

STUDI KUAT GESER PANEL KAYU VERTIKAL DENGAN PERKUATAN *SINGLE BRACING* TULANGAN BAJA AKIBAT PEMBEBANAN MONOTONIK

Fanny Monika¹ dan Ali Awaludin²

Abstract

Panel structures used as walls in wood construction contributes in providing lateral strength if planned according to the procedure. Panels material in this study consisted of a single frame and cover in the form of plywood which is connected to a wooden frame by means of connecting spikes. Lateral forces on the panel are improved using additional bracing of rebar. The specimen is varied in the form of wooden panels type I associated with wood frame LVL by means of connecting spikes CN 50 diameter of 2.8 mm and the distance between spikes 240 mm and panel type II in the form of a panel similar to type I but given single rebar bracing with diameter of 8 mm and tension position the corner plate to use as a connector between the bracing and the LVL wood frame. Full-scale testing with monotonic loading is conducted to decrease 40% of the maximum load. From the test results obtained that lateral bracing panels that use of single rebar bracing larger than panels that do not use bracing. (Lateral resistance of specimen type I and type II N 5625 amounted to 8265 N).

Keywords: Plywood, LVL, bracing, lateral resistance, wood panel

Abstrak

Struktur panel yang digunakan sebagai dinding dalam konstruksi kayu berkontribusi dalam memberikan kekuatan lateral apabila direncanakan sesuai prosedur. Bahan panel di dalam penelitian ini terdiri dari rangka dan penutup berupa *plywood* yang dihubungkan ke rangka kayu dengan alat sambung paku. Kekuatan lateral pada panel ditingkatkan menggunakan penambahan *bracing* dari baja tulangan polos pada rangka. Benda uji divariasikan berupa panel kayu tipe I yang dihubungkan dengan rangka kayu LVL dengan alat sambung paku CN 50 diameter 2.8 mm dan jarak antar paku 240 mm dan panel tipe II berupa panel serupa dengan tipe I tetapi diberikan perkuatan *bracing* tulangan polos tunggal berdiameter 8 mm posisi tarik menggunakan *corner plate* sebagai *connector* antara *bracing* dan rangka kayu LVL. Pengujian skala penuh dengan pembebanan monotonik dilakukan sampai penurunan 40% dari beban maksimum. Dari hasil pengujian didapatkan tahanan lateral panel yang menggunakan *bracing* dari tulangan polos lebih besar dibanding panel yang tidak menggunakan perkuatan. (Tahanan lateral tipe I sebesar 5625 N dan tipe II sebesar 8265 N)

Kata kunci: Plywood, LVL, bracing, tahanan lateral, panel kayu

I. PENDAHULUAN

Panel pada konstruksi kayu selain berfungsi sebagai dinding, juga dapat memberikan ketahanan lateral struktur terhadap gaya gempa bila didesain dengan baik. Bahan panel tersusun atas *frame*/rangka yang diberi penutup/*sheathing* seperti *Plywood* atau OSB yang dihubungkan ke rangka kayu dengan alat sambung paku. Kekuatan lateral panel tersebut dapat ditingkatkan, salah satunya dengan cara penambahan batang diagonal/*bracing* pada rangka kayu.

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh penambahan *bracing* tulangan baja terhadap kekuatan lateral,

kemampuan disipasi, dan perilaku kegagalan panel kayu. Selain itu, untuk meneliti efektifitas penambahan *bracing* tulangan baja dibandingkan dengan *bracing* kayu LVL. Dengan adanya penelitian ini diharapkan Panel *Plywood* Sengon dapat diaplikasikan sebagai dinding panel kayu untuk bangunan rumah kayu sebagai sistem penahan geser panel kayu struktural yang mampu menahan gaya gempa.

Menurut Ambrose, J. & Vergun, D. (1995) hal utama pada bangunan tahan gempa adalah membuat bentuk bangunan saling terikat sehingga secara harfiah bagian tidak terguncang. Detail sambungan konstruksi merupakan hal utama pada desain struktur tahan gempa. Konsep struktur tahan gempa menurut Satyarno (2004) antara lain harus memperhatikan hubungan tanah, fondasi dan struktur atas, pendetailan elemen struktur, pengikatan antar elemen struktur atas, struktur harus ringan, geometri struktur harus

1. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah, Yogyakarta. Pos-el: fanny.monika@ft.umy.ac.id,

2. Depart. Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Pos-el: ali.awaludin@ugm.ac.id

sederhana, simetri dan beraturan, distribusi massa, kekakuan dan kekuatan yang merata, pendetailan elemen non struktural.

Gerakan vertikal dan horizontal dari gempa dan inersia bangunan menyebabkan perubahan frekwensi pada berat bangunan, dan penggunaan kualitas material yang buruk dan struktur yang besar adalah alasan kegagalan bangunan. Bangunan lebih banyak menerima gaya lateral, hal itu merupakan komponen utama penyebab kerusakan bangunan. Menurut Sherpa (2010), ketika tidak terdapat komponen sambungan yang kuat seperti dinding, balok, kolom, atap, dan pelat pada bangunan, bangunan bergerak secara independen pada arahnya sendiri, dan kecepatan gerakannya ditentukan oleh berat bangunan dan orientasi bangunan, hal ini dapat memisahkan komponen bangunan.

Menurut *International Residential Code (IRC) Wall Bracing* (2007), dinding dengan *bracing* memberikan perlawanan terhadap gaya horizontal (lateral) baik itu berupa beban angin atau gempa, selain itu *bracing* juga mencegah lepasnya sambungan (*connection*) pada dinding, dengan demikian adanya *bracing* dapat mencegah runtuhnya bangunan. Panel dinding dengan *bracing* diletakkan pada jalur dinding yang menahan beban *racking* dan disebut sebagai "*braced wall lines*".

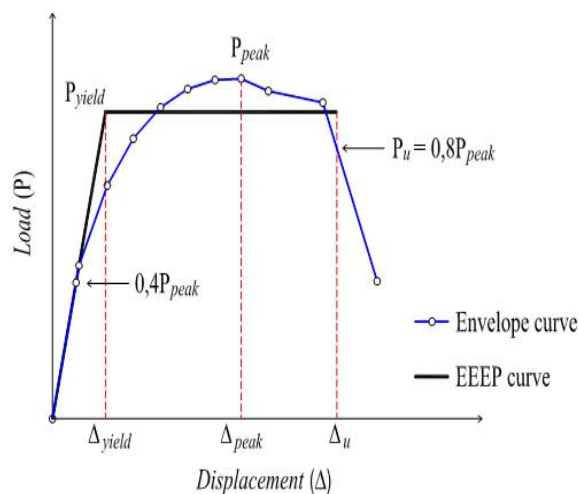
II. TINJAUAN PENELITIAN

Pengujian monotonik adalah suatu cara pengujian yang dilakukan dengan memberikan pembebanan statik sistem satu arah pada benda uji sampai benda uji tersebut mengalami keruntuhan. Pengujian monotonik pada panel kayu dilakukan sampai mengalami penurunan 40% dari beban maksimum. Perhitungan hasil uji monotonik di laboratorium dianalisis berdasarkan pada peraturan dan ketentuan dari ASTM E564 serta ASTM E2126.

2.1 Equivalent Energy Elastic Plastic (EEEE) curve

Pada Gambar 1. menunjukkan idealisasi kurva *elastic plastic* yang merupakan suatu luasan pendekatan dari kurva hubungan antara beban dan simpangan atau kurva *envelope* asli yang besarnya dapat dipengaruhi oleh simpangan ultimit dan simpangan pada sumbu. Bagian dari kurva EEEP bisa terdiri dari kemiringan yang hampir mirip dengan kemiringan kurva aslinya berupa *elastic stiffness* (k_e) dan juga bisa tidak mirip dengan

kemiringan kurva aslinya sehingga diperlukan sekali pendekatan untuk menentukan kurva *Equivalent Energy Elastic Plastic*.



Gambar 1. *Equivalent energy elastic plastic curve* (Minjuan dkk, 2012)

2.2 Kekakuan elastik (k_e)

Menurut ASTM E2126 07 kekakuan elastik dapat didefinisikan sebagai kemiringan dari kurva *envelope* pada saat mencapai beban $0,40 P_{peak}$ dan dapat juga digunakan untuk menghitung parameter seperti beban leleh, simpangan leleh dan rasio daktilitas. Menurut ASTM E2126 07 kekakuan elastik pada panel kayu dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$k_e = \frac{0,40 P_{peak}}{\Delta_{0,40 P_{peak}}} \quad (1)$$

Dimana :

K_e = Kekakuan elastik (KN/mm)

$0,40 P_{peak}$ = Beban pada saat $0,40 P_{peak}$ (KN)

$\Delta_{0,40 P_{peak}}$ = Simpangan pada saat beban $0,40 P_{peak}$ (mm)

2.3 Beban leleh (P_{yield}) dan simpangan leleh (Δ_{yield})

Menurut ASTM E2126 02a (ASTM 2003) beban leleh dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P_{yield} = \left[\Delta_u - \sqrt{\Delta_u^2 - \frac{2A}{k_e}} \right] \cdot k_e \quad (2)$$

Dimana :

P_{yield} = Beban leleh (KN)

Δ_{ult} = Simpangan pada saat beban ultimit (mm)

A = Disipasi energi yaitu luas kurva envelope mulai dari nol hingga simpangan ultimit (KNmm)

k_e = Kekakuan elastik yang diperoleh dari kemiringan kurva envelope pada saat beban $0,40 P_{peak}$ (KN/mm)

Menurut ASTM E2126 02a (ASTM 2013) simpangan leleh dapat dihitungkan menggunakan rumus :

$$\Delta_{yield} = \frac{P_{yield}}{k_e} \quad (3)$$

Dimana :

Δ_{yield} = Simpangan leleh (mm)

P_{yield} = Beban leleh (KN)

k_e = Kekakuan elastik (KN/mm)

2.4 Daktilitas (μ)

Menurut ASTM E2126 daktilitas adalah kemampuan suatu struktur atau komponen struktur untuk melakukan deformasi melampaui batas elastisitasnya yang dinyatakan dengan leleh pertama kali (first yield) tanpa adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang berlebihan. Daktilitas merupakan perbandingan antara simpangan ultimit dengan simpangan leleh dari grafik hubungan antara beban dengan simpangan yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu = \frac{\Delta_{ultimit}}{\Delta_{yield}} \quad (4)$$

Dimana :

μ = Daktilitas

$\Delta_{ultimit}$ = Simpangan pada saat beban $0,80 P_{peak}$ (mm)

Δ_{yield} = Simpangan pada saat beban leleh pertama kali (mm)

2.5 Penelitian Sebelumnya

Pribadi (2012) melakukan penelitian mengenai panel kayu vertikal yang diuji secara siklik dan monotonik. Dalam penelitian ini benda uji panel kayu ada 4 tipe untuk uji monotonik dan siklik. Benda uji tipe A terdiri dari *Plywood* Sengon ukuran 1220 x 2440 x 8 mm dihubungkan ke rangka kayu LVL Sengon ukuran 40 x 80 mm dengan alat sambung paku CN50 dan jarak antar paku 238 mm. Benda uji tipe B memiliki rasio bukaan 40% di *Plywood*. Benda uji tipe C memiliki satu perkuatan diagonal LVL posisi tarik di rangka kayu dan benda uji tipe D memiliki dua perkuatan

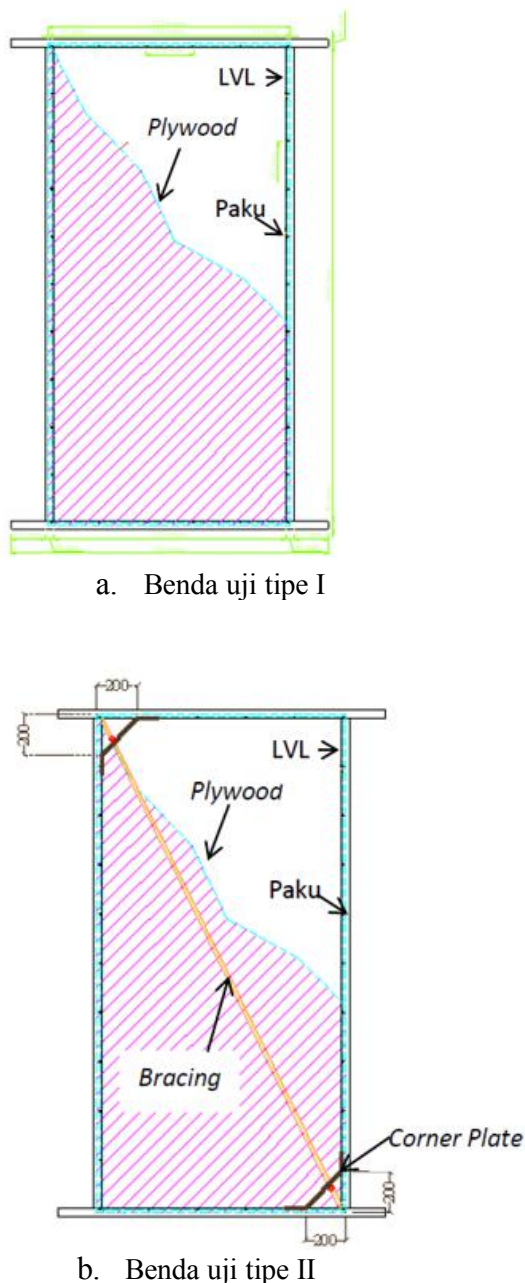
diagonal LVL secara bersilangan di rangka kayu. Pengujian monotonik dan siklik dilakukan untuk mengetahui hubungan ketahanan lateral dengan *drift ratio* panel kayu. Pengujian monotonik hanya dilakukan sampai mengalami penurunan 40% beban puncak, sedangkan pada pengujian siklik bertahap berdasarkan pada peraturan ISO 1667 2003 dengan kontrol deformasi 10% Δ_y , 20% Δ_y , 40% Δ_y dan dibebani monotonik sampai panel kayu mengalami keruntuhan. Hasil pngujian Pribadi (2012) ditunjukan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan uji monotonik pada panel kayu tipe A, B, C dan d (Pribadi,2012)

Parameter	Panel A	Panel B	Panel C	Panel D
P_{yield} (N)	4806,621	4737,704	6417,617	7173,268
DR_{yield} (%)	0,4108	0,3705	1,7799	1,5943
P_{peak} (N)	5570	5310	7580	8480
DR_{peak} (%)	3,0554	1,7045	3,5134	3,6830
P_{ult} (N)	4456	4248	6064	6784
DR_{ult} (%)	3,5043	1,8145	3,6562	3,8005
E_D (N)	158,5665	62,3581	177,5282	203,5229
k_e (N)	1170168,067	1278747,742	360566,0602	449927,046
μ	8,531	4,898	2,054	2,384

III. METODE

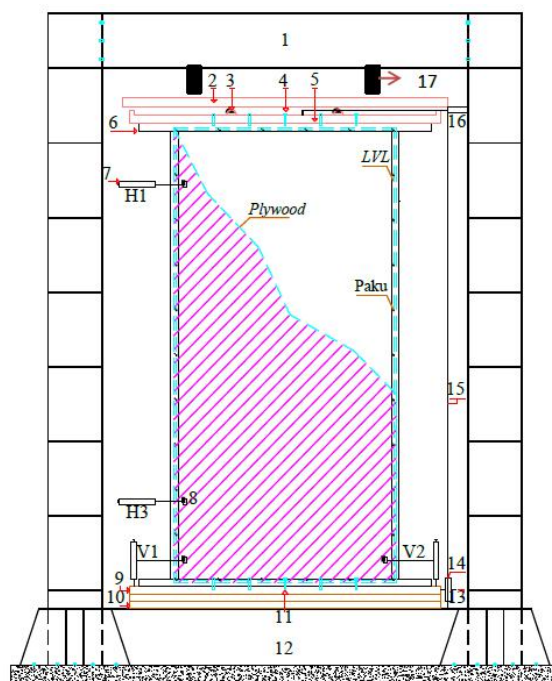
Dalam penelitian ini bahan penutup panel terbuat dari bahan *Plywood* dan bahan rangka kayu terbuat dari bahan *Laminated Veneer Lumber* (LVL). Benda uji panel kayu dalam penelitian ini ada 3 jenis yaitu panel tipe I dan II seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Setiap tipe panel kayu jelas memiliki variasi perkuatan LVL yang berbeda-beda sehingga dapat mengetahui perbedaan perilaku keruntuhan pada masing-masing panel kayu. Panel kayu tipe I terdiri dari *Plywood* berukuran 1220 x 2440 x 8 mm yang dihubungkan ke rangka kayu LVL berukuran 40 x 80 mm dengan alat sambung paku CN50 dan jarak antar paku 240 mm, panel kayu tipe II memiliki 1 perkuatan tulangan baja diagonal dengan posisi searah pembebanan tarik dengan menggunakan *corner plate* sebagai *connector* antara *bracing* dan rangka kayu LVL.



Gambar 2. Model benda uji; a. benda uji tipe I; b. benda uji tipe II

Pengujian pada panel kayu dilakukan dengan cara memberikan pembebanan statik sistem satu arah pada panel kayu berupa gaya tarik dari tractang modifikasi pada arah tarik tulangan baja sampai panel kayu mengalami kegagalan. Benda uji panel kayu pada bagian atas dipasang baja kanal C berukuran 100 x 50 x 20 x 3,2 mm dan kemudian diletakkan ditengah-tengah antar dua *Loading frame*. Baja kanal C digunakan untuk menyalurkan gaya tarik dari tractang modifikasi melalui lag screw ke panel kayu. Pada bagian tengah baja kanal C diberikan las sudut sebagai tempat untuk mengikat kabel seling dari tractang modifikasi sehingga diharapkan distribusi gaya tarik dapat

menyebar ke seluruh bagian panel kayu dan tidak hanya terkonsentrasi di satu bagian titik sudut saja. Nilai beban/gaya lateral dan *displacement* dibaca melalui *data logger*, pembacaan data dilakukan setiap 1 detik. *Displacement* yang dibaca merupakan *displacement* arah vertikal dan horizontal yang diukur dengan LVDT dan beban diukur dengan menggunakan *load cell*. Adapun *setting* pengujian ditampilkan dalam Gambar 3. Prediksi kekuatan lateral pada panel kayu dengan alat sambung paku akan dihitung dengan menggunakan rumus teoritis yang pernah diusulkan oleh Tuomi dan Mc Cutcheon (1978).



Gambar 3. *Setting* pengujian

Keterangan:

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1. Top restraint | 7. LVDT (H1, H2, V1, V2) | 13. Tractang modifikasi |
| 2. Double baja kanal | 8. Kaca | 14. Load cell 5 ton |
| 3. Bola pejal | 9. Kayu Nangka | 15. Kabel seling diameter 8 mm |
| 4. Sekrup panjang 40 mm | 10. Balok Pendukung | 16. Laker diameter 50 mm |
| 5. Baja kanal | 11. Sekrup panjang 40 mm | 17. Profil baja |
| 6. LVL Sengon | 12. Bottom restraint | |

4. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Hasil Pengujian Benda Uji Tipe I

Gambar 3. menunjukkan model benda uji panel kayu tipe I. Panel kayu tipe I terdiri dari bahan *Plywood* Sengon berukuran 1220 x 2440 x 8 mm yang disambungkan ke rangka kayu LVL berukuran 40 x 80 mm dengan alat sambung paku CN50. Panel kayu

tipe I tidak mempunyai variasi perkuatan di rangka kayunya sehingga dapat dikatakan sebagai panel kayu pembanding (desain awal) dengan panel kayu yang lainnya, pada panel tipe I hanya dilakukan pengujian monotonik saja. Hasil pengujian monotonik pada panel kayu tipe I dapat dilihat pada Gambar 4.



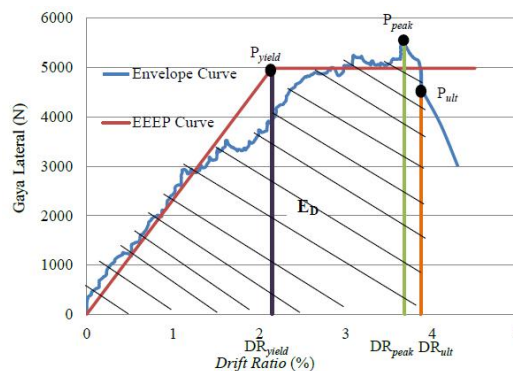
a. Tampak depan



b. Tampak belakang

Gambar 4. Model benda uji tipe I

Hasil pengujian ditampilkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengujian monotonik panel kayu tipe I

Tabel 2. menyajikan tentang besarnya nilai-nilai hasil perhitungan uji monotonik pada panel kayu tipe I yang dianalisis berdasarkan pada peraturan dan ketentuan dari ASTM E564 serta ASTM E2126.

Tabel 2. Hasil perhitungan uji monotonik pada panel kayu tipe I

P_{yield} (N)	DR_{yield} (%)	P_{peak} (N)	DR_{peak} (%)	P_{ult} (N)	DR_{ult} (%)	E_D (N)	K_e (N)	μ
4988,376	2,146	5625	3,6815	4500	3,871	139,572	232438	1,804

Keruntuhan atau kegagalan panel kayu tipe A akibat beban monotonik banyak terjadi pada bahan Plywood dan alat sambung paku, sedangkan rangka kayu LVL masih dalam kondisi baik. Mulanya alat sambung paku mengalami peristiwa kegagalan *nail pull-through of sheathing* (mulai tercabutnya paku) dibeban 4250 N dan selanjutnya bahan Plywood juga mulai mengalami kerusakan berupa kegagalan *pull-through sheathing* (lepasnya *plywood* dari rangka kayu LVL) pada beban 4750 N dan *mudsill failure* di sepanjang bagian bawah pada panel kayu. Pola kegagalan pada panel kayu tipe A dapat dilihat pada Gambar 6.



(a) *Nail Pull-Through of Sheathing*



(b) *Pull-Through Sheathing Failures*



(c) *Nail Pull-Through of Sheathing*



(d) *Mudsill Failure*

Gambar 6. Hasil pengujian monotonik panel kayu tipe I

4.2 Hasil Pengujian Benda Uji Tipe II

Gambar 7. menunjukkan model benda uji panel kayu tipe II. Panel kayu tipe II terdiri dari bahan *Plywood* Sengon berukuran 1220 x 2440 x 8 mm yang disambungkan ke rangka

kayu LVL berukuran 40 x 80 mm dengan alat sambung paku CN50. Panel kayu tipe B diperkuat dengan *single bracing* tulangan baja diameter 8 mm yang dihubungkan ke rangka kayu LVL dengan menggunakan *corner plate*. Pada panel tipe B dilakukan pengujian monotonik.



(a) *Tampak Depan*

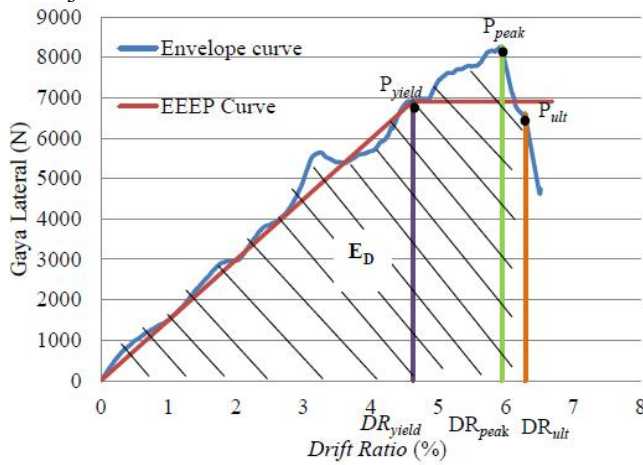


(b) *Tampak Belakang*

Gambar 7. Model benda uji panel kayu tipe II

4.3 Perhitungan P_{peak} , DR_{peak} , P_{ult} , DR_{ult} dan energi disipasi (E_D) panel tipe II

Hasil pengujian monotonik pada panel kayu tipe II ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Hasil pengujian monotonik panel kayu tipe II

Tabel 3. menyajikan tentang besarnya nilai-nilai hasil perhitungan uji monotonik pada panel kayu tipe I yang dianalisis berdasarkan pada peraturan dan ketentuan dari ASTM E564 serta ASTM E2126.

Tabel 3. Hasil perhitungan uji monotonik pada panel kayu tipe II

P_{yield} (N)	DR_{yield} (%)	P_{peak} (N)	DR_{peak} (%)	P_{ult} (N)	DR_{ult} (%)	E_D (N)	K_e (N)
6316,0147	4,231	8265	5,948	6612	0,0612	252,909	149261,817

Panel kayu tipe II banyak mengalami kegagalan pada bahan *plywood*, alat sambung paku, dan *corner plate*. *Corner plate* tertekuk, tulangan baja mengencang, dan rangka kayu LVL terangkat pada bagian bawahnya. Alat sambung paku mulai masuk pada beban 2650 N dan mengalami peristiwa kegagalan *nail pull-through of sheathing* dibeban 6000 N, *corner plate* atas dan bawah menekuk dibeban 6875 N dan selanjutnya bahan *plywood* juga mulai mengalami kegagalan *pull-through sheathing* pada beban 7750 N di sepanjang bagian bawah pada panel kayu. Pola kegagalan panel kayu tipe II dapat dilihat pada Gambar 9.



(a) Nail Pull-Through of Sheathing



(b) Pull-Through Sheathing Failures



(c) Nail Pull-Through of Sheathing



(d) *Buckling pada Corner Plate*
Gambar 9. Hasil pengujian monotonik panel kayu tipe II

V. KESIMPULAN

Di dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian skala penuh pada panel kayu dengan dua macam variasi yaitu panel tanpa *bracing* dan panel dengan *bracing* tulangan baja tunggal. Pembebanan monotonik dilakukan sampai penurunan 40% dari beban maksimum. Dari hasil pengujian didapatkan tahanan lateral panel yang menggunakan *bracing* dari tulangan polos lebih besar dibanding panel yang tidak menggunakan perkuatan. (Tahanan lateral tipe I sebesar 5625 N dan tipe II sebesar 8265 N).

REFERENSI

- Ambrose, J., and Vergun, D., 1995, *Simplified Building for Wind and Earthquake Forces* (Third Edition ed.). New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Awaludin, A., 2012, *Development of Structural Walls made from LVL Sengon (Paraserianthes falcataria) : Basic Mechanical Properties*. Internasional Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (SCESCM 2012) 11-13 September 2012. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.317>
- Budiana, G. P. dan Pranata, Y. A., 2013, *Pemodelan Metode Elemen Hingga Nonlinier Dinding Panel Gwang Laminasi 2D terhadap Beban Lateral*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7. Universitas Sebelas Maret. Surakarta, 2013.
- Dolan, D. dan Toothman, A., 2002, *Monotonic and Cyclic Tests of Shear Walls With Oriented Strand Board, Gypsum Wallboard, Fiberboard and Hardboard Sheathing*. Washington State University. Washington. USA.
- IRC Wall Bracing., 2007, *A Guide for Builders, Designers and Plant Reviewers*. International Residential Code.
- Minjuan, He.Zheng Li. 2012, *Evaluation of Lateral Performance of Timber-Steel Hybrid Lateral Resistant System Through Experimental Approach*. Journal of Timber Engineering. Auckland.
- Richard, N. dkk., 2002, *Timber Shear Walls with Large Openings: Experimental and Numerical Prediction of The Structural Behaviour*. NRC. Canada. <https://doi.org/10.1139/102-050>
- Satyarno, I., 2004, *Analisis Dinamik Struktur dan Teknik Gempa*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sherpa, D., 2010, *Affordable Solution for Earthquake Resistant Building Construction in Haiti*. Southern Alberta Institute of Technology-SAIT. Calgary, Alberta.
- Tuomi, R. L., McCutcheon, W. J., 1978, *Racking strength of light-frame walls*, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 104, No. ST7, July, 1978.
- Pribadi, A., 2012, *Tahanan Lateral Panel Kayu Sengon Dengan Alat Sambung Paku Akibat Beban Monotonik dan Siklik*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.