



Analisis Performa Ketahanan Gempa Melalui Uji Siklik Lateral Terhadap Benda Uji 2D Struktur Dinding Bata *Interlock* PT Semen Indonesia (Persero) Tbk

Muhammad Fadhil Imansyah^{1*}, Mochamad Arief Budihardjo^{1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*)Corresponding author: mf.imansyah@gmail.com

(Received: May 10, 2026; Accepted: June 8, 2026)

Abstract

Earthquake Resistance Performance Analysis Through Lateral Cyclic Tests on 2D Interlocking Brick Wall Structure Test Specimens of PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Indonesia is located at the confluence of three tectonic plates and this geological condition makes Indonesia one of the most earthquake-prone regions in the world. One of the long-term mitigation measures is to build houses that follow earthquake-resistant principles, and one of the solutions offered by PT Semen Indonesia (Persero) Tbk is an interlocking brick wall structure. The purpose of this study is to analyze the earthquake resistance performance of interlocking brick structures through parameters obtained from lateral cyclic testing. The test was conducted following the loading standards of FEMA P-750 on 2D test specimens of interlocking brick wall structures. The crack pattern that occurred was identified as diagonal cracks in the wall and formed a 45-degree angle, with the determining load for calculating the wall structure capacity being a 0.5% drift load of 62.2 kN and a maximum load of 89.14 kN. Through the calculation of the seismic base force and comparison with the capacity, the interlocking brick wall structure is able to withstand earthquake forces and is adequate for several earthquake forces in provincial capitals in Indonesia, especially for cities with low and medium seismicity categories.

Keywords: *interlocking brick, cyclic test, FEMA P-750, earthquake resistant houses, seismic base forces*

Abstrak

Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik dan kondisi geologis tersebut membuat Indonesia menjadi salah satu wilayah paling rawan gempa di dunia. Salah satu mitigasi jangka panjang adalah dengan membangun rumah yang mengikuti kaidah-kaidah tahan gempa, dan salah satu solusi yang ditawarkan oleh PT Semen Indonesia (Persero) Tbk adalah struktur dinding bata *interlock*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis performa ketahanan gempa dari struktur bata *interlock* melalui parameter yang didapat dari pengujian siklik arah lateral. Pengujian dilakukan mengikuti standar pembebanan dari FEMA P-750 terhadap benda uji 2D dari struktur dinding bata *interlock*. Pola keretakan yang terjadi diidentifikasi sebagai keretakan diagonal pada dinding dan membentuk sudut 45 derajat, dengan beban yang menentukan untuk menghitung kapasitas struktur dinding yaitu beban *drift* 0,5% sebesar 62,2 kN dan beban maksimal sebesar 89,14 kN. Melalui perhitungan gaya dasar seismik dan perbandingan dengan kapasitas, struktur dinding bata *interlock* mampu menahan gaya gempa dan memadai untuk beberapa gaya gempa di ibukota provinsi di Indonesia, terutama untuk kota-kota dengan tingkat seismisitas kategori rendah dan kategori menengah.

Kata kunci: bata interlock, uji siklik, FEMA P-750, rumah tahan gempa, gaya dasar seismik

How to Cite This Article: Imansyah, M. F., & Budihardjo, M. A. (2026). Analisis Performa Ketahanan Gempa Melalui Uji Siklik Lateral Terhadap Benda Uji 2D Struktur Dinding Bata Interlock PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. *JPII*, 4(3), 247–256. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2026.33736>

PENDAHULUAN

Negara Republik Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik besar (lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik). Kondisi geologis tersebut membuat Indonesia menjadi salah satu wilayah paling rawan gempa di dunia, termasuk gempa *megathrust* (Ragilaji-BNPB, 2024). Beberapa gempa besar yang pernah terjadi dalam beberapa tahun terakhir di Indonesia yaitu gempa bumi Bengkulu pada tahun 2000, gempa bumi Aceh-Andaman dan tsunami pada tahun 2004, gempa bumi Nias-Simeulue pada tahun 2005, gempa bumi Yogyakarta dan gempa bumi Jawa Selatan yang diikuti tsunami pada tahun 2006, gempa bumi Padang pada tahun 2009, gempa bumi di Pulau Lombok dan gempa bumi di Sulawesi Tengah pada tahun 2018 (Hamzah et al., 2020). Salah satu mitigasi jangka panjang dengan adanya kerawanan/risiko tersebut adalah membangun rumah/tempat tinggal/bangunan, yang mengikuti kaidah-kaidah tahan gempa, untuk mengurangi dampak negatif akibat gempa bumi. Untuk gempa yang kecil dan sedang, rumah tahan gempa masih memberikan keamanan, sedangkan untuk gempa besar, masih memberikan kesempatan bagi penghuni untuk melakukan penyelamatan diri dengan keluar dari rumah/tempat tinggal/bangunan tersebut dan rumah masih bisa bertahan dengan kerusakan yang tidak parah (Supriani, 2009).

Beberapa prinsip utama agar suatu rumah/tempat tinggal/bangunan/konstruksi memiliki ketahanan terhadap gempa, diatur oleh beberapa peraturan/standar/*codes*/pedoman yang berlaku di Indonesia, salah satunya adalah SNI (Standar Nasional Indonesia) No 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, yang mempersyaratkan agar suatu bangunan dapat menahan gempa, gaya yang dialami oleh bangunan akibat gempa tersebut harus dapat disalurkan dari tiap-tiap elemen struktur bangunan kepada struktur utama, yang kemudian memindahkan gaya-gaya tersebut ke fondasi bangunan dan ke tanah (Prasetyawan & Makrifa, 2023).

Secara umum dan untuk konteks infrastruktur berbasis masyarakat, struktur utama bangunan rumah tinggal tunggal terdiri dari: fondasi; balok pengikat/*sloof*; kolom; balok keliling/*ring*; dan struktur atap; dalam hal ini, dinding (yang terbuat dari pasangan batu bata yang direkatkan oleh spesi/siar) berfungsi sebagai pembatas dan tidak menopang beban (Dir PKP KemenPU, 2022). Wijaya (2017) dalam tesisnya menjelaskan bahwa dinding memiliki kontribusi dalam menopang/menahan beban. Pada struktur bangunan rumah sederhana, dapat

dijumpai kasus sumbangan kekuatan dan kekakuan yang signifikan dari dinding bata. Banyak peneliti meyakini gaya lateral seperti gempa ditahan secara bersama-sama oleh portal (*frame*/balok dan kolom) dan dinding pasangan.

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan pengujian terhadap struktur dinding melalui uji siklik arah lateral (arah sumbu kuat atau arah sejajar dinding/*in-plane*), dengan memberikan beban dorong dan beban tarik pada suatu siklus tertentu, secara bolak-balik dan mengamati peningkatan secara gradual, pada benda uji dinding 2 (dua) dimensi (2D) dengan dimensi dinding sebesar 3 meter × 3 meter. Hariono et al. (2016) menguji 3 (tiga) benda uji dinding bata dengan perbedaan perlakuan perkuatan, yaitu model dinding bata konvensional (tanpa perkuatan), model dinding bata dengan perkuatan *sling* tipe H (model H) dan model dinding bata dengan perkuatan *sling* tipe diagonal. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa berdasarkan kinerja aspek kekuatan, kekakuan dan daktilitas, model H lebih superior daripada model lainnya.

Peneliti yang lain, Wijaya (2017), menguji 10 (sepuluh) benda uji dinding bata (model A hingga model J) dengan perbedaan perlakuan pada pengekanan dinding bata tersebut dan menghasilkan kesimpulan bahwa struktur dinding pasangan bata terkekang dengan angka menerus dinilai sebagai struktur terbaik dari 10 model yang diuji, yang didasarkan pada kinerja struktur yang baik pada pembebanan gempa. Hasil pengujian menunjukkan keruntuhan bagian-bagian dinding bata baru mulai terjadi di atas level *drift* 3,5%. Struktur tersebut hanya memerlukan penambahan *detailing* yang tidak terlalu rumit dan tambahan *effort* yang cukup kecil dibandingkan dengan model lain dalam pembangunan struktur pada rumah sederhana yang biasa dilakukan di masyarakat. Peneliti bernama Luas (2017) juga melakukan analisis terhadap benda uji dinding 2D, namun dengan analisis numerik dan menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan elemen pengekan berupa portal beton bertulang pada dinding pasangan bata memberikan perilaku dan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan dinding pasangan bata tanpa pengekan.

Sejalan dengan rangkaian penjelasan di atas, PT Semen Indonesia (Persero) Tbk (SIG) sebagai perusahaan yang memiliki visi untuk menjadi penyedia solusi bahan bangunan terbesar di regional, berkomitmen untuk memberikan pelayanan terbaik melalui sumber daya dan kapabilitas yang dimiliki. Salah satu produk/layanan yang

ditawarkan oleh SIG sebagai solusi bahan bangunan adalah bata *interlock*.



Gambar 1. Visualisasi bata *interlock* sebagai elemen

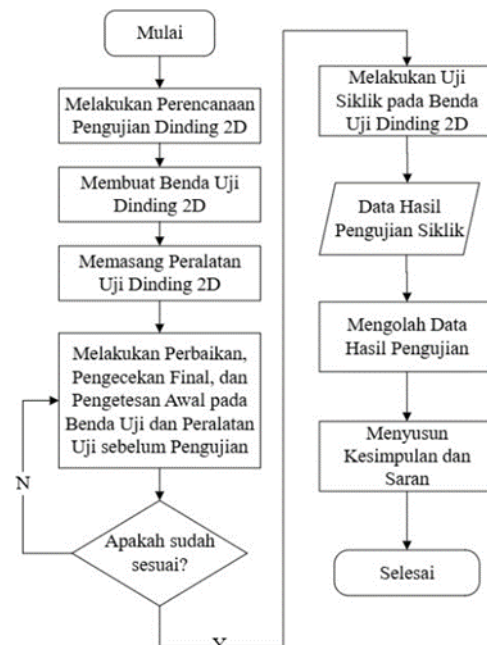
Bata *interlock* adalah bata yang terbuat dari semen, agregat halus (pasir) dan air. Bata ini didesain khusus agar bata bisa saling terkait antara satu bata dengan bata lainnya sehingga proses pembangunan bisa lebih cepat dan efisien. Dengan desain saling terkait antarbatanya (*interlock*), bata ini hanya membutuhkan tulangan dan mortar/spesi adukan sebagai sabuk pengikat horizontal yang dipasang setiap ketinggian 1 (satu) meter, dan tidak memerlukan mortar/spesi adukan setiap bata terpasang sebagaimana bata merah konvensional, bata ringan, ataupun bata lainnya. Kemudian, setiap lebar 3 (tiga) meter dan pada sudut-sudut rumah, struktur dinding bata *interlock* ini memerlukan sabuk vertikal yang juga berisi tulangan dan mortar/spesi adukan, serta tidak memerlukan kolom maupun balok seperti struktur portal/frame konvensional. Durasi pembangunan yang diperlukan untuk rumah yang dibangun dari bata *interlock* lebih cepat 1,5–2 kali dibandingkan dengan pembangunan rumah konvensional, sehingga dapat menghemat biaya/upah tukang dan pekerja dalam pembangunan rumah.

Rumah yang terbuat dari bata *interlock* didesain agar dinding bata *interlock* pada rumah tersebut berfungsi sebagai struktur yang turut memikul beban. Untuk menguji perilaku dan performa ketahanan gempa dari struktur dinding bata *interlock*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian siklik arah lateral (arah sumbu kuat atau arah sejajar dinding/*in-plane*) terhadap benda uji 2D dari struktur dinding bata *interlock*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis performa ketahanan gempa dari struktur bata *interlock* melalui parameter yang didapat dari pengujian siklik arah lateral, meliputi pola retak dan keruntuhan dari benda uji serta kurva histeretik beban lateral dengan deformasi lateral. Dari kurva tersebut, didapat nilai kapasitas kekuatan geser yang dimiliki oleh struktur dinding bata *interlock*, untuk kemudian dilakukan perbandingan dengan simulasi beban gempa yang terjadi di beberapa kota di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian dimulai dari perencanaan, pembuatan benda uji, pemasangan peralatan, pengujian siklik, pengolahan data, penyusunan kesimpulan dan saran, yang dijabarkan melalui diagram alir sesuai Gambar 2. Penelitian ini menggunakan bata *interlock*

yang secara individual berukuran panjang 25 cm × lebar 12,5 cm × tinggi 10 cm, dengan kuat tekan 6,4 Mpa, dan berat jenis 1728 kg/m³.



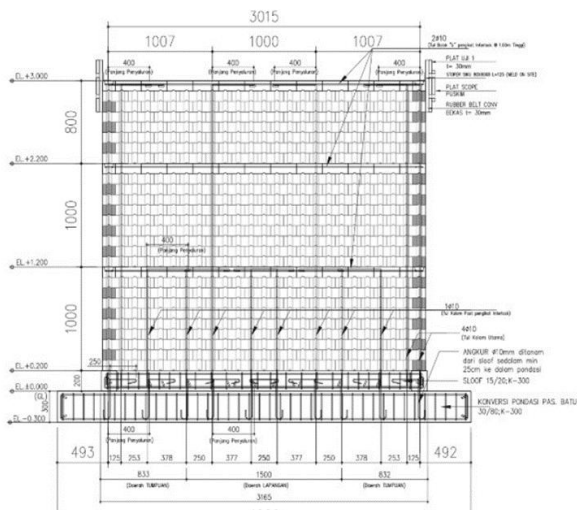
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Bata *interlock* terbuat dari semen, agregat halus (pasir) dan air. Semen yang digunakan adalah jenis semen portland komposit produksi dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yang memenuhi standar SNI 7064:2014. Agregat halus (pasir) yang digunakan yaitu pasir alami (*uncrushed*) yang telah diuji fisis berdasarkan ASTM C33-03 (*Standard Specification for Concrete Aggregates*), butirannya keras berukuran antara 0,075 sampai dengan 0,5 mm dan tidak mengandung zat-zat organik yang dapat mengurangi mutu beton (sesuai dengan SNI T-15-1991-03). Air yang digunakan adalah air bersih yang tidak berbau, berasa dan berwarna, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.

Bata *interlock* disusun menjadi struktur dinding bata *interlock* dua dimensi (2D) dengan dimensi dinding sebesar 3 m (panjang) × 3 m (ketinggian) sebagai bahan yang diuji (benda uji). Setiap ketinggian 1 (satu) m terdapat sabuk horizontal berupa 2 buah tulangan beton polos dengan diameter 10 mm yang dikaitkan kepada sabuk vertikal yang dipasang setiap lebar 3 m. Pada sabuk vertikal ditempatkan 4 buah tulangan beton polos dengan diameter 10 mm. Baik sabuk horizontal maupun sabuk vertikal dicor dengan mortar/spesi adukan dengan proporsi 1 semen : 3 pasir. Benda uji dibangun di atas suatu fondasi yang dimodelkan sebagai *sloof* beton K-300 dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm, sepanjang 3.165 mm dan *pilecap* beton K-300 dengan ukuran panjang 4 m × lebar 0,8 m × tinggi 0,3 m. Untuk

memastikan keterikatan antara dinding uji bata *interlock* dengan *sloof* dan fondasi, dipasang tulangan pengikat antara segmen dinding ketinggian 1 meter dengan *sloof* dan fondasi, berupa sabuk vertikal yang dipasang setiap lebar 40 cm.

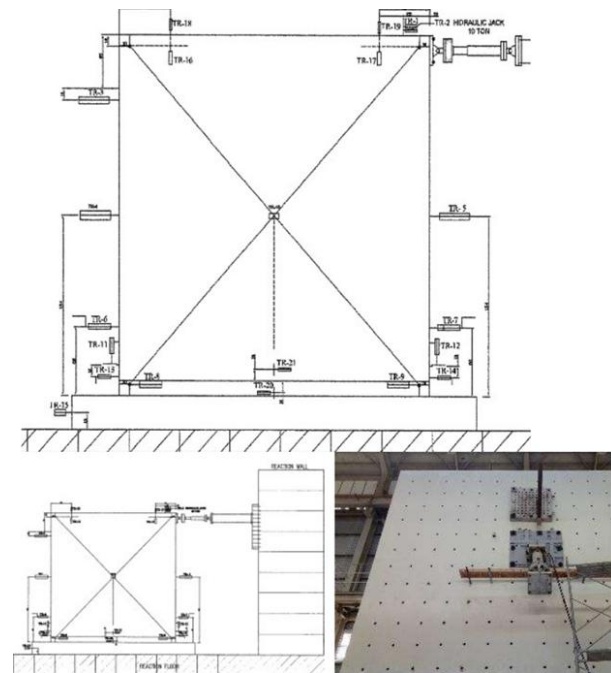
Setelah benda uji dibangun, benda uji ditempatkan di lokasi pengujian siklik dengan menempatkan benda uji pada *reaction floor* dan menempatkan *hydraulic jack* sebagai aktuator beban pada *reaction wall*. Benda uji dan fondasinya diposisikan terangkut/terikat secara optimal pada *reaction floor* sehingga tidak memungkinkan adanya pergerakan di antara fondasi dan *reaction wall*. Beban yang diberikan kepada benda uji diberikan secara siklik, yaitu beban dorong dan beban tarik pada suatu siklus tertentu, secara bolak-balik dan mengalami peningkatan secara gradual. Beban diberikan kepada benda uji dengan menggunakan sabuk di posisi atas benda uji sehingga pergerakan dan defleksi pada benda uji dapat diterima secara seragam. Tampak samping dari rencana benda uji adalah sebagaimana pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampak samping rencana benda uji 2D struktur dinding bata *interlock*

Pada benda uji dipasang beberapa sensor alat ukur sehingga perilaku benda uji ketika diberikan beban dapat diketahui. Untuk mengukur lendutan/defleksi, dipasang *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT) pada 28 titik pengamatan di benda uji, untuk mengukur beban yang diberikan kepada benda uji, dipasang alat ukur beban (*load cell*) dengan kapasitas 100 ton, serta untuk mengukur regangan pada tulangan, dipasang *strain gauge*. Sensor dan alat-alat ukur tersebut terhubung ke suatu sistem *switchbox*, *data logger* dan dioperasikan melalui komputer. Gambar tampak samping dari benda uji, *setting sensor*, *reaction floor* dan *wall*, dan dokumentasi *reaction wall* adalah sebagaimana pada Gambar 4. Adapun visualisasi proses perakitan benda uji

struktur dinding bata *interlock* adalah sebagaimana Gambar 5.



Gambar 4. (arah jarum jam) Pemasangan alat pada benda uji, *reaction wall* dan skematik *reaction wall*, benda uji dan *reaction floor*



Gambar 5. Visualisasi pembuatan dinding benda uji

Visualisasi penempatan benda uji struktur dinding bata *interlock* pada *reaction floor* dan *reaction wall*, beserta *setting* peralatan benda uji beserta sistemnya adalah sebagaimana Gambar 6.



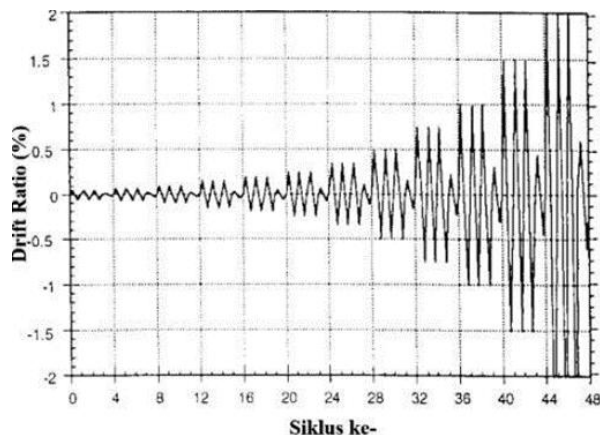
Gambar 6. Visualisasi *setting* peralatan benda uji

Pada sisi utara benda uji diberikan acian berwarna putih dan dibuat *grid* untuk memudahkan peninjauan pada benda uji. Visualisasi benda uji yang siap untuk diuji adalah sebagaimana pada Gambar 7.



Gambar 7. Visualisasi kesiapan benda uji

Beban siklik yang diberikan kepada benda uji dalam penelitian ini dilakukan mengikuti standar dari FEMA P-750 sesuai Gambar 8. Pembebanan dilakukan secara bertahap sesuai siklus sampai benda uji mengalami keruntuhan (*failure*). Pada setiap beban puncak dari siklus pembebanan, dilakukan pengamatan dan penggambaran pola retak yang terjadi pada benda uji. *Drift ratio* menggambarkan rasio/perbandingan besar simpangan dengan ketinggian (H), dengan H adalah tinggi dari benda uji yang diukur dari titik pembebanan benda uji hingga titik tumpuan fondasi benda uji, yaitu sebesar 3050 mm.



Gambar 8. Rencana siklus pembebanan

Dengan memberikan simpangan melalui pembebanan lateral pada benda uji dan melakukan pengukuran pada *load cell* serta simpangan, akan didapatkan kurva histeretik hubungan antara beban dan simpangan. Setelah mendapatkan kurva hasil pengujian beban lateral dan simpangan lateral dari benda uji, dievaluasi nilai beban maksimal yang dapat ditahan/diterima oleh sistem struktur dinding bata *interlock*, yaitu nilai beban puncak pada kurva hasil pengujian sebelum mengalami keruntuhan, baik dari

beban tarik, maupun dari beban dorong. Nilai beban puncak tersebut harus diperhitungkan untuk dibagi dengan faktor kuat sistem untuk dinding, yaitu sebesar 2,5 sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 12, sehingga nilai tersebut berfungsi sebagai kapasitas tahanan lateral dari struktur dinding bata *interlock*. Atas dasar pertimbangan konservatif dalam desain, apabila terjadi perbedaan nilai beban puncak antara beban dorong dan beban tarik, maka nilai yang lebih kecil akan menentukan kapasitas.

Selain nilai beban puncak pada kurva, nilai yang perlu dicek adalah nilai beban ketika *drift ratio* mencapai 0,5%. Hal ini didasarkan pada faktor keamanan seperti yang disyaratkan oleh ACI 374.2R-13. Target kinerja *Immediate Occupancy* (IO) pada suatu dinding struktural tercapai jika *drift ratio* akibat beban lateral tidak melebihi 0,50%. Apabila mengacu pada faktor ekonomi seperti yang disyaratkan oleh *Peruvian Masonry Design Code*, jika deformasi melebihi 0,5%, kerusakan pada dinding *masonry* (retak, pecah) akan menjadi terlalu parah dan biaya perbaikannya akan terlalu mahal atau bahkan tidak layak secara ekonomis. Oleh karena itu, selain terhadap nilai beban puncak, akan dilakukan pengecekan juga untuk nilai beban ketika *drift ratio* mencapai 0,5%.

Nilai kapasitas yang telah didapat dari kurva hasil pengujian, akan dibandingkan dengan nilai beban gempa yang terjadi. Apabila nilai kapasitas lebih besar atau sama dengan nilai beban, maka sistem struktur dapat dinyatakan memadai dalam memikul beban gempa. Untuk menghitung beban gempa yang terjadi pada struktur dinding, dihitung gaya geser dasar seismik (V) berdasarkan gempa rencana sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1. yaitu:

$$V = C_s \times W \quad (1)$$

dengan C_s adalah koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019 dan W adalah berat seismik efektif. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.7.2, perhitungan berat efektif seismik (W) struktur terdiri atas beban mati, yaitu berat sendiri komponen struktur dan *superimposed dead load* (SIDL) akibat komponen sekunder yang terpasang pada struktur.

Perhitungan berat seismik efektif didasarkan pada beban yang ditanggung oleh struktur dinding bata *interlock*, sesuai dengan batas luasan pengaruh (*tributary area*) yang dihitung sebesar setengah tinggi komponen. *Tributary area* yang berdampak pada struktur adalah seluas 3 m × 3 m (9 m²) dengan panjang total = 9 m, lebar 0,1 m dan tinggi komponen = 2,8 m. Dengan segmen dinding yang diperhitungkan menjadi beban struktur adalah setengah tinggi komponen dan berat jenis 1.728 kg/m³, maka berat sendiri dinding *interlock* adalah

$$\begin{aligned} \text{volume} \times \text{berat jenis} &= 0,5 \times 9 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \times \\ &2,8 \text{ m} \times 1.728 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 2.177,28 \text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk desain bata *interlock* menggunakan konsep dinding eksos sehingga tidak menggunakan plester/spesi

dan tidak menyumbangkan beban. Adapun beban plafon (11 kg/m^2), penutup rangka plafon (7 kg/m^2), serta penutup atap dan rangka atap (50 kg/m^2) untuk *tributary area* = 9 m^2 adalah sebagai berikut:

$$9 \text{ m}^2 [11 \text{ kg/m}^2 + 7 \text{ kg/m}^2 + 50 \text{ kg/m}^2] = 612 \text{ kg}$$

Sehingga total berat seismik adalah

$$2.177,28 \text{ kg} + 612 \text{ kg} = 2.789,28 \text{ kg} = 27,36 \text{ kN}$$

Nilai koefisien respons seismik dipengaruhi oleh parameter percepatan gempa desain (SDS dan SD1), faktor modifikasi respons (R), faktor keutamaan gempa (I_e) dan periode struktur. C_s berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1 dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_s = \max \left[(0,044 \times DS \times IE; 0,01) \leq C_s = \frac{SDS}{R/I_e} \leq C_s = \frac{SD1}{I_e} \right]$$

Nilai R diambil 1,0 untuk kondisi elastik (beban gempa rencana yang masuk ke struktur tidak direduksi) dan I_e untuk rumah hunian diambil 1,0 (kategori risiko II). SDS adalah parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek dan SD1 adalah parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengecekan terhadap implementasi struktur dinding bata *interlock* di masing-masing ibu kota provinsi di Indonesia. SDS dan SD1 untuk masing-masing kota diambil dari Desain Spektra Indonesia yang dirilis oleh Kementerian Pekerjaan Umum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

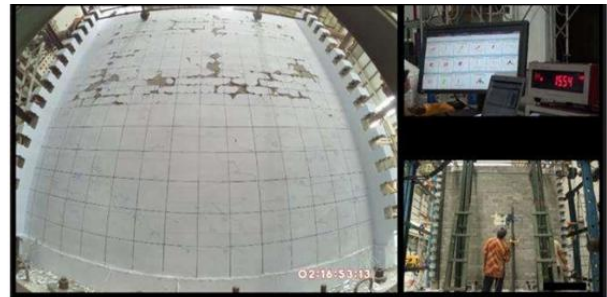
Visualisasi hasil dari uji siklik terhadap benda uji *interlock* dan nilai beban puncak dari setiap siklus pembebanan pengujian adalah sebagai berikut.



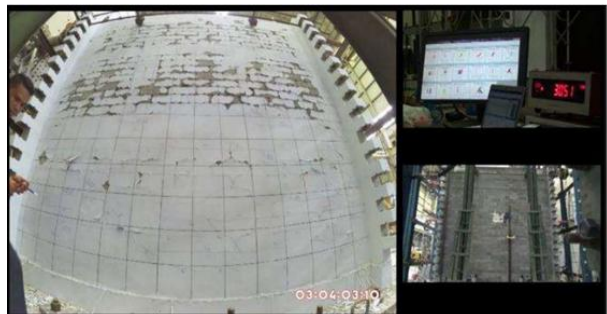
Gambar 9. Dokumentasi benda uji saat mengalami simpangan sebesar 3 mm (pembulatan)



Gambar 10. Dokumentasi benda uji saat mengalami simpangan sebesar 6 mm (pembulatan)



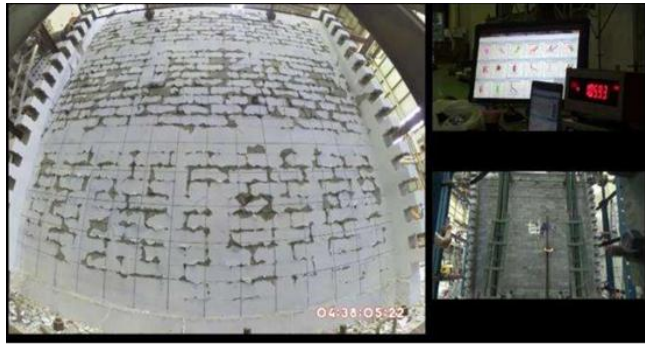
Gambar 11. Dokumentasi benda uji saat mengalami simpangan sebesar 15 mm (pembulatan)



Gambar 12. Dokumentasi benda uji saat mengalami simpangan sebesar 30 mm (pembulatan)



Gambar 13. Dokumentasi benda uji saat mengalami simpangan sebesar 60 mm (pembulatan)



Gambar 14. Dokumentasi benda uji saat mengalami simpangan sebesar 106 mm (pembulatan)



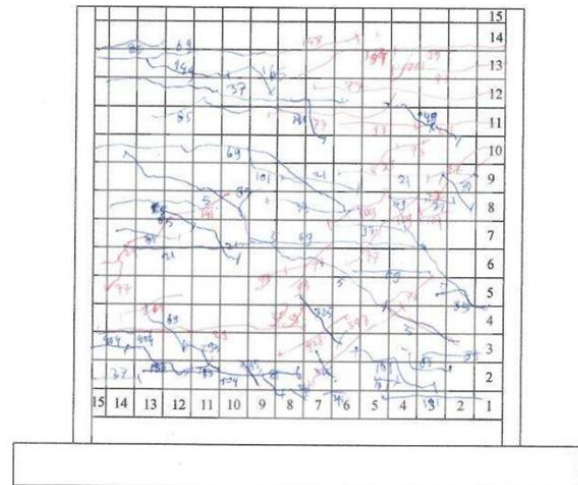
Gambar 15. Dokumentasi kondisi akhir benda uji setelah diberikan beban

Tabel 1. Nilai puncak untuk setiap siklus pembebanan

No	Drift Ratio (%)	Defleksi (mm)	Beban (tf)	Beban (kN)
1	3,53%	107,7	7,28	71,39
2	2,53%	77,2	7,33	71,88
3	2,27%	69,2	7,83	76,79
4	2,02%	61,6	9,69	95,03
5	1,52%	46,4	9,61	94,24
6	1,02%	31,1	7,78	76,30
7	0,76%	23,2	7,12	69,82
8	0,52%	15,9	6,6	64,72
9	0,30%	9,2	5,01	49,13
10	0,26%	7,9	5,22	51,19
11	0,21%	6,4	5,34	52,37
12	0,15%	4,6	4,64	45,50
13	0,13%	4,0	4,74	46,48
14	0,10%	3,1	5,26	51,58
15	0,05%	1,5	4,16	40,80
16	-0,05%	-1,5	-4,05	-39,72
17	-0,11%	-3,4	-5,42	-53,15
18	-0,13%	-4,0	-5,21	-51,09
19	-0,16%	-4,9	-5,29	-51,88
20	-0,20%	-6,1	-5,51	-54,03
21	-0,26%	-7,9	-5,46	-53,54
22	-0,31%	-9,5	-5,52	-54,13
23	-0,51%	-15,6	-6,34	-62,17
24	-0,74%	-22,6	-6,6	-64,72
25	-1,01%	-30,8	-7,27	-71,29
26	-1,53%	-46,7	-9,09	-89,14

27	-2,02%	-61,6	-9,06	-88,85
28	-2,28%	-69,5	-7,93	-77,77
29	-2,54%	-77,5	-7,68	-75,32
30	-3,55%	-108,3	-8,41	-82,47

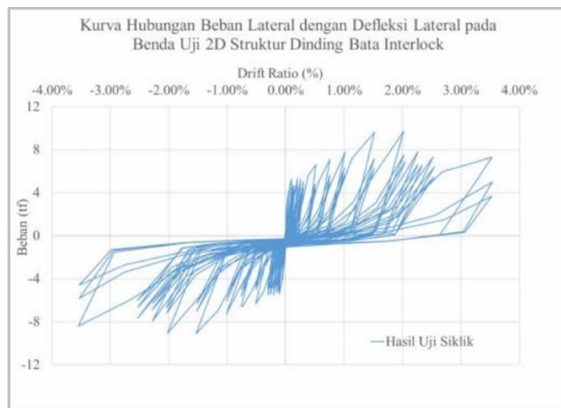
Pola kerusakan yang terjadi pada benda uji seperti terlihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 14. Dokumentasi kondisi akhir benda uji setelah diberikan beban sesuai Gambar 15 dan sketsa keretakan pada benda uji sesuai Gambar 16. Garis merah adalah keretakan yang terjadi saat diberikan beban tarik dan garis biru adalah keretakan yang terjadi saat diberikan beban tekan.



Gambar 16. Sketsa keretakan pada benda uji setelah diberikan beban

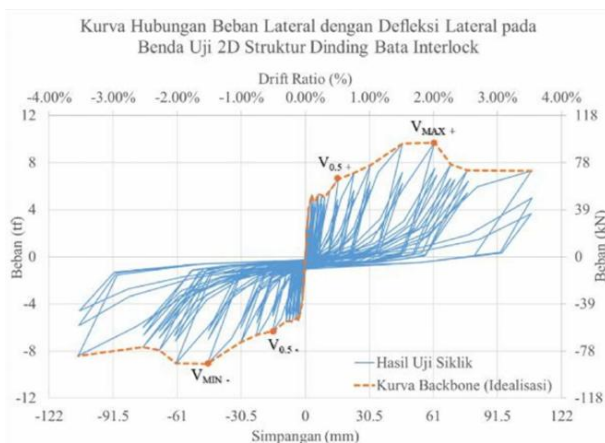
Secara visual, keretakan dimulai dari segmen 3, yaitu ketinggian 2–3 meter dan segmen 2, yaitu ketinggian 1–2 meter, di awal-awal *drift*/simpangan, yaitu >0% hingga 0,5% (0 mm–15 mm). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sabuk horizontal, membuat pembagian segmen dinding terkekang menjadi lebih kecil, yaitu setiap ketinggian 1 m. Kemudian, dari *drift* 0,5% hingga 2%, keretakan secara visual juga mulai terjadi pada segmen 1, yaitu ketinggian 0–1 meter benda uji, hingga pada akhirnya, sesuai dengan kurva histeretik, benda uji mengalami beban puncak pada *drift* sebesar 2%. Pada pengujian ini, didapatkan kesimpulan bahwa kerusakan/keretakan terjadi pada dinding bata *interlock* terlebih dahulu, sebelum pada akhirnya kerusakan terjadi pada keseluruhan benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa koneksi antara dinding dengan *sloof* dan fondasi memiliki lekatan yang baik. Pola keretakan yang terjadi diidentifikasi sebagai keretakan geser dengan kisaran sudut 45° terhadap beban/gaya lateral yang bekerja.

Hasil pembacaan *load cell* (beban yang diberikan dalam satuan ton force/tf) dan *transducer* (simpangan) yang dibagi dengan tinggi benda uji sehingga menghasilkan *drift ratio* (%) sesuai kurva berikut pada Gambar 17.



Gambar 17. Kurva histeretik benda uji

Secara keseluruhan, kurva yang terbentuk di sisi kanan (*drift* > 0; beban dorong) dengan yang di sisi kiri (*drift* < 0; beban tarik), memiliki bentuk yang cukup identik, namun tidak sama persis, dengan perbedaan nilai antara beban dorong dan beban tarik di bawah 10%, yaitu berada di kisaran 6%–7%. Hal ini dapat disebabkan oleh bata *interlock* diproduksi melalui bahan dan mesin yang dapat dikontrol kualitasnya, sehingga elemen bata *interlock* pengisi dari struktur dinding *interlock* dapat dikategorikan dengan kondisi isotropik, yaitu material yang memiliki *physical properties* yang relatif sama, sehingga berperilaku yang sama sebagai struktur dinding *interlock*. Dengan mengambil nilai-nilai puncak beban dari masing-masing siklus, didapat suatu kurva *backbone* (idealisasi). Nilai beban maksimal dari benda uji dan nilai beban ketika *drift ratio* = 0,5% adalah sebagai berikut.



Gambar 18. Kurva histeretik dan kurva *backbone*

Tabel 2. Nilai V_{max} dan $V_{drift\ 0,5\%}$

No	Deskripsi	Drift Ratio (%)	Defleksi (mm)	Beban (tf)	Beban (kN)
1	$V_{max} +$	2,02%	61,6	9,69	95,03
2	$V_{max} -$	(1,53%)	(46,7)	(9,09)	(89,14)
3	$V_{0,5\%} +$	0,5	15,5	6,60	64,75
4	$V_{0,5\%} -$	(0,5)	(15,4)	(6,34)	(62,20)

Dari Tabel 2 diketahui bahwa untuk V_{max} , beban tarik yang menentukan untuk menghitung kapasitas struktur dinding, yaitu 89,14 kN dan untuk $V_{0,5}$, juga beban tarik yang menentukan untuk menghitung kapasitas struktur dinding yaitu 62,20 kN. Nilai beban dibagi dengan faktor kuat sistem untuk dinding, yaitu sebesar 2,5 sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 12, sehingga didapat nilai kapasitas struktur dinding sesuai Tabel 3.

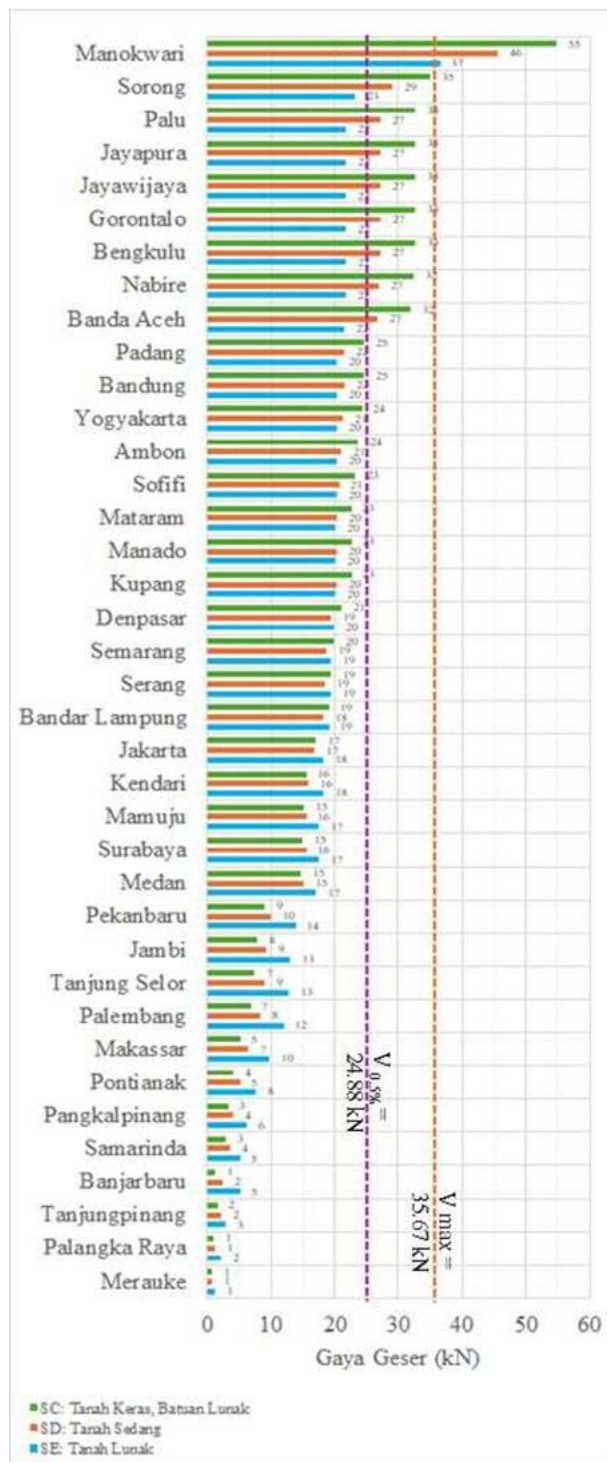
Tabel 3. Perhitungan kapasitas struktur dinding

No	Deskripsi	Beban (kN)	Faktor Kuat Sistem	Kapasitas (kN)
1	V_{max}	89,14	2,5	35,67
2	$V_{0,5}$	62,20	2,5	24,88

Nilai kapasitas tersebut akan dibandingkan dengan nilai-nilai gaya geser dasar seismik (V) di masing-masing ibu kota di Indonesia yang dihitung berdasarkan gempa rencana sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1. yaitu:

$$V = C_s \times W \quad (2)$$

dengan W adalah berat seismik dan C_s adalah koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019. Berat seismik sesuai pembahasan sebelumnya adalah 27,36 kN dan nilai koefisien respons seismik dihitung untuk masing-masing ibu kota provinsi di Indonesia, yang dipengaruhi oleh nilai SDS dan SD1 yang diambil dari Desain Spektra Indonesia yang dirilis oleh Kementerian Pekerjaan Umum. Setelah dilakukan perhitungan gaya geser dasar seismik untuk setiap ibu kota di Indonesia untuk tipe SE (Tanah Lunak), SD (Tanah Sedang) dan SC (Tanah Keras, Batuan Lunak), nilai gaya geser dasar seismik tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai kapasitas struktur dinding dan hasil perbandingan nilai tersebut ditampilkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik perbandingan gaya geser dengan kapasitas dinding

Pada gambar tersebut, terlihat bahwa apabila didasarkan pada nilai kapasitas V_{max} , maka struktur dinding bata *interlock* memadai untuk kota-kota dengan tingkat seismisitas kategori rendah 1–14 kN (Merauke–Pekanbaru), kategori menengah 15–25 kN (Medan–Padang) dan kategori tinggi >25 kN (Banda Aceh–

Sorong) kecuali kota Manokwari. Namun, perlu dipahami bahwa hal tersebut berlaku dengan catatan bahwa saat menerima beban gempa, struktur dinding mengalami *drift ratio* sebesar 1,5%, yang artinya telah terjadi simpangan/defleksi pada struktur dinding (contoh untuk dinding setinggi 3 m) sebesar 45 mm/4,5 cm.

Apabila nilai simpangan tersebut dikategorikan cukup besar dan dari faktor ekonomi maupun keamanan diinginkan batasan yang lebih konservatif, maka dapat digunakan batas V 0,5 sehingga Struktur Dinding Bata *Interlock* dinyatakan memadai untuk kota-kota dengan tingkat seismisitas kategori rendah 1–14 kN (Merauke–Pekanbaru), kategori menengah 15–25 kN (Medan–Padang) dan belum memadai untuk kategori tinggi >25 kN (Banda Aceh–Sorong) kecuali kota Banda Aceh dengan klasifikasi situs tanah SE (Tanah Lunak).

Dalam hal ini, perhitungan untuk ibu kota di masing-masing provinsi tidak serta-merta mewakili/merepresentasikan perhitungan di kota-kota lain dalam provinsi tersebut. Sehingga apabila akan diterapkan untuk suatu kota, maka harus dilakukan perhitungan dan analisis oleh perencana yang kompeten dan bersertifikat, karena dapat dihasilkan perilaku yang berbeda.

KESIMPULAN

Melalui pengujian siklik lateral yang dilakukan pada penelitian ini, didapat kesimpulan bahwa lekatan antara dinding dan fondasi dikategorikan sebagai lekatan yang baik dan optimal, karena dinding mengalami kerusakan terlebih dahulu dibandingkan dengan struktur pengikatnya. Melalui perhitungan gaya seismik dasar dan perbandingan dengan kapasitas, struktur dinding bata *interlock* PT Semen Indonesia (Persero) Tbk mampu menahan gaya gempa dan memadai untuk beberapa gaya gempa yang terjadi di ibu kota provinsi di Indonesia, terutama untuk kota-kota dengan tingkat seismisitas kategori rendah (Merauke s.d. Pekanbaru sesuai Gambar 19) dan kategori menengah (Medan s.d. Padang sesuai Gambar 19). Namun, untuk ibu kota provinsi dengan tingkat seismisitas kategori tinggi (Banda Aceh s.d. Sorong sesuai Gambar 19), perlu dilakukan justifikasi lebih lanjut mengenai keberterimaan atas kondisi kekuatan yang masih dapat ditoleransi. Apabila konservatif, maka struktur dinding bata *interlock* belum memadai untuk Banda Aceh s.d. Sorong sesuai Gambar 19, kecuali Kota Banda Aceh dengan klasifikasi situs tanah SE (Tanah Lunak) masih memadai. Apabila masih dapat ditoleransi *drift* sebesar 1,5%, maka struktur dinding bata *interlock* memadai untuk Banda Aceh s.d. Sorong sesuai Gambar 19, namun struktur dinding bata *interlock* ini tidak memadai untuk kota Manokwari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Direktorat Pengembangan Kawasan Permukiman. (2022). *Buku Saku Petunjuk Konstruksi Infrastruktur Bangunan Sederhana: Infrastruktur Berbasis Masyarakat (PISEW dan KOTAKU)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Hamzah, A., Amri, M. R., Rozita, E., & Yunus, R. (2020). Penilaian Bangunan Sederhana di Kawasan Rawan Gempabumi: Studi Kasus di Kota Bengkulu dan Kabupaten Bengkulu Tengah. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 11(1), 13-21.
- Hariono, A., Rusli, M., & Hernanti, H. Y. (2016). Perbandingan Model Perkuatan (Tipe H Dan D) terhadap Model Normal (Tipe K) dalam Menentukan Daktilitas Confined Masonry. *Jurnal Permukiman*, 11(2), 128-139.
- Indarto, H. (2005). Perhitungan Beban Gempa Pada Bangunan Gedung Berdasarkan Standar Gempa Indonesia Yang Baru. *Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Sipil*, 14(1).
- Luas, B. (2017). *Pengembangan Model Numerik Dinding Bata Terkekang Untuk Pembebanan Monotonik Struktur 3D dan Pembebanan Siklik Struktur 2D* [Skripsi Sarjana, Institut Teknologi Bandung].
- Prasetyawan, J., & Makrifa, A. I. (2023). Analisa Rumah Instan Konvensional Sebagai Alternatif Rumah Tahan Gempa Sesuai Sni 1726: 2019. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(6).
- Ragilaji, T. (2024). Mengungkap Ancaman Megathrust di Indonesia. *Portal Literasi Sejarah Bencana Badan Nasional Penanggulangan Bencana*.
- Supriani, F. (2009). Studi mitigasi gempa di Bengkulu dengan membangun rumah tahan gempa. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 8-15.
- Sutanto, M. K., & Christianto, D. (2022). Analisa nilai faktor daktilitas dengan metode pushover dengan perkuatan bresing diagonal tunggal. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 469-480.
- Wijaya, I. I. D. G. W. (2009). *Kajian Eksperimental Kinerja Dinding Bata Terkekang Portal Beton Bertulang* [Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung].