

TUGAS AKHIR

**HUBUNGAN BEBAN HORIZONTAL DAN
PERPINDAHAN PADA RANGKA BETON BERTULANG
YANG MENGGUNAKAN PENGAKU DAN BETON BUSA**

***CORELATION BETWEEN HORIZONTAL LOAD AND
DISPLACEMENT ON REINFORCED CONCRETE FRAME
USING STRUD AND FOAMED CONCRETE***

**ANDI MUHAMMAD YUSRIL
D011 18 1505**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**HUBUNGAN BEBAN HORIZONTAL DAN PERPINDAHAN PADA RANGKA
BETON BERTULANG YANG MENGGUNAKAN PENGAKU DAN BETON BUSA**

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI MUHAMMAD YUSRIL

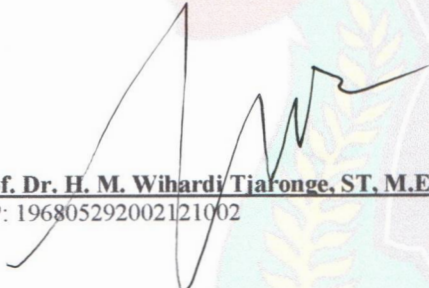
D011 18 1505

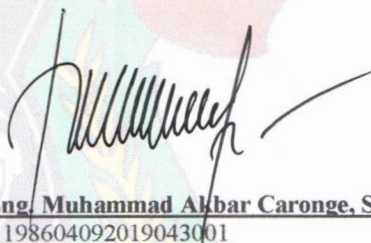
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 16 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

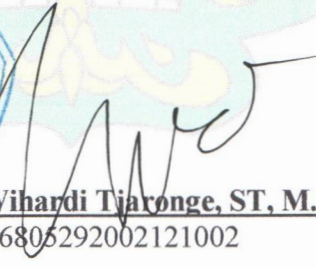
Pembimbing II,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002


Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng
NIP: 198604092019043001

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 Andi Muhammad Yusril, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**HUBUNGAN BEBAN HORIZONTAL DAN PERPINDAHAN PADA RANGKA BETON BERTULANG YANG MENGGUNAKAN PENGAKU DAN 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 skripsi 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 skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 14 Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,



Andi Muhammad Yusril
NIM: D011 18 1505

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“HUBUNGAN BEBAN HORIZONTAL DAN PERPINDAHAN PADA RANGKA BETON BERTULANG YANG MENGGUNAKAN PENGAKU DAN BETON BUSA”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. M. Isran Ramli, ST, MT**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.**, selaku dosen/pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, 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 Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Ayah yang tercinta atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. Ibu yang telah telah mencurahkan segala kasih sayangnya, dan dukungan semasa hidupnya. Semoga Ibu bangga kepada saya.
3. Adik tercinta yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
4. Teman-teman terkasih di **Laboratorium Riset Eco Material** yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Teman-teman **asisten Laboratorium Struktur dan Bahan** yang selalu menyemangati dan membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.
6. Saudara-saudari se-**Transisi 2019** yang menemani selama masa perkuliahan hingga sampai pada tahap ini.
7. Teman-teman SMA saya, terkhusus Colo', Bayu, Aliah, Ucha, Mely, Apid, Dika, Ilda, dan Jabal yang telah menemani saya dalam suka dan duka selama SMA hingga saat ini.
8. Teman saya Rifan dan Dania yang menjadi penyemangat pada akhir perkuliahan ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 14 Agustus 2022

Penulis

ABSTRAK

Dalam kebanyakan konstruksi, dinding merupakan suatu elemen non-struktural, namun berfungsi sebagai pengaku dan pemisah antar ruang bangunan. Dinding pada konstruksi pada umumnya memanfaatkan bata merah. Penggunaan beton busa sebagai pengganti bata merah pada konstruksi dinding suatu bangunan dapat menjadi alternatif untuk membentuk struktur yang ramah lingkungan dan tahan terhadap gempa. Penggunaan beton busa sebagai alternatif pengganti bata merah pada memiliki beberapa keunggulan, yaitu memiliki berat material yang lebih ringan sehingga dapat mengurangi beban akibat gaya gravitasi yang dapat diaplikasikan dalam desain sesimik, kestabilan suhu yang lebih baik, dan ramah lingkungan.

Terdapat 2 benda uji pada penelitian ini, yaitu variasi W1, yaitu dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku, dan variasi W2, yaitu rangka beton bertulang menggunakan pengaku. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara beban terhadap perpindahan dan nilai daktilitas pada dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku dan rangka beton bertulang menggunakan pengaku. Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode secara eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Benda uji dicuring selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian, benda uji W1 mengalami beban maksimum yang lebih tinggi pada arah tekan dan tarik, dibandingkan dengan benda uji W2. Nilai daktilitas pada benda uji W1 lebih besar dibandingkan dengan benda uji W2. Penurunan nilai daktilitas diakibatkan adanya bahan pengisi pada benda uji W1.

Kata Kunci : Beton Busa, Dinding, Pengaku

ABSTRACT

In most constructions, the wall is a non-structural element, but serves as a stiffener and separator between building spaces. Walls in construction generally use red brick. The use of foam concrete as a substitute for clay brick in the construction of the walls of a building can be an alternative to form structures that are environmentally friendly and resistant to earthquakes. The use of foam concrete as an alternative to replace clay brick has several advantages, namely having a lighter material weight so that it can reduce the load due to gravity which can be applied in seismic designs, better temperature stability, and eco-friendly.

There are 2 variation objects in this study, namely the W1 variation, that is foam concrete infill walls and using sstrud, and the W2 variation, that us reinforced concrete frames using strud. The purpose of this study was to analyze the relationship between load and displacement and the value of ductility on foam concrete infill walls and using strud and reinforced concrete frames using strud. The research location was carried out at the Structure and Materials Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The method used in this research is an experimental method carried out in the laboratory. The specimens were air-cured for 28 days before testing.

Based on the test results, the specimen W1 experienced a higher maximum load in the compression and tensile directions, compared to the specimen W2. The ductility value on the W2 test object is greater than/1 with the W1 test object. The decrease that occurs is not significant so that the ductility values for the two test objects are almost the same.

Keywords: *Foam Concrete, Wall, Strud*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Penelitian Terdahulu.....	6
B. Beton.....	15
C. Beton Bertulang.....	16
D. Dinding Pengisi.....	17
E. Beton Busa.....	18
F. Daktilitas.....	21
G. Kurva <i>Equivalent Energy Elastic-Plastic (EEEEP Curve)</i>	23
H. Kegagalan Struktur Dinding Pengisi akibat Beban Gempa	25
I. Material Penyusun Beton.....	27
I.1. Semen Portland (<i>Portland Cement</i>)	27
I.1.1. Jenis-Jenis Semen.....	29
I.1.2. Tipe-Tipe Semen	30
I.2. Agregat.....	33

I.2.1. Agregat Halus	33
I.2.2. Agregat Kasar	35
I.3. Air.....	37
I.4. <i>Foam Agent</i>	38
BAB 3. METODE PENELITIAN	41
A. Prosedur Penelitian	41
B. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	42
C. Alat Dan Bahan	43
C.1. Alat Penelitian	43
C.2. Bahan Penelitian	43
D. Benda Uji.....	45
E. Karakteristik Material	48
E.1. Pasir.....	48
E.2. Beton Busa.....	48
E.3. Kuat Tarik Baja.....	49
F. Pembuatan Benda Uji.....	49
F.1. Pembuatan Panel Pracetak Beton Busa.....	50
F.2. Pembuatan Dinding.....	50
G. Setuo Peralatan Pengujian	52
H. Pengujian Benda Uji	55
I. Analisis Data.....	58
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	60
A. Karakteristik Material	60
A.1. Agregat Kasar Dan Agregat Halus.....	60
A.2. <i>Foam Agent</i>	61
B. Mix Design Beton.....	62
B.1. Beton Normal	62
B.2. Beton Busa.....	62
C. Kuat Tarik Baja Tulangan	63
D. Hasil Pengujian.....	65
D.1. Hasil Uji Slump Beton.....	65

D.2. Berat Volume Beton Busa	66
D.3. Kuat Tekan Beton Busa.....	67
D.4. Kuat Tekan Beton Normal	68
E. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan	69
E.1. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W1.....	69
E.2. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W2.....	71
E.3. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Semua Benda Uji.....	74
F. Analisis Daktilitas.....	77
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	84
A. Kesimpulan.....	84
B. Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Benda Uji SW4	8
Gambar 2. Equivalent Energy Elastic Plastic Curve	23
Gambar 3. Perilaku Beban Gempa pada Dinding	26
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian	42
Gambar 6. Material Campuran Beton	44
Gambar 7. Panel Pracetak Beton Busa	45
Gambar 8. Benda Uji W1	46
Gambar 9. Benda Uji W2	46
Gambar 10. Detail Penulangan Sloof	47
Gambar 11. Detail Penulangan Kolom	47
Gambar 12. Detail Penulangan Balok	47
Gambar 13. Detail Penulangan Pengaku	48
Gambar 14. Sketsa Setup Pengujian W1	52
Gambar 15. Sketsa Setup Pengujian W2	53
Gambar 16. Konfigurasi <i>Strain Gauge</i> Baja Benda Uji W1	54
Gambar 17. Konfigurasi <i>Strain Gauge</i> Baja Benda Uji W2	54
Gambar 18. <i>Konfigurasi Strain Gauge Beton Benda Uji W1</i>	55
Gambar 19. <i>Konfigurasi Strain Gauge Beton Benda Uji W2</i>	55
Gambar 20. <i>Cyclic Displacement Schedule (Test Method B)</i>	56
Gambar 21 Uji Slump Beton Normal	65
Gambar 22. Uji <i>Slump Flow</i> Beton Busa	66
Gambar 23. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W1	69
Gambar 24. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Rata-Rata Benda Uji W1	70
Gambar 25. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W2	72

Gambar 26. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Rata-Rata Benda Uji W2.....	73
Gambar 27. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W1 dan W2	74
Gambar 28. Perbandingan Kekuatan Benda Uji W1 dan W2	77
Gambar 29. Kurva EEEP Tekan Benda Uji W1	78
Gambar 30. Kurva EEEP Tarik Benda Uji W1	78
Gambar 31. Kurva EEEP Tekan Benda Uji W2.....	79
Gambar 32. Kurva EEEP Tarik Benda Uji W2	79
Gambar 33. Perbandingan Nilai Daktilitas Arah Tekan Dan Tarik Pada Benda Uji W1 dan W2.....	82
Gambar 34. Daktilitas Benda Uji W1 Dan W2	83

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Gradasi Pasir	34
Tabel 2. Syarat Foam Agent Dalam Pembuatan Bata Ringan	40
Tabel 3. Dimensi dan Variasi Benda Uji	45
Tabel 4. Detail Penulangan Benda Uji	47
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Pasir	48
Tabel 6. Pemeriksaan Karakteristik Beton Busa	49
Tabel 7. <i>Test Method B – Amplitudes of the Reversed Cycles</i>	57
Tabel 8. Simpangan antar tingkat izin, (Δm)	57
Tabel 9. Karakteristik Fisik Agregat Kasar Dan Agregat Halus	60
Tabel 10. Karakteristik <i>Foam Agent</i> Texafon	61
Tabel 11. Komposisi campuran beton untuk sloof, kolom, balok, dan pengaku (1 m^3)	62
Tabel 12. Komposisi campuran beton untuk beton busa	63
Tabel 13. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Untuk Kolom, Balok, Dan Pengaku	64
Tabel 14. . Hasil Uji Kuat Tarik Baja Untuk Sloof	64
Tabel 15. Berat Volume Beton Busa	67
Tabel 16. Kuat Tekan Beton Busa	67
Tabel 17. Kuat Tekan Beton Sloof	68
Tabel 18. Kuat Tekan Beton Kolom, Balok, dan Pengaku	68
Tabel 19. Selisih Kuat Tekan dan Kuat Tarik Benda Uji W1	71
Tabel 20. Selisih Kuat Tekan dan Kuat Tarik Benda Uji W2	73
Tabel 21. Kekuatan Benda Uji W1	75
Tabel 22. Kekuatan Benda Uji W1 dan W2 . Nilai Beban P_P , P_Y , dan P_U Benda Uji W1 dan W2	80
Tabel 24. Nilai Perpindahan ΔP , ΔY , dan ΔU Benda Uji W1 dan W2	80
Tabel 25 Identifikasi Syarat Asumsi Penentuan Nilai Beban Leleh	81
Tabel 26. Nilai Daktilitas Arah Tarik Dan Tekan Pada Benda Uji	

W1 dan W2	81
Tabel 27. Nilai Daktilitas Benda Uji W1 Dan W2	82

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang menjadi pertemuan beberapa lempeng tektonik, yaitu Lempeng Pasifik, Eurasia dan Indo-Australia yang memiliki gerakan tersendiri dan arah yang berbeda. Pergerakan lempeng tersebut menyebabkan terjadinya gempa bumi yang memiliki intensitas yang cukup tinggi. Gempa bumi yang terjadi menyebabkan kerugian yang besar, bukan hanya dari segi materiil, tetapi juga menyebabkan korban jiwa.

Dalam kebanyakan konstruksi, dinding merupakan suatu elemen non-struktural, namun berfungsi sebagai pengaku dan pemisah antar ruang bangunan. Dinding pada konstruksi pada umumnya memanfaatkan bata merah. Banyak kerusakan yang terjadi pada dinding akibat gempa di Indonesia dikarenakan perencanaan dan pembangunan ini pada dasarnya dilaksanakan tanpa memerhatikan ketahanannya terhadap beban gempa. Kerusakan dinding yang kerap terjadi pada konstruksi antara lain dinding yang hancur, dinding yang bergeser secara diagonal, dan dinding yang mengalami keruntuhan.

Menambahkan pengaku pada dinding dapat meningkatkan kekuatan dinding dalam menahan beban terhadap respon gempa. Pemakaian *bracing* juga dapat meningkatkan daktilitas dinding.

Salah satu alternatif dalam sistem konstruksi yang ramah lingkungan dan terjangkau yaitu penggunaan beton busa sebagai pengganti bata

merah. Penggunaan beton busa sebagai material struktur memiliki beberapa keunggulan, salah satunya yaitu berat material yang lebih ringan, sehingga dapat mengurangi beban akibat gaya gravitasi yang dapat diaplikasikan dalam desain sesimik. Selain material yang ringan, material ini memiliki kestabilan suhu yang lebih baik dan ramah lingkungan, dan juga memiliki insulasi suhu yang baik dalam mengurangi resiko terjadinya kebakaran pada material. Performa seismik dinding dengan bahan pengisi beton busa memiliki nilai daktilitas yang hampir 4 kali lebih besar dibandingkan dinding dengan bahan pengisi bata konvensional.

Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa system dinding dengan bahan pengisi beton busa, berpotensi membentuk struktur bangunan yang ramah lingkungan dan tahan terhadap gempa. Dengan latar belakang tersebut, maka disusun tugas akhir dengan judul:

**“HUBUNGAN BEBAN HORIZONTAL DAN PERPINDAHAN PADA
RANGKA BETON BERTULANG YANG MENGGUNAKAN PENGAKU
DAN BETON BUSA”.**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Bagaimana hubungan beban terhadap perpindahan pada rangka dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku pengaku terhadap rangka beton bertulang yang menggunakan pengaku?

2. Bagaimana nilai daktilitas pada rangka dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku terhadap rangka beton bertulang yang menggunakan pengaku?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

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

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan wawasan mengenai hubungan beban terhadap perpindahan pada rangka dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku terhadap rangka beton bertulang yang menggunakan pengaku

E. Batasan Masalah

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini serta menguraikan pokok bahasan di atas ditetapkan batasan-batasan 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 menggunakan pengaku dan tanpa bahan pengisi menggunakan pengaku. Dimensi kolom, balok, dan *bracing* pada struktur yang digunakan yaitu 30 cm x 10 cm, 15 cm x 15 cm, dan 10 cm x 15 cm.
3. Beton busa diproduksi dengan semen PCC (*Portland Cement Composite*), pasir, *foam agent*, dan *admixture* tipe F.
4. Pembuatan benda uji dilakukan dengan metode pengecoran di tempat untuk elemen struktur sloof, kolom, balok, dan *bracing*. Sedangkan beton busa dilakukan pengecoran dengan menggunakan panel pracetak berdimensi 0,7 m x 0,4 m x 0,08 m yang akan digunakan sebagai bahan pengisi dinding.
5. Pengujian sampel dilakukan dengan metode pembebanan siklik lateral.

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah penulisan tugas akhir, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan dapat diurutkan yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini, pokok-pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori penting yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan dan dijadikan sebagai landasan atau acuan dalam melakukan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk flowchart penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari laboratorium.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, menyajikan hasil analisis data yang diperoleh dari pengujian serta pembahasan mengenai pengujian yang telah dilaksanakan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Guohua Sun (2021)**, menyajikan komponen penahan beban seismik inovatif dari panel geser ulet bresing dengan kemampuan yang berpusat pada diri sendiri. Kabel tegangan khusus nikel-titanium (NiTi) membentuk paduan memori dipasang di sepanjang segmen miring digunakan untuk memfasilitasi kemampuan pemusatan diri. Panel geser tipis dengan cubitan histeris fitur diadopsi untuk mengurangi jumlah kabel, dan memberikan daya dukung lateral yang cukup dan kekakuan lateral. Sebanyak delapan spesimen pada uji skala sepertiga dilakukan untuk menyelidiki histeris perilaku dan kapasitas pemfokusan ulang di bawah pembebanan siklik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa adopsi kabel dalam komponen tradisional mewujudkan kemampuan pemusatan diri yang diinginkan dan dipelihara secara moderat kapasitas disipasi energi dengan rasio redaman viskos ekuivalen pada kisaran 0,124-0,158. Dibandingkan dengan panel geser padat, penggunaan panel geser berlubang memperoleh loop histeris yang sangat ketat dan mengurangi jumlah kabel SMA untuk memberikan kemampuan pemutakhiran. Tekuk dan kerusakan lokal adalah terutama berfokus pada panel geser. Spesimen *self-centering* digunakan sebagai elemen sekering yang dapat diganti mewujudkan kemampuan perbaikan pasca gempa.

Kemiringan medan tegangan pada panel geser padat adalah dari 18° hingga $33,5^\circ$, yang kira-kira konsisten dengan arah diagonal utama yang diamati fenomena eksperimental. Selain itu, flensa panel geser di sekitarnya tidak memainkan peran penting pada peningkatan kekuatan lateral. Rerata faktor kekuatan berlebih dari spesimen BDSP yang berpusat pada diri sendiri adalah 1,49.

Pouya Seifi dkk (2019), melakukan serangkaian tes eksperimental kemudian dilakukan untuk menyelidiki perilaku seismik dalam pesawat dari perincian yang ada dan yang baru direkomendasikan untuk sambungan panel dinding beton pracetak, dimana pengujian ini terdapat tujuh pengujian dalam bidang siklik terbalik, yaitu panel dinding beton pracetak skala penuh yang memiliki sambungan saluran logam grouting dari dinding ke pondasi. Dinding dengan perincian koneksi terbukti berfungsi dengan baik saat diberi beban aksial rendah, tetapi kinerja kurang memuaskan karena beban aksial dan panjang panel dinding meningkat. Penambahan tulangan pengekan melintang di sekitar saluran logam yang di-grout diamati untuk mencegah respons sambungan getas dan untuk meningkatkan kekokohan sambungan tulangan.

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh **Wenwu Lan dkk (2018)**, yaitu Penguat internal prategang berbentuk X diteliti dalam penelitian ini dan ditemukan bahwa penguat internal secara signifikan menunda retak dinding baja-beton. Beban lateral yang berhubungan

dengan retakan pertama meningkat paling banyak sebesar 42% sedangkan perpindahan paling meningkat sebesar 86%. Dari hasil tersebut, diketahui bahwa jenis *bracing* prategang yang digunakan meningkatkan kekuatan lateral, kapasitas disipasi energy dinding dan mengurangi kekuatan degradasi.

Bracing prategang horizontal seperti yang diadopsi dalam SW5, didapatkan dapat mengurangi beban lateral dan perpindahan yang sesuai dengan retak pertama pada spesimen.

Dibandingkan dengan beban dan perpindahan, penempatan hasil pertama dan kapasitas deformasi spesimen kurang terpengaruh oleh *bracing* prategang. Didapatkan hasil pertama perpindahan lateral meningkat sebesar 27% oleh bresing prategang berbentuk X pada benda uji SW4, sedangkan kapasitas deformasi pada dasarnya serupa untuk semua spesimen. Komponen deformasi dinding juga ditemukan tidak berpengaruh signifikan terhadap bracing internal. Komponen deformasi geser adalah dari 10% sampai 20% untuk semua spesimen.



Gambar 1. Benda Uji SW4

Penelitian **Matthew J.Gombeda dkk (2020)** ini melakukan pengembangan dan evaluasi eksperimental sistem pengikat geser ulet baru untuk panel dinding berinsulasi beton pracetak yang mengalami tuntutan lentur besar dari ledakan atau pembebanan tumbukan. Ikatan mengembangkan mekanisme engsel plastis yang stabil dengan desain berkaki banyak, memungkinkan deformasi geser antar-panjang yang lebih besar tanpa mengorbankan integritas struktural. Kinerja ikatan ini dinilai dalam hubungannya dengan dua jenis insulasi kaku, ekstrusi (XPS) dan polistiren diperluas (EPS), yang biasanya digunakan untuk panel fasad beton pracetak berinsulasi. Spesimen uji geser dengan baik lapisan insulasi terikat atau tidak terikat keduanya dibuat untuk menentukan kontribusi individu dari ikatan geser dan insulasi terhadap kekuatan geser total. Prosedur uji eksperimental geser ganda diusulkan untuk secara mekanis meniru perilaku ikatan geser yang diinduksi lentur pada panel dinding berinsulasi. Serangkaian uji geser dilakukan, pertama di bawah pembebanan semi-statis dan kemudian pada laju regangan yang lebih tinggi untuk mengukur ketahanan geser panel yang dikenai pembebanan ledakan. Perbandingan kualitatif dibuat antara mekanisme kegagalan insulasi XPS dan EPS, dan pengikat baru mampu mencapai tingkat daktilitas deformasi geser yang tinggi dan andal dibandingkan dengan pengikat lain yang tersedia secara komersial. Kurva tulang punggung tahanan geser yang diperoleh dari

penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan untuk penyempurnaan desain dan analisis panel dinding berinsulasi beton pracetak untuk menahan beban ledakan.

Hadis Mohammad Moradi dkk (2020) menyajikan studi eksperimental dan numerik tentang penggunaan panel geser, yang digunakan sebagai sistem penahan beban lateral pada rangka baja bertingkat dan dirancang berdasarkan pendekatan balok penghubung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencapai sistem bantalan beban lateral yang andal yang menghilangkan masalah penggunaan kolom besar dalam sistem dinding geser baja dan mengubah bentuk loop histeresis dari bentuk S ke bentuk Spindle. Untuk memeriksa perangkat yang dimaksud, empat spesimen skala satu lantai (tiga dengan panel geser dan satu rangka kosong) dengan panel geser yang terhubung ke rangka balok saja diuji di bawah beban lateral siklik. Dua kotak digunakan untuk memasang panel geser ke balok rangka pada dua spesimen untuk memperpendek panjang panel geser dan mendekati perilakunya dengan balok penghubung geser dan membuat sistem dapat diperbaiki. Berdasarkan hasil eksperimen dan numerik, bentuk histeresis loop dari sistem yang diusulkan adalah bentuk spindle, dan tidak terjadi pinching pada sistem ini. Dalam Spesimen S1, S2 dan S3 anggota rangka (balok dan kolom) tetap elastis selama pembebanan siklik dan elemen disipasi energi primer adalah leleh panel geser link-beam. Semua spesimen menunjukkan

disipasi energi yang memuaskan. Mode kegagalan dominan yang diamati meliputi:

i: hasil panel geser di tengah bentang,

ii: retak terjadi pada sambungan las, dan

iii: robeknya pelat yang menghubungkan balok rangka dengan kolom.

Hasil analisis elemen hingga sesuai dengan hasil eksperimen. Hasil analisis menunjukkan bahwa kekuatan maksimum dan kapasitas disipasi energi secara signifikan lebih baik untuk panel geser dengan rasio tinggi terhadap tebal yang lebih rendah dan rasio bentang terhadap tinggi yang besar.

Dalam penelitian lainnya, **Matthew J. Gombeda dkk (2019)** menyajikan evaluasi eksperimental respons lentur panel dinding beton pracetak berinsulasi sebagian yang dibuat dengan berbagai tata letak ikatan geser ulet. Hubungan satu arah, di luar bidang beban-perpindahan diperoleh untuk setiap panel dengan pengujian lentur pseudo-statis eksperimental menggunakan peralatan kantong air. Spesimen panel yang dibangun dengan beberapa tata letak pengikat diperiksa untuk potensi peningkatan kinerja lentur relatif terhadap metode konstruksi saat ini. Pengaruh pola ikatan geser, jenis insulasi, dan antarmuka insulasi beton diperiksa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menempatkan pengikat tambahan di daerah dengan tuntutan geser yang lebih tinggi dapat meningkatkan kapasitas lentur dan daktilitas keseluruhan panel. Hasil pengujian menunjukkan

kesesuaian yang baik dengan prediksi numerik komposit parsial dalam hal kapasitas lentur dan daktilitas defleksi. Sejarah deformasi panel termasuk bentuk defleksi penuh digunakan untuk mengembangkan faktor transformasi beban massa yang bergantung pada deformasi untuk desain tahan ledakan melalui analisis dinamis. Akhirnya, energi regangan masing-masing panel pada beberapa tiang defleksi beban lentur dihitung sebagai perkiraan awal ketahanan ledakan masing-masing panel.

Pengujian eksperimental dilakukan untuk sistem panel dinding berinsulasi beton pracetak yang inovatif untuk menilai pengaruh berbagai tata letak pengikat geser, jenis insulasi, dan perilaku antarmuka dari 470 insulasi beton (terikat dan tidak terikat) pada ketahanan lentur dan daktilitas panel sebagai respons untuk menyeragamkan pembebanan tegangan di luar bidang. Fungsi ketahanan lentur satu arah (yaitu, kapasitas tekanan versus rotasi tumpuan) untuk setiap panel diperoleh melalui pengujian lentur statis semu menggunakan peralatan kantong air. Panel dengan konfigurasi bonded “end heavy” dan “hybrid” ikatan geser menunjukkan kapasitas lentur puncak yang lebih besar daripada panel dengan layout tie yang seragam. Konfigurasi dengan konsentrasi ikatan yang lebih besar ditempatkan di daerah slip geser antar-wythe yang lebih tinggi dapat memfasilitasi peningkatan kekuatan lentur dan peningkatan daktilitas.

Pendekatan pemodelan komputasi menggunakan

karakterisasi ketahanan ikatan geser (diperoleh sebelumnya oleh penulis melalui pengujian eksperimental) sebagai masukan untuk secara efektif memprediksi kapasitas lentur puncak dan daktilitas panel yang diuji. Faktor transformasi beban massa (KLM) yang bergantung pada deformasi juga dihitung untuk memungkinkan penghitungan dasar desain untuk komponen ini dalam metodologi desain tahan ledakan yang disempurnakan. Hasil pemodelan komputasi menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data eksperimen untuk fungsi tahanan lentur yang bergantung pada deformasi dan riwayat KLM. Pendekatan pemodelan memungkinkan analisis komposit parsial realistis dari panel dinding berinsulasi dan memungkinkan penyesuaian untuk tingkat respons komponen yang diinginkan. Studi ini juga menyoroti efektivitas metode uji geser ganda yang dikembangkan sebelumnya dan kurva resistansi geser eksperimental berikutnya sebagai masukan untuk prediksi komputasi.

Perhitungan energi regangan ke rotasi bantalan pada kapasitas lentur puncak menyoroti konfigurasi yang menunjukkan pemanfaatan keseluruhan terbaik dari ikatan geser, sehingga memfasilitasi potensi peningkatan ketahanan ledakan. Khususnya, panel dengan konsentrasi tahanan geser yang lebih tinggi dan terlokalisasi lebih dekat ke ujung panel menunjukkan energi regangan yang jauh lebih besar pada rotasi tumpuan untuk tahanan lentur puncak relatif terhadap skema tata letak ikatan geser seragam

konvensional. Pengamatan ini menyiratkan bahwa desain "*end heavy*" dan "*hybrid*" mungkin lebih cocok untuk aplikasi desain tahan ledakan.

Dalam penelitian **Yusuke Maida dkk (2021)**, dinding beton bertulang ringan (LRC) telah banyak digunakan pada bangunan beton bertulang (RC) di Jepang sebagai dinding partisi dan penutup. Meskipun kontribusinya yang cukup besar dalam kekuatan dan kekakuan untuk sistem struktur, mereka umumnya diklasifikasikan sebagai elemen nonstruktural dan tidak dipertimbangkan dalam desain seismik. Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan celah di sekitar dinding LRC untuk memisahkannya dari struktur utama telah menjadi praktik umum di Jepang untuk menghindari keretakan dini dan meminimalkan efek merugikan pada kinerja seismik bangunan. Namun, pemisahan lengkap ini juga dianggap melemahkan ketahanan seismic bangunan, terutama dalam hal kekuatan. Dalam studi ini, kami mengusulkan untuk memasang peredam baja miniatur di celah untuk membentuk koneksi semirigid terkontrol antara pilar dinding LRC dan rangka RC di bangunan tempat tinggal. Sambungan tersebut dihipotesiskan untuk memberikan kekuatan lateral tambahan dan kapasitas disipasi energi ke struktur utama sekaligus mengurangi retakan pada pilar dinding LRC. Kami melakukan uji pembebanan siklik kuasi-statis pada empat spesimen setengah skala dari rangka RC bentang tunggal dan tiang pancang dinding LRC. Dalam spesimen yang berbeda, pilar dinding dipisahkan oleh celah, dihubungkan

secara kaku ke rangka atau dilengkapi dengan peredam celah untuk membandingkan kinerja seismiknya. Sementara pilar dinding LRC yang terhubung secara kaku kehilangan kekuatannya dan mengalami kerusakan berturut-turut sebelum mencapai rasio drift level 1/200, penggunaan peredam baja mini memungkinkan pilar dinding memberikan kekuatan sedang pada rangka RC dengan cara yang ulet sambil tetap kokoh. pada dasarnya utuh sebelum rasio drift lantai 1/200. Pada tingkat deviasi yang sama, deformasi damper kira-kira 60% lebih besar ketika ditempatkan di tengah ketinggian daripada ketika di bagian bawah pilar dinding. Namun, sambungan stud untuk peredam mid-height mengalami kerusakan parah dan kegagalan kerucut beton. Dengan demikian, merancang grup stud dengan tepat di bawah kombinasi aksi geser dan lentur merupakan suatu tantangan. Pengujian komponen pada setiap peredam juga dilakukan untuk menunjukkan bahwa pengerasan regangan atas kekuatan dapat melebihi dua. Kontrol kerusakan yang lebih baik pada pilar dinding LRC memerlukan pertimbangan penuh dari efek pengerasan regangan yang signifikan dari peredam.

B. 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. (SNI 2847:2019)

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan kataristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan. (Mc Cormac, Jack C.2004)

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 Samekto & Candra Rahmadiyanto, 2001)

C. Beton Bertulang

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 3.13 mendefinisikan beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan

berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Beton bertulang terbuat dari gabungan antara beton dan tulangan baja. Oleh karena itu, beton bertulang memiliki sifat yang sama seperti bahan-bahan penyusunnya yaitu sangat kuat terhadap beban tekan dan beban tarik. (SNI 03-2847-2002)

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

D. Dinding Pengisi

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)

E. Beton Busa

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 memasukan 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)

Menurut Brady (2001) beton berbuisa berbeda dari diautoklaf beton aerasi, dimana gelembung kimia terbentuk melalui reaksi kimia bubuk aluminium dan kalsium hidroksida yang dilepas oleh hidrasi semen. Untuk penggunaan yang paling umum, kandungan udara biasanya antara 40 dan 80 persen dari

total volume. Gelembung bervariasi dalam ukuran dari sekitar 0,1-1,5 mm tetapi peleburan dalam campuran akan menghasilkan void jauh yang lebih besar. (Brady dkk 2001)

Beton ringan, atau light-weight concrete memiliki banyak variasi, salah satunya dikenal dengan beton seluler atau beton aerasi merupakan. 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 berbuisa dibuat dengan mencampurkan air, semen, dan busa. Ini dapat terdiri dari agregat halus atau pozzolan bahan atau campuran kimia. Hal ini juga dikenal sebagai kepadatan beton seluler yang bervariasi dari 300 hingga 1800 kg/m³ [1]. Ini diproduksi dengan memasukkan gelembung udara ke dalam mortar semen dengan menggunakan bahan pembuisa yang sesuai. Kepadatan bervariasi dari 1200 hingga 1600 kg/m³

digunakan dalam struktur penahan beban, 1200–600 kg/m³ adalah digunakan pada elemen bangunan tanpa beban (dinding partisi, panel, blok pracetak, insulasi termal, dan screed kedap suara, dll.), sedangkan dari 300 hingga 600 kg/m³ umumnya digunakan dalam isolasi dan pekerjaan pengisian [2]. Keuntungan utama dari beton busa adalah: pengurangan berat sendiri, isolasi termal dan akustik yang sangat baik, ketahanan api yang tinggi dibandingkan dengan beton konvensional dan memang demikian tidak memerlukan getaran atau perataan atau pemadatan. (Miss Meera, 2020)

Menurut Armin (2011:11) bahwa “beton ringan foam yang dibuat dengan pembentukan gelembung udara dalam pasta semen diklasifikasikan dalam tiga macam beton ringan.”

Klasifikasi beton ringan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Beton aerasi autoklaf adalah mortar terbuat dari pasta semen, pasir, dan atau kapur, kemudian ditambahkan foam agent, dan bubuk aluminium. Adonan tersebut dimasukkan ke dalam cetakan, setelah cukup keras (± 12 jam), dikeluarkan kemudian dimasukkan dalam ruang perawatan beruap jenuh.
2. Beton ringan menggunakan bahan kimia bubuk aluminium, yaitu beton ringan yang dibuat menggunakan foam agent dan bubuk aluminium dicampurkan dalam adukan semen, pasir halus, dan atau kapur sebagaimana jenis beton ringan pertama.

Perbedaannya adalah setelah produk cukup keras, dan dikeluarkan dari cetakan dilakukan perawatan produk di ruangan dengan suhu kamar.

3. Beton ringan yang ketiga, terbagi menjadi dua macam beton ringan, yaitu beton ringan busa mekanikal foaming agent, busa ditambahkan ke adukan semen. Gelembung – gelembung udara secara mekanik dihasilkan dari mixer berkecepatan tinggi, busa yang relatif tidak stabil berkembang secara tidak teratur menghasilkan gelembung udara dalam adukan beton. Beton ringan busa physical foaming, busa dibuat dari agent foam dan air dengan generator foam menghasilkan foam (busa) yang stabil kemudian dimasukkan dalam adukan semen dan bahan tambah. Adukan beton ringan seperti ini, menghasilkan mortar berpori lebih stabil. (Mey Setyowati,2019)

F. Daktilitas

Menurut SNI 1726 – 2002, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. (SNI 1726 – 2002)

Daktilitas adalah kemampuan elemen struktur untuk berdeformasi setelah mencapai kekuatan puncak tanpa terjadinya penurunan kekuatan yang terlalu besar. Level daktilitas tertentu diperlukan sebagai factor keamanan agar tidak terjadi keruntuhan struktur yang tiba-tiba. (Sumirin, 2006)

Menurut ASTM E2126-11, persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung daktilitas yaitu:

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

dengan:

ΔY : Perpindahan leleh (mm)

ΔU : Perpindahan ultimit yang terjadi pada saat beban 0,8

P_{peak} (mm)

D : Daktilitas.

Pada SNI 03-1726-2002 dibahas terdapat 3 tingkatan daktilitas untuk struktur gedung, yaitu:

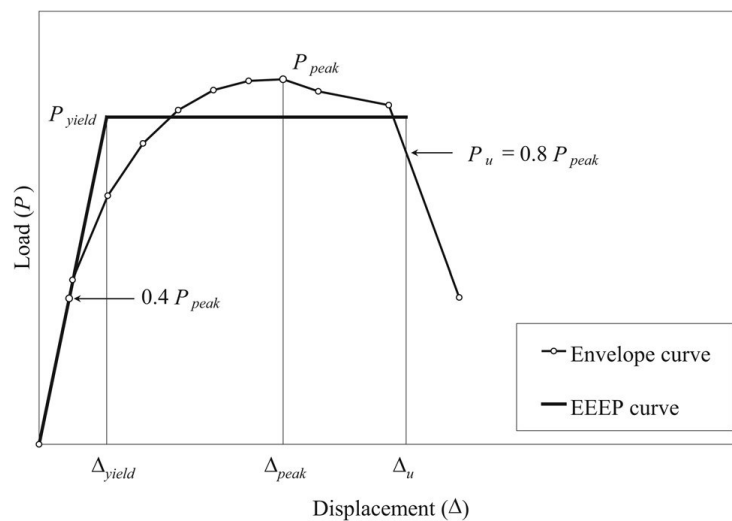
1. Daktil penuh, yaitu suatu tingkat daktilitas struktur gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3.
2. Daktil parsial, yaitu seluruh tingkat daktilitas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

yang daktail penuh sebesar 5,0.

3. Elastik penuh, yaitu suatu tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0.

G. Kurva Equivalent Energy Elastic-Plastic (EEEEP 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 2. 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 (KE). Kondisi ini terjadi pada saat beban mencapai 0,4 PP pada simpangan $\Delta_{0,4 PP}$. Kondisi plastis ditunjukkan oleh garis horizontal dengan beban leleh (PY). Untuk menentukan perpindahan leleh (Δ_Y), diambil garis pertemuan antara kemiringan pada kondisi elastis dan beban leleh yang telah

ditentukan. Beban leleh (PY), dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$PY = (\Delta_U - \sqrt{\Delta_U - \frac{2A}{K_E}}) K_E \dots(2)$$

dengan:

PY : Beban leleh (kN)

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

PP : Beban maksimum (kN)

KE : 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 luasankurva yang cenderung kecil, maka dapat nilai beban leleh dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$PY = 0,85 PP \dots(3)$$

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 PP. 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 $P_U = 0,8 PP$. (ASTM E2126-11)

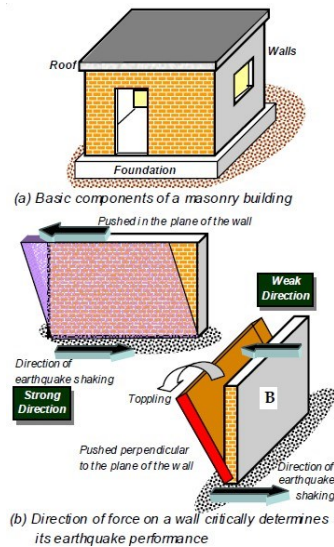
Dengan menggunakan kurva EEEP, dapat diperoleh nilai daktilitas dari spesimen dengan membandingkan nilai ΔU dan ΔY yang diperoleh dari kurva.

H. 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 arahsumbu 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 dindingseperti 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 3. 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.

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*. (Prayuda, 2015)

I. Material Penyusun Beton

Adapun material-material yang digunakan untuk membuat mortar adalah sebagai berikut:

I.1. Semen Portland (Portland Cement)

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis, yaitu bahan anorganik yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan air, dengan menggunakan reaksi dan proses hidrasi membentuk pasta yang mengikat dan mengeras, setelah mengeras, tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya meskipun di dalam air (Standar BS EN 197-1).

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (clinker) portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen portland bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara irreversible, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula

Semen *Portland* dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO_2) – dari lempung,

3. Alumina (Al_2O_3) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesia, MgO , dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995).

I.1.1. Jenis-Jenis Semen

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), terdapat beberapa jenis semen yaitu:

- a. Portland Cement

Adalah jenis yang paling umum dari semen dalam penggunaan umum di seluruh dunia karena merupakan bahan dasar beton, dan plesteran semen.

- b. Super Masonry Cement

Semen ini lebih tepat digunakan untuk konstruksi perumahan gedung, jalan dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225. Dapat juga digunakan untuk bahan baku pembuatan genteng beton, hollow brick, paving block, tegel dan bahan bangunan lainnya.

- c. Oil Well Cement

Merupakan semen khusus yang lebih tepat digunakan untuk pembuatan sumur minyak bumi dan gas alam dengan konstruksi sumur minyak bawah permukaan laut dan bumi. Untuk saat ini jenis OWC yang telah diproduksi adalah class G, HSR (High Sulfat Resistance) disebut juga sebagai "BASIC OWC". Bahan additive/ tambahan dapat ditambahkan/dicampurkan hingga menghasilkan

kombinasi produk OWC untuk pemakaian pada berbagai kedalaman dan temperatur.

d. *Portland Pozzolan Cement*

Adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling *clinker*, *gypsum* dan bahan *pozzolan*. Produk ini lebih tepat digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti: jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi dan fondasi pelat penuh.

e. Semen Putih

Digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), sebagai *filler* atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) *limestone* murni.

f. *Portland Composite Cement*

Digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama dengan penggunaan OPC dengan kuat tekan yang sama. PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan OPC, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton/plester yang lebih rapat dan lebih halus.

I.1.2 Tipe-Tipe Semen

Menurut SK-SNI T-15-1990-03 Semen *portland* / *Ordinary Portland Cement* (OPC) dibedakan menjadi :

a. *Portland Cement Type I (Ordinary Portland Cement)*

Semen *portland* tipe I merupakan jenis semen yang paling banyak dibutuhkan oleh masyarakat luas dan dapat digunakan untuk seluruh aplikasi yang tidak membutuhkan persyaratan khusus. Contohnya, ketika pemilik rumah atau tukang batu yang sedang mengerjakan proyek atau merenovasi rumah tinggal akan membeli semen di toko bangunan, mereka hanya menyebut semen, tanpa menyebut jenis semen apa yang seharusnya digunakan atau cocok dengan lingkungan pemukiman mereka berada, antara lain: bangunan, perumahan, gedung-gedung bertingkat, jembatan, landasan pacu dan jalan raya.

b. *Portland Cement Type II (Moderate sulfat resistance)*

Semen portland tipe II merupakan semen dengan panas hidrasi sedang atau di bawah semen portland tipe I serta tahan terhadap sulfat. Semen ini cocok digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca dengan suhu yang cukup tinggi serta pada struktur drainase. Semen portland tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga dan landasan berat yang ditandai adanya kolom-kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.

c. *Portland Cement Type III (High Early Strength Portland Cement)*

Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat,

sehinggadapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan atau yang acuannya perlu segera dilepas. Selain itu juga dapat dipergunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin. Kegunaan pembuatan jalan beton, landasan lapangan udara, bangunan tingkat tinggi, bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

d. *Portland Cement Type IV (Low Heat Of Hydration)*

Tipe semen dengan panas hidrasi rendah. Semen tipe ini digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang portland tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses curing merupakan faktor kritis. Cocok digunakan untuk daerah yang bersuhu panas.

e. *Portland Cement Type V (Sulfat Resistance Cement)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi. Sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

I.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat mengisi sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Agregat mempunyai pengaruh terhadap sifatsifat beton, oleh karena itu pemilihan agregat sangat penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1992). Praktek di lapangan menurut Tjokrodimuljo (1992) pada umumnya agregat dapat digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

- a. batu (besar butiran > 40 mm),
- b. kerikil (besar butiran antara 5 mm – 40 mm),
- c. pasir (besar butiran antara 0,15 mm – 5 mm). (Narendra, 2019)

I.2.1 Agregat Halus

Menurut SK SNI T-15-1991-03, agregat didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk mortar atau beton semen hidrolik atau adukan. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no.100.

Pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu (Tjokrodimulyo 1992):

- a. Pasir galian, dapat diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya

tajam, bersudut berpori, dan bebas dari kandungan garam.

b. Pasir sungai diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus bulat-bulat akibat proses gesekan, sehingga daya lekat antar butir-butir berkurang. Pasir ini paling baik dipakai untuk memplester tembok.

c. Pasir laut diambil dari pantai, butir-butirnya halus dan bulat akibat gesekan. Banyak mengandung garam yang dapat menyerap kandungan air dari udara. Pasir laut tidak baik digunakan sebagai bahan bangunan.

Gradasi pasir dapat dikelompokkan menjadi 4 yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar seperti terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Gradasi pasir (Tjokrodimuljo, 1992)

Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan (%)				
Lubang__		Agak	Agak	
(mm)	Kasar	kasar	halus	Halus
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

I.2.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 1969:2008, kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). (SNI 1969:2008)

Agregat kasar adalah hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI03-2847-2002). Agregat kasar tidak boleh mengandung bahanbahan organik dan mampu memiliki ikatan yang baik.

Mutu agregat kasar menurut ASTM C 33-02 (2002) disyaratkan sebagai berikut:

- a. tidak reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen mengandung natruim oksida kurang dari 0,6%,
- b. susunan gradasi memenuhi syarat,
- c. kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk pada beton,
- d. sifat fisika (kekerasan butir agregat yang diuji dengan Los Angeles Abration) (Narendra, 2019)

Menurut PBI 1971, Pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar

adalah sebagai berikut ini.

a. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.

b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.

c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat reaktif alkali.

d. Kekerasan butir-butir agregat kasar yang diperiksa dengan bejana penguji dari Rudelof dengan beban penguji 20 ton yang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

1) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24% berat

2) Tidak terjadi pembubukan sampai 19-30 mm lebih dari 22% berat. Kekerasan ini dapat juga diperiksa dengan alat Los Angeles. Dalam hal ini tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50%.

e. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan yang ditentukan dalam Pasal 3.5 ayat 1 PBI 1971, harus memenuhi syarat-syarat

sebagai berikut ini.

- 1) Sisa diatas ayakan 31,5 mm harus 0% berat.
 - 2) Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90% dan 98%.
 - 3) Selisih antara sisa sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- (Adriansyah,2018)

I.3. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling penting dan paling murah. Air berfungsi sebagai bahan pengikat (bahan penghidrasi semen) dan bahan pelumas antara butir - butir agregat supaya mempermudah proses pencampuran agregat dengan binder serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton (workability) (Veliyati 2010). Secara umum air yang dapat digunakan dalam campuran adukan mortar adalah air yang apabila dipakai akan menghasilkan mortar dengan kekuatan lebih dari 90% dari mortar yang memakai air suling (ACI 318- 83). Berdasarkan SNI 03-2847-2002, air yang dapat digunakan sebagai pencampur mortar tidak dapat diminum dan tidak boleh digunakan pada adukan mortar kecuali pemilihan proporsi campuran mortar harus didasarkan pada campuran mortar yang menggunakan air dari sumber yang sama, mempunyai pH antara 4,5 – 7 dan tidak mengandung lumpur.

Air untuk mencampur mortar disyaratkan menggunakan air

bersih dan layak minum, bebas dari minyak, asam, alkali, zat organik, atau material beracun lainnya, zat/ bahan lain yang merusak mortar maupun logam-logam yang terdapat di dinding (SNI 03-6882-2002).

I.4. Foam Agent

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. *Detergent* ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OSO}_3 - \text{Na}^+$) mengandung zat “*surface active*” (*surfactant*). Dilihat dari struktur molekulnya, detergent mempunyai dua gugus yang penting yaitu gugus liofil (yang menarik pelarut), dan gugus liofob (yang menolak pelarut). Gugus liofil dapat berupa gugus khlorida atau gugus bromida, atau gugus lain yang umumnya merupakan gugus yang pendek. Gugus liofob biasanya terdiri dari rantai alifatik atau aromatik yang umumnya terdiri dari paling sedikit sepuluh atom karbon. Dalam pelarut air, gugus liofil yang juga disebut gugus hidrofil akan menarik molekul air, sedangkan gugus liofob yang juga disebut hidrofob akan menghadap ke udara. Larutan detergent di dalam air merupakan larutan koloid dan pada konsentrasi yang tinggi maka partikel-partikel koloid tersebut akan menggumpal sebagai misel. Ada empat tipe surfaktan yaitu anionik, kationik, nonionik dan amfolitik. (Andriati Amir Husin, 2008)

Foam agent adalah suatu bahan yang terbuat dari larutan

pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Salah satu bahan yang mengandung surfaktan adalah Detergent ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OSO}_3\text{-Na}^+$). Foam agent merupakan bahan kimia campuran yang berasal dari campuran bahan alami maupun bahan buatan. Ada 2 macam foam agent yaitu:

1. Bahan sintetis dengan kepadatan diatas 1000 kg/m^3 .
2. Bahan protein dengan kepadatan $400\text{-}1600 \text{ kg/m}^3$.

Foam agent berbahan dasar sintetis memiliki kepadatan sekitar 40 kg/m^3 dan dapat mengembang sekitar 25 kali. Foam agent jenis ini sangat stabil untuk bata dengan kepadatan diatas 1000 kg/m^3 . Foam agent ini dapat bertahan hingga 16 bulan dalam keadaan tertutup. Perbandingan konsentrasi foam agent 1:19, contohnya 1 liter Noaite SA-1 + 19 liter air = 20 liter foam agent. 20 liter foam agent dapat mengembang menjadi sekitar 500 liter foam agent yang stabil dengan berat sekitar 40 kg/m^3 .

Tujuan penggunaan bahan *foam agent* adalah untuk menambah volume bata ringan tanpa menambah berat dari bata ringan itu sendiri, dengan demikian akan membuat fisik bata ringan dapat dibuat lebih besar dari bata pada umumnya tetapi mempunyai berat yang hampir sama atau bahkan lebih ringan.

Foam Agent saat dicampur dengan kalsium hidroksida yang terdapat pada pasir dan air akan bereaksi sehingga membentuk hydrogen. Gas hydrogen ini membentuk gelembung-gelembung

udara di dalam campuran beton tadi. Gelembung – gelembung udara ini menjadikan volumenya menjadi dua kali lebih besar dari volume semula. Di akhir proses pembusaan, hydrogen akan terlepas ke atmosfer dan langsung digantikan oleh udara. Rongga-rongga tersebutlah yang membuat bata beton menjadi ringan. (Mey Setyowati, 2019)

Foam agent yang digunakan dalam pembuatan bata ringan harus memenuhi persyaratan yang ada. Adapun persyaratan tersebut dijelaskan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Syarat Foam Agent Dalam Pembuatan Bata Ringan

Syarat Fisik	Kebutuhan
- Density setelah pumping	40 + 3 lb/ft ³ (641 + 48 kg/m ³)
- Kering oven density :	
Untuk semen Tipe I	30.4 + 2.5 lb/ft ³ (487 + 40 kg/m ³)
Untuk semen Tipe III	29.3 + 2.5 lb/ft ³ (469 + 40 kg/m ³)
Kuat Tekan, min	200 psi (1.4 MPa)
Kuat Tarik, min	25 psi (0.17 MPa)
Serap Air, max	25% dari volume
Hilang Udara saat Pumping, max	4.5% dari volume

(Sumber : ASTM C 869-91-1999)

BAB 3. METODE PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian

Berikut merupakan diagram alir tahapan penelitian:

