

# Perilaku Sambungan Komposit kayu-beton dengan Alat Sambung Sekrup Kunci terhadap Beban Lateral

Efa Suriani

Staf pengajar Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Arsitektur Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya

## Abstrak

Perkiraan yang akurat untuk tahanan lateral sambungan komposit kayu-beton dengan alat sambung sekrup kunci diperlukan dalam mendisain konstruksi kayu yang handal terhadap beban lateral (seperti angin atau beban gempa). Dalam penelitian ini, evaluasi kekuatan tahanan lateral dilakukan pengujian geser sambungan dengan pembebanan monotonik dan model analisis diadopsi 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 dan 21,27 MPa. Sekrup kunci dipakai diameter 8 mm (panjang 130 mm), ring penutup diameter 22,8 mm, dan *fischer* S14. Untuk pemasangan *fischer* pada sambungan terlebih dahulu dilakukan pengeboran pada bagian beton. Hasil penelitian menunjukkan persentase tahanan lateral (metode 5% offset) antara prediksi dengan eksperimen adalah untuk Teori 1 (NDS) sebesar 4,45%-36,40% dan Teori 2 sebesar 15,5%-48,15%. Hasil ini memperlihatkan tahanan lateral prediksi dengan persamaan tahanan lateral EYM cukup mendekati dari hasil tes. Moda kegagalan sambungan adalah moda kegagalan IV. Nilai kekakuan sambungan menunjukkan meningkatnya berat jenis kayu maka kekakuan atau *initial*/slip modulus juga meningkat.

**Kata-kunci:** komposit, kayu, beton, sekrup kunci, tahanan lateral, EYM

## 1. Pendahuluan

Konstruksi kayu untuk rumah kayu konvensional pada sambungan pondasi umpak dengan balok sloof kayu menggunakan alat sambung angkur (diameter 12 mm). Pemasangan angkur dilakukan dengan melubangi kayu terlebih dahulu kemudian dicor setempat bersama pondasi umpaknya. Seiring dengan perkembangan rumah kayu di Indonesia, pembuatan rumah kayu dibuat secara rakitan atau pra-fabrikasi (knock down). Sehingga, perlu diteliti bagaimana bila sambungan pondasi dengan balok sloof tersebut disambung dengan menggunakan alat sambung sekrup kunci serta pondasi umpak diganti dengan pondasi beton tanpa tulangan.

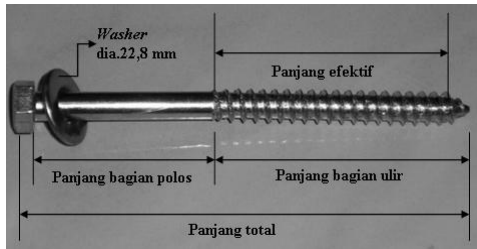
Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui perilaku dan memperoleh nilai kekuatan tahanan

lateral yang akurat pada sambungan komposit kayu-beton dengan alat sambung sekrup kunci termasuk moda kegagalan sambungan yang terjadi. Sehingga, akan diperoleh konstruksi kayu yang dapat diandalkan terhadap beban lateral seperti angin atau gempa.

## 2. Program Eksperimen

Pengujian sambungan komposit kayu-beton dengan alat sambung sekrup kunci dilakukan untuk masing-masing enam pengulangan. Terdapat 36 (tiga puluh enam) sampel untuk tiga jenis kayu yaitu *Toona sureni* (berat jenis 0,45), *Swietenia mahagoni* (berat jenis 0,51) dan *Artocarpus heterophyllus* (berat jenis 0,54) dan dua jenis mutu beton aktual 15,93 MPa dan 21,27 MPa. Alat sambung mekanik yang dipakai adalah sekrup kunci dengan diameter 8 mm (panjang 130 mm) pada Gambar 1, ring

penutup dengan diameter 22,8 mm, dan *fischer S14*.



**Gambar 1.** Properties Sekrup Kunci

Sebelum dilakukan pengujian sambungan terlebih dahulu dilakukan pengujian tarik sekrup kunci untuk memperoleh kuat leleh lentur sekrup kunci. Pengujian kuat tekan kubus pada usia 28 hari dilakukan untuk mengetahui mutu beton aktual yang dipakai. 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.

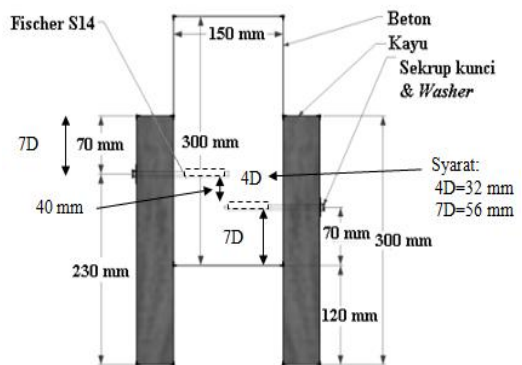
Beberapa standar pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini

**Tabel 1.** Standar Pengujian Eksperimen

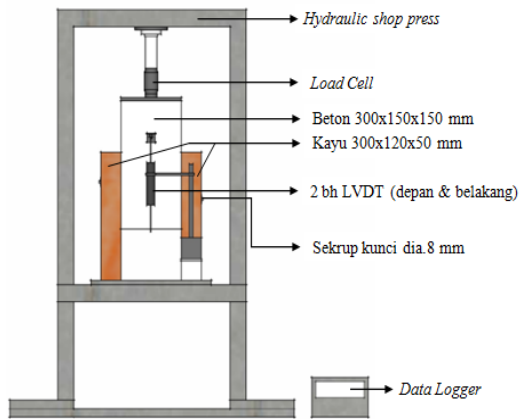
No	Pengujian	Jumlah	Standar
1	Uji tarik sekrup kunci	3 sampel	ASTM E 8M
2	Uji tekan kubus beton (untuk dua tipe mutu beton)	4 sampel	SNI 03-1973-1990
3	Uji kuat tumpu kayu (untuk tiga jenis kayu)	72 sampel	ASTM D5764 (model benda uji setengah lubang)

4	Uji kuat tumpu beton (untuk dua tipe mutu beton)	3 sampel	Mengikuti uji kuat tumpu kayu
5	Kadar air dan berat jenis kayu (untuk tiga jenis kayu)	72 sampel	ASTM D442 (untuk kadar air) dan ASTM D2395-02 (untuk berat jenis)

Metode pengujian sambungan komposit 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. 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 2) dan *setting-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.

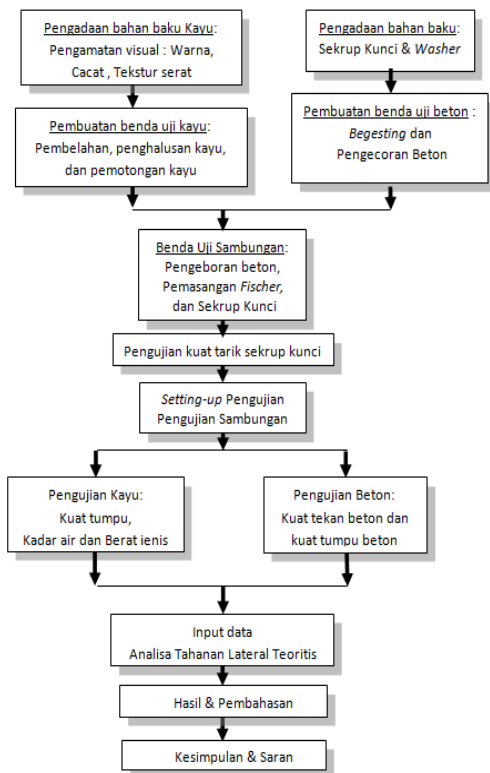


**Gambar 2.** Jarak Pemasangan Sekrup Kunci



**Gambar 3.** *Setting-up* Pengujian

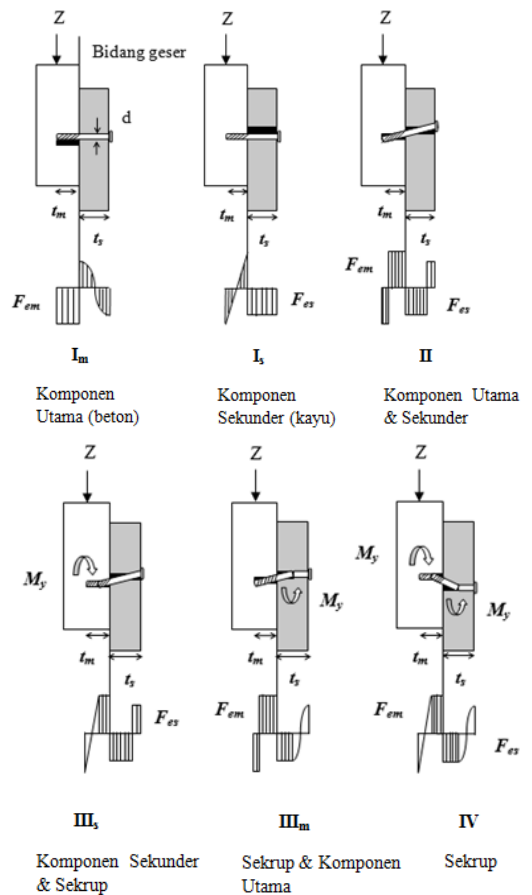
Langkah-langkah penelitian secara garis besar dapat dibuat diagram. Diagram langkah pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram Pelaksanaan Penelitian

### 3. Analisis

Nilai kekuatan tahanan lateral digunakan persamaan berdasarkan teori *Yield Model* yang diusulkan oleh Johansen (1949). Teori ini lebih dikenal sebagai EYM (*European Yield Model*). 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 sambungan baut kayu dengan kayu Awaludin, (2005), dengan mengganti distribusi tegangan tumpu beton sesuai hasil eksperimen.



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

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 <sub>m</sub>	$F_{el} t_m D$
I <sub>s</sub>	$F_{el} t_s D$
II	$\frac{F_{el} D t_s}{(1 + R_e)} \left[ \sqrt{R_e + 2 R_e^2 \left[ 1 + \frac{t_m}{t_s} + \left(\frac{t_m}{t_s}\right)^2 \right] + R_e^2 \left(\frac{t_m}{t_s}\right)^2} - R_e \left( 1 + \frac{t_m}{t_s} \right) \right]$
III <sub>m</sub>	$\frac{F_{el} D t_m}{(2R_e + 1)} \left[ \sqrt{2 R_e^2 (R_e + 1) + \frac{4R_e(2R_e + 1)M_y}{F_{el} D t_m^2}} - R_e \right]$
III <sub>s</sub>	$\frac{F_{el} D t_s}{(2 + R_e)} \left[ \sqrt{2 R_e (R_e + 1) + \frac{4R_e(2 + R_e)M_y}{F_{el} D t_s^2}} - R_e \right]$
IV	$\sqrt{\frac{2 R_e}{1 + R_e}} \sqrt{2M_y F_{el} D}$

Notasi:

- $d$  : diameter baut (mm).
- $F_{el}$  : kuat tumpu kayu samping (*side*) (N/mm<sup>2</sup>).
- $F_{em}$  : kuat tumpu kayu utama (*main*) (N/mm<sup>2</sup>).
- $M_y$  : momen plastis baut (Nmm).
- $R_e$  : rasio  $\frac{F_{em}}{F_{el}}$  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,

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

Prediksi kuat tumpu beton berdasarkan NDS adalah,

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

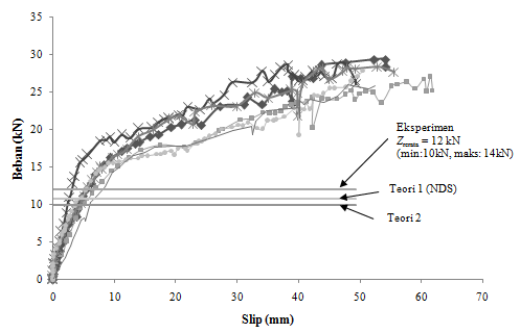
dimana  $f'_c$  adalah mutu beton yang dipakai (MPa).

Untuk kekakuan sambungan  $K_I$  (kN/mm) atau *initial slip* modulus (sesuai dengan EN 408-2003) yang diperoleh dari kemiringan 0,1P<sub>maks</sub> dengan 0,4P<sub>maks</sub> dan kekakuan kedua atau  $K_2$  (kN/mm) yang merupakan kemiringan kedua dari grafik.

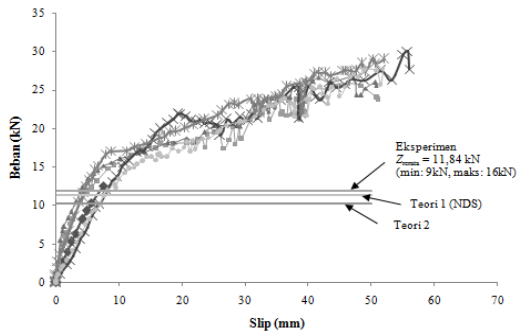
**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

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.

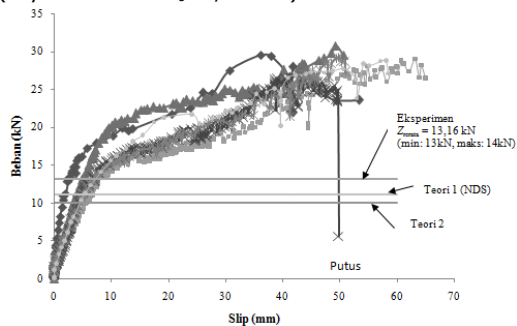
Untuk grafik pengujian sambungan komposit kayu Surian pada Gambar 6 untuk mutu 15,93 MPa dan Gambar 7 untuk mutu 21,27 MPa. Untuk kayu Mahoni pada Gambar 8 dan 9. Sedangkan untuk kayu Nangka Gambar 10 dan 11, sebagai berikut.



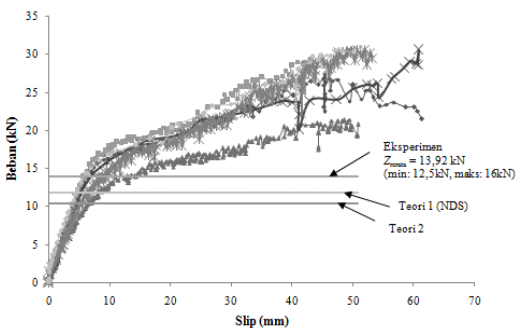
**Gambar 6.** Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Surian dan  $f'_c$  15,93 MPa)



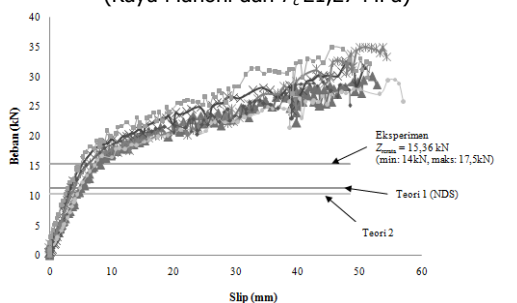
**Gambar 7.** Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Suriani dan  $f'_c$  21,27 MPa)



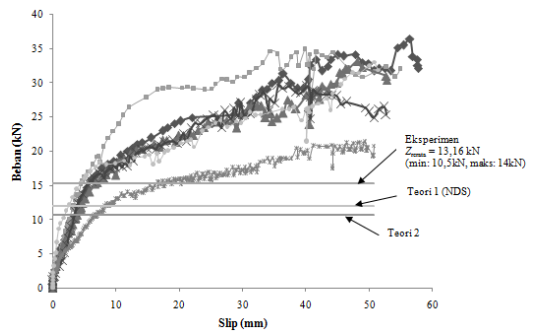
**Gambar 8.** Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Mahoni dan  $f'_c$  15,93 MPa)



**Gambar 9.** Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Mahoni dan  $f'_c$  21,27 MPa)



**Gambar 10.** Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Nangka dan  $f'_c$  15,93 MPa)



**Gambar 11.** Grafik hubungan beban dengan slip (Kayu Mahoni dan  $f'_c$  21,27 MPa)

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.

Penentuan moda kegagalan sambungan dilakukan dengan pengamatan secara visual kerusakan pada komponen sambungan dengan mencocokkan pada teori moda kegagalan sesuai EYM.

Untuk melihat kerusakan yang terjadi pada beton pada Gambar 12 dan 13, sedangkan kerusakan pada kayu Gambar 14, dan kerusakan pada sekrup kunci pada Gambar 15 dan 16.

**Tabel 3.** Perbandingan Tahanan Lateral dan Kekakuan

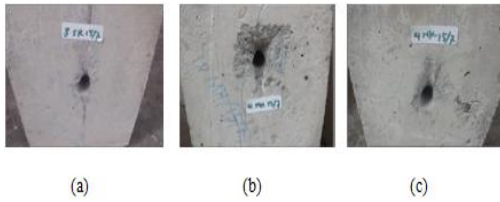
Sampel	Tahanan lateral Z (kN)			Persentase (%)		$K_1$ kN/mm (rerata)	$K_2$ kN/mm (rerata)
	Teori 2	Teori 1	Eksperimen (rerata)	Teori 1	Teori 2		
$Z_{1S}$	4,96	5,36	6,00 (5,00 ~ 7,00)*	11,94	21,01	1,99 (1,49~3,66)*	0,258 (0,18~0,30)*
$Z_{1M}$	4,99	5,57	6,58 (6,50 ~ 7,00)*	18,15	31,95	2,29 (1,48~4,21)*	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	0,04 (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= Suriani, M=Mahoni dan N=Nangka.

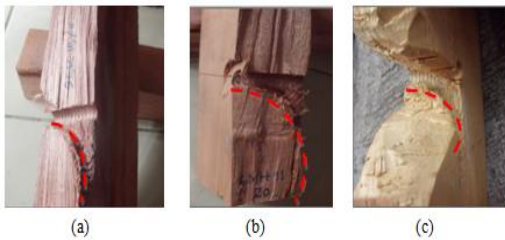
\*Range minimum s/d maksimum



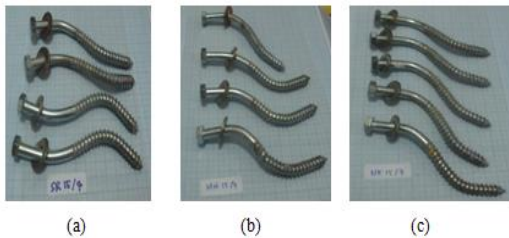
**Gambar 12.** Kerusakan pada beton ,  $f'_c$  15,93 MPa, Kayu:(a)Surian,(b)Mahoni,dan(c)Nangka



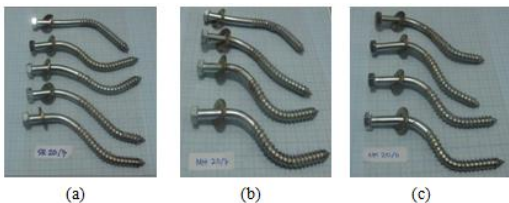
**Gambar 13.** Kerusakan pada beton ,  $f'_c$  21,27 MPa, Kayu:(a)Surian,(b)Mahoni,dan(c)Nangka



**Gambar 14.** Kerusakan pada kayu: (a)Surian,(b)Mahoni,dan(c)Nangka



**Gambar 15.** Kerusakan sekrup kunci,  $f'_c$  15,93 MPa, Kayu:(a)Surian,(b)Mahoni,dan(c)Nangka

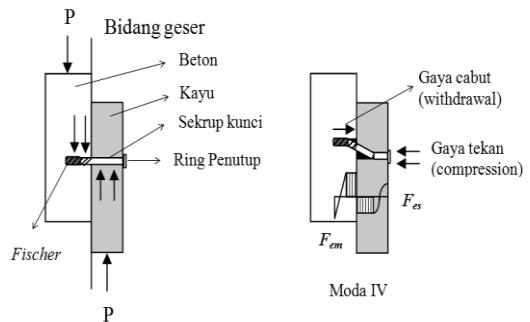


**Gambar 16.** Kerusakan sekrup kunci,  $f'_c$  21,27 MPa, Kayu:(a)Surian,(b)Mahoni,dan(c)Nangka

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

## 5. MEKANISME KERUNTUHAN

Pada saat pembebanan diberikan, sekrup kunci berfungsi sebagai transfer beban merata sepanjang sekrup kunci pada komponen beton dan kayu (Gambar 17). Pada komponen kayu, ring penutup yang terpasang menahan sekrup kunci dengan menekan permukaan kayu sehingga ada tambahan pembebanan pada sekrup kunci untuk mengalami proses deformasi. Pada komponen beton, sekrup kunci ditahan oleh *fischer* yang tertanam pada beton juga menambah pembebanan saat pengujian. Sekrup kunci mengalami lentur sedangkan kayu dan beton mengalami tumpu/kuat tumpu, ring penutup dan *fischer* menjepit/menahan sekrup kunci. Saat pembebanan maksimum sekrup kunci masih mampu menahan sambungan untuk runtuh, namun pembebanan sudah mulai turun



**Gambar 17.** Mekanisme keruntuhan sambungan

## 6. KESIMPULAN

- 1) Hasil pengujian tekan kubus, pada usia beton 28 hari setelah dikonversi menjadi kuat tekan silinder adalah 15,93 MPa dan 21,27 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 sedangkan  $f'_c$  21,27 MPa adalah 51,91 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% dan untuk mutu beton 21,27 MPa sebesar 22,91%.
- 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). Untuk mutu beton 21,27 MPa berturut-turut adalah 5,92 kN(kayu Surian), 6,96 kN(kayu Mahoni), dan 6,58 kN(kayu Nangka).
- 6) Persentase prediksi tahanan 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. SARAN

- 1) Perlu dilakukan studi lanjut mengenai sambungan komposit kayu-beton dengan alat sambung sekrup kunci yang lebih panjang dan jenis kayu lainnya termasuk penggunaan *fischer* yang terbuat dari baja.
- 2) Perlu dianalisis lebih lanjut mengenai pengaruh gaya cabut (*withdrawal*) dari sekrup kunci termasuk pengaruh gaya tekan dari ring penutup (*rope effect*).

## Daftar Pustaka

American Society for Testing and Material (2008), "Annual Book of ASTM Standards 28-Section 4 Volume 4.1 Wood", American Society for Testing and Materials

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 2<sup>nd</sup> 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.

Soltis, L., Wilkinson, T. (1991), "*United States Adaptation of European Yield Model to Large-Diameter Dowel Fastener Specification*", Proceedings of the 1991 International Timber Engineering Conference, 1991 September 2-5, London.