

TUGAS AKHIR

**STUDI DAKTILITAS DINDING PENGISI BETON BUSA
AKIBAT PEMBEBANAN SIKLIK**

***DUCTILITY STUDY OF FOAM CONCRETE INFILL WALL
UNDER CYCLIC LOADING***

**NURUL SHAFIRA S. HARUN
D011 17 1328**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**STUDI DAKTILITAS DINDING PENGISI BETON BUSA
AKIBAT PEMBEBAN SIKLIK**

Disusun dan diajukan oleh:

NURUL SHAFIRA S. HARUN

D011 17 1328

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 September 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M. Eng
NIP. 196207291987031001

Pembimbing Pendamping,

Dr. Eng. Arwin Amiruddin, ST. MT.
NIP. 197912262005011001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wilardi Tiaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Shafira S. Harun
NIM : D011 17 1328
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Daktilitas Dinding Pengisi Beton Busa Akibat Pembebanan Siklik

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 September 2021

Yang membuat pernyataan,



Nurul Shafira S. Harun
NIM : D011 17 1328

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir dengan judul "**Studi Daktilitas Dinding Pengisi Beton Busa Akibat Pembebanan Siklik**" diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada pembaca dan juga penulis.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan hasil dari bimbingan, petunjuk, dan perhatian yang telah dilimpahkan oleh dosen pembimbing. Sehubungan dengan itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muh. Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr.-Ing. Herman Parung, M.Eng., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan serta arahan dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen, Staf, dan Karyawan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
5. Kedua orang tua yang tidak pernah berhenti mendoakan dan memberikan *support* selama menjalani proses pendidikan.
6. Anggota tim dinding beton busa yang telah banyak berjuang bersama selama penelitian berlangsung, terutama Lulu yang selalu bersedia untuk membantu dan berdiskusi di mana pun dan kapan pun.
7. Masnia, Jijim, Irfan, Athar, Ryni, William, dan Rijal, sebagai teman sejawat di laboratorium riset rekayasa gempa yang selalu hadir dan membantu selama penelitian.
8. Anggota KKD Struktur 2017 yang telah banyak memberikan bantuan selama proses penelitian.

9. Naje, Dita, Ay, dan NS yang selalu menjadi *support system* selama proses perkuliahan sejak masa maba hingga saat ini.
10. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2017 yang telah membuat masa perkuliahan lebih berwarna.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Kritik dan saran mengenai penelitian Tugas Akhir ini sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, 21 September 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Dinding Pengisi	6
B. Beton Bertulang	7
C. Beton Busa.....	8
D. Daktilitas	9
E. Kegagalan Struktur Dinding Pengisi Akibat Beban Gempa	11
F. Kurva <i>Equivalent Energy Elastic-Plastic (EEEP Curve)</i>	16
G. Penelitian Terdahulu.....	18
BAB 3. METODE PENELITIAN	27
A. Diagram Alir Penelitian	27
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	28
C. Alat dan Bahan Penelitian	28
D. Benda Uji.....	30
E. Metode Penelitian	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43

A. Karakteristik Material	43
B. Hasil Pengujian	48
C. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan	52
D. Analisis Daktilitas	56
E. Pola Kegagalan Struktur Dinding.....	62
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	63
A. Kesimpulan.....	63
B. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perilaku Beban Gempa pada Dinding	12
Gambar 2. <i>Tension Failure Mode</i>	14
Gambar 3. <i>Stepped Cracks Shear Failure</i>	14
Gambar 4. <i>Horizontal Sliding Shear Failure</i>	15
Gambar 5. <i>Diagonal Tensile Cracking</i>	15
Gambar 6. <i>Crushing of the Loaded Corners</i>	15
Gambar 7. <i>Flexural or Shear Failure of the Columns</i>	16
Gambar 8. <i>Equivalent Energy Elastic Plastic Curve</i>	16
Gambar 9. Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 10. Peta Lokasi Penelitian	28
Gambar 11. Panel Pracetak Beton Busa	30
Gambar 12. Benda Uji W1	31
Gambar 13. Benda Uji W2	31
Gambar 14. Detail Penulangan Sloof	32
Gambar 15. Detail Penulangan Kolom	32
Gambar 16. Detail Penulangan Balok	32
Gambar 17. Sketsa <i>Setup</i> Pengujian	37
Gambar 18. Konfigurasi <i>Strain Gauge</i> Baja Sampel W1	38
Gambar 19. Konfigurasi <i>Strain Gauge</i> Baja Sampel W2	38
Gambar 20. Konfigurasi <i>Strain Gauge</i> Beton Sampel W1	39
Gambar 21. Konfigurasi <i>Strain Gauge</i> Beton Sampel W2.....	39
Gambar 22. <i>Cyclic Displacement Schedule (Test Method B)</i>	40
Gambar 23. Grafik Tegangan-Regangan Baja D13	47
Gambar 24. Uji Slump Sloof.....	48
Gambar 25. Uji Slump Kolom dan Balok.....	49
Gambar 26. Grafik Hubungan Beban Perpindahan Benda Uji W1	53
Gambar 27. Grafik Hubungan Beban Perpindahan Benda Uji W2.....	54
Gambar 28. Hubungan Beban Perpindahan Benda Uji W1 dan W2.....	55
Gambar 29. Perbandingan Gaya Lateral Benda Uji W1 dan W2	56

Gambar 30. Kurva EEEP Tekan Benda Uji W1	57
Gambar 31. Kurva EEEP Tarik Benda Uji W1	57
Gambar 32. Kurva EEEP Tekan Benda Uji W2	58
Gambar 33. Kurva EEEP Tarik Benda Uji W2	58
Gambar 34. Perbandingan Nilai Daktilitas Benda Uji W1 dan W2	60
Gambar 35. Pola Retak Benda Uji W2	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kode dan Variasi Benda Uji.....	30
Tabel 2. Detail Penulangan Benda Uji.....	32
Tabel 3. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus (Pasir)	33
Tabel 4. Pemeriksaan Karakteristik Beton Busa.....	34
Tabel 5. <i>Test Method B – Amplitudes of the Reversed Cycles</i>	41
Tabel 6. Karakteristik Fisik PCC (<i>Portland Composite Cement</i>).....	43
Tabel 7. Karakteristik Fisik Agregat Kasar dan Agregat Halus	44
Tabel 8. Karakteristik <i>Foam Agent Sika®</i> Poro G-210.....	45
Tabel 9. Komposisi campuran beton untuk sloof (1 m ³).....	46
Tabel 10. Komposisi campuran beton untuk kolom dan balok (1 m ³)	46
Tabel 11. Komposisi campuran beton untuk kolom dan balok (1 m ³)	47
Tabel 12. Berat Volume Beton Busa	49
Tabel 13. Kuat Tekan Beton Busa	50
Tabel 14. Kuat Tekan Beton Sloof	51
Tabel 15. Kuat Tekan Beton Kolom dan Balok	52
Tabel 16. Kekuatan Benda Uji W1 dan W2.....	56
Tabel 17. Nilai Beban P _P , P _Y , dan P _U Benda Uji W1 dan W2	59
Tabel 18. Nilai Perpindahan Δ_P , Δ_Y , dan Δ_U Benda Uji W1 dan W2.....	59
Tabel 19. Rekapitulasi Daktilitas Benda Uji W1 dan W2.....	60
Tabel 20. Klasifikasi Kebutuhan Daktilitas Komponen	61

ABSTRAK

Salah satu komponen bangunan yang rentan mengalami kerusakan yang besar yaitu dinding. Dinding pada konstruksi rumah tinggal di Indonesia pada umumnya memanfaatkan bata merah yang diasumsikan sebagai elemen non-struktural. Salah satu alternatif dalam sistem konstruksi dinding rumah tinggal yang tergolong ramah lingkungan dan terjangkau yaitu dengan penggunaan beton busa.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis hubungan beban terhadap perpindahan dan nilai daktilitas pada rangka dinding dengan bahan pengisi beton busa dan rangka beton bertulang tanpa bahan pengisi.

Benda uji penelitian terdiri atas 2 model rangka dinding, yaitu variasi W1, rangka beton bertulang tanpa bahan pengisi, dan variasi W2, rangka dinding dengan bahan pengisi panel pracetak beton busa. Pada pengujian dilakukan pembebanan siklik lateral pada benda uji dengan metode *displacement control*.

Berdasarkan hasil pengujian, benda uji W2, yaitu dinding dengan bahan pengisi panel pracetak beton busa, mengalami beban maksimum yang lebih tinggi pada arah pembebanan tekan dan tarik, dibandingkan dengan benda uji W1, yaitu rangka beton bertulang tanpa bahan pengisi. Nilai daktilitas yang diperoleh pada benda uji W1 lebih besar dibandingkan dengan benda uji W2. Penurunan daktilitas yang terjadi tidak signifikan sehingga nilai daktilitas untuk kedua benda uji hampir sama.

Kata kunci: dinding, beton busa, daktilitas

ABSTRACT

Wall is one of the building's components that are susceptible to major damage. For residential construction in Indonesia, the masonry system often use conventional clay bricks as the infill material and is considered as non-structural element. The use of foam concrete is one of the many alternatives used for residential wall construction and is considered to be eco-friendly and affordable.

The purpose of this study is to analyze the relationship between load and displacement, as well as to determine the value of ductility on reinforced concrete frame installed with foam concrete precast panel, and also reinforced concrete frame without infill material.

The research object consisted of 2 models of wall frames, namely specimen W1, that is the reinforced concrete frame without infill material, and specimen W2, the wall frame installed with foam concrete precast panel as the infill material. During the testing, lateral cyclic loading was carried out on the test object with the displacement control method.

According to the test results, specimen W2, which is the wall installed with foam concrete precast panel as the infill material, experienced a higher maximum load in the direction of compressive and tensile loading, compared to specimen W1, that is the reinforced concrete frame without infill material. The ductility value obtained on specimen W1 is greater than specimen W2. The decrease in ductility that occurs is not significant, meaning that the ductility values for both specimens are almost the same.

Keywords: *wall, foam concrete, ductility*

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia yang terletak pada titik pertemuan antara 3 lempeng tektonik utama di dunia, yaitu Pasifik, Eurasia, dan Indo-Australia, membuat beberapa wilayah di Indonesia rawan mengalami fenomena gempa. Fenomena gempa merupakan salah satu bencana alam yang sangat merugikan, karena bukan hanya dari sisi materil, fenomena ini dapat merenggut banyak korban jiwa apabila tidak ditangani dengan upaya mitigasi yang tepat.

Salah satu komponen bangunan yang rentan mengalami kerusakan yang besar yaitu dinding. Dinding pada konstruksi rumah tinggal di Indonesia pada umumnya memanfaatkan bata merah yang diasumsikan sebagai elemen non-struktural. Banyak kerusakan yang terjadi pada rumah tinggal akibat gempa di Indonesia dikarenakan perencanaan dan pembangunan rumah tinggal ini pada dasarnya dilaksanakan tanpa memerhatikan ketahanannya terhadap beban gempa. Boen, pada tahun 2001, menyatakan bahwa kerusakan dinding yang kerap terjadi pada konstruksi ini antara lain dinding yang hancur, dinding yang bergeser secara diagonal, dan dinding yang mengalami keruntuhan.

Salah satu alternatif dalam sistem konstruksi dinding rumah tinggal yang tergolong ramah lingkungan dan terjangkau yaitu dengan penggunaan beton busa. Penelitian oleh M. R. Jones dan A. McCarthy pada tahun 2005

telah mengkaji potensi beton busa sebagai material struktur, di mana material ini memiliki beberapa keunggulan, salah satunya yaitu berat material yang cenderung lebih ringan, sehingga dapat mengurangi beban akibat gaya gravitasi yang dapat diaplikasikan dalam desain seismik. Berat material yang ringan juga dapat mengurangi biaya transportasi material dalam konstruksi. Selain itu, material ini juga memiliki kestabilan suhu yang lebih baik dan lebih ramah lingkungan daripada bata konvensional, dan juga memiliki insulasi suhu yang baik dalam mengurangi resiko terjadinya kebakaran pada material.

Performa seismik dinding dengan bahan pengisi beton busa juga sebelumnya telah diteliti oleh Jinghai Yu dan Shouxiang Wu pada tahun 2011. Penelitian ini membahas mengenai daktilitas dan kapasitas disipasi 6 variasi dimensi dinding dengan bahan pengisi panel beton busa tipe AAC melalui pengujian *quasi-static*. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa dinding dengan bahan pengisi beton busa memiliki nilai daktilitas yang hampir 4 kali lebih besar dibandingkan dinding dengan bahan pengisi bata konvensional. Penelitian lainnya oleh Mingke Deng, et. Al (2020) dan T. P. A. Dunn (2011) juga menunjukkan performa seismik yang baik pada dinding dengan bahan pengisi beton busa dengan variasi jenis sambungan dan penambahan serat sebagai upaya retrofit.

Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa sistem dinding dengan bahan pengisi beton busa berpotensi dalam membentuk struktur bangunan rumah tinggal yang ramah lingkungan, *cost effective*, serta tahan gempa.

Dengan latar belakang tersebut, maka disusun tugas akhir dengan judul: **“Studi Daktilitas Dinding Pengisi Beton Busa Akibat Pembebanan Siklik”**.

B. Perumusan Masalah

Dengan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan masalah yang diangkat dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana hubungan beban terhadap perpindahan pada rangka dinding pengisi beton busa terhadap rangka beton bertulang.
2. Bagaimana daktilitas pada rangka dinding pengisi beton busa terhadap rangka beton bertulang.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis hubungan beban terhadap perpindahan pada rangka dinding pengisi beton busa terhadap rangka beton bertulang.
2. Menganalisis daktilitas pada rangka dinding pengisi beton busa terhadap rangka beton bertulang.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium.

2. Benda uji merupakan 2 variasi rangka dinding beton bertulang berdimensi 2 m x 3 m dengan bahan pengisi panel pracetak beton busa dan tanpa bahan pengisi. Dimensi kolom dan balok struktur yang digunakan yaitu 30 cm x 10 cm dan 10 cm x 15 cm, dengan tulangan D13, $\emptyset 10$, dan $\emptyset 8$.
3. Beton busa diproduksi dengan semen PCC (*Portland Composite Cement*) serta bahan campuran *foam agent* dan *admixture* tipe F.
4. Pembuatan benda uji dilakukan dengan metode cor di tempat untuk beberapa elemen struktur yaitu sloof, kolom, dan balok. Panel pracetak beton busa dengan dimensi 0.7 m x 0.4 m x 0.08 m ditempatkan sebagai bahan pengisi dinding dengan menggunakan mortar.
5. Pengujian sampel dilakukan dengan metode pembebanan siklik lateral.
6. Penelitian ini hanya membahas mengenai analisis nilai daktilitas yang diperoleh dari pengujian benda uji.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan wawasan mengenai perbandingan nilai daktilitas antara rangka dinding dengan bahan pengisi beton busa dan rangka beton bertulang.
2. Memberikan inovasi dengan teknologi yang ramah lingkungan dengan pemanfaatan beton busa sebagai material konstruksi.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini akan diuraikan dalam lima bab pokok bahasan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan teori-teori dasar yang terkait dengan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Membahas detail mengenai tahapan penelitian, persiapan bahan uji penelitian, lokasi dan waktu penelitian, pengujian yang dilakukan, serta pengumpulan data dan variabel yang dibutuhkan dalam penelitian.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil analisis data yang diperoleh dari pengujian serta pembahasan mengenai pengujian yang telah dilaksanakan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari hasil penelitian serta saran dan rekomendasi penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Dinding Pengisi

Dinding merupakan salah satu elemen bangunan yang berfungsi untuk memisahkan atau membentuk ruang. Prayuda (2015) menjelaskan, di daerah tropis, khususnya Indonesia, dinding memenuhi berbagai fungsi berikut:

1. Membagi bangunan atas ruangan-ruangan yang ukurannya lebih nyaman.
2. Mencegah masuknya debu atau air hujan dan sekaligus memungkinkan pengudaraan ruang dalam.
3. Menyediakan tempat teduh, segar, dan nyaman, serta memberi kebebasan dan perlindungan bagi penghuni.

Dinding pengisi bata adalah sistem dinding non-homogen yang terdiri dari batu bata yang disambungkan dan diisi celahnya dengan mortar. Kedua material ini memiliki kekuatan dan kemampuan deformasi tertentu. Keseimbangan yang tepat antara jenis mortar dan jenis bata dapat memberikan hasil yang baik untuk dinding, hal ini juga dipengaruhi oleh kualitas pengerjaannya. (Wijanto, 2007)

Dinding pengisi bata umum digunakan pada konstruksi bangunan beton bertulang di Indonesia. Dinding pengisi biasanya dipasang apabila struktur utama telah selesai dikerjakan. Hal ini menyebabkan perencanaan dinding dianggap sebagai komponen non-struktur. Dalam

pengaplikasiannya, dinding berinteraksi dengan portal. Interaksi yang timbul ini kadang menguntungkan dan merugikan bagi kinerja portal, khususnya pada saat portal mengalami pembebanan secara horizontal yang besar akibat gempa. (Dewobroto, 2005)

B. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja secara bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton. (Agus Setiawan, 2013)

Beton merupakan material pencampuran dari agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/batu pecah), semen, dan air. Sering juga ditambahkan bahan tambah kimiawi (*admixture*) ataupun mineral (*additive*) ke dalam campuran beton. Tujuannya adalah untuk mengatur sifat dan karakteristik beton agar sesuai dengan yang kita inginkan, diantaranya yaitu memudahkan dalam pengerjaan, menambah kekuatan, serta efisiensi. Notasi dari kuat tekan beton ialah " f_c ". Nilai f_c diperoleh dari nilai rata-rata kuat tekan pengujian silinder minimal 2 buah diameter 150 mm tinggi 300 mm atau minimal 3 buah diameter 100 mm tinggi 200 mm yang terbuat dari adukan beton yang sama dan diuji pada beton umur 28 hari. (SNI 03-2847-2013)

Unsur beton bertulang lainnya yaitu baja. Baja adalah logam paduan pembentuk dari biji besi (Fe) sebagai bahan dasar serta karbon (C) yang merupakan paduan utamanya. Untuk membentuk baja yang memiliki kuat tarik tinggi (*tensile strength*) dan keras (*hardness*) maka penambahan karbon (C) perlu dilakukan, akan tetapi disisi lain hal ini akan berdampak pada menurunnya daktilitas (*ductility*) dan mengakibatkan baja menjadi getas (*brittle*).

C. Beton Busa

Berdasarkan beratnya, beton diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu, *normal-weight concrete*, dengan berat sekitar 2400 kg/m^3 , *light-weight concrete* dengan berat kurang dari 1800 kg/m^3 , dan *heavy-weight concrete* yang beratnya lebih dari 3200 kg/m^3 . Dalam pengaplikasiannya, *normal-weight concrete* umumnya digunakan sebagai bahan bangunan untuk rumah dan gedung sedangkan *light-weight concrete* juga umum digunakan sebagai bahan untuk dinding maupun atap gedung ataupun rumah tinggal. *Heavy-weight concrete* biasanya dipergunakan untuk struktur bangunan tinggi, jembatan, *fly over*, dan sebagainya. (Abdullah, 2008)

Beton ringan, atau *light-weight concrete* memiliki banyak variasi, salah satunya dikenal dengan beton seluler atau beton aerasi. Beton ini dibuat dengan teknik tertentu sehingga memiliki kandungan pori dalam jumlah besar. Pori-pori yang merupakan karakteristik khas beton ringan itu sengaja dibentuk sehingga menyebabkan beton itu jauh lebih ringan

dibanding beton konvensional umumnya. Saat ini, beton ringan banyak digunakan sebagai pengganti batu bata, khususnya untuk gedung-gedung bertingkat tinggi dan umumnya bangunan lain. Karakteristik beton ini memiliki keunggulan ekonomi yang kompetitif selain luasnya aplikasi, seperti sebagai bahan insulasi maupun sebagai produk olahan hasil daur ulang limbah abu terbang. (Ramamurthy, 2000)

Beton busa merupakan campuran antara semen, air, agregat dengan bahan tambah (*admixture*) tertentu yaitu dengan membuat gelembung-gelembung gas atau udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara didalam beton, dalam kasus ini digunakan *foaming agent*, yang akan membentuk terbentuk pori-pori pada beton. Pori-pori diperoleh dengan cara memasukkan gelembung-gelembung udara ke dalam adukan mortar. Gelembung udara tersebut berasal dari bahan dasar *foaming agent* yang diolah dengan air. Selain beratnya yang ringan, beton busa juga memiliki kelebihan yang digunakan untuk bahan alternatif yang berfungsi sebagai insulator panas dan suara. Penggunaan beton busa biasanya dapat diaplikasikan sebagai panel dinding, bata beton ringan, *ready mix*, dan bentuk khusus. (Rommel, 2017)

D. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan elemen struktur untuk berdeformasi setelah mencapai kekuatan puncak tanpa terjadinya penurunan kekuatan yang terlalu besar. Level daktilitas tertentu diperlukan sebagai faktor

keamanan agar tidak terjadi keruntuhan struktur yang tiba-tiba. (Sumirin, 2006)

Struktur pada daerah dengan tingkat resiko gempa tinggi harus mengikuti konsep desain struktur tahan gempa. Menurut SNI 03-1726-2013, struktur tahan gempa tidak roboh pada saat terjadinya gempa kuat dan hanya mengalami kerusakan kecil pada saat terjadinya gempa sedang. Perilaku ini dapat tercapai bila komponen-komponen struktur memiliki kemampuan untuk menyerap dan memancarkan energi gempa melalui mekanisme terbentuknya sendi plastis. Oleh karena itu, komponen-komponen struktur harus memiliki daktilitas untuk mampu mempertahankan kapasitasnya/kuatannya setelah mengalami deformasi inelastik yang cukup besar sebelum mengalami keruntuhan. (Sudarsana, 2010)

Daktilitas merupakan perbandingan antara perpindahan ultimit dengan perpindahan leleh dari grafik hubungan antara beban dengan perpindahan yang diperoleh dari pengujian sebelumnya. Menurut ASTM E2126-11, persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung daktilitas yaitu:

$$\text{Daktilitas (D)} = \frac{\Delta U}{\Delta Y} \quad \dots(1)$$

dengan:

ΔY : Perpindahan leleh (mm)

ΔU : Perpindahan ultimit yang terjadi pada saat beban $0,8 P_{\text{peak}}$ (mm)

D : Daktilitas

Nilai daktilitas dapat digunakan dalam menentukan tingkat kinerja suatu gedung setelah menerima beban gempa. Pada SNI 03-1726-2002 dibahas terdapat 3 tingkatan daktilitas untuk struktur gedung, yaitu:

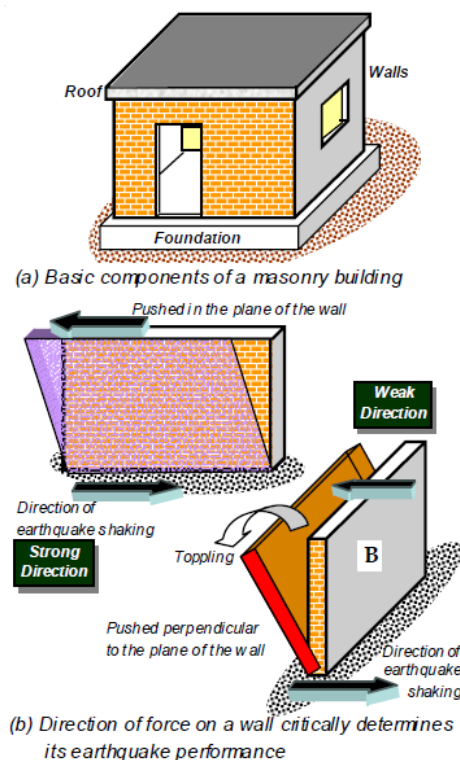
1. Daktil penuh, yaitu suatu tingkat daktilitas struktur gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3.
2. Daktil parsial, yaitu seluruh tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas diantara untuk struktur gedung yang elastik penuh sebesar 1,5 dan untuk struktur gedung yang daktil penuh sebesar 5,0.
3. Elastik penuh, yaitu suatu tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0.

E. Kegagalan Struktur Dinding Pengisi Akibat Beban Gempa

Getaran tanah yang terjadi pada saat gempa menyebabkan gaya inersia pada pusat massa struktur yang terdistribusi melalui atap, dinding dan fondasi bangunan. Dari ketiga komponen tersebut, dinding merupakan elemen yang paling mudah mengalami kerusakan yang disebabkan oleh beban horizontal pada saat terjadi gempa. Distribusi pembebanan yang terjadi pada saat gempa berlangsung ke segala arah sumbu kuat dinding maupun sumbu lemah dinding. Pembebanan yang berlangsung pada arah sumbu kuat dinding memberikan tahanan lateral yang lebih baik

dibandingkan pembebanan yang terjadi pada sumbu lemah dinding. (Murty, 2005)

Beban gempa yang terjadi pada arah sumbu kuat dinding dapat menyebabkan dinding mengalami perubahan geometri menjadi bentuk jajaran genjang (*parallelogram*). Perubahan geometri yang terjadi, selain dapat menimbulkan rusaknya elemen lain yang ada di dalam bidang dinding seperti jendela atau kaca, juga dapat menyebabkan kerusakan atau keruntuhan dinding bila defleksi akibat beban yang bekerja melebihi kapasitas dari dinding tersebut. Sedangkan pembebanan pada arah sumbu lemah dinding dapat menyebabkan dinding menjadi runtuh atau terguling seperti pada Gambar 1. (Murty, 2005)



Gambar 1. Perilaku Beban Gempa pada Dinding

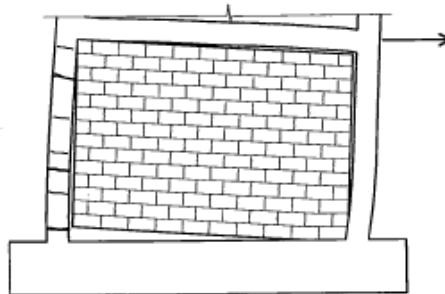
Gaya lateral *in-plane* adalah gaya yang bekerja sejajar dinding terhadap sumbu kuat dinding, sehingga gaya ini memiliki kekuatan lebih dibandingkan dengan gaya lateral *out-plane*, karena gaya lateral *out-plane* adalah gaya yang bekerja sejajar dinding terhadap sumbu lemah dinding. (Prayuda, 2015)

Kegagalan pada dinding bata terjadi karena dinding tersebut menerima gaya yang melebihi kapasitas pengisi dinding bata. Ada dua jenis kegagalan pada dinding bata yang berkaitan dengan arah gaya yang bekerja, yaitu:

1. *Out-plane failure*, diakibatkan oleh gaya yang bekerja tegak lurus bidang dinding. Dinding bata akan mengalami keruntuhan menyeluruh karena memiliki kemampuan sangat kecil untuk menahan gaya *out-plane*.
2. *In-plane failure*, diakibatkan oleh gaya yang bekerja sejajar pada bidang dinding. Keruntuhan ini terjadi karena pada tingkat kekuatan gaya lateral yang relatif rendah, struktur portal dan dinding pengisi akan bekerja bersama sebagai struktur komposit. Ketika deformasi lateral meningkat, struktur akan mengalami perilaku yang kompleks dimana struktur portal akan mengalami deformasi dalam *flexural mode* sedangkan dinding pengisi mengalami deformasi *shear mode*. Akibat perilaku ini, maka akan terjadi pemisahan antara portal dan dinding pengisi pada ujung-ujung tarik dan perubahan pada *diagonal compression strut*.

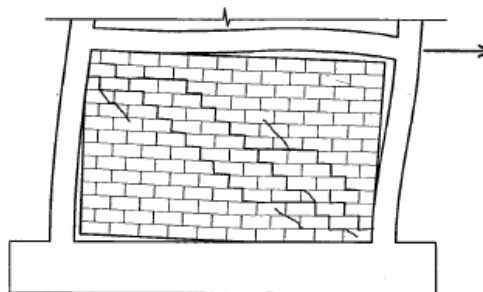
Terdapat beberapa tipe kegagalan pada dinding bata menurut J. C. Francisco (1997) yang dapat digunakan sebagai pendekatan tipe kegagalan portal dinding akibat gaya lateral (*in-plane load*) seperti:

1. *Tension Failure Mode*, yaitu kegagalan tarik dari kolom yang tidak kuat menahan tarik akibat momen.



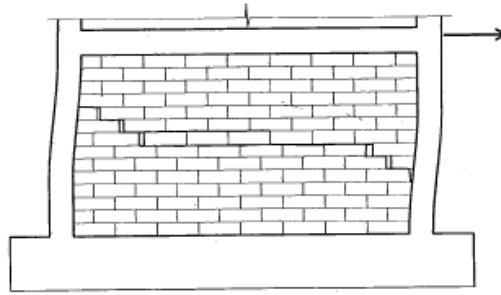
Gambar 2. *Tension Failure Mode*

2. *Stepped Cracks Shear Failure*, yaitu kegagalan geser pada dinding sepanjang pertemuan mortar di sisi bata dan sedikit timbul retak pada bagian bata.



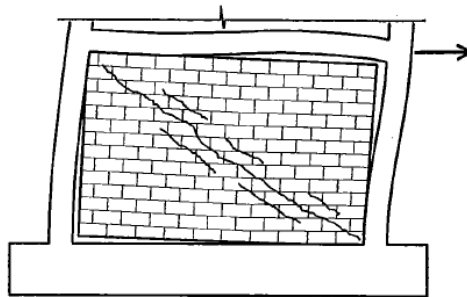
Gambar 3. *Stepped Cracks Shear Failure*

3. *Horizontal Sliding Shear Failure*, yaitu kegagalan geser pada dinding sepanjang arah horizontal dekat atau tepat pada setengah ketinggian panel dinding pengisi.



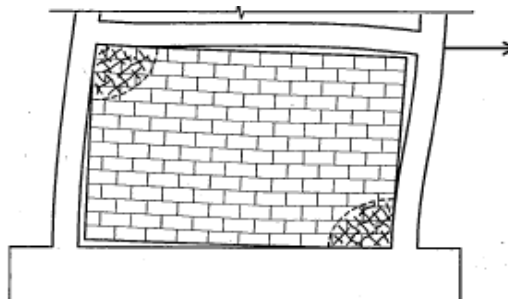
Gambar 4. *Horizontal Sliding Shear Failure*

4. *Diagonal Tensile Cracking*, yaitu retak sepanjang diagonal dinding bata karena tarik.



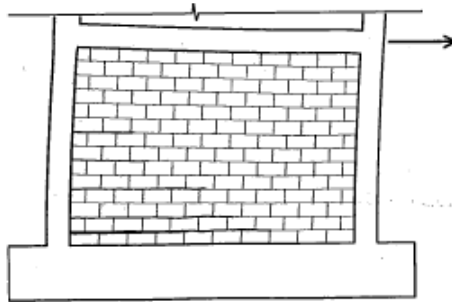
Gambar 5. *Diagonal Tensile Cracking*

5. *Compression Failure of the Diagonal Strut*, yaitu kegagalan dinding akibat sepanjang sisi diagonal dinding mengalami penekanan. Ilustrasi retak yang terjadi hampir sama seperti Gambar 5.
6. *Crushing of the Loaded Corners*, yaitu kegagalan akibat bagian siku dinding mengalami penekanan.



Gambar 6. *Crushing of the Loaded Corners*

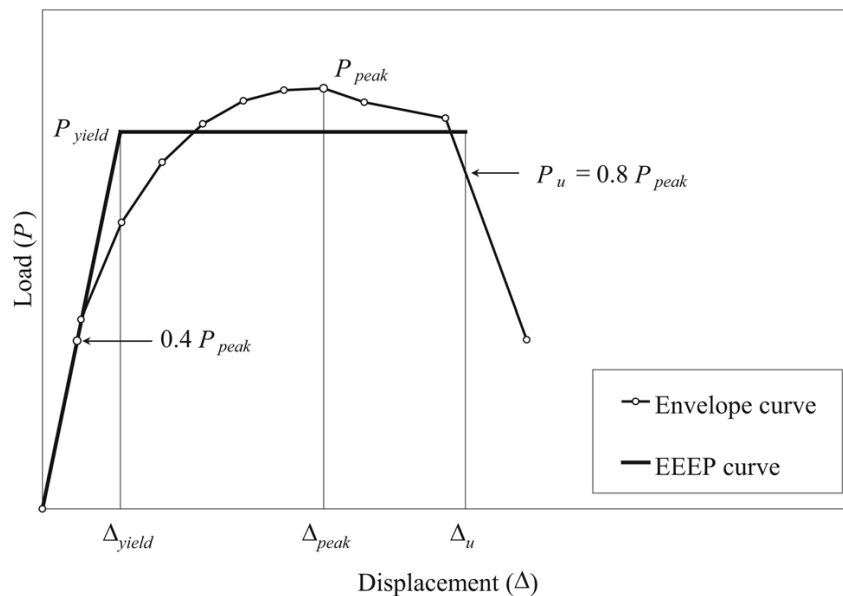
7. *Flexural or Shear Failure of the Columns*, yaitu kegagalan dinding akibat kolom lemah dan retak lentur terjadi sehingga dapat mengangkat bagian dinding yang mengalami tarik.



Gambar 7. *Flexural or Shear Failure of the Columns*

F. Kurva *Equivalent Energy Elastic-Plastic (EEEP Curve)*

Kurva EEEP merupakan suatu luasan pendekatan dari kurva beban simpangan ataupun kurva *envelope* asli yang dipengaruhi oleh simpangan ultimit dan simpangan pada sumbunya. (ASTM E2126-11)



Gambar 8. *Equivalent Energy Elastic Plastic Curve*

(Sumber: ASTM E2126-11)

Kemiringan kurva yang terbentuk pada kurva EEEP pada saat kondisi elastis merupakan kekakuan geser elastis, atau *elastic shear stiffness* (K_E). Kondisi ini terjadi pada saat beban mencapai $0,4 P_P$ pada simpangan $\Delta 0,4 P_P$. Kondisi plastis ditunjukkan oleh garis horizontal dengan beban leleh (P_Y). Untuk menentukan perpindahan leleh (Δ_Y), diambil garis pertemuan antara kemiringan pada kondisi elastis dan beban leleh yang telah ditentukan. Beban leleh (P_Y), dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$P_Y = \left(\Delta_U - \sqrt{\Delta_U^2 - \frac{2A}{K_E}} \right) K_E \dots (2)$$

dengan:

P_Y : Beban leleh (kN)

A : Luas area di bawah kurva *envelope* dari batas 0 ke perpindahan ultimit Δ_U pada benda uji (kN-mm)

P_P : Beban maksimum (kN)

K_E : *Elastic shear stiffness*, $0,4 P_P / \Delta 0,4 P_P$ (kN/mm)

Apabila $\Delta_U^2 < \frac{2A}{K_E}$, yang di mana hal ini dapat ditandai dengan luasan kurva yang cenderung kecil, maka dapat nilai beban leleh dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$P_Y = 0,85 P_P \dots (3)$$

Beban ultimit merupakan beban yang terjadi pada *failure limit state*, atau batas keadaan gagal. Batas ini menyatakan titik terjadinya kegagalan pada benda uji, dengan nilai beban sebesar atau lebih besar dari $0,8 P_P$.

Perpindahan ultimit merupakan nilai perpindahan yang terjadi pada saat benda uji mencapai beban ultimit, yang berada pada *failure limit state*. Menurut ASTM E2126-11 Pasal 9.1.5, apabila data yang tersedia tidak mencakup data kegagalan pada benda uji, maka batas keadaan gagal dapat ditentukan secara interpolasi linear dengan mengasumsikan bahwa $P_U = 0,8 P_P$. (ASTM E2126-11)

Dengan menggunakan kurva EEEP, maka dapat diperoleh nilai daktilitas dari masing-masing benda uji dengan membandingkan nilai Δ_u dan Δ_Y yang diperoleh dari kurva.

G. Penelitian Terdahulu

Pada tahun 2015, Januarahmad Erva, Maidiawai, dan Jafril Tanjung melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Kekuatan Lateral Dinding Bata dalam Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Studi Eksperimen dan Model Numerik”. Penelitian ini memuat hasil pengujian struktur dan analisis numerik untuk struktur rangka beton bertulang yang diisi dengan dinding bata terhadap beban lateral.

Dalam penelitian ini diuji struktur rangka beton bertulang tanpa dinding bata dan dengan dinding bata yang merupakan model struktur dengan skala kecil dari struktur rangka yang umum pada gedung beton bertulang. Pengujian dilakukan secara *pushover* dengan memberikan beban lateral secara monotonik. Pada penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan pada model struktur rangka tanpa dinding bata dan struktur rangka dengan dinding bata, yang mendapatkan kekuatan lateral struktur rangka dengan dinding bata dua setengah kali lebih tinggi dari struktur rangka tanpa dinding.
2. Kekuatan lateral dinding bata dievaluasi hasil pengujian struktur didapatkan dinding bata mempunyai kekuatan lateral yang cukup besar sehingga diasumsikan dinding bata dalam struktur rangka berkontribusi dalam menahan beban gempa
3. Nilai kekuatan lateral ultimit dinding bata hasil simulasi dengan model strut diagonal cukup dekat antara hasil pengujian struktur. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan dan perpindahan lateral dinding dapat dianalisis secara numerik dengan model strut diagonal.

Ulya Saputra, et. Al., pada tahun 2015 melakukan penelitian dengan judul “Studi Eksperimental Pengaruh Dinding Bata Terhadap Ketahanan Kolom Struktur Portal Sederhana”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi dari dinding bata terhadap ketahanan struktur beton sederhana saat diberikan beban lateral yaitu representasi dari beban gempa.

Penelitian dilakukan dengan lima jenis benda uji, yaitu struktur portal sederhana tanpa dinding bata, struktur portal sederhana dengan dinding bata tanpa plesteran, dan struktur portal sederhana dengan dinding bata dengan plesteran. Bata yang digunakan adalah bata normal yang ada di

pasaran dan bata skala. Penelitian dilakukan secara eksperimental dan numerik. Penelitian secara numerik dilakukan dengan menggunakan bantuan software ATENA 2D V.4.2 Demo. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut yaitu:

1. Dinding bata tidak berfungsi sebagai beban melainkan berfungsi sebagai penerima beban saat terjadi pembebanan geser, ini dibuktikan dari hasil pengujian terjadinya peningkatan kapasitas beban yang disumbangkan dinding bata tanpa diplester 85,28 % untuk bata normal, 41,67 % untuk bata skala dan sumbangan bata diplester 132,16% untuk bata normal, 91,67 % untuk bata skala terhadap struktur beton bertulang.
2. Dinding bata dapat meningkatkan kekakuan struktur, ini dibuktikan dengan pemasangan dinding bata menaikkan kekakuan struktur 6,96 % untuk bata normal dan 20,87 % untuk bata skala. Pemasangan dinding bata diplester dapat meningkatkan kekakuan struktur 136,55 % untuk bata normal dan 31,57 % untuk bata skala.
3. Dengan pemasangan dinding bata, daktilitas struktur berkurang, ini dibuktikan dengan berkurangnya daktilitas struktur dengan pasang dinding bata sebesar 36,98 % dan pasang dinding bata diplester 57,36% terhadap portal struktur beton bertulang.
4. Keruntuhan dinding bata adalah keruntuhan geser yang ditandai dengan terjadinya retak diagonal pada dinding. Berdasarkan arah gaya yang bekerja, terjadi keruntuhan *in-plane failure*.

Penelitian dengan judul “*Behavior of Reinforced Concrete Frames In-Filled with Lightweight Materials Under Seismic Loads*” oleh Imran I. dan Aryanto A. pada tahun 2009 menyajikan penelitian eksperimental dan analitik yang dilakukan untuk mempelajari perilaku *in-plane* pada rangka beton bertulang dengan bahan pengisi material beton ringan. Pengujian dilakukan pada 2 spesimen rangka beton bertulang dengan skala 1:2. Salah satu spesimen memiliki bahan pengisi beton ringan, yaitu blok *autoclaved aerated concrete* (AAC), dan spesimen lainnya yang digunakan sebagai sampel pembanding memiliki bahan pengisi bata merah berbahan dasar *clay*. Pengujian dilakukan dengan pembebanan siklik lateral dalam arah *in-plane*, sebagai simulasi beban gempa. Perilaku struktur rangka dievaluasi melalui kekuatan dan perpindahan yang diamati, energi disipasi histeretis, dan nilai daktilitas yang terukur.

Perilaku kedua bahan jenis pengisi, yaitu AAC dan bata merah, diteliti secara eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada saat kondisi gagal, dinding dengan bahan pengisi AAC menghasilkan mekanisme *strut* dalam bentuk retak diagonal. Di sisi lain, dinding dengan bahan pengisi bata merah menampilkan moda kegagalan berupa *sliding shear* dan kerusakan parsial pada bahan pengisi. Kekuatan, daktilitas, dan energi disipasi kumulatif dari kedua spesimen menunjukkan perilaku yang hampir sama selama pengujian. Secara analitis, kekakuan inisial pada dinding AAC paling baik didefinisikan oleh model FEMA 306, sedangkan dinding AAC dengan model Paulay. Selain itu, beberapa model analitik

lainnya tersedia seperti Wood, Liauw & Kwan dan Model Saneinejad & Hobbs, dapat menghasilkan perkiraan yang dekat terkait dengan kekuatan lateral rangka beton bertulang dengan bahan pengisi AAC dan bata merah. Oleh karena itu, model-model tersebut dapat digunakan dalam desain dan analisis rangka beton bertulang dengan bahan pengisi material ringan, seperti blok AAC.

Secara umum, meskipun dinding dengan bahan pengisi bata memiliki kekakuan inisial yang lebih tinggi, dinding dengan bahan pengisi AAC menghasilkan degradasi kekakuan yang lebih kecil dan perilaku histeresis yang lebih baik dibandingkan dengan bata. Dengan itu, dapat disimpulkan dari penelitian ini bahwa blok AAC dapat memberikan performa yang baik sebagai bahan pengisi rangka beton bertulang setelah diberikan pembebanan lateral yang menirukan beban gempa. Oleh karena itu, material ini pada dasarnya dapat digunakan untuk unit bata berbahan dasar *clay* sebagai bahan pengisi untuk rangka beton bertulang yang dibangun pada daerah rawan gempa seperti Indonesia.

Penelitian dengan judul "*Experimental Study on Ductility and Dissipative Capacity of AAC Block Load Bearing Walls*" dilakukan oleh Jinghai Yu dan Shouxiang Wu pada tahun 2011. Penelitian dilakukan secara eksperimental terhadap 6 dinding dengan bahan pengisi beton tipe AAC (*Autoclave Aerated Concrete*) dengan menggunakan pengujian *quasi-static* untuk memperoleh grafik hubungan beban dan perpindahan, perilaku

deformasi, dan kapasitas disipasi pada dinding akibat adanya variasi rasio antara tinggi dan lebar sampel serta beban tekan pada arah vertikal. Perbandingan dan analisis juga dilakukan terhadap dinding dengan material bahan pengisi yang berbeda. Hasil pengujian dari penelitian tersebut antara lain:

1. Dinding dengan rasio tinggi terhadap lebar yang kecil serta tegangan tekan vertikal yang besar memiliki kekuatan retak yang lebih tinggi serta rasio antara beban batas dan beban retak yang lebih rendah. Kapasitas dukung beban dapat meningkat setelah terjadinya retak.
2. Daktilitas dan kapasitas batas deformasi dinding berkurang seiring dengan bertambahnya tegangan tekan arah vertikal. Rasio tinggi terhadap lebar dinding dapat mempengaruhi daktilitas dinding akibat berubahnya pola kegagalan dinding dari mode *shear failure* ke *bending failure* dengan adanya penambahan rasio tinggi terhadap lebar dinding.
3. Kuat geser dinding meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan tekan pada arah vertikal dan perpindahan tidak berkurang, maka area yang dibatasi oleh kurva *skeleton* dan sumbu meregang sehingga energi deformasi meningkat. Energi yang diserap oleh dinding meningkat bersamaan dengan meningkatnya ekspansi residual dalam proses kehilangan beban, sehingga rasio redaman viskos ekuivalen juga meningkat di saat yang sama dengan meningkatnya tegangan tekan pada arah vertikal.

4. Dibandingkan dinding dengan bahan pengisi bata berpori tipe *clinker* dengan kandungan *shale-fly ash* dan juga batako beton, nilai daktilitas dinding dengan bahan pengisi AAC *block* lebih baik.

S. Schwarz, A. Hanaor, D. Z. Yankelevsky pada tahun 2015 melakukan penelitian dengan judul "*Experimental Response of Reinforced Concrete Frames with AAC Masonry Infill Walls to In-plane Cyclic Loading*". Penelitian ini menyajikan investigasi eksperimental untuk menilai beberapa aspek pengaruh dinding pengisi non-struktural dengan ketahanan seismik dari rangka beton bertulang. Pembebanan horizontal pada 9 spesimen berskala 1:2 dengan menggunakan blok *autoclave-cured aerated concrete* (AAC) sebagai bahan pengisi, dirancang untuk menguji pengaruh 4 parameter, yaitu rasio aspek panel (tinggi terhadap lebar), metode konstruksi dinding pengisi; integral (sebelum pengecoran rangka beton bertulang) atau non-integral (setelah pengecoran rangka beton bertulang), bukaan pada dinding pengisi, dan tegangan tekan vertikal pada dinding pengisi. Konfigurasi spesimen yang diuji terdiri atas 2 dengan spesimen dinding tanpa bahan pengisi sebagai kontrol.

Pengujian yang sebelumnya dilakukan pada dinding pengisi AAC berbeda dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan dinding pengisi bata atau blok beton. Pada kedua material tersebut, kekuatannya cenderung lebih kuat dibandingkan dengan mortar yang diisi pada *joint* antara bata, yang mengakibatkan terjadinya *steeped cracks* pada

sepanjang *joint* vertikal atau horizontal antara bata atau blok beton seiring dengan meningkatnya pembebanan *in-plane* horizontal. Blok AAC diketahui memiliki kuat tekan dan geser yang lebih rendah dibandingkan dengan kedua material sebelumnya. Hal ini sangat mempengaruhi perkembangan pola kegagalan yang lebih ekstensif dan tidak mengikuti garis *joint* antar bata, namun lebih sering melewati blok bata itu sendiri, baik secara diagonal maupun vertikal.

Berikut merupakan ringkasan dari pengamatan efek parameter desain pada tiga respon variabel: kapasitas beban (beban ultimit rata-rata), daktilitas (deformasi plastis rata-rata), dan area atau energi plastis, yang mewakili kapasitas kombinasi x kriteria daktilitas.

1. Pengaruh keseluruhan dinding pengisi dibandingkan dengan rangka tanpa bahan pengisi adalah peningkatan kapasitas sekitar 200% dan mendekati ke 60% pengurangan daktilitas. Peningkatan yang dihasilkan dalam energi plastis (didefinisikan sebagai 80% dari kapasitas dikalikan dengan deformasi plastis) adalah tidak besar (30%).
2. Pengaruh aspek rasio tampak kecil pada kapasitas konfigurasi yang diuji, tetapi efeknya pada daktilitas, dan juga energi plastis, cukup substansial. Panel yang sempit (aspek rasio yang besar) memiliki daktilitas dan energi plastis yang tinggi.
3. Pengaruh metode konstruksi tampaknya memiliki kecenderungan yang berlawanan pada kapasitas dan daktilitas. Konstruksi integral disertai dengan sedikit peningkatan kapasitas dan kapabilitas penyerapan

energi dengan penurunan yang minor dalam daktilitas. Konstruksi integral dinding pengisi beresiko mengembangkan lebih banyak kerusakan dan berperilaku lebih getas (*brittle*) daripada yang non-integral. Namun, karena terbatasnya ruang lingkup pada ini, tidak dimungkinkan untuk membuat kesimpulan tentang aspek ini.

4. Pengaruh bukaan pada dinding pengisi adalah untuk mengurangi kapasitas dan meningkatkan daktilitas dengan sedikit efek pada kapabilitas penyerapan energi. Nilai kapasitas dan daktilitas yang diperoleh cenderung sulit pada rangka tanpa bahan pengisi dan panel tanpa bukaan.
5. Pemberian tegangan vertikal pada panel dinding pengisi memiliki efek positif yang besar pada setiap parameter respons (hampir 50% peningkatan kapasitas dan daktilitas, dan 120% kemampuan penyerapan energi). Walaupun metode prategang yang diterapkan tidak merepresentasikan pengaruh beban gravitasi sepenuhnya, metode ini dapat berfungsi sebagai metode yang berpotensi untuk peningkatan seismik.