikut,

$$F_{e||} = 77,25.SG \text{ (MPa) untuk } d \geq 6,35 \text{ mm} \dots \dots \dots (2)$$

Prediksi kuat tumpu beton berdasarkan NDS adalah,

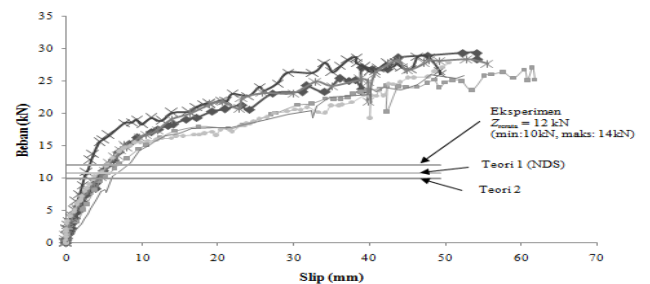
$$F_{eb} = 3f'_c \text{ (MPa), untuk } 5\% \text{ Offset} \dots \dots \dots (3)$$

dimana *f'_c* adalah mutu beton yang dipakai (MPa).

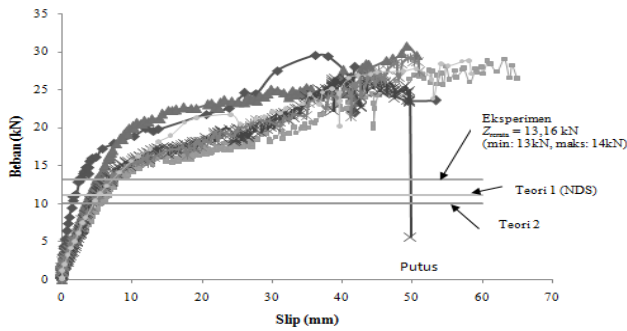
Untuk kekakuan sambungan *K₁* (kN/mm) atau *initial slip modulus* (sesuai dengan EN 408-2003) yang diperoleh dari kemiringan 0,1*P_{maks}* dengan 0,4*P_{maks}* dan kekakuan kedua atau *K₂* (kN/mm) yang merupakan kemiringan kedua dari grafik.

5. Hasil

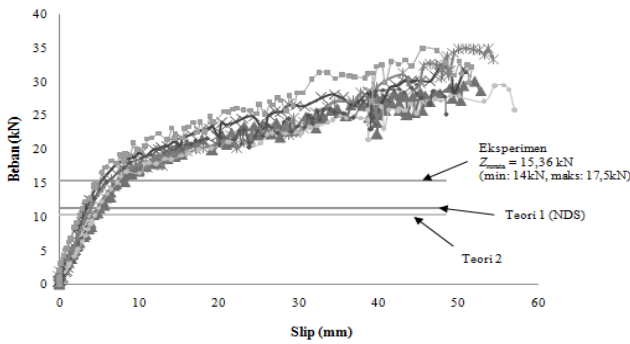
Hasil pengujian sambungan komposit kayu-beton yang diperoleh dalam penelitian ini hasilnya tidak terlalu halus, hal ini dikarenakan pengujian dengan menggunakan alat hidrolik manual yang dilakukan dengan tenaga manusia. Untuk grafik pengujian sambungan komposit kayu Surian pada Gambar 6 untuk mutu 15,93 MPa. Untuk kayu Mahoni pada Gambar 7 dan kayu Nangka pada Gambar 8



Gambar 6. Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Surian dan *f'_c* 15,93 MPa)

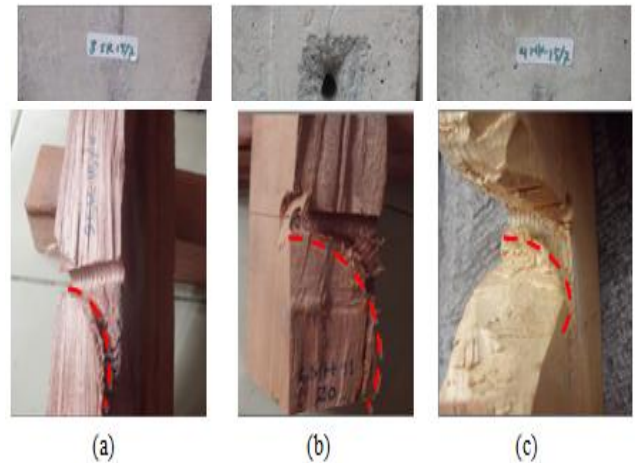


Gambar 7. Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Mahoni dan f'_c 15,93 MPa)



Gambar 8. Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Nangka dan f'_c 15,93 MPa)

kerusakan pada komponen sambungan dengan mencocokkan pada teori moda kegagalan sesuai dengan teori EYM. Untuk melihat kerusakan yang terjadi pada beton pada Gambar 8, sedangkan kerusakan pada kayu Gambar 9, dan kerusakan pada sekrup kunci pada Gambar 10.



Gambar 9. Kerusakan pada kayu: (a)Surian,(b)Mahoni,dan(c)Nangka (sumber: dokumen pribadi)

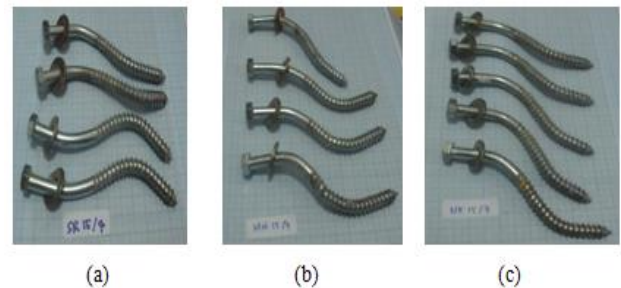
Hasil perbandingan tahanan lateral yang berdasarkan EYM antara perhitungan teoritis dengan hasil eksperimen sesuai dengan moda kelelahan IV dan kekakuan sambungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Tahanan Lateral dan Kekakuan

Sampel	Tahanan lateral Z (kN)			Persentase (%)		K_1 kN/mm (rerata)	K_2 kN/mm (rerata)
	Teori 2	Teori 1	Eksperimen (rerata)	Teori 1	Teori 2		
Z _{1S}	4,96	5,36	6,00 (5,00 ~ 7,00)*	11,94	21,01	1,99 (1,49~3,66)*	0,258 (0,18~0,30)*
Z _{1M}	4,99	5,57	6,58 (6,50 ~ 7,00)*	18,15	31,95	2,29 (1,48~4,21)*	0,277 (0,23~0,38)*
Z _{1N}	5,18	5,63	7,68 (7,00 ~ 8,75)*	36,40	48,15	2,50 (1,99~3,27)*	0,295 (0,23~0,39)*
Z _{2S}	5,13	5,67	5,92 (4,50 ~ 8,00)*	4,45	15,50	2,04 (1,38~2,99)*	0,279 (0,28~0,31)*
Z _{2M}	5,16	5,92	6,96 (6,25 ~ 8,00)*	17,63	34,97	2,11 (1,21~2,74)*	0,285 (0,18~0,35)*
Z _{2N}	5,38	5,99	6,58 (5,25 ~ 7,00)*	9,84	22,40	2,49 (1,13~3,43)*	0,305 (0,17~0,35)*

Keterangan:
Simbol 1 dan 2 untuk mutu beton, 1 = f'_c 15,93 MPa dan 2 = f'_c 21,27 MPa.
Simbol S,M, dan N untuk jenis kayu, S= Surian, M=Mahoni dan N=Nangka.
*Range minimum s/d maksimum

Berdasarkan kerusakan pada beton, kayu dan sekrup kunci sesuai Gambar 9 maka moda kegagalan yang sesuai adalah moda kegagalan IV, yaitu kerusakan dominan pada sekrup kunci yang terdapat dua sendi plastis atau *plastic hinge*.



Gambar 10. Kerusakan sekrup kunci, dengan f'_c 15,93 MPa, Kayu:(a)Surian,(b)Mahoni,dan(c)Nangka (sumber: dokumen pribadi)

6. Kesimpulan

Hasil kesimpulan yang dapat dijadikan pertimbangan adalah sebagai berikut:

Penentuan moda kegagalan sambungan dilakukan dengan pengamatan secara visual

1. Hasil pengujian tekan kubus, pada usia beton 28 hari setelah dikonversi menjadi kuat tekan silinder adalah 15,93 MPa
2. Kadar air dan berat jenis kayu rerata berturut-turut untuk kayu Surian (*Toona sureni*) sebesar 15,92 % dan 0,45, kayu Mahoni (*Swietenia mahagoni*) sebesar 16,16 % dan 0,51, dan kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) sebesar 15,4 % dan 0,54.
3. Hasil kuat tumpu kayu rerata sejajar serat ($F_{e//,5\%}$) untuk kayu Surian (*Toona sureni*) sebesar 28,45 MPa, kayu Mahoni (*Swietenia mahagoni*) sebesar 28,99 MPa, dan kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) sebesar 33,11 MPa. Hasil ini lebih kecil dari hasil perkiraan perhitungan NDS ($77,25 \times SG$). Hal ini sesuai dengan penelitian Tjondro, 2007 dalam Pranata, 2011.
4. Hasil pengujian kuat tumpu beton rerata untuk f'_c 15,93 MPa sebesar 43,5 MPa Hasil ini hampir mendekati dari perkiraan hitungan NDS ($3f'_c$ aktual) yaitu 47,78 MPa dan 63,8 MPa. Sehingga, persentase kuat tumpu beton antara eksperimen dengan peraturan NDS, untuk mutu beton 15,93 MPa sebesar 9,84%
5. Nilai tahanan lateral hasil eksperimen untuk sambungan dengan mutu beton 15,93 MPa berturut-turut adalah 6 kN(kayu Surian), 6,58 kN(kayu Mahoni), dan 7,68 kN (kayu Nangka).
6. Persentase prediksi tahana lateral terhadap eksperimen adalah 4,45%-36,4% (teori pertama/NDS) dan 16%-48% (teori kedua).
7. Moda kegagalan sambungan adalah moda IV (terjadi dua sendi plastis).
8. Untuk nilai kekakuan K_1 (kN/mm) dan kekakuan kedua, K_2 (kN/mm) pada

sambungan berlaku meningkatnya berat jenis kayu maka, meningkat pula kekakuan sambungan (meskipun kenaikan kekakuan kedua relatif sedikit).

7. Daftar Pustaka

- Awaludin, A., 2005, Dasar-dasar Perencanaan Sambungan Kayu (Mengacu pada SNI-5, 2002). Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.
- Awaludin, A., Hirai, T., Hayashikawa, T., Sasaki, Y. (2010), "Loading Resistance of Bolted Timber Joints Beyond Their Yield-Load", Proceedings of the 2nd ASEAN Civil Engineering Conference, 11-12 March 2010, Vientiane, LA.
- NDS, 1997. Technical Report 12, General Dowel Equations for Calculating Lateral Connection Values.
- Pranata, Y. A., 2011, "Flexural Behaviour of Indonesian Timber Bolt-Laminated Beams", Disertasi, Program Doktor Ilmu Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan.
- Sudarsana, I. K., 2005, "Investigation of Withdrawal resistance of Lag Screws from Bangkirays Woods", Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol.9, No. 1.