

Kapasitas Mekanik Panel Komposit Beton Ringan terhadap Beban Siklik

M.R. Fatriady^{a*}, R. Djamaluddin^b, M.W. Tjaronge^b dan A.A. Amiruddin^b

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia 90221

^bJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar, Indonesia 92119

*Corresponding author's e-mail: fatriadyadhv@gmail.com

Received: 10 January 2024; revised: 6 February 2024; accepted: 10 February 2024

Abstract: The position of our country is included in the area Ring of Fire, where 90% of earthquakes on earth will occur in this region. Earthquakes in West Sumatra (2009), Mentawai (2010), Lombok and Palu (2018) have claimed more than 10,339 lives and more than 100,000 heavy damage to buildings. Building walls are generally made of brick or adobe, but these two materials have several disadvantages including weight and brittle. As a result of its considerable weight, it will increase the dead load of the structure so that the earthquake load will also increase. Thus, lightweight and clay materials (ductile) will be better if used as earthquake-resistant building walls and the level of risk is lower. Prefabricated sandwich panels produced by PT. BUILDING TECHNOLOGIES INDONESIA within BUKAKA TEKNIK UTAMA Tbk Group. to be a series of cyclic load tested full scale wall constructions. The conventional panel circuit model obtained the behavior of each swaying wall segment as an independent individual panel. Cyclic test results up to drift 12 were obtained with a maximum load of 4.245 kN with a maximum displacement of 106.28 mm compressive direction and a maximum load of 1.425 kN with a maximum displacement of 75.68 mm pulling direction. Deviation behavior is obtained that continues to increase as horizontal loads increase, but not until structural damage occurs in the series of 3 sandwich walls. This condition is a positive thing in the development of buildings with light materials to reduce the magnitude of the earthquake force and minimize damage and casualties.

Keywords: *earthquake, sandwich, cycle load, displacement*

Abstrak: Posisi negara kita masuk dalam wilayah cicin Api dunia, dimana 90% gempa di bumi akan terjadi di wilayah ini. Terjadinya gempa di Sumatera Barat (2009), Mentawai (2010), Lombok dan Palu (2018) telah menewaskan lebih dari 10.339 jiwa dan lebih dari 100.000 kerusakan berat pada bangunan-bangunan. Dinding bangunan umumnya terbuat dari bata atau batako, namun kedua bahan ini mempunyai beberapa kelemahan diantaranya berat dan getas (*brittle*). Akibat beratnya yang cukup besar maka akan menaikkan beban mati struktur sehingga beban gempa juga akan meningkat. Dengan demikian, bahan yang ringan dan liat (*ductile*) akan lebih baik jika digunakan sebagai dinding bangunan tahan gempa dan tingkat risikonya pun lebih rendah. Panel *sandwich* prefabrikasi produksi PT. Building Technologies Indonesia dalam Group Bukaka Teknik Utama Tbk. menjadi rangkaian konstruksi dinding skala penuh yang telah diuji beban siklik. Model rangkaian panel konvensional diperoleh perilaku setiap segmen dinding bergoyang sebagai panel individual yang independent. Diperoleh hasil uji siklik hingga drift 12 dengan beban maksimal 4,245 kN dengan simpangan maksimal 106,28 mm arah tekan dan beban maksimal 1,425 kN dengan simpangan maksimal 75,68 mm arah tarik. Diperoleh perilaku simpangan yang terus meningkat seiring peningkatan beban horisontal namun tidak sampai terjadinya kerusakan struktural pada rangkaian 3 dinding sandwich. Kondisi ini menjadi hal positif dalam pengembangan bangunan dengan material ringan untuk mengurangi besar gaya gempa dan meminimalisir kerusakan dan korban jiwa.

Kata kunci: *gempa, sandwich, beban siklik, simpangan*

1. Pendahuluan

Terjadinya gempa di Sumatera Barat (2009), Mentawai (2010), Lombok dan Palu (2018) [1], [2], [3], [4] telah menewaskan lebih dari 10.339 jiwa dan lebih dari 100.000 kerusakan berat pada bangunan-bangunan seperti pada Gambar 1. Salah satu penyebab terjadinya kerusakan bangunan yang parah karena berat struktur bangunan konvensional yang besar.

Untuk merencanakan struktur gedung bertingkat yang aman terhadap bencana gempa setidaknya struktur harus memiliki kekuatan dan perilaku yang baik akibat beberapa tahapan pembebanan termasuk yang paling kritis yaitu beban gempa [5]. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, struktur diharapkan dapat beresponden baik terhadap beban gempa yang bekerja pada struktur tersebut sehinggalah dapat menjamin bangunan tersebut tidak rusak karena gempa-gempa kecil dangempa sedang, serta tidak runtuh akibat gempa yang besar [6].

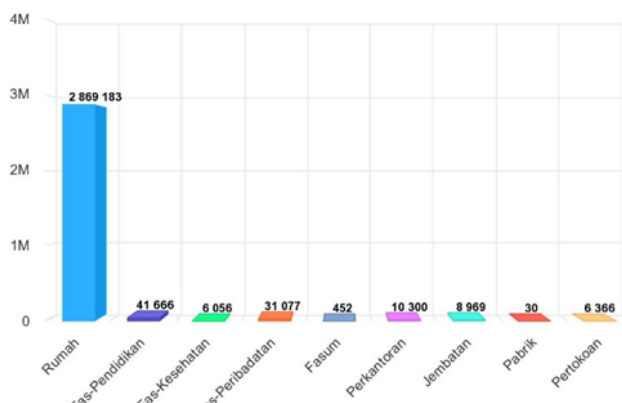
Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah timbulnya momen torsi pada elemen bangunan. Timbulnya momen torsi tersebut disebabkan adanya eksentrisitas antara pusat massa bangunan dengan pusat rotasi bangunan [7]. Beban struktur bangunan akibat Gempa dalam ilmu struktur disimulasikan menjadi gaya lateral (searah) dan gaya siklik (bolak-balik) sehingga mudah dalam permodelan dan penerapannya [8].

Rumah tinggal sederhana yang ada di Indonesia merupakan bangunan struktur yang dalam pembangunannya tidak melalui suatu proses perencanaan (*non-engineered structure*) [9]. Gambar 2 merupakan grafik data Badan Nasional Penanggulangan Bencana menunjukkan kerusakan infrastruktur terbesar akibat terjadinya bencana adalah rumah pada kelipatan jumlah ratusan kali lipat dibandingkan infrastruktur lain. Hal ini menunjukkan kebutuhan bahan infrastruktur rumah sangat

dibutuhkan pada proses relokasi dan rehabilitasi korban bencana



Gambar 1. Kerusakan pasangan bata bangunan gedung bertingkat [10].



Gambar 2. Grafik jumlah kerusakan infrastruktur akibat bencana di Indonesia [11].

Kondisi di atas dapat dicermati bahwa sangat diperlukan skema konstruksi bangunan dan rehabilitasi baru yang akan menyederhanakan proses konstruksi, mengurangi waktu, biaya, kelemahan bobot struktur dan mengurangi halangan terhadap penggunaan fungsional struktur baik selama dan setelah konstruksi. Ketersediaan dan pelayanan infrastruktur yang baik adalah dimana

tersedianya fasilitas yang bisa memenuhi kebutuhan publik dan memiliki sistem infrastruktur yang saling terkoneksi [12].

Penggunaan bahan *stryrofoam* pada kemasan makanan ternyata memberi ancaman pada kesehatan manusia akibat kandungan kimia yang dimiliki akan masuk ke dalam tubuh bersama makanan yang sudah tidak dapat dikeluarkan akibat tidak mampu larut bersama air menjadi urine atau pun kotoran (*Gambar 3*). *Stryrofoam* juga menimbulkan pencemaran karena limbah ini tidak pernah dikelola dengan baik dan ini menimbulkan pencemaran [13].

Penumpukan bahan kimia berbahaya di tubuh manusia akan memicu gangguan kesehatan. Bahan berwarna putih susu dan kaku dijadikan pengaman barang elektronik menghindari benturan ringan telah banyak dimanfaatkan sebagai pengemas makanan karena ketersediaannya banyak, murah, anti bocor, tahan panas dan terlihat rapi. Untuk pembuatan beton ringan salah satu bahan alternatif yang digunakan adalah *stryrofoam* sehingga disebut beton-*stryrofoam* [14].

Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk mengurangi dampak buruk yang akan ditimbulkan. Solusi yang ditawarkan salah satunya adalah dengan menerapkan konsep *green building*. Konsep *green building* sendiri adalah suatu konsep yang menekankan peningkatan efisiensi sumber daya alam baik penggunaan air dan energi. Selain itu, juga mengefisiensi penggunaan material bangunan guna mengurangi dampak pembangunan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia [15].



Gambar 3. Material *stryrofoam* [16].

1.1. Klasifikasi Perilaku Kinematik Panel Dinding di Bawah Beban Lateral

Perilaku kinematis sistem dinding di bawah beban lateral memiliki kekakuan dan daya dukung lateral bergantung pada (1) slip paku antara panel (2) distorsi geser pada panel (3) goyangan kaku panel akibat gaya

tekan dan peregangan penahan akibat gaya tarik (4) selip dinding terhadap pondasi di bawahnya karena fleksibilitas geser dan sambungan penahan dan sambungan dasar. Di sisi lain, panel dinding memiliki kekakuan dalam bidang karena sebagian besar deformasi akibat beban lateral terkonsentrasi pada sambungan penahan dan sekrup [16].

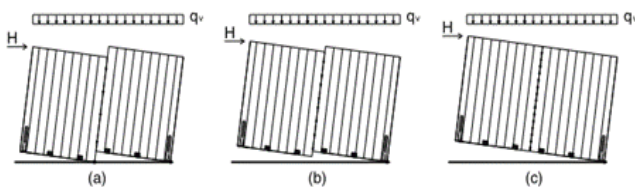
1.2. Klasifikasi Berdasarkan Jenis Deformasi

Komponen deformasi yang paling penting adalah goyang dan geser. Sehingga ada tiga kemungkinan perilaku deformasi dominan yang diusulkan : (1) perilaku goyang, (2) perilaku goyang - geser gabungan dan (3) perilaku geser ketika masing-masing komponen goyang dan komponen geser defleksi berlaku [17].

1.3. Klasifikasi Berdasarkan Interaksi Panel

Berdasarkan interaksi panel, pada pengujian dinding panel yang dihubungkan dengan sambungan sekrup vertikal diperoleh parameter yang sangat berpengaruh terhadap perilaku elemen dinding yakni jumlah sekrup dan jenis sambungan vertikal.

Ada tiga jenis perilaku kinematik yang dapat dikenali : (1) perilaku dinding berpasangan, ketika setiap segmen dinding bergoyang di sudut bawahnya sebagai panel individual yang *independent*; (2) perilaku dinding berpasangan tunggal, ketika panel dinding berperilaku sebagai panel tetap sebagian dengan sambungan sekrup setengah kaku; dan (3) perilaku dinding tunggal, ketika panel dinding berperilaku sebagai panel dinding tunggal dengan sambungan sekrup kaku.



Gambar 4. Jenis perilaku panel dinding yang berdekatan (a) perilaku dinding berpasangan; (b) Gabungan perilaku dinding berpasangan tunggal; (c) Perilaku dinding tunggal [17]

Sehingga, ketika sambungan vertikal antar panel dinding relatif lemah yang menyebabkan tingkat kekakuan yang rendah antara masing-masing panel dinding. Saat dibebani dengan gaya lateral, panel yang terhubung berperilaku sebagai panel individual, bergoyang di setiap sudut bawah masing-masing seperti pada Gambar 4a di atas. Karena sambungan vertikal antara panel dinding yang digabungkan bersifat semi-kaku. Pada situasi ini, sambungan vertikal terjadi sedikit deformasi (*slip*) seperti Gambar 4b. Sebaliknya, ketika sambungan vertikal antara panel dinding sangat kaku, perilaku dinding yang dikopel hampir sama dengan perilaku dinding monotonik tunggal, terlihat pada Gambar 4c. Pada situasi sambungan vertikal memiliki ketahanan yang lebih tinggi dari pada gaya geser antar panel dinding dan sangat kaku. Panel dinding dengan perilaku dinding tunggal memiliki kinerja lebih baik dari pada jenis dinding berpasangan yang berperilaku individual dalam hal kehilangan energi, pergeseran antar

lantai, kekuatan dan kekakuan dinding. Namun, perilaku dinding tunggal menunjukkan kekakuan elastis yang lebih rendah tetapi menunjukkan perpindahan ultimit yang lebih besar. Kondisi ini sangat penting dalam desain bangunan tahan gempa. Sehingga dalam desain dinding berpasangan sangat memerlukan perhatian khusus terhadap sambungan vertikal antara panel yang berdekatan.

2. Metode Penelitian

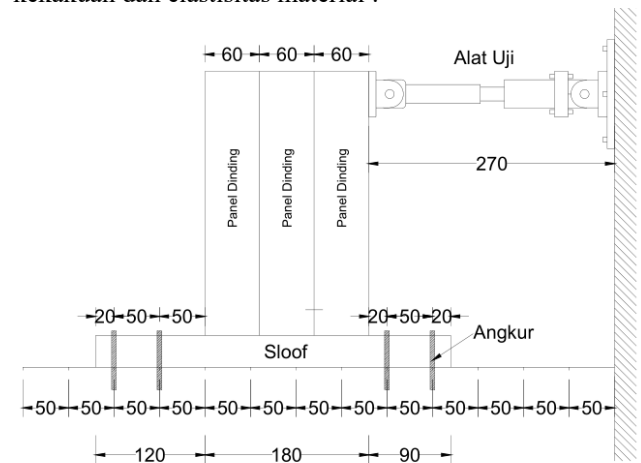
2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan. Alat uji yang digunakan adalah *Cycle actuator lateral load* yang digunakan saat pengujian pembebanan siklik lateral.

2.2. Quipanel Prefabrikasi

Material panel komposit quipanel memiliki berat jenis ±700 kg/m³, jauh lebih ringan dibandingkan konstruksi dengan material batu bata 1700 kg/m³, batako 2200 kg/m³ ataupun beton bertulang 2400 kg/m³. Kondisi tersebut memenuhi syarat dinding geser berat jenis paling sedikit 650 kg/m³ dan dinding setebal minimal 13 mm sesuai dengan Working Commission W18 - Timber Structures C ib - W18 [17].

Material ini terdiri atas bahan struktur dinding dan lantai dengan dimensi disediakan dengan tebal 35 mm, 50 mm, 75 mm, dan 100 mm untuk struktur dinding. Sementara untuk struktur lantai disediakan tebal 75 mm dan 100 mm masing-masing memiliki lebar 600 mm (Gambar 5). Hal yang membedakan adalah untuk material lantai diisi *wiremesh* diameter 6 mm untuk menambah kekakuan dan elastisitas material .



Gambar 5. Skema pengujian

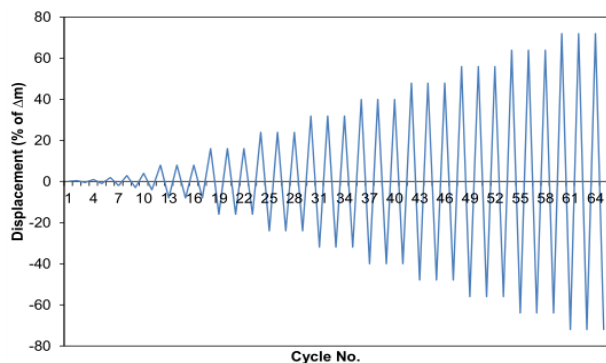
2.3. Data

Data uji pada penelitian ini adalah hasil pengujian specimen uji panel sandwich beton ringan komposit prefabrikasi skala penuh berdasarkan ASTM E2126-02a.

2.4. Metode dan Tahapan Penelitian

Langkah awal penelitian dilakukan pada uji fisik material dengan melakukan uji kuat tekan, uji kuat lentur. *Panel Light Weight (PLC)* prefabrikasi dengan dimensi

panjang 3000 mm, lebar 600 mm, dan tebal 75 mm memiliki isian *wiremesh* dirangkai menjadi struktur dinding yang berdiri di atas sloof pracetak berukuran 300 x 350 mm dengan kesiapan sistem koneksi pijakan sistem jepit.



Gambar 6. Siklus pembebanan menurut [18].

Besarnya deformasi yang diberikan serta jumlah siklus disesuaikan dengan pola pembebanan metode uji B dengan pola perpindahan pertama dengan lima siklus sepenuhnya terbaik tunggal pada perpindahan 1,25%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% dari perpindahan maksimum pada beban maksimum (Gambar 6 dan Tabel 1). Pola perpindahan kedua terdiri dari fase yang masing-masing berisi tiga siklus *amplitude* yang sama terbalik pada perpindahan sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, dan 120% dari perpindahan maksimum yang ditentukan 2% dari tinggi total bangunan berdasarkan pedoman Perencanaan Gempa SNI 1726-2019 untuk kategori gedung adalah periode ulang 2500 tahunan, atau gempa dengan kemungkinan terlampaui selama umur struktural bangunan 50 tahun. Fungsi bangunan secara struktural harus melalui pemeriksaan simpangan horisontal. Simpangan horisontal yang terjadi tidak boleh melebihi 0,02 tinggi total bangunan. Simpangan maks = 2% x h = 2% x 3000 mm = 60 mm

Tabel 1. Rasio simpangan

No.	Ratio Simpangan (Δ/h)	Simpangan monotonik Δm (mm)	Besar Simpangan Δ (mm)	Simpangan rata-rata Δ (mm)
1	1.25%	60	0.75	0.37
2	2.50%	60	1.49	0.75
3	5.00%	60	2.98	1.49
4	7.50%	60	4.47	2.24
5	10.00%	60	5.96	2.98
6.1	20.00%	60	11.92	5.96
6.2	20.00%	60	11.92	5.96
6.3	20.00%	60	11.92	5.96
7.1	40.00%	60	23.84	11.92
7.2	40.00%	60	23.84	11.92
7.3	40.00%	60	23.84	11.92
8.1	60.00%	60	35.76	17.88
8.2	60.00%	60	35.76	17.88
8.3	60.00%	60	35.76	17.88
9.1	80.00%	60	47.68	23.84
9.2	80.00%	60	47.68	23.84
9.3	80.00%	60	47.68	23.84
10.1	100.00%	60	59.60	29.80
10.2	100.00%	60	59.60	29.80
10.3	100.00%	60	59.60	29.80
11.1	120.00%	60	71.52	35.76
11.2	120.00%	60	71.52	35.76
11.3	120.00%	60	71.52	35.76
12.1	140.00%	60	83.44	41.72

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem beban horisontal pada sisi atas panel melalui aktuator hidrolis didistribusikan menyeluruh sepanjang benda uji dengan menggunakan balok jepit dari rangkaian profil baja yang diikat pada sisi aktuator, tidak membebani dan tidak berkontribusi terhadap kekuatan dan kekakuan benda uji arah beban.

Sistem *hold-downs* dibuat takikan pada sloof sedalam 100 mm dengan lebar yang dibutuhkan sesuai ketebalan panel dan diperkuat dengan adanya baut yang mengikat panel dan dua sisi dinding takikan, hal ini dilakukan untuk mencegah perpindahan dari bidang benda uji, tetapi perpindahan dalam bidang tidak boleh dibatasi.

Panel PLC dengan ketebalan 75 mm memiliki lapis *wiremesh* sebagai penguat pada panel *precast sandwich* beton ringan. Konstruksi dinding terdiri atas 3 panel yang

dirangkaikan secara konvensional sebagai konfigurasi uji kontrol. Hasil uji menunjukkan kekuatan rata-rata dan perilaku deformasi dari rangkaian panel-panel dalam bidang sebagai konstruksi dinding.

Perilaku panel dinding menerima beban horisontal dipantau hingga pencapaian siklus 12 yakni ratio simpangan 140%. Detail perilaku diamati di area dudukan kaki panel pada *sloof*, stabilitas rangkaian panel pada area pertemuan arah horisontal dan vertikal, dan kontrol rangkaian LVDT di sejumlah titik pembacaan deformasi.

Beban horisontal melalui aktuator diterapkan di ujung atas panel hingga mencapai deformasi maksimum 106,28 mm yang melebihi deformasi kontrol 2% dari total tinggi panel 3 m sebesar 60 mm dengan pencapaian beban maksimum 4,245 kN teramati terjadinya mekanisme goyang dan geser (Gambar 7).

Terjadi pengangkatan pada masing-masing panel yang dirangkai sebagai akibat goyangan panel di sudut bawah panel. Rasio tinggi – lebar dinding berupa dinding tinggi menyebabkan deformasi kompresi sudut bawah panel PLC maksimum 16 mm hingga akhir pengujian ini. Terjadi deformasi pada pertemuan antar panel mengikuti arah tekan dan tarik aktuator arah horisontal. Pada pengujian ini terjadi gaya angkat geser yang disebabkan oleh luhunya permukaan beton di area tegangan utama yang bersentuhan langsung dengan pengait berupa baut baja (Gambar 8). Kekuatan baja mengalahkan kekuatan beton ringan

sehingga lubang jepit semakin membesar menyebabkan momen guling.



Gambar 7. Proses uji siklik panel skala penuh

Tabel 2. Kondisi specimen uji

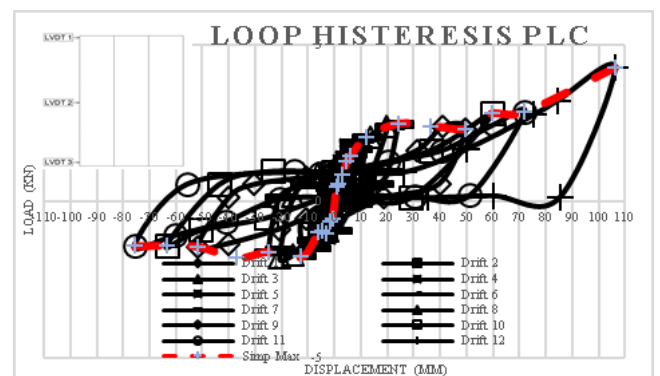
Kondisi Specimen Uji						
Kondisi	Siklus Positif			Siklus Negatif		
	Beban (kN)	Simp. (mm)	Drift Ratio (%)	Beban (kN)	Simp. (mm)	Drift Ratio (%)
PLC						
Jepit	1.02	3.02	1.25	1.02	3	5%
Semi Sendi	Pada simpangan maks aktuator, belum mencapai					



Gambar 8. Perilaku geser arah vertical panel uji

Namun, kondisi ini tidak diperoleh kerusakan secara struktural hingga beban maksimum yang disesuaikan dengan panjang jangkauan aktuator. Sehingga, tidak

diperoleh kondisi beban puncak dan beban ultimit secara detail. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya perilaku pada kaki panel dinding dari perletakan jepit menjadi perletakan semi sendi, sehingga diperoleh perilaku panel yang mampu berdeformasi maksimal dan kondisi stabilitasnya mengikuti arah gaya.



Gambar 9. Kurva Histeresis specimen uji

Gambar 9 menunjukkan kurva histeresis specimen uji yang menunjukkan hubungan antara besaran deformasi dengan besaran gaya horisontal yang diterima oleh panel. Diluar tinjauan simpangan maksimal bangunan, terlihat grafik kekuatan panel belum menunjukkan puncak kapasitas hingga pengujian berakhir. Kondisi ini maksimal dilakukan karena capaian simpangan pada alat aktuator telah mencapai simpangan puncak. Pada situasi tersebut, dinding masih mampu berdiri mengikuti arah gaya pada kondisi lubang takikan pada kaki panel berperilaku semi sendi.

Pada pengamatan di atas dapat diterjemahkan bahwa setelah terjadi peristiwa seismik, sistem dinding jenis ini dapat dikembalikan pada posisi vertikal awal tanpa perpindahan sisa yang signifikan. Perilaku seperti ini diinginkan dalam kaitannya dengan kinerja *seismic sistem* penahanan beban lateral. Satu-satunya kerusakan sisa yang akan terjadi pada sambungan antara panel dinding dengan sloof pracetak. Komponen yang rusak dapat dengan mudah diganti pada akhir gempa bumi, sehingga meminimalkan gangguan akibat peristiwa seismik.

4. Kesimpulan

- 1) Kondisi panel uji hingga ratio simpangan 140% telah melebihi simpangan maksimal, namun tetap berdiri tanpa kerusakan pada permukaan panel.
- 2) Diperoleh perilaku panel yang terhubung berperilaku sebagai panel individual, bergoyang di setiap sudut bawah masing-masing dengan data simpangan akhir pengujian mencapai 177% sebesar 106,28 mm.
- 3) Secara khusus diperoleh kondisi sistem jepit pada pijakan panel berubah menjadi sistem semi sendi setelah melalui kondisi elastis.

Daftar Pustaka

- [1] I. Madrinovella, S. Widiyantoro, and I. Meilano, "Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 menggunakan Metode Double Difference", *JTM*, vol.18, no. 1, p.1. 2011.
- [2] H. Mutmainah, D.W. Christiana, and G. Kusumah, "Tsunami Mentawai 25 Oktober 2010 (Simulasi Comcot 1.7) dan Dampaknya Kini terhadap Pantai Barat Mentawai", *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, vol. 9, no. 2, p. 175, 2016.
- [3] H.K. Bakti and A. Nurmandi, "Pemulihan Pasca Bencana Gempa Bumi di Lombok Utara Pada Tahun 2018", *Jurnal Geografi*, vol. 12, no. 2, p. 137, 2020.
- [4] Nurdin, D. Pujiastuti, and Marzuki, "Analisis Kecepatan Pergeseran Seismik Sesar Palu Koro Akibat Gempa Palu 2018 Menggunakan Data Global Navigation Satellite System", *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 4, p. 428, 2022.
- [5] P.H. Karisoh, S.O. Dapas, and R.E. Pandaleke, "Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus", *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 6, p. 1, 2018.
- [6] W. Amrullah, T.H. Bagio, and J. Tistogondo, "Desain Perencanaan Struktur Gedung 38 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)", *Jurnal Ilmiah Mitsu (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, vol. 7, no. 1, p. 18, 2019.
- [7] A. Faisal, "Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T dan U Akibat Gempa", *Progress in Civil Engineering Journal*, vol. 1, no. 1, p. 63, 2019.
- [8] A. Zarkasi, Hariyadi, and A. Fitrayudha, "Studi Perbandingan Kapasitas Portal Beton Dinding Pengisi Bata Ringan Pengujian Laboratorium Dan Sap 2000 Terhadap Gaya Lateral", *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 14, no. 1, p. 31, 2022.
- [9] N.P. Awaliah, *Kekakuan Dinding Pengisi Beton Busa Akibat Beban Siklik*, Makassar: Universitas Hasanuddin, 2021.
- [10] A. Mannella, M.D. Ludovico, A. Sabino, A. Prota, M. Dolce, and G. Manfredi, "Analysis of the Population Assistance and Returning Home in the Reconstruction Process of the 2009 L'aquila Earthquake", *Sustainability*, vol. 9, no. 8, p. 1, 2017.
- [11] BNPB, *Geoportals Data Bencana Indonesia*, Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021.
- [12] I.S.W. Putra, F. Hermawan, and J.U.D. Hatmoko. "Penilaian Kerusakan Dan Kerugian Infrastruktur Publik Akibat Dampak Bencana Banjir Di Kota Semarang", *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, vol. 25, no. 2, p. 86, 2020.
- [13] K. Lubis and E. Hermanto, "Pembuatan Genteng Beton Serat Dengan Bahan Tambah Serat Serabut Kelapa Dan Styrofoam", *Buletin Utama Teknik*, vol. 15, no. 2, p. 174, 2020.
- [14] K. Miswar, "Beton Ringan dengan Menggunakan Limbah Styrofoam", *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2018.
- [15] D. Roshaunda, L. Diana, L.P. Caroline, S. Khalisha, and R.S. Nugraha, "Penilaian Kriteria Green Building pada Bangunan Gedung Universitas Pembangunan Jaya Berdasarkan Indikasi Green Building Council Indonesia", *Widyakala Journal: Journal of Pembangunan Jaya University*, vol. 6, p. 29, 2019.
- [16] H. Parung, M.W. Tjaronge, and R. Djamaluddin, "The Effect of Use Styrofoam for Flexural Characteristics of Reinforced Concrete Beams", *ICETD*, p. 261, 2013.
- [17] I. Gavric, M. Fragiacomio, and A. Ceccotti, "Cyclic Behavior of CLT Wall Systems: Experimental Tests And Analytical Prediction Models", *Journal of Structural Engineering*, vol. 141, no. 11, p. 1, 2015.