

TUGAS AKHIR

**KEKAKUAN DINDING PENGISI BETON BUSA AKIBAT
BEBAN SIKLIK LATERAL**

***STIFFNESS OF FOAM CONCRETE AS INFILL WALL UNDER
LATERAL CYCLIC LOADING***

**NURUL PUTRI AWALIAH
D011 17 1022**



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

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**KEKAKUAN DINDING PENGISI BETON BUSA AKIBAT BEBAN SIKLIK
LATERAL**

Disusun dan diajukan oleh:

NURUL PUTRI AWALIAH

D011 17 1022

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,

Pembimbing Pendamping,



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



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



Ketua Program Studi,

Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Putri Awaliah
NIM : D011 17 1022
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Kekakuan Dinding Pengisi Beton Busa Akibat Beban Siklik Lateral

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 Putri Awaliah
NIM : D011 17 1022

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Program Studi 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 yang berjudul "**Kekakuan Dinding Pengisi Beton Busa Akibat Beban Siklik Lateral**" ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada seluruh pembaca pada umumnya dan kepada penulis khususnya.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis telah menerima banyak bantuan, petunjuk dan bimbingan maupun saran dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng., dan Bapak Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Arwin Amiruddin S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, motivasi, dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh Dosen yang telah membantu penulis selama mengikuti Pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Kedua orangtua dan keluarga tercinta, atas doa, kasih sayang, motivasi dan segala dukungannya selama ini baik secara moral dan materiil.

8. Kepada anggota Tim Dinding Beton Busa sebagai partner tim yang telah berjuang Bersama selama proses penelitian berlangsung. Dan terkhusus kepada Fifi yang telah menjadi partner diskusi terbaik selama penelitian berlangsung.
9. Masnia, Aryni, Jijim, Irfan, Athar, William, dan rijal, sebagai anggota mukim gempu yang selalu loyal dalam kondisi apapun.
10. Teman-teman KKD struktur 2017 yang telah banyak membantu dalam proses penelitian.
11. Cindi, Dira, dan Nune yang telah menjadi teman terbaik selama di kampus.
12. Teman-teman PLASTIS 2018 yang selalu memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan Rahmat-Nya kepada kita, dan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, September 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
ABSTRAK.....	ix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian.....	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Pengertian Beton	6
B. Dinding Pengisi	10
C. Perilaku Dinding Akibat Gempa.....	11
D. Kekakuan	14
E. Kurva <i>equivalent energy elastic – plastic</i> (EEEP)	16
F. Penelitian Terdahulu	18
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	20
A. Diagram Alir Penelitian	20
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	21
C. Material dan Peralatan Penelitian.....	21
D. Detail Spesimen Uji	23
E. Tahap Penelitian	27

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
A. Karakteristik Material.....	35
B. Hasil Pengujian	39
C. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i>	44
D. Kekakuan	48
E. Pola Kegagalan Struktur Dinding.....	53
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	55
A. Kesimpulan	55
B. Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mode Kegagalan pada Rangka Beton Bertulang.....	12
Gambar 2. Mode Kegagalan pada Dinding Pengisi	13
Gambar 3. Kurva Beban terhadap <i>Displacement</i>	15
Gambar 4. Kekakuan Struktur	16
Gambar 5. Kurva <i>hysteresis</i> dan kurva <i>envelope</i>	17
Gambar 6. Parameter Kinerja Benda Uji	17
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 8. Detail Penulangan Benda Uji	23
Gambar 9. Benda Uji Rangka Beton Bertulang	24
Gambar 10. Benda Uji Dinding Pengisi.....	24
Gambar 11. Posisi Penempatan <i>Strain Gauge</i> pada Baja Tulangan	25
Gambar 12. Posisi Penempatan <i>Strain Gauge</i> pada Beton	26
Gambar 13. Sketsa <i>Setting up</i> Pengujian benda uji W1.....	30
Gambar 14. Sketsa <i>Setting Up</i> Pengujian Benda W2	31
Gambar 15. Siklus Pembebanan Menurut ASTM E2126-11	32
Gambar 16. Grafik hubungan tegangan-regangan baja D13.....	43
Gambar 17. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> pada Benda Uji W1	44
Gambar 18. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> pada Benda Uji W2	45
Gambar 19. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> Semua Benda Uji	46
Gambar 20. Perbandingan Kekuatan Benda Uji	47
Gambar 21. Nilai Kekakuan pada Benda Uji W1 pada Kondisi Tekan	48
Gambar 22. Nilai Kekakuan pada Benda Uji W1 pada Kondisi Tarik	49
Gambar 23. Nilai Kekakuan pada Benda Uji W2 pada Kondisi Tekan	50
Gambar 24. Nilai Kekakuan pada Benda Uji W2 pada Kondisi Tarik	51
Gambar 25. Perbandingan Kekakuan pada Benda Uji Kondisi Tekan	52
Gambar 26. Perbandingan Kekakuan pada Benda Uji Kondisi Tarik	53
Gambar 27. Pola Retak Benda Uji W2.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Material Penelitian	21
Tabel 2. Detail Benda Uji	23
Tabel 3. Metode Pengujian B Menurut ASTM E2126-11	33
Tabel 4. Karakteristik Fisik Semen Portland Komposit (PCC)	35
Tabel 5. Karakteristik Fisik <i>Foam Agent</i>	36
Tabel 6. Karakteristik Fisik Agregat Halus dan Agregat Kasar	37
Tabel 7. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton Busa	38
Tabel 8. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton untuk Kolom dan Balok	38
Tabel 9. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton untuk Sloof	39
Tabel 10. Kuat Tekan Beton Busa	39
Tabel 11. Kuat Tekan Beton untuk Sloof.....	40
Tabel 12. Kuat Tekan Beton untuk Kolom dan Balok	41
Tabel 13. Berat Volume Beton Busa	42
Tabel 14. Perbandingan Kekuatan Benda Uji	47
Tabel 15. Kekakuan pada Semua Benda Uji.....	52

ABSTRAK

Rumah tinggal sederhana yang ada di Indonesia merupakan bangunan struktur yang dalam pembangunannya tidak melalui suatu proses perencanaan (*non-engineered structure*). Dari segi struktur, rumah tinggal sederhana terdiri dari balok, kolom dan dinding bata. Namun, fungsi dari dinding hanya dianggap sebagai komponen non-struktural, yang mengakibatkan kekuatan dari dinding sering tidak diperhitungkan dalam perencanaan. Teknologi bahan yang digunakan sebagai bahan pengisi dinding menggantikan pasangan batu bata sudah mulai banyak digunakan di Indonesia namun keterbatasan hasil penelitian tentang penggunaan beton ringan yang diaplikasikan dalam bentuk panel pracetak sebagai bahan pengisi dinding masih sangat terbatas, sehingga perlu untuk dikembangkan dan diteliti lebih lanjut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara beban dan *displacement*, serta mengetahui nilai kekakuan pada rangka beton bertulang dan dinding pengisi beton busa yang diaplikasikan dalam panel pracetak.

Benda uji terdiri dari dua variasi, yaitu rangka beton bertulang (W1) dan dinding pengisi beton busa yang diaplikasikan dalam bentuk panel pracetak (W2). Kedua benda uji diuji dengan memberikan beban dinamis berupa beban siklik lateral berdasarkan metode *displacement control*.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai kekuatan dan kekakuan pada dinding pengisi beton busa (W2) lebih besar jika dibandingkan dengan rangka beton bertulang (W1). Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan panel pracetak beton busa sebagai bahan pengisi pada rangka beton bertulang memiliki pengaruh yang cukup signifikan dalam menahan beban yang diberikan.

Kata kunci : Dinding pengisi, beton busa, kekakuan

ABSTRACT

Simple residential houses in Indonesia are structural buildings that are constructed without undergoing a planning process (non-engineered structures). In terms of structure, a simple house consists of beams, columns and brick masonry walls. However, the function of the wall is only considered as a non-structural component, which means that the strength of the wall is often not taken into account in the design. The technology of materials used as masonry infill wall has begun to be widely used in Indonesia, but past research results on the use of lightweight concrete applied in the form of precast panels as wall infill material are still very limited, so it needs to be developed further.

The purpose of this study is to analyze the relationship between load and displacement, as well as to determine the value of stiffness in reinforced concrete frames and infill walls installed with foam concrete precast panels.

The test object consisted of two variations, namely a reinforced concrete frame (W1) and infill wall that is installed with foam concrete precast panels (W2). Both objects were tested by providing dynamic loads in the form of lateral cyclic loads based on the displacement control method.

Based on the test, the strength and stiffness values of the foam concrete infill wall (W2) are greater than those of the reinforced concrete frame (W1). This shows that the installation of precast foam concrete panels as infill material in the reinforced concrete frame has a significant effect on resisting the given load.

Keywords : *Infill wall, foam concrete, stiffness*

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Secara geografis, negara Indonesia terletak diantara tiga lempeng tektonik yaitu Lempeng Pasifik, Eurasia, dan Indo-Australia. Pergerakan lempeng-lempeng ini menyebabkan terjadinya gempa bumi dengan intensitas yang cukup tinggi. Peristiwa gempa bumi menyebabkan berbagai macam kerugian bukan hanya dari segi materiil, tetapi juga dapat menyebabkan korban jiwa.

Rumah tinggal sederhana yang ada di Indonesia merupakan bangunan struktur yang dalam pembangunannya tidak melalui suatu proses perencanaan (*non-engineered structure*). Dari segi struktur, rumah tinggal sederhana terdiri dari kolom, balok dan dinding bata. Namun, fungsi dari dinding hanya dianggap sebagai komponen non-struktural, yang mengakibatkan kekuatan dari dinding sering tidak diperhitungkan dalam perencanaan begitupun dengan bangunan tingkat tinggi.

Pada rumah tinggal sederhana atau bangunan tingkat rendah, memiliki dimensi balok dan kolom yang tidak begitu besar. Ini mengakibatkan kekuatan dan kekakuan rangka beton bertulang (portal) tidak jauh berbeda dengan dinding pengisi. Sehingga, kekuatan dinding pengisi memiliki pengaruh yang cukup signifikan pada kinerja bangunan. Banyak peneliti meyakini bahwa gaya lateral seperti gempa ditahan secara bersama-sama oleh rangka beton bertulang dan dinding pengisi.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji kekuatan dinding pengisi, diantaranya Mutia et al. (2018) melakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui perilaku rangka beton bertulang dan dinding pengisi bata merah dengan plesteran. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan dinding pengisi berpengaruh nyata terhadap peningkatan kapasitas dan kekakuan pada rangka beton bertulang. Selanjutnya Maidiawati et al (2019) telah meneliti struktur rangka beton bertulang dengan pengisi dinding batu bata penuh dan dinding bata dengan bukaan untuk mengetahui kontribusi dinding batu bata terhadap kekuatan lateral struktur beton bertulang. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kehadiran dinding pengisi dengan/tanpa bukaan menunjukkan performa seismik yang baik dan meningkatkan kekakuan awal struktur keseluruhan.

Dinding pengisi dengan teknologi bahan beton ringan salah satunya adalah beton busa, untuk menggantikan batu bata sudah mulai banyak digunakan di Indonesia. Penggunaan beton busa cocok digunakan untuk daerah yang rawan gempa karena berat jenis yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pasangan batu bata ataupun beton normal sehingga dapat mengurangi beban akibat gaya gravitasi. Namun, sampai saat ini informasi mengenai hasil penelitian tentang penggunaan beton ringan yang diaplikasikan dalam bentuk panel pracetak sebagai bahan pengisi dinding masih sangat terbatas. Maka dari itu, perlu untuk dikembangkan dan diteliti lebih lanjut mengenai hal tersebut. Pada penelitian ini diharapkan dapat mengetahui kekakuan dinding pengisi dengan menggunakan bahan beton

ringan yaitu beton busa (*foam concrete*) yang diaplikasikan dalam bentuk panel pracetak sebagai bahan pengisi dinding. Berdasarkan hal inilah penulis akan meneliti tentang **“KEKAKUAN DINDING PENGISI BETON BUSA AKIBAT BEBAN SIKLIK LATERAL”**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana hubungan beban terhadap *displacement* pada dinding pengisi beton busa dan rangka beton bertulang.
2. Bagaimana kekakuan pada dinding pengisi beton busa dan rangka beton bertulang.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis hubungan beban terhadap *displacement* pada dinding pengisi beton busa dan rangka beton bertulang.
2. Menganalisis nilai kekakuan pada dinding pengisi beton busa dan rangka beton bertulang.

D. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian ini bersifat eksperimental dan dilakukan di Laboratorium.

2. Benda uji terdiri dari dua variasi. Dimana benda uji jenis pertama berupa rangka beton bertulang sedangkan benda uji jenis kedua berupa rangka beton bertulang dengan bahan pengisi beton busa yang diaplikasikan dalam bentuk panel pracetak.
3. Beton busa diproduksi dengan semen PCC (*Portland Composite Cement*) serta bahan campuran *foam agent* dan *admixture* tipe F.
4. Pembuatan benda uji dengan cara cor ditempat (*cast in situ*) untuk beberapa elemen struktur yaitu sloof, kolom, dan balok. Beton busa diaplikasikan dalam bentuk panel pracetak dengan dimensi 70 cm x 40 cm x 8 cm yang ditempatkan sebagai bahan pengisi rangka beton bertulang dengan menggunakan mortar pada benda uji kedua.
5. Beban yang diberikan adalah beban dinamis berupa beban siklik lateral.
6. Hanya membahas dan menganalisis nilai kekakuan pada benda uji.

E. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat seperti:

1. Memberikan pemahaman dan perbandingan nilai kekakuan pada dinding pengisi beton busa dan rangka beton bertulang.
2. Memberikan solusi yang efektif dalam pemilihan jenis material dinding yang ringan dan tahan terhadap gempa.

F. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini akan diuraikan dalam sistematika penulisan yang dibagi menjadi lima bab pokok bahasan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan secara singkat.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan kerangka teori konseptual mengenai penelitian secara singkat dan gambaran umum dari sampel penelitian yang akan diuji.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang penelitian yang meliputi: tahapan penelitian, penentuan dimensi dan bahan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, pengujian yang dilakukan, pengumpulan data, serta variabel penelitian

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang dilaksanakan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Beton

A.1. Beton

Menurut SNI 2847:2019 beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan.

Beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung pada cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat-sifat beton. (Wuryati dan Candra, 2001).

Kelebihan beton adalah dapat mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Selain itu pula beton juga memiliki kekuatan mumpuni, tahan terhadap temperatur yang tinggi dan biaya pemeliharaan yang murah. Sedang kekurangannya adalah bentuk yang telah dibuat sulit diubah tanpa kerusakan. Pada struktur beton, jika ingin dilakukan penghancuran maka akan mahal karena tidak dapat dipakai lagi. Beda dengan struktur baja yang tetap bernilai. Beton memiliki kuat tekan yang

tinggi namun lemah dalam tariknya. Jika struktur itu langsung dan tidak diberi perkuatan yang cukup akan mudah gagal. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tariknya sekitar 9%-5% kuat tekannya. Maka dari itu perkuatan sangat diperlukan dalam struktur beton.

A.2. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan non prategang minimum yang ditetapkan dalam standar (SNI 2847:2019).

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja secara bersama – sama untuk memikul beban yang ada. Dimana beton berfungsi sebagai penahan tekan dan baja tulangan akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton.

A.3. Beton Busa (*Foam Concrete*)

Beton busa adalah 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 di dalam beton. Beton busa didefinisikan sebagai beton seluler ringan yang dapat diklasifikasikan sebagai beton ringan (*density* 400–1850 kg/m³) dengan rongga udara acak yang dibuat dari campuran *foam agent* dalam mortar. Dengan ditambahkan *foaming agent* maka akan terbentuk pori-pori yang terjadi akibat reaksi kimia dimana kalsium

hidroksida yang terkandung dalam pasir akan bereaksi membentuk gas hidrogen. Gas hidrogen tersebut akan membentuk gelembung-gelembung di dalam campuran beton yang mengakibatkan volumenya akan menjadi lebih besar dari volume semula. Di akhir pengembangan, hidrogen yang terbentuk tadi akan terlepas ke atmosfer dan akan digantikan udara. Akibat terbentuknya rongga di dalam campuran beton tadi, maka berat jenis dari beton tersebut akan lebih kecil dari semula.

Penggunaan *foaming agent* bertujuan untuk memperoleh berat jenis beton yang lebih ringan. *Foam agent* adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antarmuka dan mengaktifkan antarmuka tersebut dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. *Foam agent* telah memungkinkan penggunaan beton busa untuk skala yang lebih besar dan banyak studi yang sudah dilakukan untuk mempelajari karakteristik dan perilaku beton busa secara komprehensif agar bisa digunakan secara sederhana pada penggunaan struktural

Beton busa adalah bahan struktural ekonomis, ramah lingkungan, memiliki *flowability* yang tinggi, ringan yang menyediakan isolasi termal yang tahan api dan rayap. Beton busa dianggap sebagai solusi ekonomis dalam fabrikasi massal untuk bahan dan konstruksi ringan seperti bahan struktural, partisi, dan grade pengisian, Kelebihannya yang tahan terhadap

insulasi termal mampu menghemat penggunaan energi alat pendingin udara, serta massa jenisnya yang lebih ringan sehingga dapat mengurangi konsumsi agregat dan semen. (Ramamurthy, K., 2009).

Menurut Bombatkar, S. dkk. (2017), beton busa memiliki karakteristik yaitu isolator panas yang baik, tahan api dan isolator suara yang baik dan memiliki performa seismik yang baik.

- a. Isolator panas yang baik. Beton busa adalah sejenis penahan panas dan bahan insulasi yang sering digunakan pada pekerjaan dinding dan atap, dan memiliki efisiensi penghematan energi yang tinggi. Interiornya memiliki banyak pori-pori seragam yang mengontrol sebagian besar udara dan dapat mencegah dari pertukaran panas dan dingin. Konduktivitas termal dari beton busa yang biasa digunakan adalah sekitar 7 kali lebih kecil dari pada bata tanah liat dan 14 kali lebih sedikit dari beton semen biasa.
- b. Tahan api dan isolator suara yang baik. Beton busa terutama terdiri dari pasta semen, agregat, karakteristik bahan anorganik lainnya dari pembakaran spontan dan pori-pori yang tersebar, sehingga memiliki ketahanan api yang baik. Pada saat yang sama, karena keberadaan banyak pori-pori tertutup, beton busa memiliki kinerja sebagai insulasi suara yang baik.
- c. Memiliki performa seismik yang baik. Beton busa, dengan density yang kecil dan modulus elastis kecil, merupakan bahan struktur berpori yang banyak mengandung gelembung tertutup. Beton busa adalah bahan

bangunan dengan kinerja seismik yang baik ketika mengalami aksi gelombang gempa, yang dapat meredakan dan menyerap beban serta mengurangi dampak yang timbul.

B. Dinding Pengisi

Dinding Pengisi adalah dinding yang sifatnya non struktural dan harus diperkuat dengan rangka dan kolom praktis. Dinding pengisi dapat dibuat dari berbagai macam material sesuai dengan yang dibutuhkan, antara lain: dinding yang terbuat dari batu-batuan seperti bata dan batako dan dinding yang terbuat dari kayu.

Dalam kasus dinding yang kaku dan kuat seperti batako dan bata, walaupun lebih getas dari bahan kerangka, keberadaannya di antara struktur kerangka akan menimbulkan interaksi yang mengubah kekakuan struktur terutama saat menerima beban lateral akibat gempa atau angin. Dinding pengisi umumnya difungsikan sebagai penyekat, dinding eksterior, dan dinding yang terdapat pada sekeliling tangga dan elevator. Apabila dinding diasumsikan sebagai komponen struktur maka dinding disebut sebagai dinding pengisi (*infilled wall*) dimana struktur dengan dinding pengisi disebut rangka dinding pengisi (*infilled frame*).

Dinding pengisi berperilaku seperti batang diagonal tekan dan menambah kekakuan pada struktur rangka beton bertulang maupun struktur rangka baja pada suatu bangunan. Penambahan kekakuan tergantung dari ketebalan dinding, kuat tekan dinding dan kuat tekan mortar

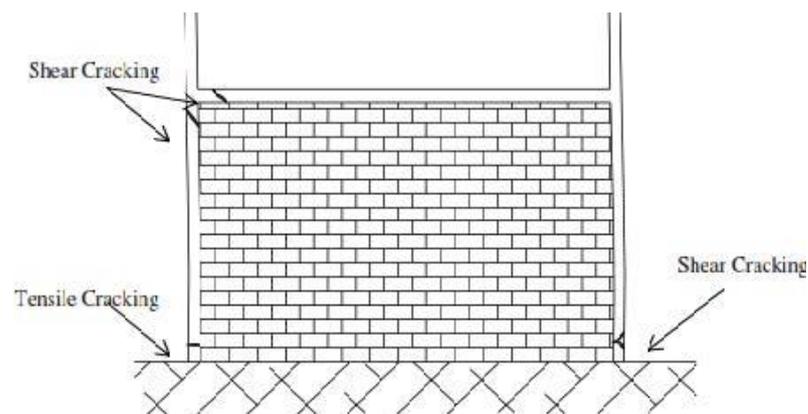
beserta jumlah panel struktur rangka yang mempunyai dinding pengisi. Penambahan kekakuan pada bangunan yang diakibatkan oleh adanya dinding pengisi akan mengurangi kemampuan struktur rangka untuk melentur dan berdeformasi. Pada struktur rangka daktail beton bertulang, dinding pengisi dari bata akan menghalangi elemen utama struktur (seperti kolom dan balok) untuk berperilaku daktail, sebaliknya beberapa struktur memperlihatkan perilaku yang getas (tidak daktail).

C. Perilaku Dinding Akibat Gempa

Dinding merupakan elemen bangunan yang sering mengalami kerusakan akibat beban horizontal pada saat gempa. Kegagalan pada dinding dapat terjadi apabila dinding menerima gaya yang melebihi kapasitas pengisi dinding. Murty (2003) menjelaskan pembebanan yang terjadi pada arah sumbu kuat dinding memberikan tahanan lateral yang lebih baik dibandingkan pembebanan yang terjadi pada sumbu lemah dinding. Pembebanan akibat gempa yang terjadi pada arah sumbu kuat dinding menyebabkan kerusakan elemen lain yang ada di dalam bidang dinding seperti jendela atau kaca, dan juga keruntuhan dinding bila defleksi akibat beban yang bekerja melebihi kapasitas dinding. Sementara pembebanan akibat gempa pada arah sumbu lemah dinding dapat menyebabkan dinding menjadi runtuh atau terguling.

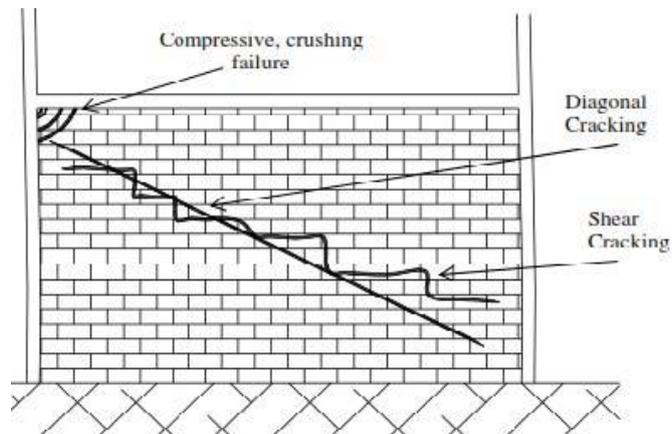
Mode kegagalan material pengisi pasangan bata dalam struktur rangka beton bertulang sangat bergantung pada sifat rangka dan material

pengisi dinding yang digunakan. Kegagalan dapat terjadi pada rangka beton bertulang atau pada unit pasangan bata yang berdampingan secara keseluruhan. Untuk menghitung jumlah peningkatan kekakuan lateral dari komponen struktur rangka beton bertulang, sangat penting untuk mempelajari berbagai mode kegagalan yang terjadi pada rangka dan bahan pengisi dinding sebagai akibat dari beban lateral (Alcocer,1996). Hal ini telah diamati oleh T.H Almussalam (2006) dan Altin et. al (2007) bahwa jenis kegagalan yang paling umum terjadi di bawah beban lateral adalah kegagalan tarik di bagian kolom dan kegagalan geser pada balok atau kolom. Mode keruntuhan dari unit pasangan bata dan rangka beton bertulang yang dapat dijadikan sebagai pendekatan pola kegagalan pada rangka beton bertulang dan dinding pengisi beton busa disajikan pada gambar 1 dan 2 berikut.



Gambar 1. Mode Kegagalan pada Rangka Beton Bertulang

(Sumber : Altin et al. 2007)



Gambar 2. Mode Kegagalan pada Dinding Pengisi

(Sumber : Altin et al. 2007)

Kegagalan ini terutama terjadi pada lokasi dimana sendi plastis telah terbentuk pada struktur. Kegagalan seperti ini dapat berurutan terjadi sebagai kombinasi dari kegagalan yang terjadi pada rangka dan juga pada pasangan bata. Kegagalan geser dinding pengisi memiliki hubungan langsung dengan gaya geser yang diinduksi dari arah horizontal pada panel pengisi dalam rangka beton bertulang. Ketahanan geser bahan pengisi pasangan bata memiliki peranan yang penting dalam stabilitas struktur di bawah beban lateral. Tegangan geser total yang diberikan oleh material pengisi pasangan bata merupakan kontribusi gabungan dari gaya gesek yang terjadi pada pasangan bata dan material mortar dan juga kekuatan geser ikatan.

D. Kekakuan

Dalam perencanaan struktur harus memperhatikan aspek struktural. Aspek ini merupakan aspek yang harus dipenuhi karena berhubungan dengan besarnya kekuatan dan kekakuan struktur dalam menerima beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun beban horizontal.

Kekakuan untuk struktur merupakan sesuatu yang penting. Pembatasan kekakuan berguna untuk menjaga konstruksi agar tidak melendut lebih dari lendutan yang disyaratkan. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan *displacement*. Makin kaku suatu struktur maka semakin besar nilai kekakuannya.

Menurut Gere dan Timoshenko (2000), kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan *displacement* sebesar satu satuan. Besar kekakuan pada kolom beton bertulang dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

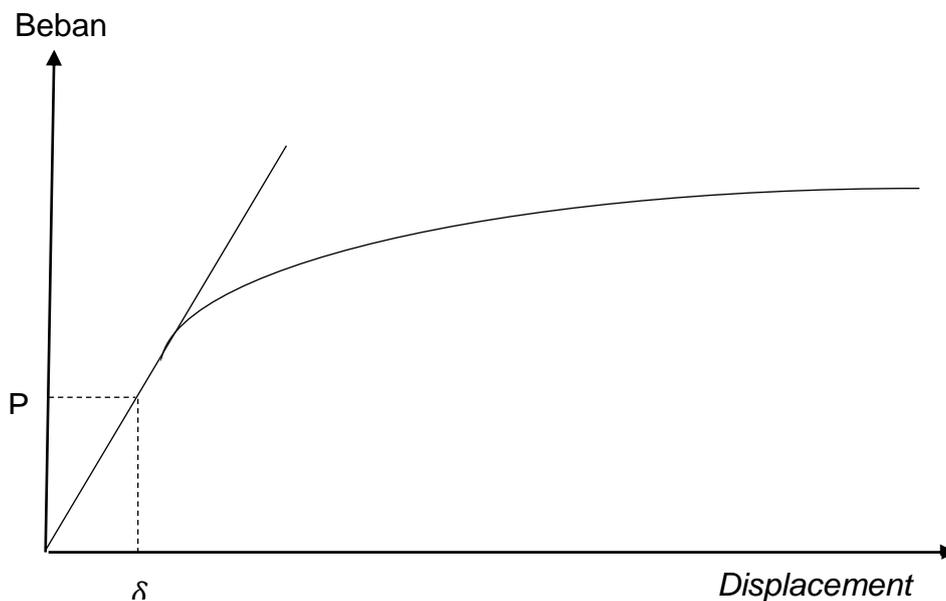
$$K = \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

K = Kekakuan

P = Beban

δ = *Displacement*



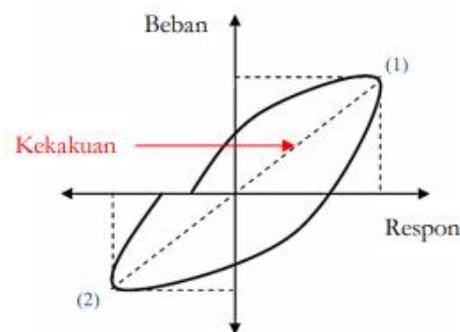
Gambar 3. Kurva Beban terhadap *Displacement*

(Sumber : Gere dan Timoshenko, 2000)

Gambar 3 diatas merupakan grafik hubungan beban dan perpindahan (*displacement*). Kekakuan berhubungan dengan deformasi yang terjadi akibat gaya luar yang bekerja. Pada struktur yang memikul beban gempa, nilai kekakuan yang ada diperhitungkan untuk setiap tahap pembebanan dalam menggambarkan perilaku struktur.

Pada setiap siklus pembebanan dapat diidentifikasi nilai kekakuan material struktur berdasarkan kurva histeretik respon yang terbentuk. Siklus pembebanan yaitu saat dimana beban berawal dari tidak ada atau nol lalu bertambah ke arah positif atau negatif sampai titik maksimum, lalu kembali lagi ke arah sebaliknya sampai titik maksimum. Nilai kekakuan ditetapkan sebagai kemiringan garis yang menghubungkan puncak-puncak beban

maksimum arah positif dan negatif dari setiap siklus kurva beban dan respon struktur seperti pada Gambar 4 berikut.



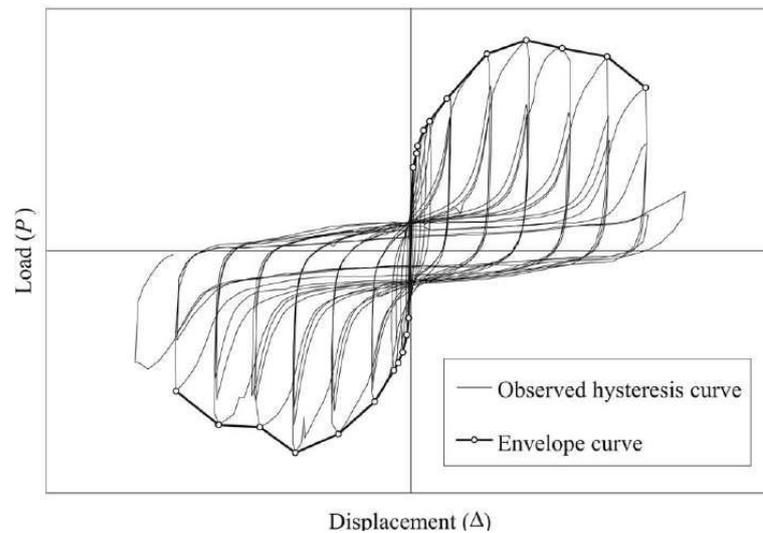
Gambar 4. Kekakuan Struktur

(Sumber : Zainal Abidin et al. 2018)

E. Kurva *equivalent energy elastic – plastic* (EEEEP)

Kurva EEEP merupakan suatu luasan pendekatan dari kurva beban simpangan ataupun kurva *envelope* yang asli yang dipengaruhi oleh simpangan ultimit dan simpangan pada sumbunya. Bagian dari kurva EEEP tersebut bisa terdiri dari kemiringan yang sama dengan kemiringan kurva asli berupa kekakuan elastis (K_e) sedangkan kondisi plastis ditunjukkan dengan garis horizontal dengan beban leleh (P_{yield}).

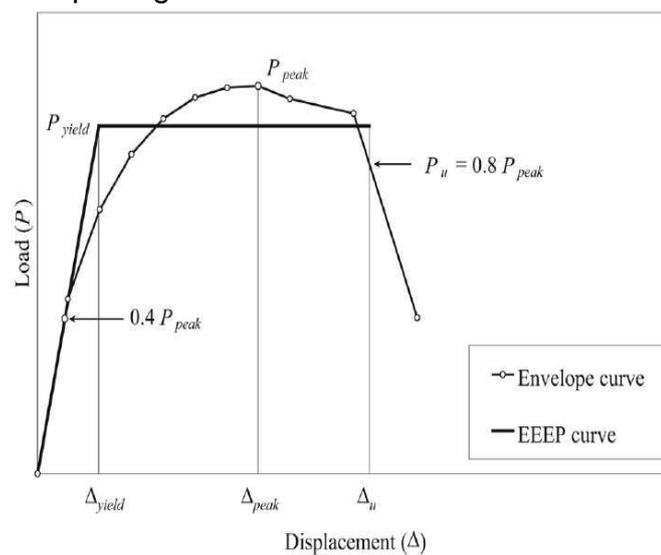
Kekakuan elastis didefinisikan sebagai kemiringan kurva beban-simpangan atau kurva *envelope* pada beban pada saat $0,4P_{peak}$. Kemiringan garis digunakan untuk menentukan bagian elastis kurva. Luasan kurva elastis plastis didapat dengan prinsip keseimbangan luasan kurva beban simpangan yang dihubungkan puncaknya. Kurva *envelope* dan kurva *hysteresis* dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Kurva *hysteresis* dan kurva *envelope*

(Sumber : ASTM E2126-11)

Beban runtuh merupakan nilai $0,8P_{peak}$ sedangkan nilai *failure limit state* menyatakan titik dimana hubungan antara beban dan simpangan terhadap titik data terakhir dengan beban waktu sebesar atau lebih besar dari $0,8 P_{peak}$. Grafik parameter kinerja benda uji menurut ASTM E2126-2011 dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Parameter Kinerja Benda Uji

(Sumber : ASTM E2126-11)

F. Penelitian Terdahulu

Imran et al. (2009) melakukan pengujian eksperimental dan kajian analitis terhadap perilaku beton bertulang dengan dinding pengisi yang terbuat dari material ringan akibat beban gempa. Pengujian dilakukan pada 2 portal beton bertulang dengan dinding pengisi dari bata tanah liat dan bata ringan (*autoclaved aerated concrete*, AAC). Perilaku portal dievaluasi melalui pengamatan terhadap kekuatan dan deformasi, kapasitas *hysteretic energy* dan daktilitas. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa portal dengan dinding pengisi AAC menghasilkan kemampuan yang lebih baik dibanding dengan dinding pengisi bata tanah liat. Secara umum, meskipun dinding bata memiliki kekakuan awal (*initial stiffness*) yang lebih tinggi, dinding pengisi AAC memiliki penurunan kekakuan yang lebih kecil dan memperlihatkan perilaku histeretik yang lebih baik dibandingkan dinding dari bata tanah liat.

Zovkic J., et al (2012) melakukan pengujian untuk mengetahui kontribusi berbagai jenis pengisi pasangan bata terhadap perilaku rangka beton bertulang akibat beban lateral. Sebanyak sepuluh rangka beton bertulang dirancang sesuai dengan EC8 dibuat dengan skala 1:2,5 diisi dengan pasangan bata tanah liat berongga dan blok beton ringan aerasi (AAC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur dinding rangka komposit memiliki kekakuan, redaman dan kekuatan awal yang jauh lebih tinggi daripada struktur rangka kosong.

Mutia et al. (2018) melakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui perilaku rangka beton bertulang dan dinding pengisi bata merah dengan plasteran. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan dinding pengisi berpengaruh nyata terhadap peningkatan kapasitas dan kekakuan pada rangka beton bertulang.

Maidiawati, et. Al (2019) telah meneliti struktur rangka beton bertulang dengan pengisi dinding batu bata penuh dan dinding bata dengan bukaan untuk mengetahui kontribusi dinding batu bata terhadap kekuatan lateral struktur beton bertulang. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kehadiran dinding pengisi dengan/tanpa bukaan menunjukkan performa seismik yang baik dan meningkatkan kekakuan awal struktur keseluruhan.

Wang F. et al (2021) melakukan pengujian eksperimental untuk mempelajari pengaruh dinding pengisi pada kinerja *hysteresis* rangka beton bertulang. Pembebanan dilakukan untuk tiga struktur rangka beton bertulang dua lantai dan dua bentang, terdiri dari satu rangka beton bertulang tanpa dinding pengisi dan dua rangka beton bertulang yang diisi dengan batu bata berongga dari tanah liat dan blok bata ringan aerasi (AAC). Hasil utama dari pengujian menunjukkan bahwa dinding pengisi jelas mengubah mekanisme mekanis struktur rangka beton bertulang pada tahap awal pembebanan, memperbesar kekakuan dan daya dukung lateral struktur rangka, dan meningkatkan kapasitas disipasi energi struktur. Rangka beton bertulang dengan dinding pengisi dari beton ringan aerasi (AAC) menunjukkan perilaku seismik yang cukup baik.