

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 diatas 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 pengeang 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 energi 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:

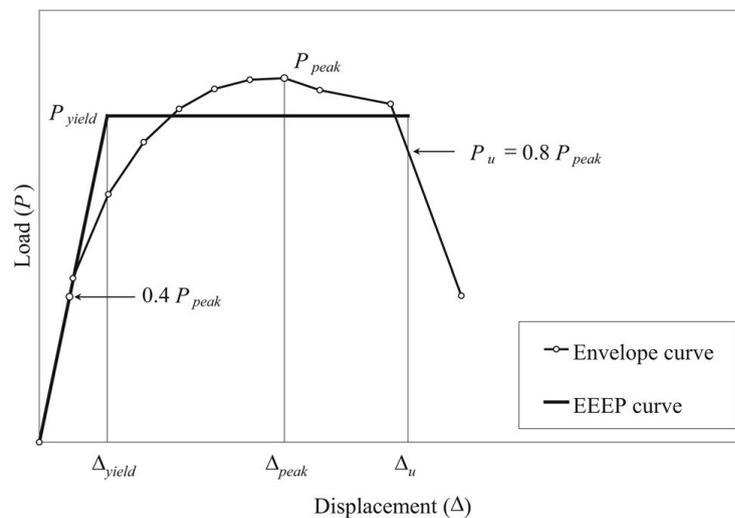
1. Daktil penuh, yaitu suatu tingkat daktilitas struktur gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3.
2. Daktil parsial, yaitu seluruh tingkat daktilitas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

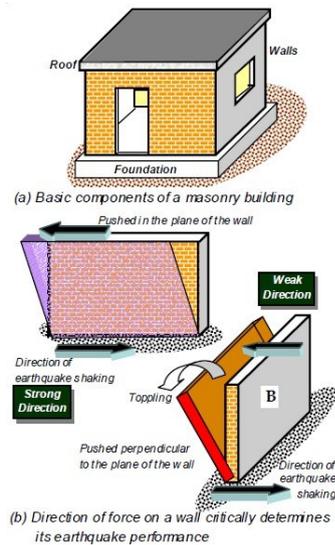
Dengan menggunakan kurva EEEP, dapat diperoleh nilai daktilitas dari spesimen dengan membandingkan nilai ΔU dan ΔY yang diperoleh dari kurva.

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

Foam agent berbahan dasar sintesis 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

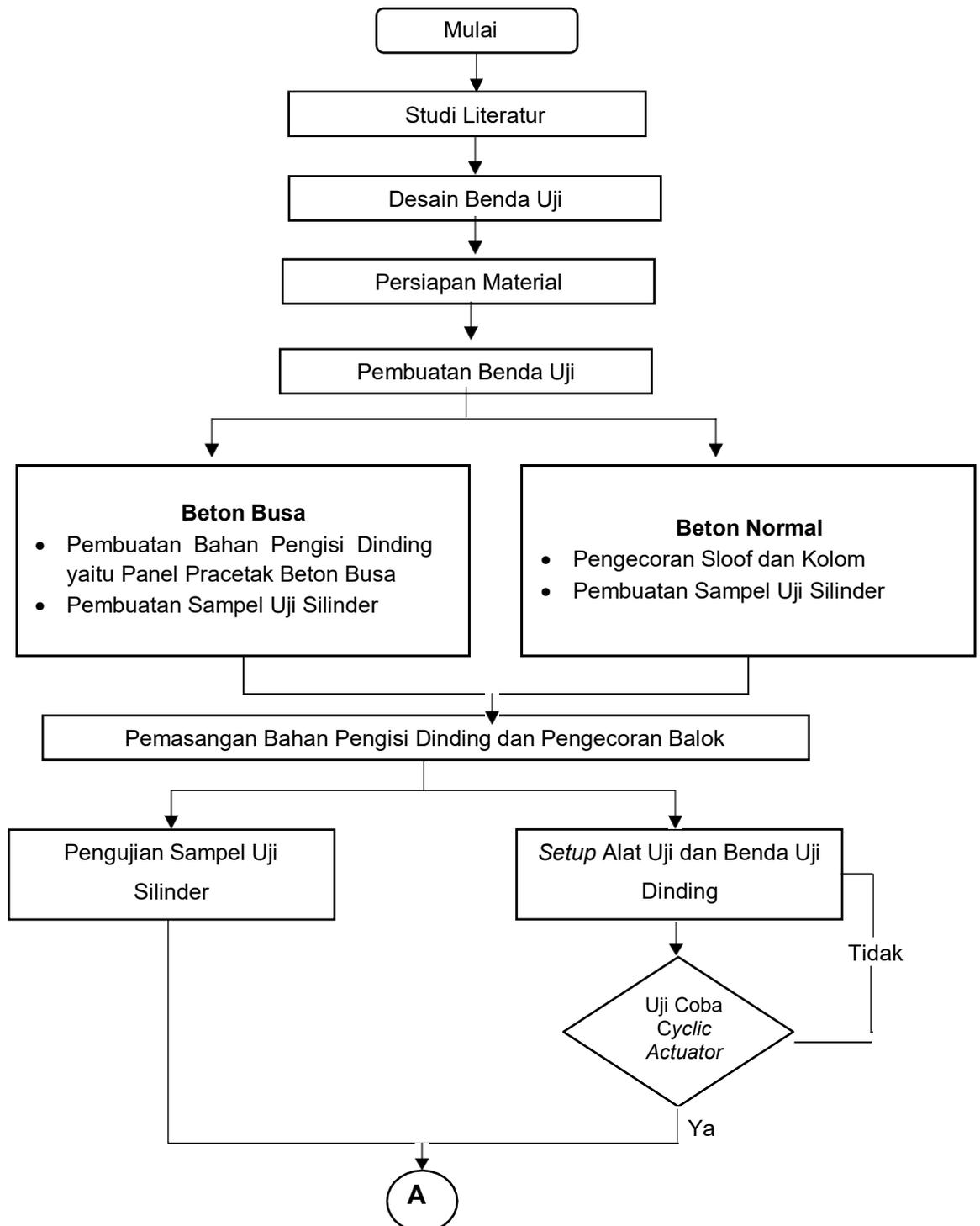
Syarat Fisik	Kebutuhan
- Density setelah pumping	40 + 3 lb/ft ³ (641 + 48 kg/m ³)
- Kering oven density :	
Untuk semen Tipe I	30.4 + 2.5 lb/ft ³ (487 + 40 kg/m ³)
Untuk semen Tipe III	29.3 + 2.5 lb/ft ³ (469 + 40 kg/m ³)
Kuat Tekan, min	200 psi (1.4 MPa)
Kuat Tarik, min	25 psi (0.17 MPa)
Serap Air, max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

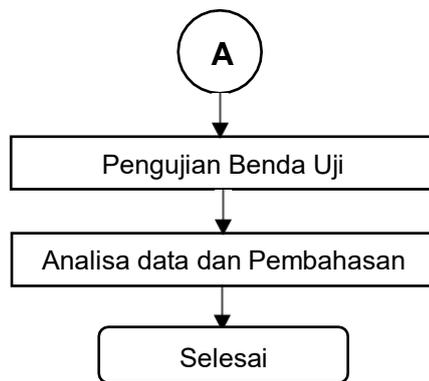
(Sumber : ASTM C 869-91-1999)

BAB 3. METODE PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian

Berikut merupakan diagram alir tahapan penelitian:

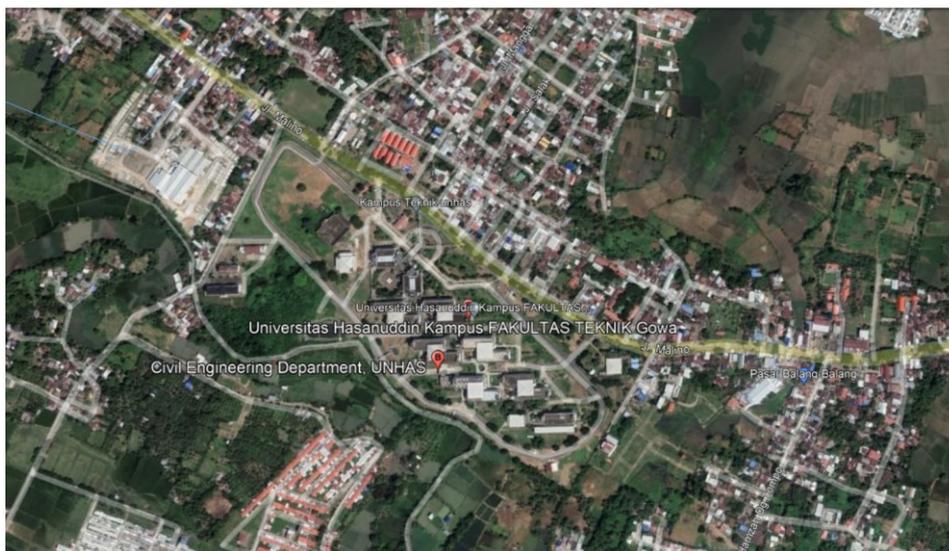




Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

B. Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, yang terletak di Jalan Poros Malino Km. 6, Kabupaten Gowa, dengan rentang waktu penelitian selama bulan dimulai dari Agustus 2021 sampai dengan November 2021.



Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth)

C. Alat dan Bahan Penelitian

C.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk penelitian ini yaitu:

1. *Lateral load cyclic actuator*
2. *Hydraulic power supply*
3. *Supporter*
4. *Strong wall*
5. *Crane*
6. 1 set *switching box, data logger, dan personal computer*
7. *Universal Testing Machine (UTM)* dengan kapasitas 1000 kN
8. *Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)*
9. *Strain gauge* baja dan beton
10. *Concrete mixer*
11. Balok kayu dan tripleks untuk bekisting
12. *Mould*
13. *Vibrator*
14. Satu sel alat *slump test*
15. Satu Set alat pembuat busa

C.2. Bahan Penelitian

Gambar merupakan material yang digunakan dalam pembuatan benda uji beton normal pada penelitian yaitu:

1. Semen PCC (*Portland Composite Cement*) yang diproduksi oleh PT.Semen Tonasa

2. Agregat halus, yaitu pasir yang berasal dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan,
3. Agregat kasar, yaitu kerikil yang diperoleh dari penambangan di Bili-Bili, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.
4. Air yang digunakan adalah air keran bersih yang terdapat di Laboratorium.



a. Semen



b. Kerikil



c. Pasir



d. Air

Gambar 6. Material Campuran Beton

(Dokumentasi pribadi)

Untuk bahan pengisi benda uji dinding, digunakan panel pracetak beton busa dengan dimensi 700 x 400 x 80 mm. Pada saat

pembuatan beton busa, digunakan bahan tambah (*admixture*) berupa *foam agent*. Pada saat produksi, diambil beberapa sampel silinder dimensi 200 x 100 mm yang nantinya akan dilakukan pengujian kuat tekan di laboratorium.



Gambar 7. Panel Pracetak Benton Busa
(Dokumentasi pribadi)

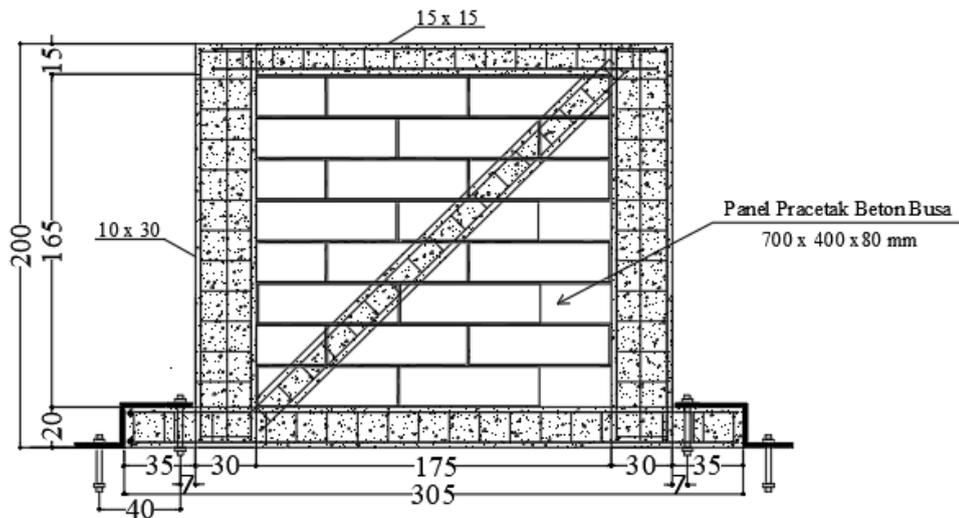
D. Benda Uji

Pada penelitian ini, digunakan 2 variasi benda uji, yang dapat dilihat pada **Tabel 3**. Benda uji W1 (**Gambar 8**) merupakan dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku, sedangkan untuk benda uji W2 (**Gambar 9**), digunakan portal rangka beton bertulang dengan pengaku.

Tabel 3. Dimensi dan Variasi Benda Uji

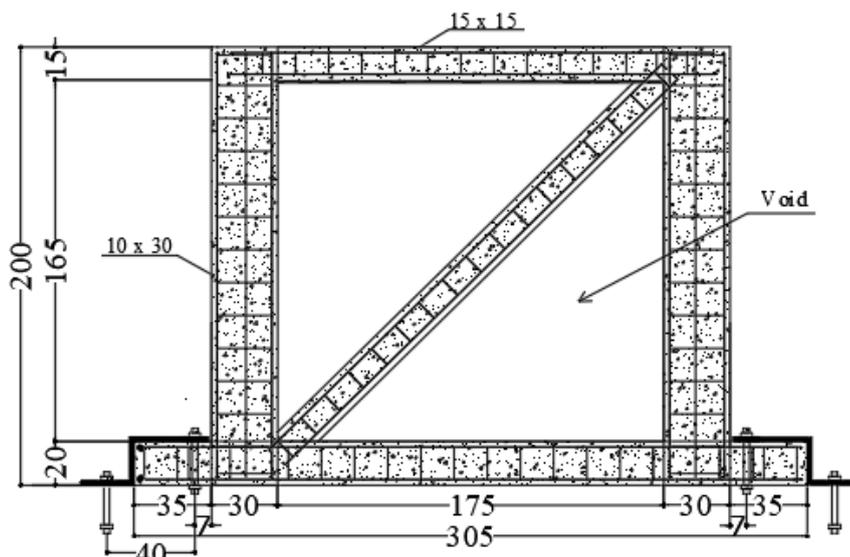
Kode Benda Uji	Dimensi Dinding (cm)			Variasi
	B	H	L	
W1	305	200	10	Bahan Pengisi dan

				menggunakan pengaku
W2	305	200	10	Tanpa Pengisi dan menggunakan pengaku



⊙ Benda Uji W1

Gambar 8. Benda Uji W1



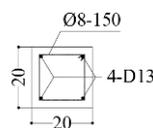
⊙ Benda Uji W2

Gambar 9. Benda Uji W2

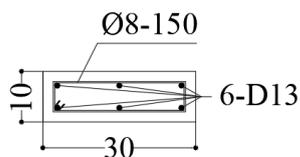
Kedua benda uji memiliki konfigurasi penulangan yang sama untuk elemen sloof, kolom, balok dan pengaku. Detail penulangan untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Detail Penulangan Benda Uji

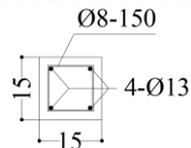
Elemen	Detail Penulangan (mm)	
	Longitudinal	Transversal
Sloof	4-D13	Ø8-150
Kolom	6-D13	Ø8-150
Balok	4-Ø13	Ø8-150
Pengaku	4-Ø13	Ø8-150



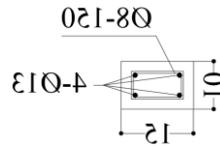
Gambar 10. Detail Penulangan Sloof



Gambar 11. Detail Penulangan Kolom



Gambar 12. Detail Penulangan Balok



Gambar 13. Detail Penulangan Pengaku

E. Pemeriksaan Karakteristik Material

E.1 Pasir

Sebelum pembuatan benda uji, dilakukan pengujian terhadap karakteristik material yang akan digunakan, salah satunya yaitu pasir. Pengujian karakteristik material ini dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut:

Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Pasir

No.	Jenis pemeriksaan	Standar/Metode uji
1	Pengujian analisa saringan	ASTM C136:2012
2	Pengujian berat jenis dan penyerapan air	SNI 1970:2008
3	Pengujian berat volume dan rongga udara	SNI-03-4804-1998
4	Pengujian kadar air	SNI 1971:2011
5	Pengujian kadar lumpur	SNI 03-4142-1996
6	Pengujian kadar organik	SNI 2816:2014

E.2 Beton Busa

Selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik beton busa. Untuk pengujian karakteristik beton busa dapat dilihat pada **Tabel 6**

berikut:

Tabel 6. Pemeriksaan Karakteristik Beton Busa

Jenis Pemeriksaan Karakteristik	Standar dan Metode Uji
Kuat Tekan	SNI 1974:2011
Kuat Tarik Belah	SNI 03-2491-2012
Kuat Lentur	SNI 03-4431-1997
Berat Volume	SNI 1973:2016
Modulus Elastisitas	SNI 03-2847-2002
Poisson Ratio	SNI 03-2847-2002

E.3 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pada pengujian kuat tarik baja tulangan, dilakukan pada variasi baja tulangan yang akan digunakan pada benda uji. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 07-2529-1991.

F. Pembuatan Benda Uji

Tahap ini terdiri dari pembuatan dan perawatan benda uji. Spesifikasi benda uji yang digunakan dalam penelitian ini, adalah:

1. Model benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah dinding dengan dimensi yang telah dijelaskan sebelumnya.
2. Rangka beton bertulang dengan beton normal memiliki persyaratan kuat tekan rencana K-350 untuk sloof, kolom,

balok dan pengaku.

3. Bahan pengisi yang digunakan yaitu panel pracetak beton busa. *Trial mix* beton busa dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, dan diambil beberapa sampel silinder ukuran 100 mm x 200 mm untuk uji kuat tekan.

F.1. Pembuatan Panel Pracetak Beton Busa

Panel pracetak beton busa diproduksi dengan tahap sebagai berikut:

- Masukkan pasir dan semen PCC kedalam *concrete mixer* sesuai dengan rancangan campuran, kemudian menuangkan air sedikit demi sedikit kedalam *mixer* agar semua tercampur dengan merata.
- Masukkan *foam agent* dan air pada wadah yang berbeda sesuai dengan rancangan campuran yang direncanakan dan campurkan menggunakan alat pengaduk hingga berubah menjadi busa.
- Memasukkan busa ke dalam *concrete mixer* sesuai dengan rencana.
- Menuang adukan beton ke dalam cetakan panel pracetak yang telah dipersiapkan.

F.2 Pembuatan Dinding

Benda uji dinding diproduksi dengan tahap sebagai berikut:

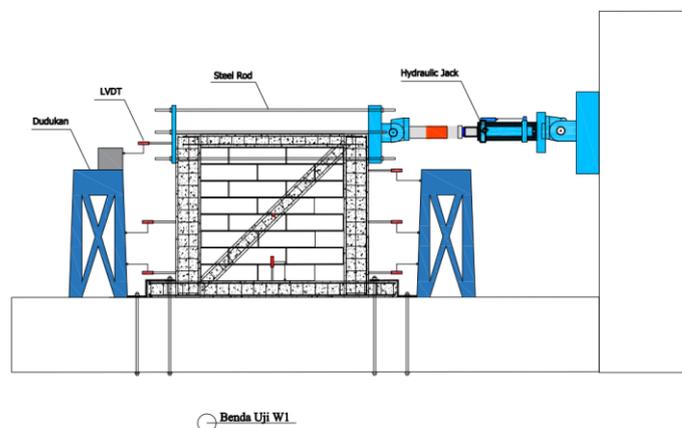
- Tahap awal dilakukan perakitan tulangan. Setelah perakitan tulangan selesai, dilakukan perakitan bekisting sesuai ukuran benda uji agar mempermudah proses pengecoran.
- Pengecoran benda uji diawali dengan pengecoran sloof. Setelah pengecoran sloof, dilakukan pengecoran setengah tinggi kolom dan perletakan panel pracetak beton busa. Untuk panel pracetak beton busa dipasangkan pada bagian bawah pengaku sesuai dengan bentuk dinding dan mengikuti pengaku yang terdapat pada dinding.
- Setelah pengecoran setengah kolom, dilakukan pengecoran kolom menerus. Kemudian setelah pengecoran kolom, dilakukan pengecoran pengaku yang dilanjutkan dengan pemasangan panel pracetak beton busa bagian atas pengaku.
- Setelah pengecoran pengaku dan pemasangan panel pracetak beton busa, dilakukan pengecoran balok di bagian atas dinding.
- Pada setiap pengecoran, diambil sampel ukuran 200 x 100 mm untuk uji kuat tekan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Setelah pengecoran selesai, dilakukan perawatan benda

uji selama 28 hari.

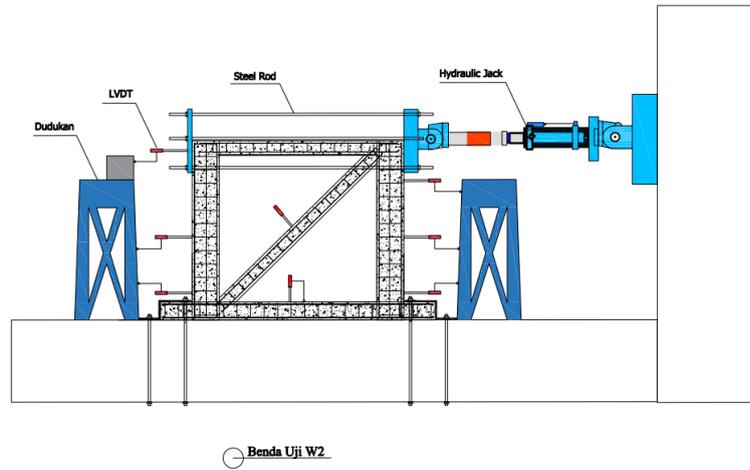
- Sebelum dilakukan pengujian, permukaan benda uji diberi acian dan digambarkan grid dengan ukuran 5 x 5 cm sebagai acuan dalam menggambar pola retak yang akan terbentuk selama proses pengujian.

G. Setup Peralatan Pengujian

Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Dalam selang waktu tersebut, dilakukan *setup* alat pengujian. Untuk benda uji W1 di *setup* sesuai sketsa pada **Gambar 14** dan benda uji W2 di *setup* sesuai sketsa pada **Gambar 15**. Benda uji ditempatkan sesuai dengan tempat yang telah ditentukan dan dijepit pada *strong floor* sesuai dengan lubang yang telah dibuat pada ujung kiri dan kanan *sloof* pada benda uji. Pada bagian kanan kepala benda uji dipasangkan pelat yang dihubungkan menggunakan *steel rod* ke *actuator hydraulic jack* yang dikunci pada *reaction wall* dengan menggunakan baut.

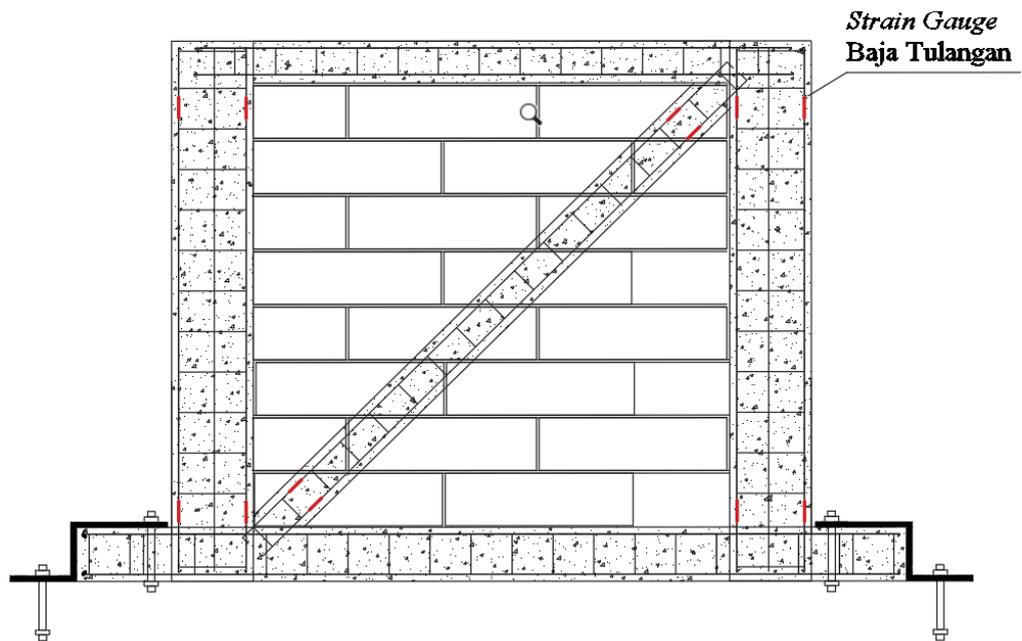


Gambar 14. Sketsa *Setup* Pengujian W1

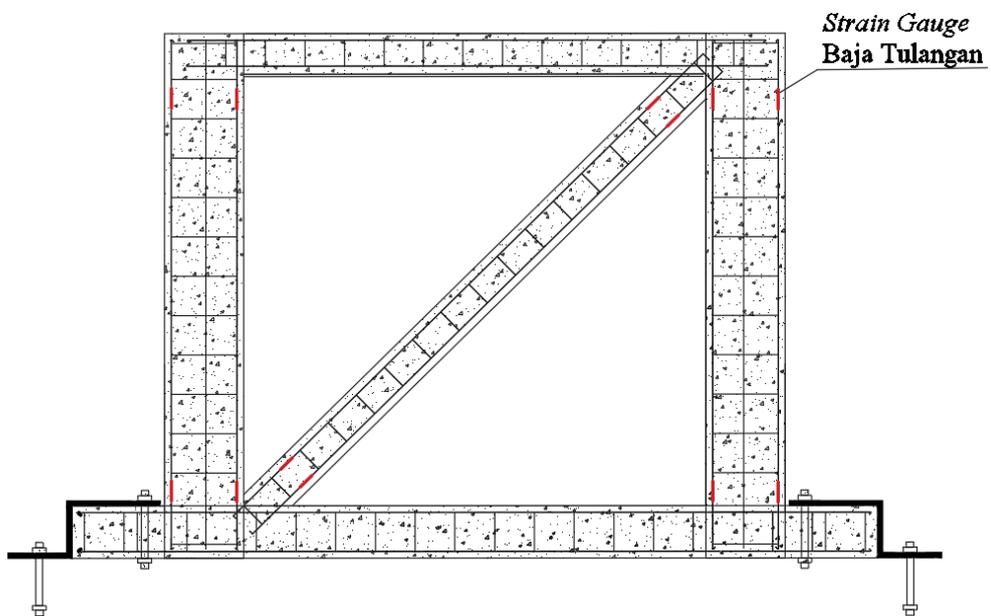


Gambar 15. Sketsa *Setup* Pengujian W2

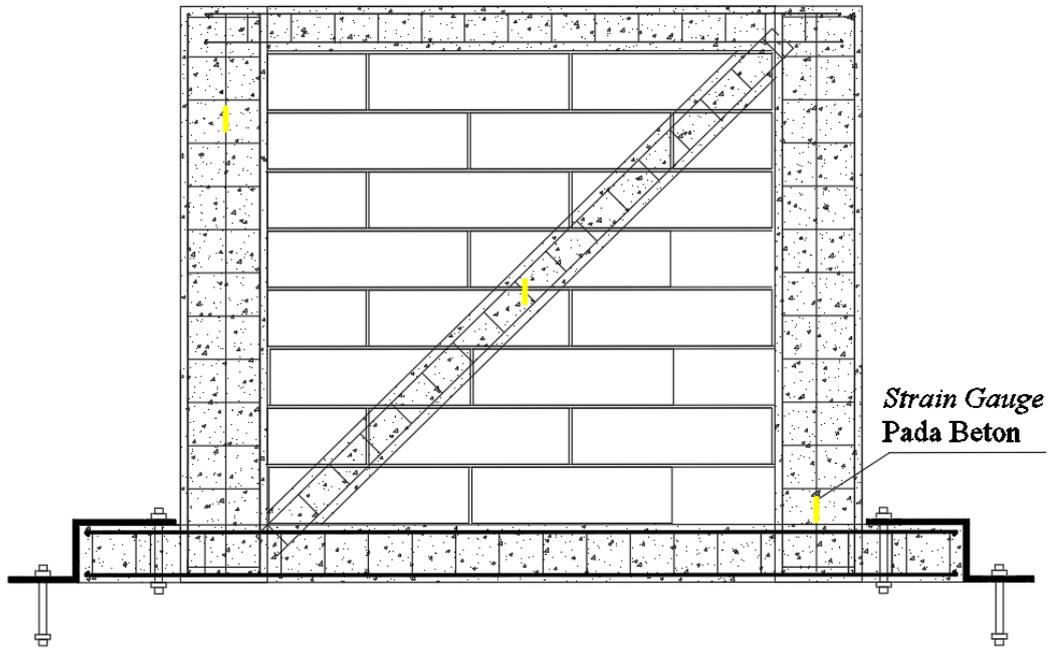
Untuk pemasangan LVDT, dilakukan dengan arah bekerjanya beban pada lokasi yang telah ditentukan. Semua kabel pada LVDT dan Strain Gauge disambungkan ke komputer dengan menggunakan *data logger*. Untuk konfigurasi pemasangan *strain gauge* baja tulangan pada benda uji W1 dan W2 dapat dilihat pada **Gambar 16** dan **Gambar 17**. sedangkan untuk *strain gauge* beton dapat dilihat pada **Gambar 18** dan **Gambar 19**.



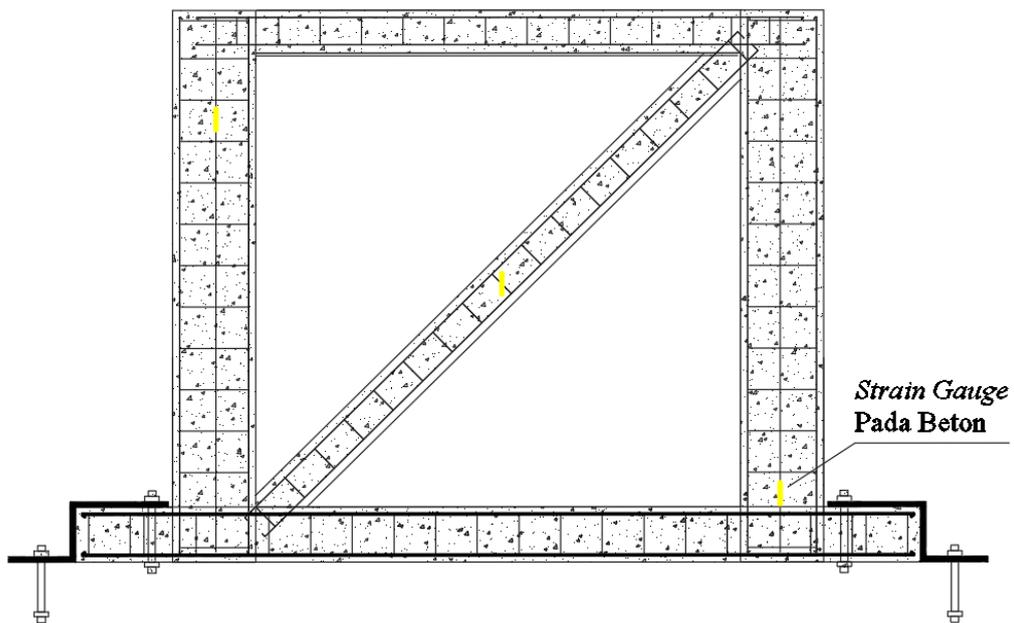
Gambar 16. Konfigurasi *Strain Gauge* Baja Benda Uji W1



Gambar 17. Konfigurasi *Strain Gauge* Baja Benda Uji W2



Gambar 18. Konfigurasi *Strain Gauge* Beton Benda Uji W1



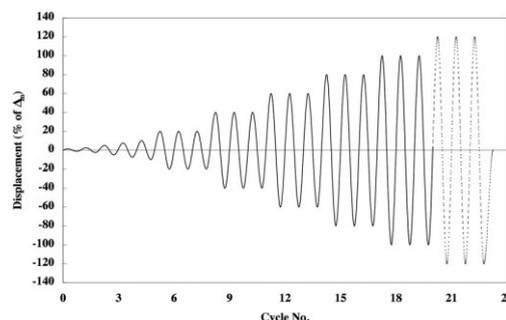
Gambar 19. Konfigurasi *Strain Gauge* Beton Benda Uji W2

H. Pengujian Benda Uji

Setelah *setup* alat telah selesai dan benda uji sudah berumur 28 hari, pengujian dapat dilaksanakan. Berikut

merupakan tahapan pelaksanaan yang harus dilakukan dan serta dicek untuk melakukan pengujian sesuai dengan pedoman ASTM E2126-11:

1. Melakukan pengecekan LVDT dan strain gauge yang telah dipasang sebelumnya telah tersambung baik dengan data logger dan data dapat terbaca di komputer,
2. Untuk benda uji dinding, dilakukan pengujian dengan beban siklik lateral dengan metode *displacement control*.
3. Nilai *displacement* yang diterapkan pada benda uji mengacu ke Metode B pada ASTM E2126-11 dan SNI 1726:2019. Peningkatan *displacement* dan tahapan siklus pengujian dihitung sesuai dengan diagram pada **Gambar 20** dan **Tabel 7**. Metode B membagi pola perpindahan menjadi 2. Pada pola pertama, diterapkan 1 siklus perpindahan yang meningkat sebanyak 1.25 %, 2.5%, 5 %, 7.5 %, dan 10 % dari total perpindahan ultimit (Δ_m). Pada pola kedua, diterapkan 3 siklus perpindahan yang meningkat sebanyak 20%, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %, dan 120 % dari total perpindahan ultimit(Δ_m).



Gambar 20. *Cyclic Displacement Schedule (Test Method B)*
(Sumber: ASTM E2126-11)

Tabel 7. Test Method B – Amplitudes of the Reversed Cycles

(Sumber: ASTM E2126-11)

Pola	Tahap	Jumlah Minimum Siklus	Amplitudo,	
			$\% \Delta_m$	mm
1	1	1	1,25	0,25
	2		2,5	0,5
	3		5	1
	4		7,5	1,5
	5		10	2
2	6	3	20	4
	7		40	8
	8		60	12
	9		80	16
	10		100	20
	11		Peningkatan 20% hingga spesimen mengalami kegagalan	24

Berdasarkan benda uji yang diproduksi, didapatkan untuk simpangan antar tingkat izin (Δ_m) memiliki batasan sesuai dengan SNI 1726:2019 dan dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Simpangan antar tingkat izin, (Δ_m)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang	$0,025h_{sx}^c$	$0,025h_{sx}$	$0,015h_{sx}$

dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.

Struktur dinding geser kantilever batu bata		$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya		$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua lainnya	struktur	$0,002h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Dengan melihat **Tabel 8**, dimana struktur yang direncanakan pada kategori resiko IV, dengan semua struktur lainnya, didapatkan untuk benda uji memiliki simpangan antar tingkat izin sebesar 20 mm.

4. Hasil beban dan perpindahan yang diperoleh dari masing-masing LVDT dan *strain gauge* harus dimonitor secara rutin pada komputer yang dihubungkan dengan *data logger*. Selain itu, perlu juga dilakukan pengamatan secara visual dan digambarkan langsung pada benda uji pola retak yang dialami selama proses pengujian berlangsung.

I. Analisis Data

Data-data yang diperoleh dari pengujian kemudian dianalisis untuk mendapatkan parameter yang diteliti dalam penelitian ini, yaitu:

1. Besaran beban siklik yang dihasilkan dari *horizontal jack* yang

terekam pada komputer.

2. Pembacaan nilai *LVDT* yang terekam pada komputer.
3. Pengamatan pola retak yang terjadi pada benda uji meliputi retak pertama (*first crack*), lebar retak, serta urutan retak.
4. Data hasil pembacaan *strain gauge* pada baja tulangan dan beton yang terekam pada komputer.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Material

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian karakteristik material yang digunakan untuk memproduksi sloof, kolom, balok, pengaku dan beton busa (foam concrete). Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah) agregat halus (pasir), dan *foam agent*.

A.1. Agregat Kasar Dan Agregat Halus

Agregat kasar dan agregat halus merupakan material penyusun beton yang memiliki peran yang sangat krusial dalam menentukan kualitas beton yang akan dibuat. Hasil pengujian karakteristik fisik agregat kasar dan agregat halus yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 9**. Dapat disimpulkan dari data yang diperoleh bahwa agregat kasar dan agregat halus yang digunakan telah memenuhi spesifikasi SNI sebagai material bahan penyusun penyusun beton.

Tabel 9. Karakteristik Fisik Agregat Kasar Dan Agregat Halus

Karakteristik Agregat	Hasil Pemeriksaan	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
Modulus kehalusan	6,696	1,75
Kadar Air	3,25	3,43

Berat Jenis Semu	2,83	2,66
Berat Jenis Kering	2,7	2,58
Berat Jenis <i>Saturated Surface Dry</i> (SSD)	2,75	2,61
Penyerapan Air	1,58	1,17
Berat Volume	Padat = 1,51 Lepas = 1,45	Padat = 1,47 Lepas = 1,42
Kadar Lumpur	0,923	3,43

A.2. *Foam Agent*

Foam agent merupakan larutan berbasis surfaktan yang diaktifkan dengan menggunakan air. *Foam agent* yang digunakan dalam pembuatan panel pracetak beton busa pada penelitian ini yaitu Texafon. Texafon memiliki rumus kimia yaitu $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{O}[[\text{sulfur}|\text{S}]\text{O}_3\text{Na}$. Busa yang digunakan untuk beton busa dihasilkan dari proses pencampuran Texafon, air, dan udara dengan menggunakan mesin busa. Proses *mixing* dilakukan dengan mencampurkan secara langsung busa yang sudah terbentuk pada campuran mortar segar. Karakteristik foam agent dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Karakteristik *Foam Agent* Texafon

No	Karakteristik	Texafon
1	Massa Jenis	1.07 - 1.1 g/cm ³
2	Nilai pH	7.0 - 9.0
3	Viskositas Dinamis	> 10,000 mPa*s

4	Viskositas Kinematik	> 8,000 mm ² /s
---	----------------------	----------------------------

B. *Mix Design* Beton

B.1 Beton Normal

Beton yang digunakan sebagai bahan penyusun elemen sloof, kolom, pengaku, dan balok merupakan beton normal. Saat memproduksi beton normal, digunakan rancangan campuran dengan kuat tekan rencana $f'c = 31,02$ MPa, atau setara dengan K-350, dan *slump* rencana 14 ± 2 cm. Komposisi masing-masing material untuk pembuatan 1 m³ sloof dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Komposisi Campuran Beton Untuk Sloof, Kolom, Balok, Dan Pengaku (1 m³)

Material	Jenis	Berat
Semen	PPC	456 kg
Pasir	Sungai	1000 kg
Batu pecah (1 – 2 cm)	Sungai	680 kg
Air	Tanah	205 kg
<i>Admixture (Retarder)</i>	Tipe F	1,37 kg

B.2. Beton Busa

Persyaratan struktural untuk beton busa berdasarkan SNI 2847-2019 yaitu memiliki berat volume yaitu sebesar 400 – 1850 kg/m³. Dengan mix design yang digunakan, diperoleh berat volume

pada umur 3 hari yaitu 1602 kg/m³, dan telah memenuhi spesifikasi. Komposisi masing-masing material untuk pembuatan beton busa dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Komposisi Campuran Beton Untuk Beton Busa

Material	Jenis	Berat
Air	Tanah	15.42 kg
Pasir	Sungai	88,2 kg
Semen	PCC	40 kg
Busa	Texaphone	74 Liter
Pembuatan Busa		
Air	Tanah	3,5 kg
Admixture	Texaphone	60 gram

Dengan menggunakan komposisi pada tabel 11, dihasilkan 8 cetakan panel beton busa ukuran 70 cm x 20 cm x 10 cm dan 6 silinder diameter 10 cm x 20 cm.

Pengujian Campuran:

1. Berat campuran dalam 1 liter: 1,3 kg
2. Slump Flow
 - Diameter : 42 cm
 - Tinggi : 26 cm

C. Kuat Tarik Baja Tulangan

Pada pembuatan benda uji, dilakukan pengujian kuat tarik

baja untuk tulangan yang terdapat pada kolom dan balok. Hasil dari pengujian kuat tarik baja dapat terlihat pada **Tabel 13**.

Tabel 13. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Untuk Kolom, Balok, Dan Pengaku

Diameter	Tegangan		Klasifikasi
	fy (Mpa)	fu (Mpa)	
Ø10	469,763	598,879	BjTP 280
Ø8	377,868	420,964	BjTP 280

Dari hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa tegangan leleh (fy) pada tulangan Ø10 dan Ø8 baja yaitu 469,763 MPa dan 377,868 MPa. Untuk tegangan ultimit (fu) pada tulangan Ø10 dan Ø8 baja yaitu 598,879 MPa dan 420,964 MPa. Sesuai dengan spesifikasi baja tulangan beton pada SNI 2052:2017, baja yang digunakan termasuk pada kelas baja tulangan BjTP 280.

Tabel 14. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Untuk Sloof

Diameter	Tegangan		Klasifikasi
	fy (Mpa)	fu (Mpa)	
D13	473,744	643,150	BjTS 520
Ø8	377,868	420,964	BjTP 280

Dari hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa tegangan leleh (fy) pada tulangan D13 dan Ø8 baja yaitu 473,744 MPa dan

377,868 MPa. Untuk tegangan ultimit (f_u) pada tulangan $\varnothing 10$ dan $\varnothing 8$ baja yaitu 643,150 MPa dan 420,964 MPa. Sesuai dengan spesifikasi baja tulangan beton, baja D13 yang digunakan termasuk pada kelas baja tulangan BjTS 520 dan baja $\varnothing 8$ yang digunakan termasuk pada kelas baja tulangan BjTP 280.

D. Hasil Pengujian

D.1. Hasil Uji *Slump* Beton

Hasil uji *slump* untuk sloof, kolom, balok dan pengaku dapat dilihat pada **Gambar 21**. Nilai *slump* yang diperoleh yaitu 16 cm, dan telah sesuai dengan nilai *slump* rencana untuk sloof yaitu 14 ± 2 cm.



Gambar 21. Uji *Slump* Beton Normal

Untuk pengecoran beton busa, hasil *slump flow* dapat dilihat pada **Gambar 22**. Nilai *slump flow* yang diperoleh yaitu diameter 42 cm dan tinggi 26 cm.



Gambar 22. Uji *Slump Flow* Beton Busa

D.2. Berat Volume Beton Busa

Hasil pengujian berat volume beton busa pada umur 3, 7 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 12. Berat volume beton busa dalam keadaan keras pada sampel silinder beton busa pada umur 3, 7 dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 1724,84 kg/m³, 1743,95 kg/m³ dan 1730,36 kg/m³. Berdasarkan spesifikasi SNI 03-3449-2002 dan ACI 213R3, semua sampel uji telah memenuhi syarat kategori berat volume beton ringan struktural yaitu antara 800 kg/m³ hingga 1850 kg/m³.

Tabel 15. Berat Volume Beton Busa

Lama Curing (Hari)	Sampel	Berat Volume Mortar Segar (kg/m ³)	Berat (kg)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
3	1		2,771		1764,97
	2	1382	2,686	0,00157	1710,82
	3		2,667		1698,72
Rata-Rata					1724,84
7	1		2,832		1803,82
	2	1382	2,721	0,00157	1733,12
	3		2,661		1694,90
Rata-Rata					1743,95
28	1		2,621		1669,42
	2	1382	2,723	0,00157	1734,39
	3		2,806		1787,26
Rata-Rata					1730,36

D.3. Kuat Tekan Beton Busa

Hasil uji kuat tekan beton busa dapat dilihat pada **Tabel**

16.

Tabel 16. Kuat Tekan Beton Busa

Sampel	Kuat Tekan (MPa)
1	2,55
2	2,29
3	1,78

Rata-Rata	2,21
-----------	------

Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 16**, kuat tekan sampel beton busa sampel 1, 2, dan 3 pada umur 28 hari adalah masing-masing sebesar 2,55 MPa, 2,29 MPa dan 1,78 MPa.

D.4. Kuat Tekan Beton Normal

Hasil uji kuat tekan untuk beton yang digunakan pada sloof dapat dilihat pada **Tabel 17**. Kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan sampel 1, 2 dan 3 adalah masing-masing sebesar 28.92 MPa, 29.43 MPa dan 28.79 MPa.

Tabel 17. Kuat Tekan Beton Sloof

Sampel	Kuat tekan (Mpa)
1	28,92
2	29,43
3	28,79
Rata-Rata	29,05

Untuk elemen kolom, balok dan pengaku hasil uji kuat tekan beton dapat dilihat pada **Tabel 18**. Kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan sampel 1, 2 dan 3 adalah masing-masing sebesar 26.88 MPa, 25.99 MPa dan 21.78 MPa.

Tabel 18. Kuat Tekan Beton Kolom, Balok, dan Pengaku

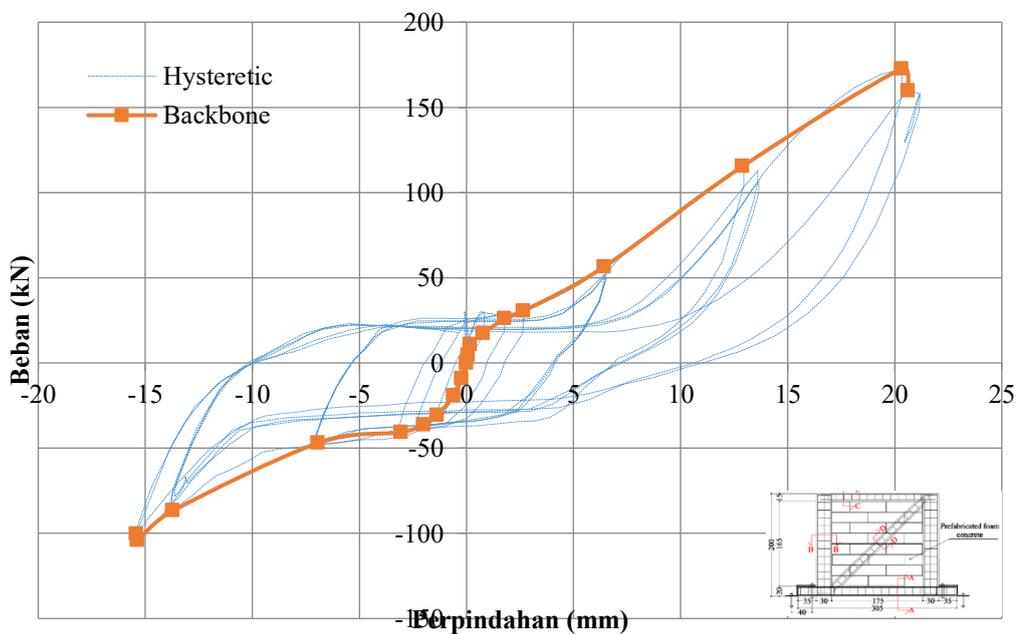
Sampel	Kuat tekan (Mpa)
--------	------------------

1	26,88
2	25,99
3	21,78
Rata-Rata	24,89

E. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan

E.1. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan pada Benda Uji W1

Grafik hubungan antara beban dan perpindahan yang diperoleh dari pengujian benda uji W1 dapat digambarkan dengan kurva *hysteresis loops*, seperti pada **Gambar 23**.

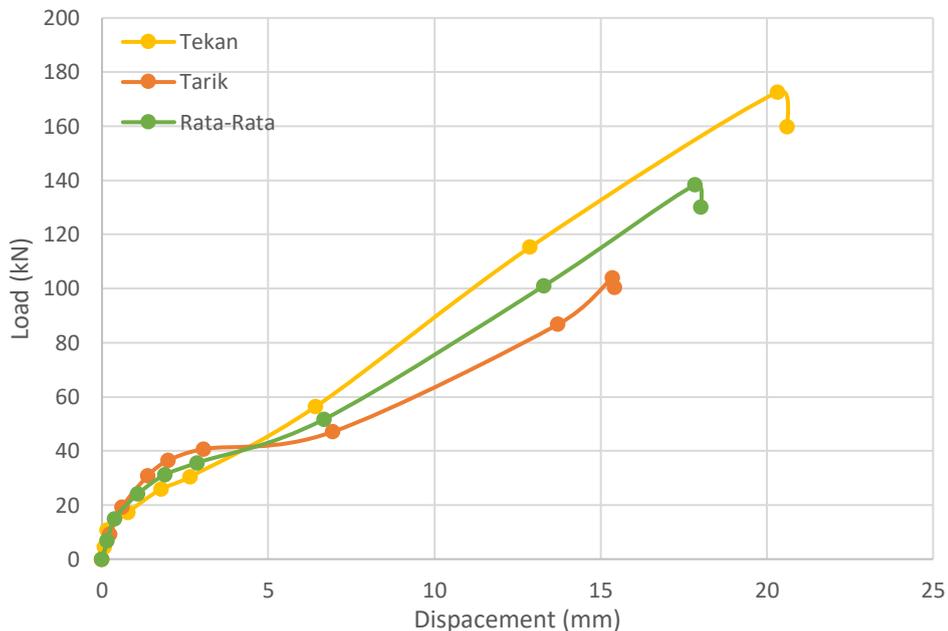


Gambar 23. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W1

Sesuai dengan Metode B pada ASTM A2126-11,

perpindahan yang diterapkan pada benda uji ditentukan berdasarkan nilai Δ_m yang diperoleh dari pengujian monotonik. Dalam hal ini, amplitudo atau $\% \Delta_m$ merupakan nilai perpindahan ultimit yang digunakan dalam menentukan persentase perpindahan untuk masing-masing siklus.

Dapat diamati dari kurva, peningkatan beban yang signifikan pada benda uji W1 pada arah tekan terjadi hingga amplitudo ($\% \Delta_m$) sebesar 40%. Sedangkan pada arah tarik, peningkatan beban yang signifikan terjadi hingga *amplitude* ($\% \Delta_m$) sebesar 40%.



Gambar 24. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Rata-Rata Benda Uji W1

Dari grafik tersebut, terlihat perbandingan nilai kuat tekan dan kuat tarik benda uji W1, dimana pada siklus 1 sampai 5 belum terjadi

perbedaan yang signifikan dikarenakan adanya pengaku pada benda uji W1 yang membantu menahan beban yang diberikan saat pengujian.

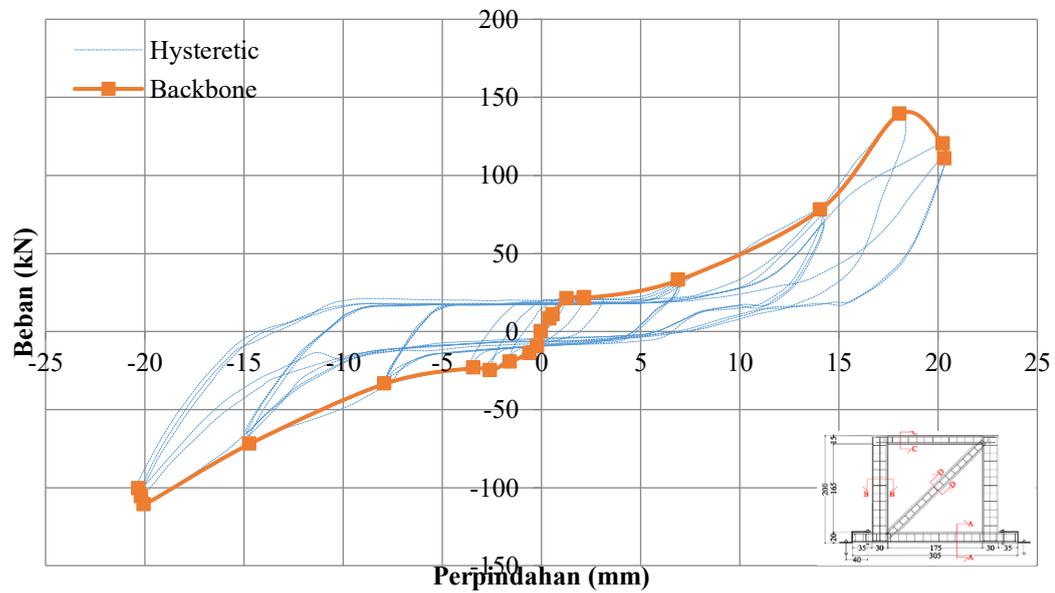
Tabel 19. Selisih Kuat Tekan dan Kuat Tarik Benda Uji W1

Siklus	Beban		Rata- Rata	Δ Selisih Tekan dan Tarik
	Tekan	Tarik		
0	0	0	0	0
1	4,47	9,18	6,825	4,71
2	10,68	19,2	17,16	8,52
3	17,31	30,825	30,3375	13,515
4	25,965	36,51	38,997	10,545
5	30,495	40,71	45,1475	10,215
6	56,34	47,055	66,015	9,285
7	115,305	86,79	115,365	28,515
8	172,575	104,025	138,3	68,55

Dari **Tabel 19**, dapat dilihat selisih antara kuat tarik dan kuat tekan pada benda uji W1. Untuk selisih terkecil terdapat pada siklus 4 dengan selisih 0.975 MPa dan selisih terbesar terdapat pada siklus ke-8 dengan selisih 68.55 MPa.

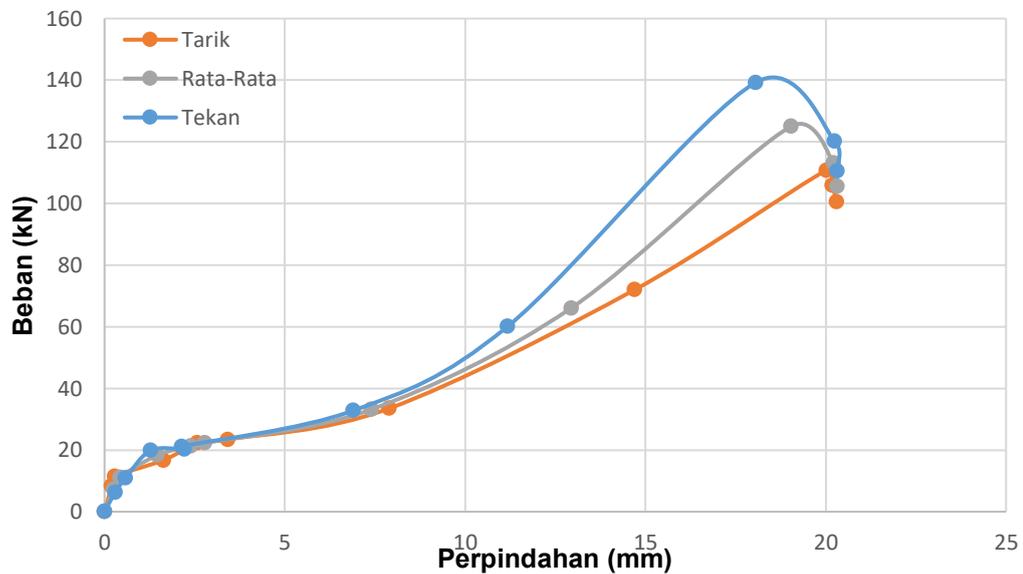
E.2. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan pada Benda Uji W2

Grafik hubungan antara beban dan perpindahan yang diperoleh dari pengujian benda uji W2 dapat digambarkan dengan kurva *hysteresis loops*, seperti pada **Gambar 25**.



Gambar 25. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W2

Dapat diamati dari kurva, peningkatan beban yang signifikan pada benda uji W2 pada arah tekan terjadi hingga amplitudo ($\% \Delta_m$) sebesar 40%. Sedangkan pada arah tarik, peningkatan beban yang signifikan terjadi hingga *amplitude* ($\% \Delta_m$) sebesar 40%.



Gambar 26. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Rata-Rata Benda Uji W2

Dari grafik tersebut, terlihat perbandingan nilai kuat tekan dan kuat tarik benda uji W2, perbedaan yang signifikan terjadi pada siklus 6 dimana nilai kutan tekan dan kuat tarik benda uji yaitu 70.83 MPa dan 33.525 MPa.

Tabel 20. Selisih Kuat Tekan dan Kuat Tarik Benda Uji W2

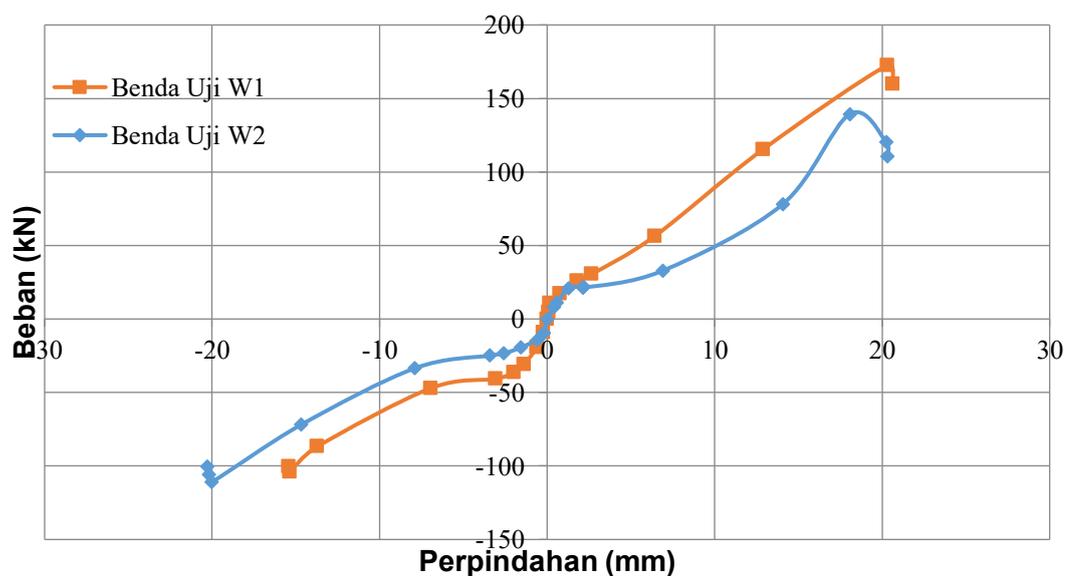
Siklus	Beban		Rata-Rata	Δ Selisih Tekan dan Tarik
	Tekan	Tarik		
0	0	0	0	0
1	6,33	8,355	7.3425	2,025
2	10,89	11,475	11.1825	0,585
3	19,92	16,725	18.3225	3,195
4	20,25	22,29	21.27	2,04

5	21,165	23,445	22.305	2,28
6	32,82	33,525	33.1725	0,705
7	60,135	72	66.0675	11,865
8	139,29	110,79	125.04	28,5

Dari **Tabel 20**, dapat dilihat selisih antara kuat tekan dan kuat tarik pada benda uji W2. Untuk selisih terkecil terdapat pada siklus ke-1 dengan selisih 1.35 MPa dan selisih terbesar terdapat pada siklus ke-7 dengan selisih 44.04 MPa.

E.3. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan pada Semua Benda Uji

Perbandingan antara grafik hubungan beban dan perpindahan yang diperoleh dari pengujian siklik untuk benda uji W1 dan W2 dapat dilihat pada **Gambar 27**.



Gambar 27. Grafik Hubungan Beban Dan Perpindahan Benda Uji W1 dan W2

Dari **Gambar 27**, dapat diamati bahwa benda uji W1 dan W2 memiliki perbedaan kekuatan yang tidak terlalu berbeda.

Tabel 21. Kekuatan Benda Uji W1

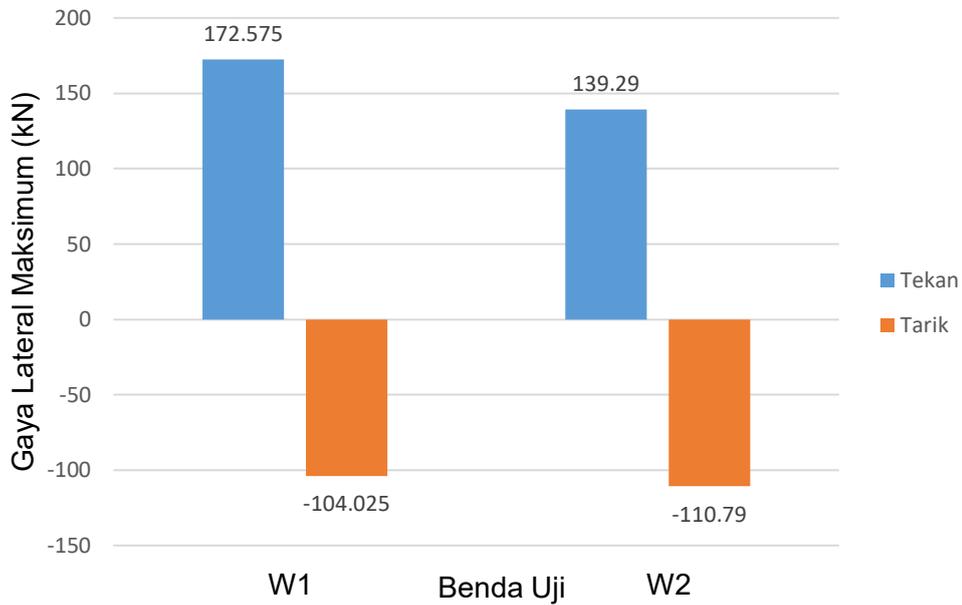
Benda Uji	Arah Pembebanan	Beban (kN)			keterangan
		Beban	$\frac{\Delta m}{m}\%$	mm	
W1	Tekan	172,575	100	20	Memenuhi kriteria $\Delta m 100\%$ dari 0,01h, dimana h=2000 mm
	Tarik	104,03	75	15	Pada siklus 8 fase 1, beban mencapai 104,03 kN dan mengalami penurunan pada fase 2 sebesar 3,56%

Pada pengujian siklus 8 fase 1, terjadi beban maksimum pada arah tekan dan tarik semua benda uji. Benda uji W1 pada arah pembebanan tekan, telah memenuhi kriteria $\Delta m 100\%$ dari 0,01h, dengan beban maksimum sebesar 159,84 kN. Pada beban arah tarik terjadi pembebanan maksimum pada siklus 8 fase 1 yang memiliki beban maksimum sebesar 104,03 kN pada simpangan 15 mm dengan nilai $\Delta m\%$ pada arah tarik sebesar 75%. Beban pada arah tarik mengalami penurunan pada fase 2 sebesar 3,705 kN atau 3,56%.

Tabel 22. Kekuatan Benda Uji W1 dan W2

Benda Uji	Arah Pembebanan	Beban (kN)			
		Beban	Simpangan $\Delta m\%$	mm	
W2	Tekan	139,79	90	18	Pada siklus 8 fase 1 beban mencapai 139,79, dan mengalami penurunan pada fase 2 sebesar 4,45%
	Tarik	110,79	100	20	Memenuhi kriteria $\Delta m100\%$ dari 0,01h, dimana $h=2000$ mm

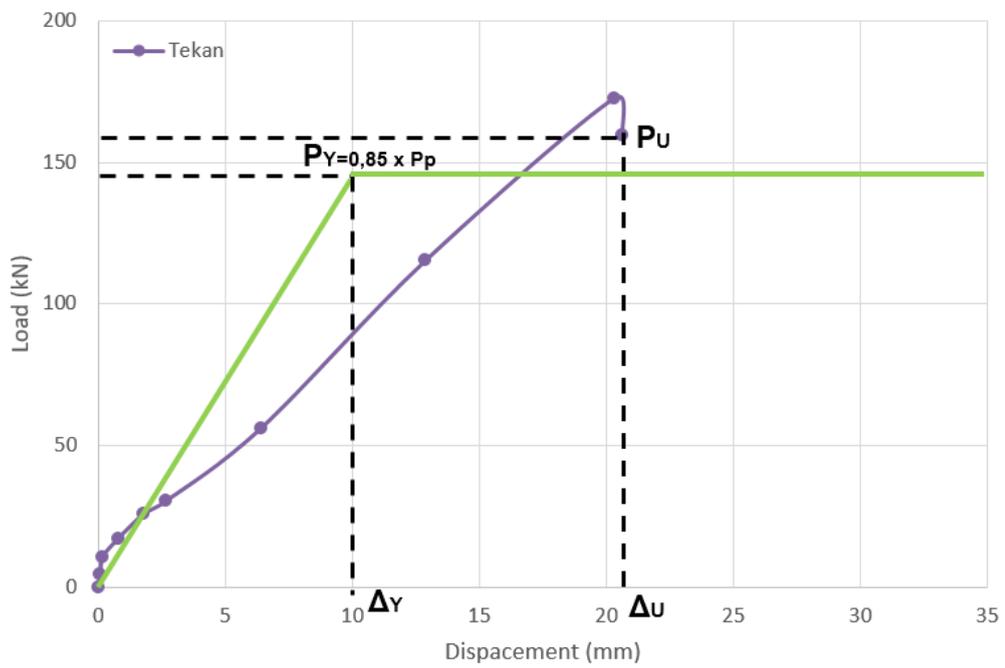
Pada benda uji W2, terjadi pembebanan maksimum arah tekan pada siklus 8 fase 1 yang memiliki beban maksimum sebesar 139,79 kN pada simpangan 18 mm dengan nilai $\Delta m\%$ pada arah tarik sebesar 90%. Beban pada arah tekan mengalami penurunan pada fase 2 sebesar 4,94kN atau 4,45%. Sedangkan pada arah pembebanan tarik, benda uji W2 telah memenuhi kriteria $\Delta m100\%$ dari 0,01h, dengan beban maksimum sebesar 110,79 kN.



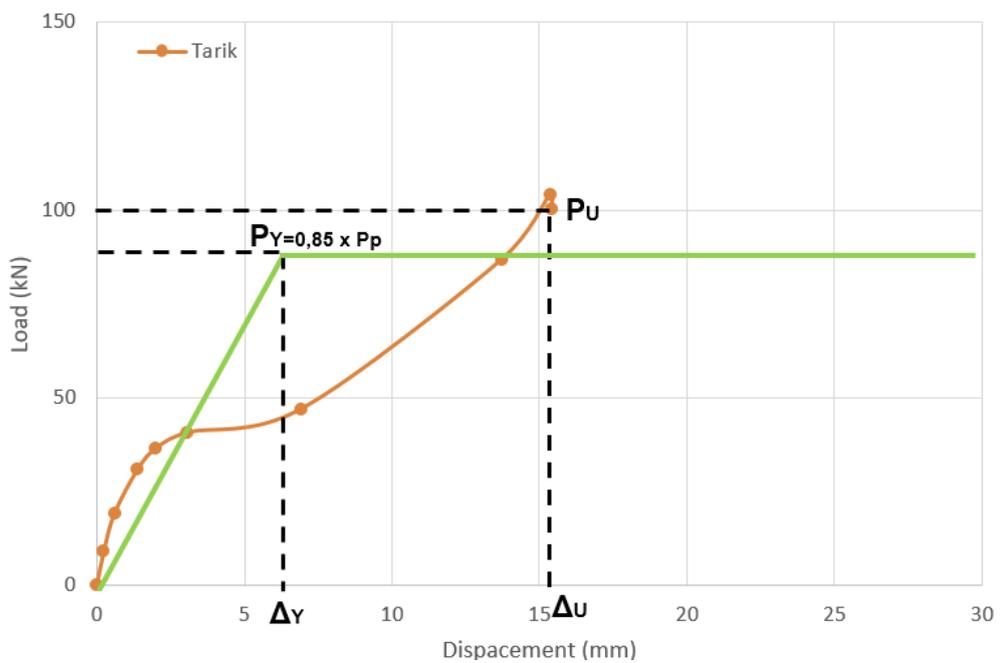
Gambar 28. Perbandingan Kekuatan Benda Uji W1 dan W2

F. Analisis Daktilitas

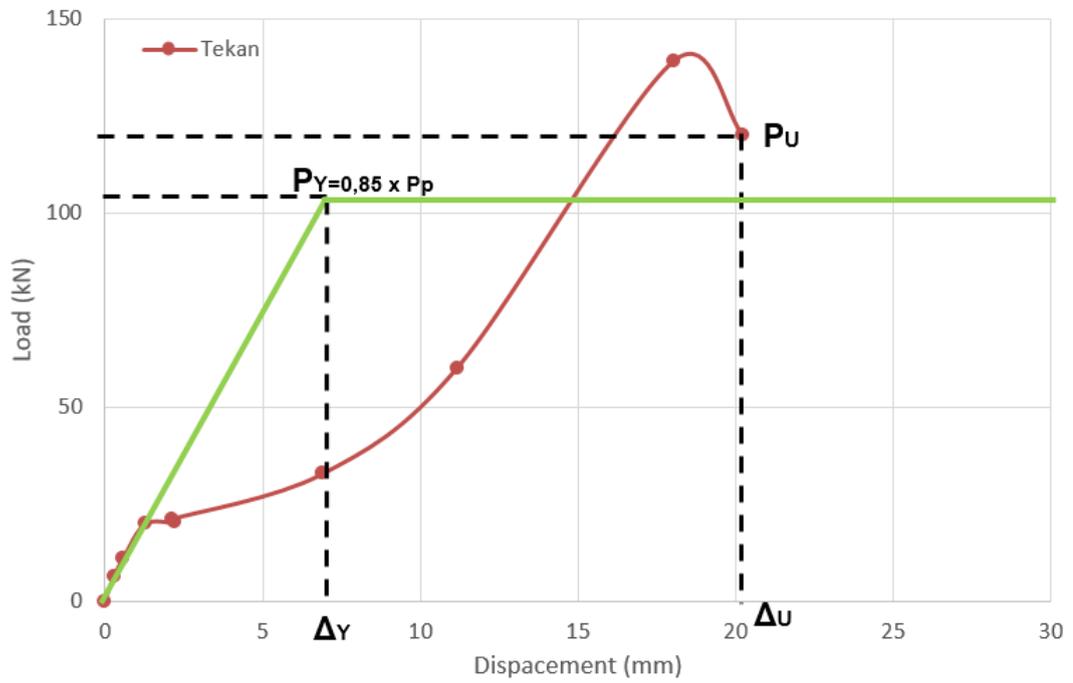
Dengan grafik hubungan antara beban dan perpindahan yang diperoleh dari pengujian, dapat ditentukan nilai beban dan perpindahan dalam kondisi leleh dan ultimit melalui kurva *Equivalent Energy Elastic- Plastic*, atau kurva EEEP, berdasarkan ASTM E2126-2011. Dengan adanya variabel-variabel tersebut, maka nilai daktilitas untuk masing- masing benda uji dapat dihitung. Kurva EEEP untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada **Gambar 29**, **Gambar 30**, **Gambar 31**, dan **Gambar 32**.



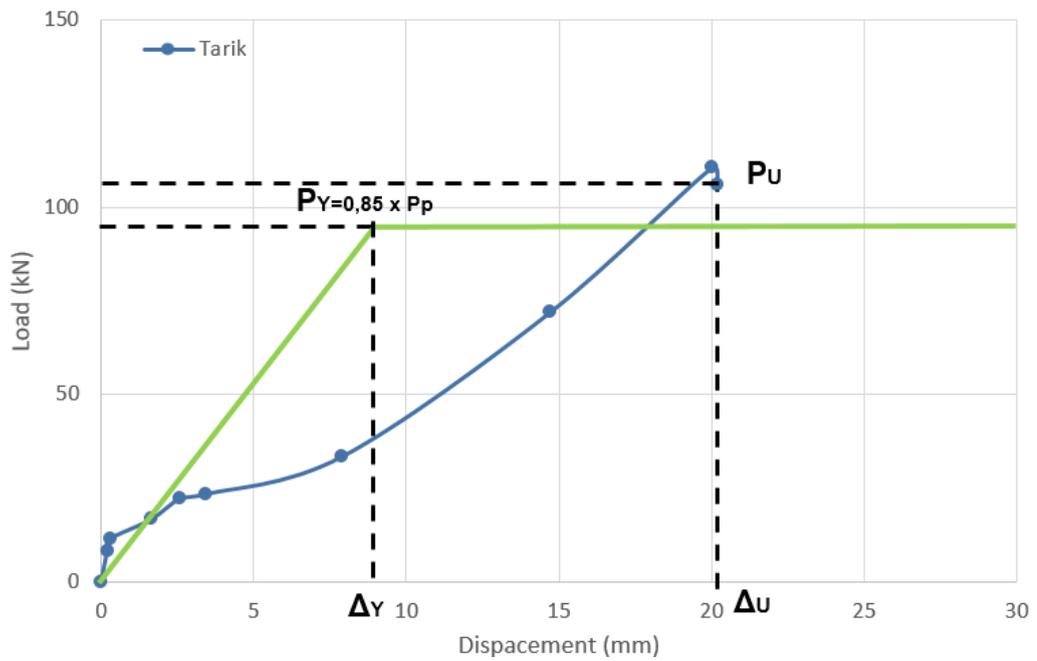
Gambar 29. Kurva EEEP Tekan Benda Uji W1



Gambar 30. Kurva EEEP Tarik Benda Uji W1



Gambar 31. Kurva EEEP Tekan Benda Uji W2



Gambar 32. Kurva EEEP Tarik Benda Uji W2

Variabel beban dan perpindahan untuk masing-masing benda uji dalam kondisi leleh dan ultimit yang diperoleh dengan kurva EEEP dapat dilihat pada **Tabel 23** dan **Tabel 24**.

Tabel 23. Nilai Beban P_P , P_Y , dan P_U Benda Uji W1 dan W2

Benda Uji		P_P	P_Y	P_U
		(kN)	(kN)	(kN)
W1	Tekan	172,575	146,689	159,84
	Tarik	104,025	88,421	100,32
W2	Tekan	139,29	118,3965	120,285
	Tarik	110,79	94,1715	105,855

Tabel 24. Nilai Perpindahan Δ_P , Δ_Y , dan Δ_U Benda Uji W1 dan W2

Benda Uji		Δ_P	Δ_Y	Δ_U
		(mm)	(mm)	(mm)
W1	Tekan	20,32	10	20,62
	Tarik	15,36	6	15,42
W2	Tekan	18,06	6,5	20,24
	Tarik	20,02	9,5	20,18

Pada penentuan P_Y , dilakukan identifikasi untuk memenuhi syarat untuk mengasumsikan nilai beban leleh sama dengan 85% dari beban puncak. Hasil identifikasi dapat dilihat pada **Tabel 25**.

Tabel 25. Identifikasi Syarat Asumsi Penentuan Nilai Beban Leleh

Benda Uji	Δu^2	2A	K_e	Hasil Perhitungan	
				Δu^2	$\frac{2A}{K_e}$
W1	Tekan	425.1844	3788.761	8.62875	425.1844 < 439.0858
	Tarik	237.7764	1748.235	6.935	237.7764 < 252.0887
W2	Tekan	409.6576	487.4735	5.306286	409.6576 < 487.4735
	Tarik	407.2324	2096.603	4.028727	407.2324 < 520.4131

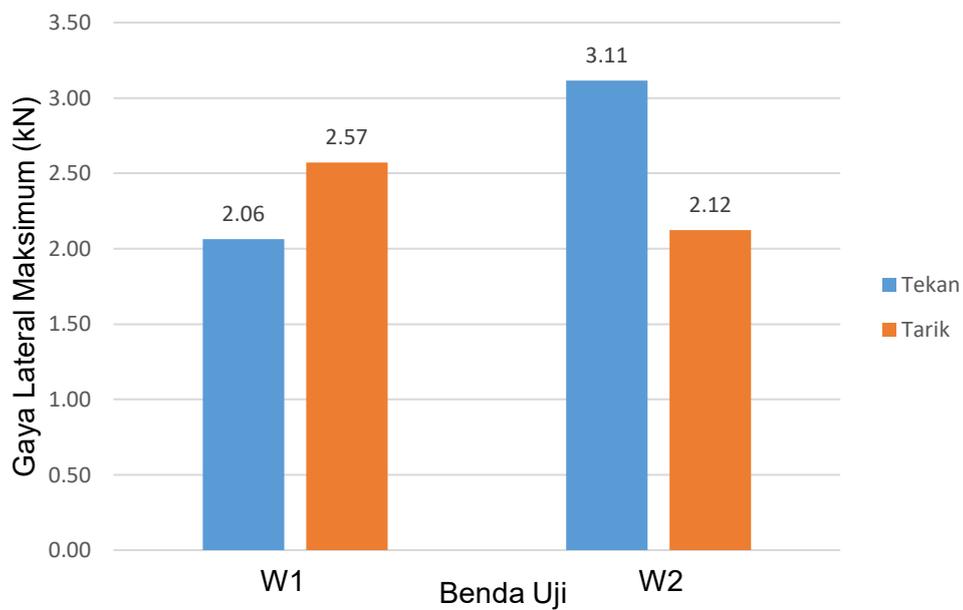
Dari hasil identifikasi, didapatkan hasil bahwa perhitungan nilai beban leleh memenuhi syarat untuk diasumsikan menjadi 85% dari beban puncak (P_p).

Berdasarkan variabel-variabel di atas, maka hasil analisis daktilitas yang diperoleh untuk masing-masing benda uji dapat diamati pada **Tabel 26** dan grafik perbandingan antara nilai daktilitas pada masing-masing benda uji disajikan pada **Gambar 33**.

Tabel 26. Nilai Daktilitas Arah Tarik Dan Tekan Pada Benda Uji W1 dan W2

Benda Uji	Δ_u	Δ_y	Daktilitas	Keterangan (SNI 03-1726-2002)	
	(mm)	(mm)	(μ)		
W1	Tekan	20,62	10	2,062	Daktilitas Parsial
	Tarik	15,42	6	2,57	Daktilitas Parsial
W2	Tekan	20,24	6,5	3,11	Daktilitas Parsial

Tarik	20,18	9,5	2,12	Daktalitas Parsial
-------	-------	-----	------	--------------------



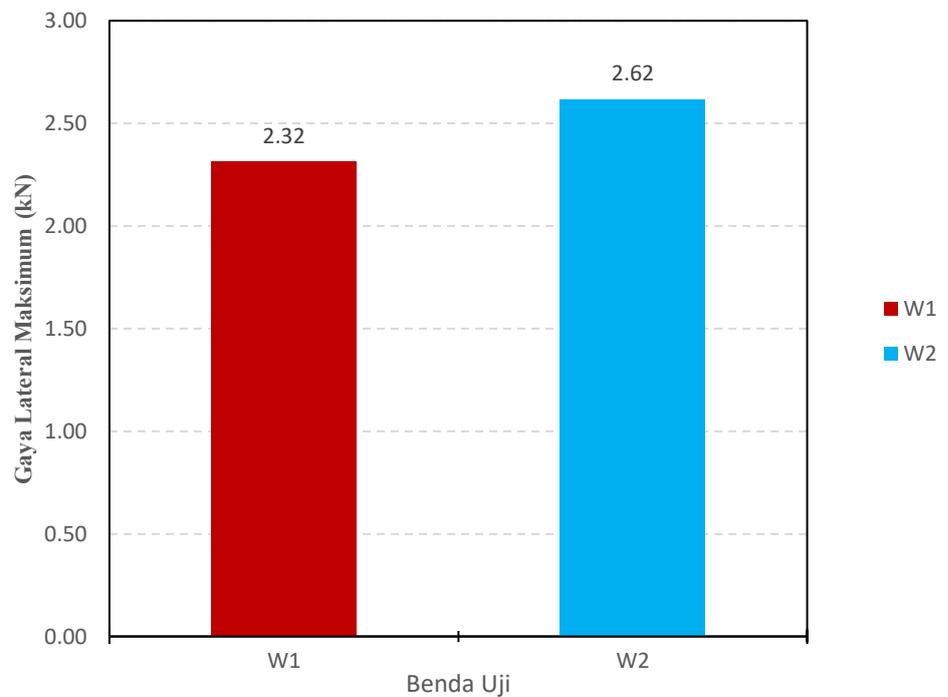
Gambar 33. Perbandingan Nilai Daktalitas Arah Tekan Dan Tarik Pada Benda Uji W1 dan W2

Dari hasil analisis, diperoleh nilai daktalitas untuk benda uji W1 diperoleh nilai daktalitas pada arah tekan sebesar 2,06 dan pada arah tarik sebesar 2,57. Sedangkan untuk benda uji W2 diperoleh nilai daktalitas pada arah tekan sebesar sebesar 3,11 dan pada arah tarik sebesar 2,12.

Tabel 27. Nilai Daktalitas Benda Uji W1 Dan W2

Benda Uji	Daktalitas (μ)
W1	2,32

W22,62



Gambar 34. Daktilitas Benda Uji W1 Dan W2

Berdasarkan analisis tersebut, didapatkan nilai daktilitas benda uji W1 sebesar 2,32 dan benda uji W2 sebesar 2,62. Benda uji W1, mengalami penurunan daktilitas sebesar 22,15% dibandingkan dengan benda uji W2. Adanya bahan pengisi berupa panel pracetak beton busa menyebabkan penurunan daktilitas pada benda uji W1.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Pada akhir pengujian, benda uji W1, yaitu rangka dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku, memiliki kekuatan yang lebih tinggi pada arah pembebanan tekan, dibandingkan dengan benda uji W2, yaitu rangka beton bertulang yang menggunakan pengaku. Sedangkan pembebanan pada arah tarik, kekuatan maksimum pada benda uji W1 lebih rendah, dibandingkan dengan beban pada arah tarik benda uji W2.
2. Nilai daktilitas pada benda uji W1, yaitu dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku sebesar 2,32, sedangkan nilai daktilitas benda uji W2, yaitu portal rangka beton bertulang menggunakan pengaku sebesar 2,62. Benda uji W1 mengalami penurunan daktilitas sebesar 22,15% yang diakibatkan adanya bahan pengisi pada benda uji W1, sehingga nilai daktilitas benda uji W1 lebih rendah dari benda uji W2.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai benda uji dinding pengisi bata konvensional dan menggunakan pengaku.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai kekakuan benda uji dinding pengisi beton busa dan menggunakan pengaku.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E2126-11. 2011. Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Buildings. ASTM International. Pennsylvania, United States.
- Andriati Amir Husin, Rudi Setiadji, 2008, Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kualitas Bata Beton, Pusat Litbang Permukiman Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan – Kab. Bandung 40393.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia, SNI 03-2847-2002 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia, SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, BSN, Jakarta.
- Brady, K. C, G. R. A. Watts, M. R. Jones. 2001. Spesification for Foam Concrete. TRL Limited.
- Cyclic testing of an innovative self-centering X-braced ductile shear panel Guohua Sun Yu Zhu School of Civil Engineering, Suzhou University of Science and Technology, China 2021.
- Dewobroto, W. 2005. Analisa Inelastis Portal - Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut". Jurnal Teknik Sipil, Vol. 12, No. 4. Institut Teknologi Bandung.
- Dindhya Bayu Andriansyah.2018.Pemanfaatan Limbah Tetes Tebu Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton (Utilization Of Sugar Cane Waste As Additional Materials On Concrete Mixture), Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- Hadis Mohammad Moradia, Behrokh Hosseini Hashemia, Mohammad Ali Jafarib, Experimental and numerical study on the cyclic behavior of link-beam shear-panel connected to frame beams, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran 2020.
- In-plane cyclic testing of precast concrete wall panels with grouted metal duct base connections Pouya Seifi, Richard Stuart Henry, Jason Maxwell Ingham Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Auckland, Auckland 1010, New Zealand 2019.
- I Putu Dede Narendra, Pengaruh Penambahan Variasi Kadar Serat Kawat Bendrat Pada Beton Dengan Tambahan Viscocrete-1003 Dan Fly Ash Terhadap Sifat Mekanik Beton, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta Yogyakarta Januari 2019.
- Karakteristik Beton Busa (Tinjauan pada Konduktivitas Termal dan Sound Absorption Beton). Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA). ISSN 2527-6042.

- Mc Cormac, Jack C. 2004. Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 2. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Mey Setyowati, Analisis Penambahan Foam Agent Pada Bata Ringan Pegunungan Kendeng Kabupaten Rembang, Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang 2019.
- Miss Meera, Supratic Gupta, Development of a strength model for foam concrete based on water – cement ratio, Civil Engineering Department, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi, 110016, India 2020.
- M.J. Gombeda, C.J. Naito, S.E. Quiel, Development and performance of a ductile shear tie for precast concrete insulated wall panels, Journal of Building Engineering (2019).
- M.J. Gombeda, C.J. Naito, S.E. Quiel, Flexural performance of precast concrete insulated wall panels with various configurations of ductile shear ties, Journal of Building Engineering (2020).
- Murty, C. V. R. 2003. IITK – BMTPC Earthquake Tips Learning Earthquake Design and Construction. New Delhi: National Information Center Earthquake Engineering Indian Institute of Technology Kanpur.
- Prayuda, H., 2015. Gaya Lateral In-Plane Struktur Portal Dinding Pasangan Bata ½ Batu Melalui Analisis Numerik. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 18, No. 2, hal. 130-139. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Rommel, E., et al. 2017. Pengaruh Pemakaian Fly-Ash terhadap Karakteristik Beton Busa (Tinjauan pada Konduktivitas Termal dan Sound Absorption Beton). Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA). ISSN 2527-6042.
- SNI 1726-2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- SNI 1969:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.
- Sumirin. 2006. Kajian Kekuatan Dan Daktilitas Kolom Bertulang. Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 14, No. 1. Universitas Diponegoro.
- Wenwu Lan a,b,1 , Bing Li c , Zhongwen Zhang c , * Seismic performance of steel-concrete composite structural walls with prestressed internal bracing, College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, PR China, 2018.
- Wijanto, L. S. 2007. Seismic Assessment of Unreinforced Masonry Walls. Tesis untuk Derajat Doktor Teknik Sipil. Department of Civil Engineering. University of Canterbury, New Zealand.
- Wuryati Samekto & Candra Rahmadiyanto, 2001, Teknologi beton, Kanisius, Yogyakarta.

Yusuke Maida a, Hiroyasu Sakata a , Zhe Qu b, Toshio Maegawa c, Hiro Suzuki d, Cyclic loading test of lightly reinforced concrete wall piers with slit dampers in RC frames, a Dept. Architecture and Building Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan, 2021.

Lampiran

Pembuatan Beton Busa Pracetak



Pemasangan Beton Busa Pracetak Pada Rangka Dinding



Pemasangan Strain Gauge



Setup Alat dan Cyclic Actuator



Pengujian Benda Uji

