



UJIAN THESIS

ANALISA KETAHANAN GEMPA PADA RUMAH TINGGAL YANG MENGGUNAKAN RANGKA BETON BERTULANG – DINDING BETON BUSA

Disusun dan diajukan oleh:

RESKI AINUN BAHRI

D012201018



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR 2024**

TESIS

ANALISA KETAHANAN GEMPA PADA RUMAH TINGGAL YANG MENGGUNAKAN RANGKA BETON BERTULANG – DINDING BETON BUSA

RESKI AINUN BAHRI

D012201018

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. M Wihardi Tjaronge, ST, MEng
NIP. 196805292002121002

Pembimbing Pendamping



Dr.Eng. M. Akbar Caronge, ST, MEng
NIP. 198604092019043001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Muhammad Isran Ramli, ST. MT,IPM
197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr.Ir.M.Asad Abdurrahman, ST. M.Eng.PM,IPM
NIP. 197303061998021001



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Reski Ainun Bahri, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul " **Analisa Ketahanan Gempa Pada Rumah Tinggal Yang Terbuat Dari Rangka Beton Bertulang - Dinding Beton Busa** ", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam tesis yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam tesis ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Makassar, 30 Agustus 2024
Yang menyatakan,



Reski Ainun Bahri





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 **“Analisa ketahanan gempa pada rumah tinggal yang menggunakan rangka beton bertulang – dinding beton busa”** 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. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I dan Dr.Eng. M. Akbar Caronge, ST, M.Eng., 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. Seluruh Dosen yang telah membantu penulis selama mengikuti Pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh staf dan karyawan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kedua orangtua dan keluarga tercinta, atas doa, kasih sayang, motivasi dan segala dukungannya selama ini baik secara moral dan materiil.



7. Kepada anggota Tim Dinding Beton Busa sebagai partner tim yang telah berjuang Bersama selama proses penelitian berlangsung.
8. Teman-teman Eco Material 2023 yang telah banyak membantu dalam proses penelitian.

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.

Makassar, 30 Agustus 2024

Penulis



ABSTRAK

Reski Ainun Bahri. Analisa Ketahanan Gempa pada Rumah Tinggal yang menggunakan Rangka Beton Bertulang – Dinding Beton Busa (dibimbing oleh **Muhammad Wihardi Tjaronge** dan **Muhammad Akbar Caronge**)

Secara umum bangunan dapat digolongkan menjadi *Engineering building* dan *Non-engineering building*. *Non-engineering building* merupakan bangunan sederhana seperti rumah tinggal yang tidak dilakukan perhitungan struktur. *Non-engineering building* sangat rentan terhadap beban lateral seperti gempa bumi yang dapat menyebabkan keruntuhan. Maka dari itu dilakukan penelitian berupa uji laboratorium dan uji numerik untuk rangka beton bertulang yang terisi dinding busa. Pada penelitian ini digunakan dua benda uji yaitu rangka kosong dan rangka beton bertulang terisi dinding beton busa. Pada uji laboratorium dianalisis dengan cara uji beban siklik sedangkan pada uji numerik benda uji pertama dibuat model open frame dan yang kedua dinding pengisi dibuat sebagai *equivalent diagonal strut*. Kedua model ini dianalisis dengan menggunakan bantuan aplikasi SAP 2000 versi 22 dengan mengaplikasikan beban dorong (*Pushover*). Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan pada uji laboratorium dan uji numerik. Maka dari itu diperlukan nilai koreksi untuk hasil uji numerik agar mendekati nilai hasil uji numerik.

Kata kunci : *Foam Concrete, Beban Siklik, Pushover, Diagonal Equivalent Strut*



ABSTRACT

Reski Ainun Bahri. Laboratory Testing and Numerical Analysis on Reinforced Concrete Frames with Prefabricated Cellular Lightweight Concrete (supervised by **Muhammad Wihardi Tjaronge** dan **Muhammad Akbar Caronge**)

In general buildings can be classified into Engineering buildings and Non-engineering buildings. Non-engineering building is a simple building such as a residential house that does not carry out structural calculations. Non-engineering buildings are very susceptible to lateral loads such as earthquakes which can cause collapse. Therefore, it is necessary to conduct research in the form of laboratory tests and numerical tests on reinforced concrete frames filled with foam concrete against the lateral loads. In this study, two test objects were used, namely an empty reinforced concrete frame and a reinforced concrete frame filled with foam concrete. In the laboratory test, the cyclic load test was carried out using the displacement control method, while in the numerical test the first test object was made an open frame model and the second infill wall was made as an equivalent diagonal strut. Both of these models were analyzed using the SAP 2000 application version 22 by applying pushovers. The results of numerical analysis on reinforced concrete against cyclic loads show that the curves of the nonlinear analysis results when compared with the test results are not the same. Due to the plasticity of concrete it is difficult to model. Therefore, a correction factor value is needed for the numerical test results to approach the value of the numerical test results.

Keywords : *Foam Concrete, Cyclic Load, Pushover, Diagonal Equivalent Strut*



ABSTRACT

Reski Ainun Bahri. Laboratory Testing and Numerical Analysis on Reinforced Concrete Frames with Prefabricated Cellular Lightweight Concrete (supervised by **Muhammad Wihardi Tjaronge** dan **Muhammad Akbar Caronge**)

In general buildings can be classified into Engineering buildings and Non-engineering buildings. Non-engineering building is a simple building such as a residential house that does not carry out structural calculations. Non-engineering buildings are very susceptible to lateral loads such as earthquakes which can cause collapse. Therefore, it is necessary to conduct research in the form of laboratory tests and numerical tests on reinforced concrete frames filled with foam concrete against the lateral loads. In this study, two test objects were used, namely an empty reinforced concrete frame and a reinforced concrete frame filled with foam concrete. In the laboratory test, the cyclic load test was carried out using the displacement control method, while in the numerical test the first test object was made an open frame model and the second infill wall was made as an equivalent diagonal strut. Both of these models were analyzed using the SAP 2000 application version 22 by applying pushovers. The results of numerical analysis on reinforced concrete against cyclic loads show that the curves of the nonlinear analysis results when compared with the test results are not the same. Due to the plasticity of concrete it is difficult to model. Therefore, a correction factor value is needed for the numerical test results to approach the value of the numerical test results.

Keywords : *Foam Concrete, Cyclic Load, Pushover, Diagonal Equivalent Strut*



ABSTRACT

Reski Ainun Bahri. Laboratory Testing and Numerical Analysis on Reinforced Concrete Frames with Prefabricated Cellular Lightweight Concrete (supervised by **Muhammad Wihardi Tjaronge** dan **Muhammad Akbar Caronge**)

In general buildings can be classified into Engineering buildings and Non-engineering buildings. Non-engineering building is a simple building such as a residential house that does not carry out structural calculations. Non-engineering buildings are very susceptible to lateral loads such as earthquakes which can cause collapse. Therefore, it is necessary to conduct research in the form of laboratory tests and numerical tests on reinforced concrete frames filled with foam concrete against the lateral loads. In this study, two test objects were used, namely an empty reinforced concrete frame and a reinforced concrete frame filled with foam concrete. In the laboratory test, the cyclic load test was carried out using the displacement control method, while in the numerical test the first test object was made an open frame model and the second infill wall was made as an equivalent diagonal strut. Both of these models were analyzed using the SAP 2000 application version 22 by applying pushovers. The results of numerical analysis on reinforced concrete against cyclic loads show that the curves of the nonlinear analysis results when compared with the test results are not the same. Due to the plasticity of concrete it is difficult to model. Therefore, a correction factor value is needed for the numerical test results to approach the value of the numerical test results.

Keywords : *Foam Concrete, Cyclic Load, Pushover, Diagonal Equivalent Strut*



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	5
D. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Penelitian Sebelumnya	7
B. Gempa Bumi	9
C. Pengaruh Gempa pada <i>Non Engineering Building</i>	11
D. Klasifikasi Kerusakan Bangunan	13
E. Dinding Beton Busa	16
F. Uji Beban Siklik	22
G. Analisis <i>Non Linier Pushover</i>	24
H. Level Kinerja Struktur Bangunan	25
I. <i>Equivalent Diagonal Strut</i>	29



BAB III METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	33
B. Alat dan Bahan Penelitian	33
C. Desain Benda Uji	35
D. Pelaksanaan Penelitian	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Material.....	50
B. Hasil pengujian rangka beton bertulang.....	51
C. Analisis Pushover untuk Struktur Rumah Tinggal.....	58

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	66
B. Saran	67

DAFTAR PUSTAKA	68
-----------------------------	-----------



DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
2.1	Klasifikasi Kerusakan Bangunan..... 15
2.2	Batas Simpangan Level Kinerja Struktur 27
2.3	Batasan Deformasi untuk Berbagai Level Kinerja Struktur 28
3.1	Dimensi Penampang..... 36
3.2	Penulangan Benda Uji 37
4.1	Nilai Kontur Tegangan 57
4.2	Nilai <i>performance point</i> 60
4.3	Kontrol kinerja struktur (<i>Performance Level</i>) 61



DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
2.1	Klasifikasi Kerusakan Bangunan..... 15
2.2	Batas Simpangan Level Kinerja Struktur 27
2.3	Batasan Deformasi untuk Berbagai Level Kinerja Struktur 28
3.1	Dimensi Penampang..... 36
3.2	Penulangan Benda Uji 37
4.1	Nilai Kontur Tegangan 57
4.2	Nilai <i>performance point</i> 60
4.3	Kontrol kinerja struktur (<i>Performance Level</i>) 61



DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
2.1	Klasifikasi Kerusakan Bangunan..... 15
2.2	Batas Simpangan Level Kinerja Struktur 27
2.3	Batasan Deformasi untuk Berbagai Level Kinerja Struktur 28
3.1	Dimensi Penampang..... 36
3.2	Penulangan Benda Uji 37
4.1	Nilai Kontur Tegangan 57
4.2	Nilai <i>performance point</i> 60
4.3	Kontrol kinerja struktur (<i>Performance Level</i>) 61



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1.1 Kerusakan Struktur pada Rumah Tinggal	3
2.1 Peta Lempengan Tektonik Indonesia.....	11
2.2 Kerusakan <i>non-engineering building</i> akibat gempa	13
2.3 Kerusakan akibat gempa bumi	16
2.4 Analisa <i>Pushover</i>	25
2.5 Simpangan pada Atap dan Rasio Simpangan pada Atap.....	27
2.6 Deformasi – Gaya.....	29
2.7 <i>Equivalent Diagonal Strut</i>	30
3.1 Panel pracetak beton busa	34
3.2 Rangka beton bertulang kosong	35
3.3 Rangka beton bertulang terisi dinding panel pracetak beton busa	36
3.4 Permodelan Rangka beton bertulang kosong	37
3.5 Permodelan Rangka beton bertulang terisi dinding beton busa.....	38
3.6 Denah Rumah Tinggal	38
3.7 Permodelan Rumah Tinggal Rangka Beton Bertulang Kosong	38
3.8 Permodelan Rumat Tinggal Rangka Beton Bertulang dinding busa	38
3.9 Diagram Alir Penelitian	41
3.10 Setting Up Benda Uji Rangka Beton Bertulang kosong	44
3.11 Setting Up Benda Uji Rangka Beton Bertulang terisi beton busa	45
4.1 Hubungan Beban dan Lendutan Uji Eksperimen Benda Uji RC 1 ...	52
4.2 Hubungan Beban dan Lendutan Uji Eksperimen Benda Uji RC 2 ...	52
4.3 Peningkatan Beban Benda Uji dengan Analisis Eksperimen	53
4.4 Hubungan Beban dan Lendutan Analisis Numerik Benda Uji RC 1.	54
4.5 Hubungan Beban dan Lendutan Analisis Numerik Benda Uji RC 2.	54
4.6 Peningkatan Beban Benda Uji dengan Analisis Numerik.....	56
4.7 Kontur Tegangan Benda Uji RC 1.....	57
4.8 Kontur Tegangan Benda Uji RC 2.....	58
4.9 Kurva <i>Pushover</i> arah X.....	59



4.10 Kurva <i>Pushover</i> arah Y	59
4.11 Sendi Plasti pada model Struktur RC 1 arah X	61
4.12 Sendi Plasti pada model Struktur RC 1 arah Y	63
4.13 Sendi Plasti pada model Struktur RC 2 arah X	64
4.14 Sendi Plasti pada model Struktur RC 2 arah Y	65



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1.1	Kerusakan Struktur pada Rumah Tinggal 3
2.1	Peta Lempengan Tektonik Indonesia..... 11
2.2	Kerusakan <i>non-engineering building</i> akibat gempa 13
2.3	Kerusakan akibat gempa bumi 16
2.4	Analisa <i>Pushover</i> 25
2.5	Simpangan pada Atap dan Rasio Simpangan pada Atap..... 27
2.6	Deformasi – Gaya 29
2.7	<i>Equivalent Diagonal Strut</i> 30
3.1	Panel pracetak beton busa 34
3.2	Rangka beton bertulang kosong 35
3.3	Rangka beton bertulang terisi dinding panel pracetak beton busa 36
3.4	Permodelan Rangka beton bertulang kosong 37
3.5	Permodelan Rangka beton bertulang terisi dinding beton busa..... 38
3.6	Denah Rumah Tinggal 38
3.7	Permodelan Rumah Tinggal Rangka Beton Bertulang Kosong 38
3.8	Permodelan Rumat Tinggal Rangka Beton Bertulang dinding busa 38
3.9	Diagram Alir Penelitian 41
3.10	Setting Up Benda Uji Rangka Beton Bertulang kosong 44
3.11	Setting Up Benda Uji Rangka Beton Bertulang terisi beton busa 45
4.1	Hubungan Beban dan Lendutan Uji Eksperimen Benda Uji RC 1 ... 52
4.2	Hubungan Beban dan Lendutan Uji Eksperimen Benda Uji RC 2 ... 52
4.3	Peningkatan Beban Benda Uji dengan Analisis Eksperimen 53
4.4	Hubungan Beban dan Lendutan Analisis Numerik Benda Uji RC 1. 54
4.5	Hubungan Beban dan Lendutan Analisis Numerik Benda Uji RC 2. 54
4.6	Peningkatan Beban Benda Uji dengan Analisis Numerik..... 56
4.7	Kontur Tegangan Benda Uji RC 1..... 57
4.8	Kontur Tegangan Benda Uji RC 2..... 58
4.9	Kurva <i>Pushover</i> arah X..... 59



4.10 Kurva <i>Pushover</i> arah Y	59
4.11 Sendi Plasti pada model Struktur RC 1 arah X	61
4.12 Sendi Plasti pada model Struktur RC 1 arah Y	63
4.13 Sendi Plasti pada model Struktur RC 2 arah X	64
4.14 Sendi Plasti pada model Struktur RC 2 arah Y	65



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1.1 Kerusakan Struktur pada Rumah Tinggal	3
2.1 Peta Lempengan Tektonik Indonesia.....	11
2.2 Kerusakan <i>non-engineering building</i> akibat gempa	13
2.3 Kerusakan akibat gempa bumi	16
2.4 Analisa <i>Pushover</i>	25
2.5 Simpangan pada Atap dan Rasio Simpangan pada Atap.....	27
2.6 Deformasi – Gaya.....	29
2.7 <i>Equivalent Diagonal Strut</i>	30
3.1 Panel pracetak beton busa	34
3.2 Rangka beton bertulang kosong	35
3.3 Rangka beton bertulang terisi dinding panel pracetak beton busa	36
3.4 Permodelan Rangka beton bertulang kosong	37
3.5 Permodelan Rangka beton bertulang terisi dinding beton busa.....	38
3.6 Denah Rumah Tinggal	38
3.7 Permodelan Rumah Tinggal Rangka Beton Bertulang Kosong	38
3.8 Permodelan Rumat Tinggal Rangka Beton Bertulang dinding busa	38
3.9 Diagram Alir Penelitian	41
3.10 Setting Up Benda Uji Rangka Beton Bertulang kosong	44
3.11 Setting Up Benda Uji Rangka Beton Bertulang terisi beton busa	45
4.1 Hubungan Beban dan Lendutan Uji Eksperimen Benda Uji RC 1 ...	52
4.2 Hubungan Beban dan Lendutan Uji Eksperimen Benda Uji RC 2 ...	52
4.3 Peningkatan Beban Benda Uji dengan Analisis Eksperimen	53
4.4 Hubungan Beban dan Lendutan Analisis Numerik Benda Uji RC 1.	54
4.5 Hubungan Beban dan Lendutan Analisis Numerik Benda Uji RC 2.	54
4.6 Peningkatan Beban Benda Uji dengan Analisis Numerik.....	56
4.7 Kontur Tegangan Benda Uji RC 1.....	57
4.8 Kontur Tegangan Benda Uji RC 2.....	58
4.9 Kurva <i>Pushover</i> arah X.....	59



4.10 Kurva <i>Pushover</i> arah Y	59
4.11 Sendi Plasti pada model Struktur RC 1 arah X	61
4.12 Sendi Plasti pada model Struktur RC 1 arah Y	63
4.13 Sendi Plasti pada model Struktur RC 2 arah X	64
4.14 Sendi Plasti pada model Struktur RC 2 arah Y	65



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Pertemuan ketiga lempengan ini menyebabkan Negara Kepulauan Republik Indonesia berada di wilayah gempa yang aktif. Dalam beberapa dekade terakhir terjadi gempa besar yang melanda beberapa wilayah di Indonesia seperti di Aceh tahun 2004, Yogyakarta Tahun 2006, Padang tahun 2009, Palu tahun 2019 dan Mamuju tahun 2021. Pada beberapa peristiwa tersebut terdapat banyak bangunan yang mengalami kegagalan elemen struktur, baik akibat perencanaan maupun pelaksanaan yang kurang baik atau bahkan belum dirancang ketahanan akan gempa. Setelah beberapa peristiwa tersebut, timbul kesadaran masyarakat akan bahaya gempa dan perlunya perancangan bangunan yang tahan terhadap gempa.

Banyaknya korban jiwa akibat gempa bumi umumnya disebabkan oleh kegagalan (*failure*) pada *non engineering* building (seperti rumah tinggal) (Boen, 2001). Pada peristiwa gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 misalnya, jumlah korban meninggal dunia di lima kabupaten/kota mencapai 4.710 jiwa dengan total kerusakan rumah sebanyak 109.048 unit (rusak total), 99.009 unit (rusak berat dan sedang), dan 202.044 unit



rumah (rusak ringan). Kerusakan paling parah umumnya ditemukan pada rumah tembokan (Raharjo et al., 2007). Selain itu, gempa Sumatera Barat (7,6 SR) ditanggal 30 September 2009 juga mengakibatkan kerusakan pada lebih dari 140.000 unit rumah tinggal, baik pada rumah kayu maupun rumah tembokan (diperkuat atau tanpa perkuatan beton). (Ismail & Hakam, 2011)

Penelitian yang dilakukan (Antonius, 2007) menyimpulkan bahwa kerusakan yang terjadi pada rumah tinggal akibat gempa tersebut disebabkan terutama karena kualitas pengerjaan yang kurang baik oleh pekerja/tukang sehingga struktur yang dibangun menjadi tidak kokoh dan tidak cukup kuat ketika menahan guncangan. Selain itu, penelitian (Boen, 2010) menambahkan bahwa kerusakan juga disebabkan oleh mutu bahan yang rendah. Kerusakan-kerusakan akibat gempa tersebut pada dasarnya dapat dihindari jika rumah dibangun dengan benar mengikuti konsep desain rumah yang tahan gempa. Gambar 1.1 Menunjukkan kerusakan struktur pada rumah tinggal yang terjadi akibat gempa di Solok Sumatera Barat pada tahun 2019.



Gambar 1.1 Kerusakan Struktur pada Rumah Tinggal

Kondisi geografis negara Indonesia yang terletak pada iklim tropis dan sebagian besar dilewati wilayah gempa, maka diperlukan desain bangunan yang dirancang selain tahan gempa juga harus memiliki konsep bangunan hemat energi. Bangunan tahan gempa dapat diperoleh dari komponen bangunan yang dibuat lebih ringan. Salah satu inovasinya adalah dinding ringan yang dibuat dari beton busa. Beton busa merupakan salah satu dari bahan alternatif untuk berbagai elemen konstruksi pada bangunan gedung, utamanya yang nonstruktural, seperti untuk dinding. Meskipun masih terbatas, beton busa telah digunakan sebagai bahan untuk beton struktural.

Berdasarkan uraian di atas maka disusunlah penelitian ini dengan judul: **“Analisa Kapasitas Gempa pada Rumah Tinggal yang Terbuat dari Rangka Beton Bertulang – Dinding Beton Busa”**



B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, yakni:

1. Bagaimana hubungan beban terhadap perpindahan pada struktur rangka beton bertulang – dinding beton busa dengan uji eksperimen?
2. Bagaimana hubungan beban terhadap perpindahan pada struktur rangka beton bertulang – dinding beton busa dengan analisis numerik?
3. Bagaimana ketahanan gempa pada struktur rumah tinggal yang terbuat dari rangka beton bertulang – dinding beton busa dengan analisis numerik?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini, yakni:

1. Untuk menganalisis hubungan beban terhadap perpindahan pada struktur rangka beton bertulang – dinding beton busa dengan uji eksperimen
2. Untuk menganalisis hubungan beban terhadap perpindahan pada struktur rangka beton bertulang – dinding beton busa dengan analisis numerik
3. Untuk menganalisis ketahanan gempa pada struktur rumah tinggal yang terbuat dari rangka beton bertulang – dinding beton busa dengan analisis numerik



D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis hanya membahas tentang hubungan beban dan perpindahan pada elemen struktur.
2. Beban yang diberikan adalah beban dinamis berupa beban lateral.
3. Pada analisis numerik menggunakan analisa Beban Dorong Statik (*Static Pushover Analysis*), dengan program bantu SAP 2000 Versi 23.
4. Pada permodelan rumah tinggal, beban atap tidak diperhitungkan

E. Sistematika Penulisan

Secara umum usulan penelitian ini dibagi menjadi tiga bab yakni Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, dan Metodologi Penelitian. Berikut ini rincian secara umum mengenai isi masing – masing bab tersebut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang yang menjadi pertimbangan mendasar dalam penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Uraian tersebut berisi pola-pola kegagalan bahan pengisi sebagai dinding dengan struktur rangka beton bertulang, pengujian siklik lateral dan analisis pushover rangka beton bertulang dengan dinding beton busa.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian dan juga serangkaian pengujian tentang dinding beton busa.

BAB IV METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V METODE PENELITIAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Sebelumnya

(Turang et al., 2014) melakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar *displacement* dari model struktur portal tanpa dinding, dengan dinding penuh, dan dengan dinding tidak penuh (ada bukaan) akibat gempa yang dianalisis secara linier. Kemudian dilakukan studi kasus pada bangunan rumah sederhana dengan dan tanpa dinding. Selanjutnya level kinerja bangunan rumah tinggal sederhana tanpa dinding (*open frame*) dan rumah tinggal sederhana dengan dinding yang dianalisis menggunakan metode analisis *pushover* yang merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinding memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekakuan lateral bangunan rumah sederhana yang ditinjau. Rumah sederhana dengan dinding lebih kecil *displacementnya* dibandingkan dengan rumah sederhana tanpa dinding. Level kinerja berdasarkan ATC 40 masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* yang artinya rumah masih dalam kondisi aman dan segera dapat digunakan kembali pasca gempa. Pola

an bangunan tidak sesuai dengan prinsip kolom kuat balok lemah



Erva & Tanjung (2016) melakukan 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 push over dengan memberikan beban lateral secara monotonik. Hasil pengujian mendapatkan bahwa dinding bata memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap kekuatan lateral struktur rangka secara keseluruhan. Sebagai hasilnya didapatkan kekuatan lateral dan daktilitas dinding bata hasil model yang cukup mendekati hasil eksperimen

Umar et al., (2020) melakukan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perforasi (bukaan) pada dinding pengisi terhadap kinerja rangka beton bertulang pengisi. Satu rangka beton pengisi memiliki pintu dan jendela eksentrik (spesimen-1) sementara yang lain hanya memiliki jendela di bagian tengah (spesimen-2). Kedua benda uji tersebut diuji terhadap pembebanan siklik. Dari pengujian eksperimental, ditemukan bahwa bingkai RC pengisi yang memiliki lebih sedikit bukaan di dinding pengisi memiliki lebih banyak hambatan terhadap beban lateral, memiliki kekakuan

lebih besar dan energi yang hilang lebih tinggi dibandingkan dengan beton bertulang isi yang memiliki nilai yang signifikan ukuran bukaan pengisi.



B. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran dalam bumi yang terjadi sebagai akibat terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Gempa bumi dapat didefinisikan sebagai rambatan gelombang pada masa batuan/tanah yang berasal dari hasil pelepasan energi kinetik yang berasal dari dalam bumi. Sumber energi yang dilepaskan dapat berasal dari hasil tumbukan lempeng, letusan gunung api, atau longsoran masa batuan/tanah. Hampir seluruh kejadian gempa berkaitan dengan suatu patahan, yaitu satu tahapan deformasi batuan atau aktivitas tektonik dan dikenal sebagai gempa tektonik. Sebaran pusat-pusat gempa (epicenter) di dunia tersebar di sepanjang batas-batas lempeng (divergent, convergent maupun transform), oleh karena itu terjadinya gempa bumi sangat berkaitan dengan teori tektonik lempeng (Noor, 2006).

Pada tahun 1987 di Jerman, R. Hoernes mengemukakan pembagian macam-macam gempa bumi yang sampai sekarang masih berlaku yaitu :

1. Gempa bumi vulkanik (gunung api)

Gempa bumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magma, yang biasa terjadi sebelum gunung api meletus. Apabila keaktifannya semakin tinggi maka akan menyebabkan timbulnya ledakan yang juga akan

menyebabkan terjadinya gempa bumi. Gempa bumi tersebut hanya terasa di sekitar gunung api tersebut.



2. Gempa bumi tektonik

Gempa bumi ini disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik, yaitu pergeseran lempeng-lempeng tektonik secara mendadak yang mempunyai kekuatan dari yang sangat kecil hingga yang sangat besar. Gempa bumi ini banyak menimbulkan kerusakan atau bencana alam di bumi, getaran gempa bumi yang kuat mampu menjalar keseluruh bagian bumi.

3. Gempa bumi tumbukan

Gempa bumi ini diakibatkan oleh tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke bumi, jenis gempa bumi ini jarang sekali terjadi.

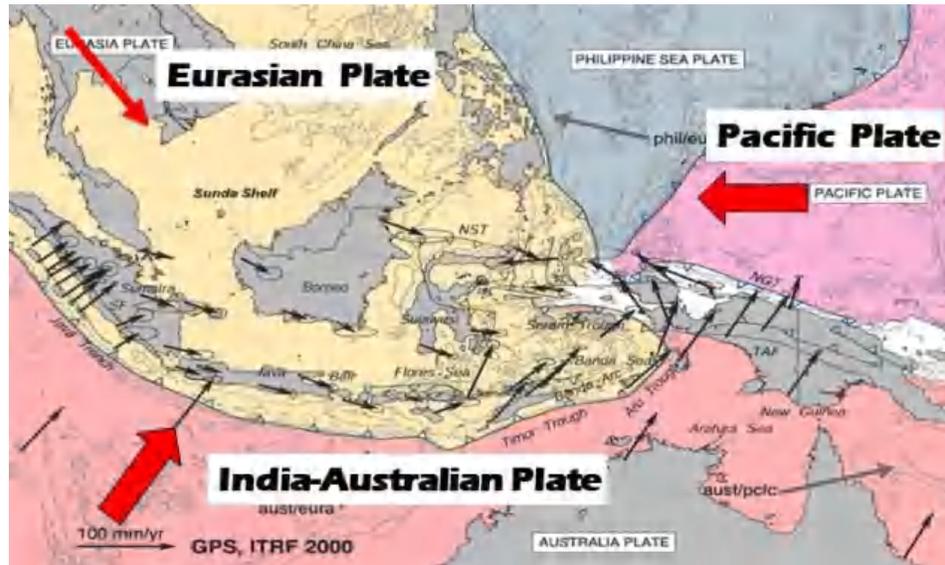
4. Gempa bumi runtuh

Gempa bumi ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun pada daerah pertambangan, gempa bumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

5. Gempa bumi buatan

Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas dari manusia, seperti peledakan dinamit, nuklir atau beban yang dipukulkan ke permukaan bumi.





Gambar 2.1 Peta Lempengan Tektonik Indonesia

Seperti yang terlihat pada gambar 2.1 Indonesia terletak di pertemuan 3 lempeng, yaitu :

1. Lempeng Indo-Australia
2. Lempeng Pasifik
3. Lempeng Eurasia

Sehingga menyebabkan Indonesia menjadi negara yang rawan gempa karena dilalui oleh jalur gempa tersebut.

C. Pengaruh Gempa terhadap *Non Engineering Building*

Bencana gempa dapat menyebabkan banyak bangunan rusak dan juga menyebabkan keruntuhan. Setelah terjadi gempa, banyak bangunan rusak tersebut dirubuhkan atas saran dari pakar, konsultan maupun



pihak pemangku kepentingan, sementara sebenarnya bangunan tersebut masih bisa diperbaiki dan dilakukan perkuatan sehingga bangunan tersebut dapat digunakan kembali. Memberi saran untuk merubuhkan bangunan yang rusak setelah gempa merupakan keputusan yang mudah, tetapi tidak didukung oleh data yang memadai. Sampai saat ini Indonesia belum punya standar dalam melakukan asesmen kerusakan serta metoda perbaikan dan perkuatan bangunan yang rusak pasca gempa. Keuntungan utama melakukan perbaikan dan perkuatan bangunan yang rusak pasca gempa akan dapat menghemat waktu dan biaya (Febrin dkk, 2011, 2014).

Secara umum, bangunan teknik sipil dapat dikelompokkan kedalam bangunan *nonengineered building* dan *engineered building*. *Non engineered building* merupakan bangunan sederhana seperti rumah masyarakat yang tidak dilakukan perhitungan struktur sementara *engineered building* merupakan bangunan yang direncanakan dan dilakukan perhitungan struktur dengan baik oleh konsultan atau ahli struktur . Akibat gempa Sumatera Barat tahun 2009 dan Gempa Palu tahun 2018 beberapa tahun lalu, banyak bangunan yang rusak, baik *non engineered building* maupun *engineered building*. Kerusakan *non-engineering building* akibat gempa dapat dilihat pada gambar 2.2.





Gambar 2.2 Kerusakan *non-engineering building* akibat gempa

D. Klasifikasi Kerusakan Bangunan

FEMA 302 bangunan dapat dibagi menjadi tiga kelompok bangunan berikut ini. (*The Federal Emergency Management Agency, 1997*).

1. Kelompok bangunan III, adalah bangunan-bangunan fasilitas penting yang sangat di butuhkan pada saat darurat sesaat setelah terjadinya gempa atau bangunan-bangunan yang berisi bahan-bahan berbahaya dengan jumlah yang sangat besar. Misalnya bangunan yang digunakan untuk pemadam kebakaran, kantor polisi, rumah sakit, pusat pembangkit listrik dll. Tingkat kinerja bangunan-bangunan pada kelompok III ini harus tetap beroperasi secara penuh atau full operasional setelah terjadi gempa, yaitu tidak ada kerusakan pada struktur, mekanikal, elektrikal, serta arsitektural bangunan.

2. Kelompok Bangunan II, adalah bangunan-bangunan fasilitas umum dengan jumlah orang yang beraktifitas banyak. Misalnya Bangunan untuk pendidikan, atau bangunan- bangunan dengan jumlah orang yang



beraktivitas didalamnya lebih dari 300 orang. Tingkat kinerja bangunanbangunan kelompok II ini setelah terjadi gempa harus bias tetap beroperasi walaupun tidak secara penuh. Pada tingkat ini boleh rusak pada bagian elektrik, mekanikal, serta arsitektural mengalami kerusakan ringan dan masih aman untuk di huni.

3. Kelompok bangunan I, adalah bangunan-bangunan yang tidak termasuk dalam kelompok III dan II yang bisa mempunyai respon plastis besar akibat gempa yang terjadi. Tingkat kinerja bangunan-bangunan ini pada pasca gempa dibagi menjadi dua tingkat kinerja yaitu tingkat keamanan penghuni atau life safety dan tingkat pencegahan keruntuhan atau near collapse yang kadang disebut juga dengan collapse prevention. Untuk tingkat kinerja keamanan penghuni, kondisi struktur, mekanikal, elektrik dan arsitektural bisa mengalami kerusakan sedang sampai berat tetapi beberapa bagian tertentu tetap tidak rusak. Dengan kondisi ini maka keamanan penghuni tetap terjaga dan setelah gempa bangunan masih dapat diperbaiki walaupun kemungkinan harus dengan biaya yang tidak sedikit

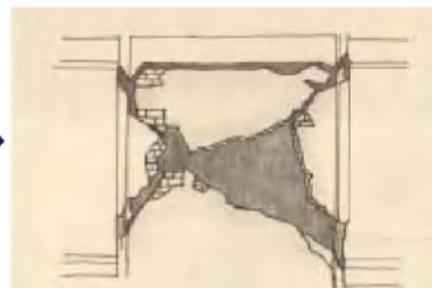
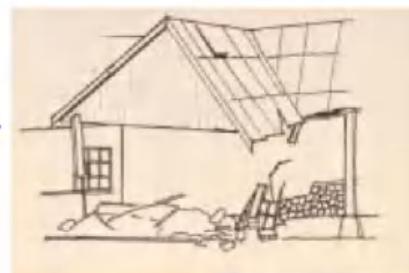


(Ismail & Hakam, 2011) mengklasifikasi tingkat kerusakan bangunan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Kerusakan Bangunan

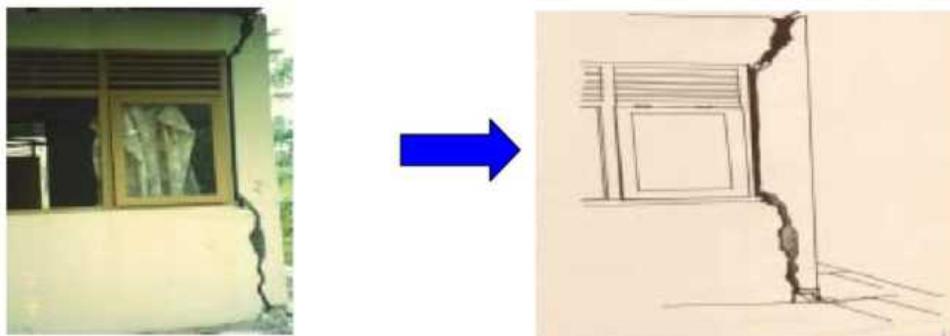
Level	Deskripsi Kerusakan
Ringan	Terdapat retak kecil (0,075 cm s/d 0,6 cm) pada dinding dengan luas cukup besar; Rusak di bagian non-struktur; Struktur utama tidak rusak; 30% bangunan rusak.
Sedang	Terdapat retak besar (>0,6 cm); Retak pada kolom dan balok; Struktur pemikul beban rusak sebagian: Sebagian dinding roboh: 30 – 70% bangunan rusak.
Berat	Dinding pemikul beban terbelah dan runtuh; Bangunan terpisah akibat kegagalan unsur pengikat; > 50% struktur utama rusak; Sebagian besar dinding roboh; > 70% bangunan rusak

Beberapa contoh kerusakan bangunan akibat gempa bumi :





Optimization Software:
www.balesio.com



Gambar 2.3 Kerusakan akibat gempa bumi

E. Dinding Beton Busa

Dinding merupakan salah satu elemen bangunan yang membatasi satu ruang dengan ruangan lainnya. Dinding memiliki fungsi sebagai pembatas ruang luar dengan ruang dalam, sebagai penahan cahaya, angin, hujan, debu dan lain-lain yang bersumber dari alam, sebagai pembatas ruang di dalam bangunan, pemisah ruang dan sebagai fungsi arsitektur tertentu.

Saat ini industri konstruksi bangunan di Indonesia masih sangat bergantung dengan bahan konstruski tradisional. Padahal berbagai bahan konstruksi alternative, utamanya untuk dinding dapat diproduksi dengan bahan yang lebih ringan dan ramah lingkungan. Sebagai daerah yang rawan terhadap bencana gempa, upaya perlu dilakukan untuk menggantikan bahan bangunan konvensional agar berat suatu konstruksi menjadi lebih ringan.

ringannya bahan untuk dinding misalnya, ukuran blok beton untuk dinding dapat dibuat lebih besar sehingga proses pelaksanaan



pekerjaan konstruksi menjadi lebih singkat dan kebutuhan tenaga kerja dapat dikurangi (ACI Committee 213, 1987; Clarke, 1993; Smith dan Andres, 1989).

Beberapa keunggulan dari panel dinding beton busa dibandingkan dengan dinding bata ringan dan bata konvensional, adalah dalam hal pemasangan yang lebih cepat, kuat geser dan kuat lentur dinding lebih meningkat karena kuat tekan sudah melebihi mutu dinding kelas-I, baik digunakan pada daerah tropis karena memiliki konduktivitas panas yang baik, durabilitas dinding lebih baik karena koefisien permeabilitas dan porositas yang relatif lebih baik. Namun karena panel dinding berukuran lebih besar dibandingkan dengan satuan bata ringan atau bata merah, sehingga dalam proses pembuatan dan pemasangannya perlu diperhatikan kemampuan lentur panel dinding tersebut. Sedangkan saat panel dinding sudah menerima beban-beban dari bagian bangunan maka perlu dipertimbangkan tentang kemampuan geser dinding terutama untuk menambah kekakuan geser terhadap beban gempa yang bekerja. Pemberian perkuatan berupa wiremesh dan serat ijuk diharapkan mampu memenuhi kebutuhan kinerja panel dinding beton busa saat proses pembuatan dan pemasangan pada bangunan.

Beton busa adalah beton ringan yang terdiri dari semen Portland atau mortar yang mempunyai bentuk struktur yang berongga yang tercipta dari

yang gelembung udara dan mempunyai berat jenis antara 400 – 1600

Beton busa mempunyai sifat-sifat antara lain sebagai bahan isolasi

dan suara serta mudah diproduksi (Mydin & Wang, 2012).



Saat ini dengan perkembangan teknologi, beton busa ringan merupakan produk inovasi untuk sektor konstruksi dengan memiliki manfaat seperti berat jenis ringan antara 1000-600 kg/m³ , tahan terhadap api, isolasi terhadap suhu dan suara dll dibandingkan dengan beton normal (Lim et al., 2013).

1. Karakteristik Beton Busa

Pada beton busa rongga-rongga yang terbentuk bertujuan untuk mengurangi massa jenis (*density*) beton. Ditinjau dari material penyusunnya, beton busa dapat dikategorikan sebagai mortar (campuran semen, pasir dan air), disebabkan beton busa tidak menggunakan agregat kasar. Udara yang tertangkap dalam beton sebagai akibat dari reaksi kimia menghasilkan berat jenis turun. Selain itu proporsi dan metode perawatan beton busa mempengaruhi sifat fisik dan mekanis dari beton busa tersebut. Sifat fisik beton busa erat kaitannya dengan berat jenis (300 – 1800 kg/m³). Ketika menentukan berat jenis, kondisi kelembaban perlu diperhatikan. Untuk mendapatkan densitas yang diinginkan pada beton busa, memvariasikan komposisi beton akan berpengaruh terhadap struktur pori/*void*. Karena struktur pori/*void* yang tidak seragam dan tidak tersebar merata pada beton dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanis yang optimum



2. Material Penyusun Beton Busa

Material-material penyusun beton busa dalam penelitian ini terdiri dari semen PCC, pasir, *foam agent* dan air.

a. Semen Portland Komposit (PCC)

Menurut SNI 15-7064-2004, semen Portland komposit terbuat dari bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak (klinker) semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen portland komposit.

b. Agregat Halus (Pasir)

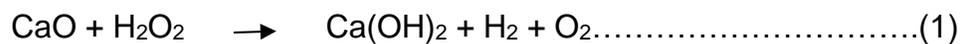
Agregat halus (pasir) adalah bahan batuan halus yang terdiri dari butiran sebesar 0,14 - 5 mm yang diperoleh dari hasil diintegrasikan batu alam (*natural sand*) atau dapat juga pemecahannya (*artificial sand*), dari kondisi pembentukan tempat terjadinya pasir alam dapat dibedakan atas : pasir galian, pasir sungai, pasir laut yaitu bukit-bukit pasir yang dibawa ke pantai. Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03, gradasi pasir dibagi



menjadi empat kelompok yaitu pasir kasar, pasir agak kasar, pasir agak halus, dan pasir halus.

c. *Foam Agent*

Foam agent merupakan salah satu bahan pembuat busa yang biasanya berasal dari bahan berbasis protein hydrolyzed atau resin sabun. *Foam agent* yang digunakan dalam campuran beton ringan adalah umumnya berasal dari larutan Hidrogen Peroksida (H_2O_2). Larutan H_2O_2 akan bereaksi dengan CaO yang terdapat dari semen akan menghasilkan gas. Jika digunakan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) gas yang dihasilkan adalah Oksigen (O_2). Reaksi kimia yang terjadi :



Foam agent adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. Dengan membuat gelembung-gelembung udara dalam adukan semen, sehingga akan timbul banyak pori-pori udara di dalam beton (Setiadji & Husin, 2008)



d. Air

Air diperlukan untuk pembuatan beton dan mortar agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan atau biasa dikenal dengan *workability*. Selain itu, air merupakan bahan utama selain dari agregat yang digunakan untuk membuat beton dan mortar. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton maupun mortar. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat dari semen.

Menurut (Brooks & Brooks, 1993), salah satu cara untuk menghasilkan beton ringan adalah dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam campuran mortar sehingga menghasilkan material yang berstruktur sel-sel, yang mengandung rongga udara dengan ukuran antara 0,1 s/d 1,0 mm dan tersebar merata sehingga menjadikan sifat beton yang lebih baik untuk menghambat panas dan lebih kedap suara. ada dua metode dasar yang dapat ditempuh untuk menghasilkan gelembung-gelembung gas/udara

beton yaitu sebagai berikut:

1. *air entrained concrete*, dibuat dengan memasukkan suatu reaksi kimia dalam campuran untuk gas/udara kedalam mortar basah, sehingga ketika bercampur



menghasilkan gelembung-gelembung gas/udara dalam jumlah yang banyak. Cara yang sering digunakan adalah dengan menambahkan bubuk aluminium kira-kira 0,2% dari berat semen ke dalam campuran.

2. *Foamed concrete*, dibuat dengan menambahkan *foam agent* (cairan busa) ke dalam campuran. *Foam agent* merupakan salah satu bahan pembuat busa yang biasanya berasal dari bahan berbasis *protein hydrolyzed*. Bahan pembentuk *foam agent* dapat berupa bahan alami dan buatan. *Foam agent* dengan bahan alami berupa protein memiliki kepadatan 80 gram/liter, sedangkan bahan buatan berupa *synthetic* memiliki kepadatan 40 gram/liter. Fungsi dari *foam agent* ini adalah untuk menstabilkan gelembung udara selama pencampuran dengan cepat.

F. Uji Beban Siklik

Beban siklik merupakan beban berulang yang diterima oleh suatu struktur. Dimana kekuatan fatigue merupakan kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan fatigue akibat beban siklik dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, tingkat pembebanan, load history dan sifat material (Al-Sulayfani & Al-Tae, 2008)

Beban siklik adalah beban yang diterima oleh suatu struktur. Kegagalan juga bisa disebabkan oleh beban siklik yang terjadi, meskipun desain struktur memiliki kekuatan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan.



Kegagalan fatigue yang merupakan fenomena di mana benda uji pecah ketika mengalami beban berulang pada tegangan lebih kecil daripada kekuatan tekan maksimum dan kekuatan fatigue yang didefinisikan sebagai kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan fatigue dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, *load history* dan sifat material (ASTM E2126-02a (ASTM 2003)).

Berbagai penelitian telah dilakukan dengan pembebanan secara siklik pada dinding geser diantaranya perilaku siklik statis dari dinding geser penampang persegi panjang dan diberi perkuatan dibahas oleh (Paulay et al., 1982) Dalam konteks makalah ini, spesimen dinding menarik perhatian. Rasio tulangan horizontal (1,6%) dua kali lipat vertikal (0,8%). Spesimen dirancang tanpa tulangan batas yang kuat dan hanya dikenai beban siklik statis lateral. Gaya aksial tidak diterapkan pada spesimen ini. Respons spesimen ini didominasi oleh gaya geser. Kehilangan kekuatan yang signifikan yang berasal dari degradasi agregat interlock terjadi pada daktilitas perpindahan $\mu\Delta = 4$. Selain itu, retak diagonal yang stabil diamati dan perpindahan akibat gerakan geser menghasilkan hingga 65% dari total perpindahan.

(Salonikios et al., 1999) melakukan penyelidikan eksperimental dari

ketentuan desain EC8 untuk dinding tinggi untuk rasio panjang 1,0 . Parameter dari seri uji ini adalah rasio tulangan web, jumlah batas, dan keberadaan tulangan diagonal. Spesimen diuji sebagai



penopang. Daktilitas perpindahan hingga 5,3 diamati. Lebih lanjut, gaya geser terbukti untuk spesimen tanpa tulangan diagonal yang merupakan spesimen LSW1, LSW2, dan LSW3. Kegagalan terjadi karena kerusakan lokal seperti penumpukan beton dan rebar buckling di tepi dinding. Pengurangan rasio perkuatan vertikal dan horizontal dari 0,57% menjadi 0,28% dan perkuatan batas dari 1,7% menjadi 1,3% tidak mempengaruhi mode kegagalan maupun pergeseran yang diamati. Namun, disimpulkan bahwa kurangnya tulangan diagonal yang tertambat pada pondasi dinding mengarah pada loop histeretik dan berkurangnya disipasi energi.

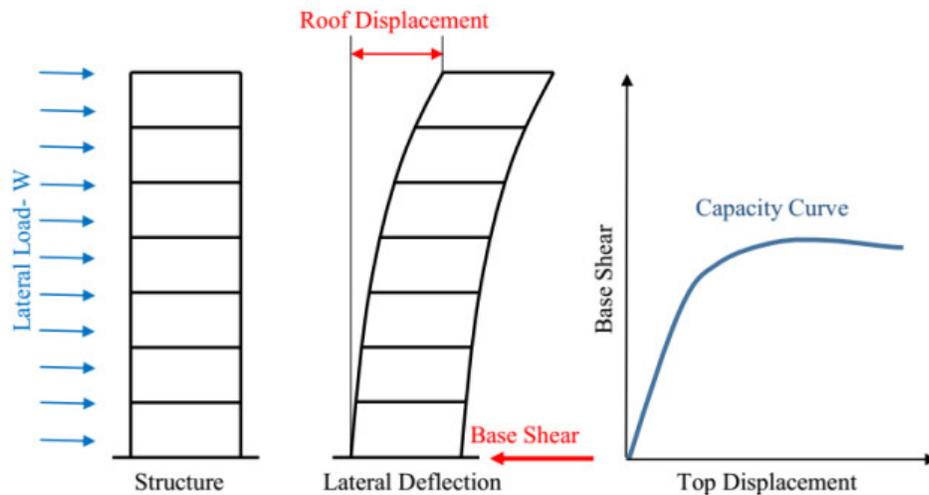
G. Analisa Non-linier *Pushover*

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa dorong statik. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap.

Tujuan dari analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi mana saja yang kritis. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa static pushover dapat memberikan hasil mencukupi (ketika



dibandingkan dengan analisa dinamik non-linear) untuk bangunan regular dan tidak tinggi. Analisa pushover menghasilkan kurva pushover seperti yang terlihat pada gambar 2.4 kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan titik acuan pada atap (D).



Gambar 2.4 Analisa *Pushover*

Pada proses pushover, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva pushover dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.



H. Level Kinerja Struktur Bangunan

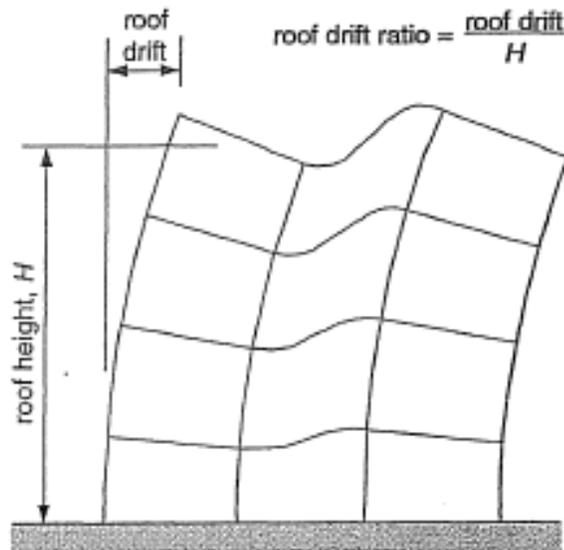
Kinerja struktur gedung (*structural performance*) pada dasarnya merupakan kombinasi dari kinerja komponen struktur dan komponen nonstruktur. Target level kinerja struktur gedung menurut FEMA 356 (2000) yang menjadi acuan dalam perencanaan berbasis kinerja terdiri dari:

1. *Operational*, bangunan tetap berfungsi dan tidak terjadi kerusakan yang berarti pada struktur dan komponen non-struktur.
2. *Immediately Occupancy* (IO), tidak terjadi kerusakan yang berarti pada struktur, komponen non-struktur masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi.
3. *Life-Safety* (LS), komponen struktur telah mengalami kerusakan dan berkurangnya kekakuan struktur, komponen non-struktur masih ada tapi tidak berfungsi lagi. Struktur tersebut dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan.
4. *Collapse Prevention* (CP), terjadi kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non-struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya telah banyak berkurang. Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan sangat mungkin terjadi.



Tabel 2.2 Batas Simpangan Level Kinerja Struktur (FEMA 356,2000)

Level Kinerja Struktur	Drfit (%)	Keterangan
<i>Immediately Occupancy</i>	1,0	<i>Transient</i>
<i>Life-Safety</i>	2,0	<i>Transient</i>
	1,0	<i>Permanent</i>
<i>Collapse Prevention</i>	4,0	<i>Transient atau Permanent</i>



Gambar 2.5 Simpangan pada Atap dan Rasio Simpangan pada Atap
(ATC-40, 1996)

Hubungan antara level kinerja struktur dengan simpangan (*drift*) pada elemen vertikal dari sistem pemikul beban lateral berupa struktur rangka beton bertulang (*concrete frames*) dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan simpangan pada struktur gedung dapat dilihat pada Gambar 2.5. Sementara itu ATC-40 (1996) memberikan batasan deformasi untuk



berbagai level kinerja struktur gedung seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3 Simpangan total maksimum didefinisikan sebagai simpangan antar tingkat pada perpindahan titik kinerja. Simpangan inelastis maksimum didefinisikan sebagai bagian dari simpangan total maksimum di bawah titik leleh.

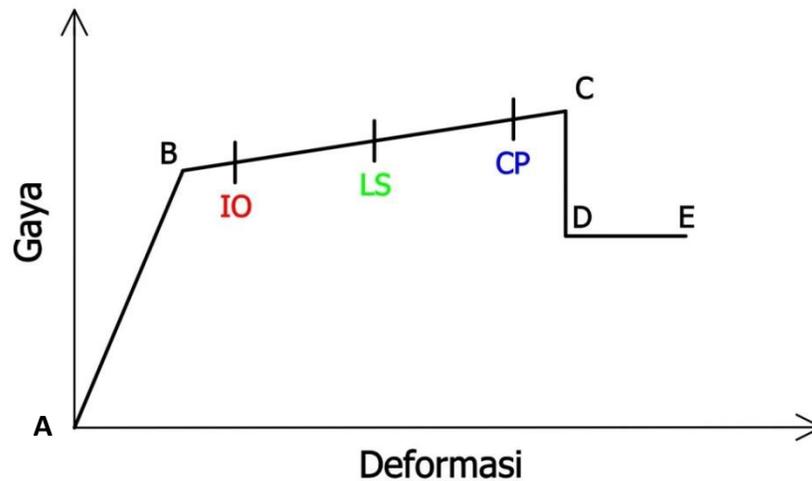
Tabel 2.3 Batasan Deformasi untuk Berbagai Level Kinerja Struktur (ATC-40, 1996)

Batas Simpangan Antar Tingkat	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediately Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Savety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Simpangan Inelastis	0,005	0,005-0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Level kinerja struktur secara kaulitatif dapat dijelaskan pada Gambar 2.6 Dalam gambar terlihat bahwa level kinerja struktur diwakili oleh suatu kurva hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan pada titik kontrol (titik berat distribusi gaya lateral). Selain itu, ditunjukkan juga bagaimana prilaku keruntuhan struktur secara menyeluruh terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut diperoleh

dari hasil analisa statik non linear atau analisis *pushover*.



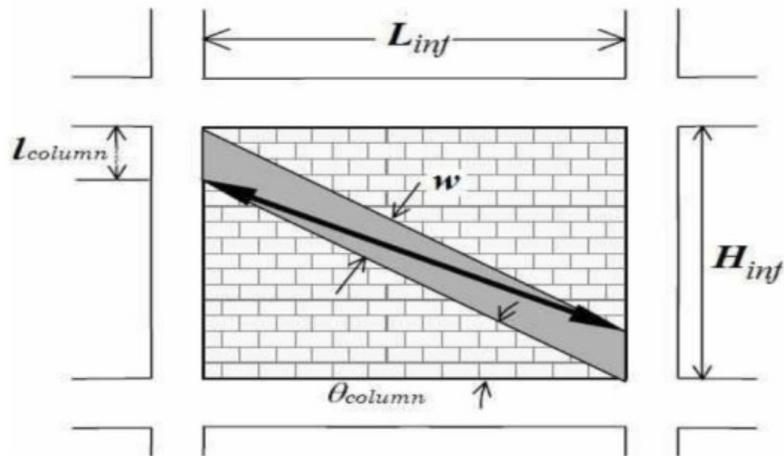


Gambar 2.6 Deformasi – Gaya

I. *Equivalent Diagonal Strut*

Kekakuan elastis dalam bidang dari pasangan bata solid yang tidak diperkuat (diberikan tulangan) sebelum retak harus diwakili dengan kompresi diagonal lebar penopang (a) seperti yang terlihat pada gambar 2.7. Diberikan oleh persamaan 1 yang tersedia dari *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) 273 penopang diagonal harus memiliki ketebalan yang sama dan modulus elastisitas panel pengisi yang diwakilinya.





Gambar 2.7 Equivalent Diagonal Strut

$$w = 0.175 (\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (1)$$

dimana

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

dan

h_{col} = Tinggi kolom antara garis tengah balok, in.

h_{inf} = Tinggi panel pengisi, in.

E_{fe} = Modulus elastisitas yang diharapkan dari rangka bahan, psi.

Modulus elastisitas yang diharapkan dari pengisi bahan, psi.

Momen inersia kolom, in⁴.



- L_{inf} = Panjang panel pengisi, in.
- r_{inf} = Panjang diagonal panel pengisi, in.
- t_{inf} = Ketebalan panel pengisi dan penyangga setara, in.
- θ = Sudut yang tangennya adalah rasio aspek tinggi terhadap panjang pengisi, radian
- λ_1 = Koefisien yang digunakan untuk menentukan ekivalen lebar strut pengisi

Beberapa penelitian yang menggantikan dinding pengisi dengan penyangga diagonal setara adalah penelitian Alessandra Fiore , Adriana Netti, (Fiore et al., 2012) Tujuan penelian ini adalah untuk menyediakan alat sederhana yang mampu mereproduksi efek pengisi umum (kekakuan) dan respon lokal (efek pada rangka) bangunan pada beban gempa. Analisis Elemen Hingga dilakukan, membandingkan hasil dengan data eksperimen, untuk mengevaluasi efek lokal pada rangka dan garis bawah pengaruh koefisien gesekan pada antarmuka rangka pengisi. Dua penopang non-paralel ditetapkan di setiap frame sesuai dengan parameter paling signifikan yang

garuhi perilaku struktur pengisi. Hasil yang diperoleh diterapkan ke n yang terisi sebagian, untuk menggarisbawahi pendekatan yang



diusulkan dan untuk membandingkan ke metode lain yang tersedia dalam literatur dan kode.

(Cavaleri & Di Trapani, 2014) juga meneliti tentang kriteria untuk pemodelan perilaku struktural pengisi berdasarkan pendekatan makromodel, yaitu pada substitusi pengisi dengan penyangga sambungan penopang diagonal. Untuk memperbesar pengetahuan eksperimental tentang perilaku siklik dari struktur rangka yang diisi dan sebagai referensi untuk mengembangkan yang disebutkan di atas strategi pemodelan, uji eksperimental pada bingkai satu lantai, ruang tunggal, terisi penuh dengan berbagai jenis pasangan bata dan mengalami beban siklik lateral dilakukan dan beberapa lainnya tersedia dari beberapa sumber. Validasi pendekatan pemodelan Pivot dilakukan dengan membandingkan eksperimental hasil dan simulasi komputer dari tes eksperimental. Dalam nilai parameter histeresis kalibrasi Hukum Pivot juga diberikan untuk tipologi pengisi batu yang terlibat dan beberapa proposal untuk korelasi antara kekuatan dan kekakuan rangka pengisi dan pengisi pasangan bata disediakan sebagai alat untuk percepatan kalibrasi model Pivot dalam aplikasi praktis.

