

**PENGARUH EKSENTRISITAS SATU SISI BRACING PADA
STRUKTUR PORTAL AKIBAT BEBAN LATERAL TERHADAP
HUBUNGAN TEGANGAN - REGANGAN STRUKTUR**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AJIT RACHMATSYAH WALUYO
NIM. 155060107111029**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Eksentrisitas Satu Sisi *Bracing* pada Struktur Portal akibat Beban Lateral Terhadap Hubungan Tegangan – Regangan Struktur”**.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu **Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT.** selaku Dosen Pembimbing I.
2. Bapak **Ananda Insan F., ST., MT., M.Sc.** selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak **Prof. Ir. Ludfi Djakfar, MSCE., Ph.D** selaku Dosen Penasehat Akademik.
4. Bapak **Dr. Eng Alwafi Pujiraharjo., ST, MT.** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
5. Bapak **Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
6. Bapak **Jalu Waluyo Martinoes** dan Ibu **Katrina Sriyati** selaku orang tua yang membimbing penulis sejak kecil hingga dapat sampai ke titik ini.
7. Sebelas anggota **Tim Skripsi Portal** sebagai teman seperjuangan selama mengerjakan skripsi.
8. Sebelas penghuni **Kontrakan FORSIS** sebagai keluarga terdekat penulis selama menjalankan perkuliahan di Universitas Brawijaya
9. Empat orang hebat pada **Tim ALPHABET** yang selalu penulis jadikan sebagai panutan untuk dapat terus berkembang.
10. **Zulaika Nur Jannah, ST** selaku pemberi semangat dan dukungan selama perkuliahan.
11. **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil** Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan ketekniksipilan.

Ajit Rachmatsyah W.

- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



DAFTAR ISI

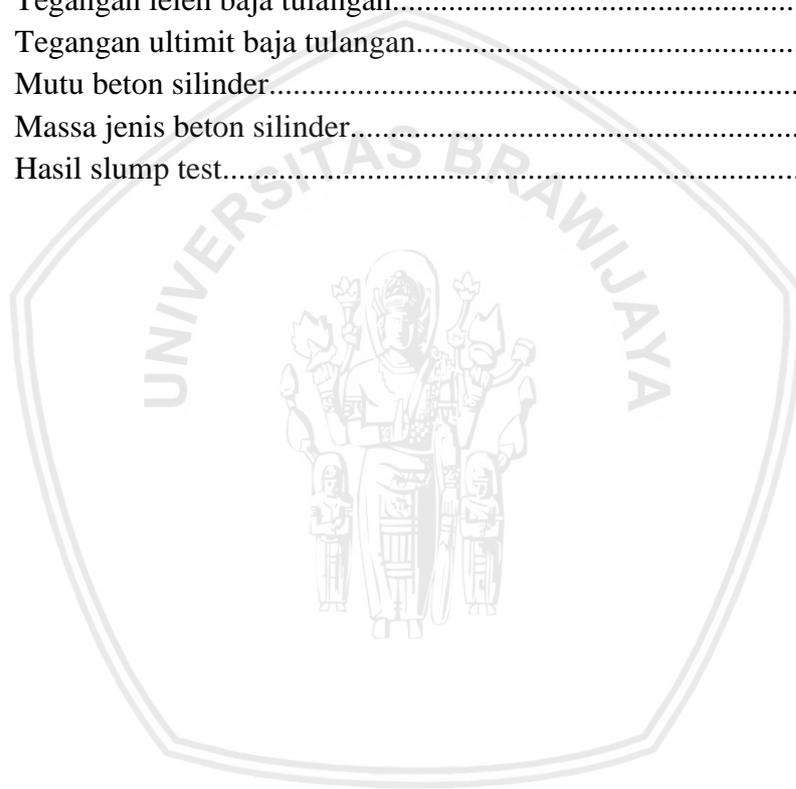
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SIMBOL	x
RINGKASAN.....	xii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton bertulang	5
2.2 Gaya lateral.....	7
2.3 Portal.....	8
2.4 Tegangan	9
2.5 Regangan	11
2.6 Modulus elastisitas	11
2.7 Penelitian terdahulu	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Tempat dan waktu penelitian.....	13
3.2 Bahan penelitian	13
3.3 Peralatan penelitian.....	14
3.4 Tahapan Penelitian	16
3.5 Rancangan Penelitian	17
3.6 Variabel Penelitian	19
3.7 Mix Design	20

3.8	Prosedur Penelitian.....	20
3.9	Pengumpulan Data	25
3.10	Pengolahan Data.....	26
3.11	Hipotesis Penelitian.....	28
BAB IV PEMBAHASAN.....		31
4.1	Analisis bahan	31
4.2	Proses pembuatan benda uji	34
4.3	Proses pengujian.....	37
4.4	Hasil pengujian.....	37
BAB V PENUTUP.....		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		52



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Penelitian terdahulu.....	12
Tabel 3.1	Variasi konfigurasi <i>bracing</i> pada benda uji portal.....	17
Tabel 3.2	Jumlah benda uji.....	18
Tabel 3.3	Kebutuhan bahan untuk membuat 1m ³ beton K-175.....	20
Tabel 3.4	Form pengumpulan data uji tekan beton.....	25
Tabel 3.5	Form pengumpulan data uji tarik (1).....	25
Tabel 3.6	Form pengumpulan data uji tarik (2).....	25
Tabel 4.1	Komposisi campuran beton.....	31
Tabel 4.2	Tegangan leleh baja tulangan.....	32
Tabel 4.3	Tegangan ultimit baja tulangan.....	32
Tabel 4.4	Mutu beton silinder.....	33
Tabel 4.5	Massa jenis beton silinder.....	34
Tabel 4.6	Hasil slump test.....	36



- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Jenis-jenis sistem rangka pengaku konsentrik (CBF).....	8
Gambar 2.2	Jenis-jenis sistem rangka pengaku eksentrik (EBF).....	9
Gambar 2.3	Tegangan aksial tarik.....	10
Gambar 2.4	Tegangan aksial tekan.....	10
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian.....	16
Gambar 3.2	Detail penampang benda uji portal.....	17
Gambar 3.3	Benda uji portal kode A.....	19
Gambar 3.4	Benda uji portal kode D.....	19
Gambar 3.5	Benda uji portal kode E.....	19
Gambar 3.6	Ilustrasi pengujian benda uji portal.....	23
Gambar 3.7	Detail pemasangan <i>strain gauge</i>	23
Gambar 3.8	Bagian portal yang diterima sebagai beban aksial.....	27
Gambar 4.1	Diagram $P/\Delta L$ benda uji A.....	38
Gambar 4.2	Diagram $P/\Delta L$ benda uji D.....	39
Gambar 4.3	Diagram $P/\Delta L$ benda uji E.....	40
Gambar 4.4	Perbandingan diagram $P/\Delta L$ dari ketiga benda uji.....	41
Gambar 4.5	Diagram tegangan-regangan baja untuk benda uji A.....	43
Gambar 4.6	Diagram tegangan-regangan beton untuk benda uji A.....	44
Gambar 4.7	Diagram tegangan-regangan baja untuk benda uji D.....	45
Gambar 4.8	Diagram tegangan-regangan beton untuk benda uji D.....	46
Gambar 4.9	Perbandingan diagram tegangan-regangan baja.....	47
Gambar 4.10	Perbandingan diagram tegangan-regangan beton.....	48



- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Analisis material.....	53
Lampiran 2	Data hasil pengujian hubungan P/ Δ L.....	59
Lampiran 3	Data hasil pengujian hubungan tegangan-regangan.....	65
Lampiran 4	Dokumentasi.....	75



- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Beban	Kilogram atau kg	P
Diameter tulangan	Milimeter atau mm	\emptyset
Gaya	Newton atau N	F
Inersia	Milimeter pangkat empat atau mm ⁴	I
Lebar penampang	Milimeter	b
Luas Penampang	Milimeter kuadrat atau mm ²	A
Massa	Kilogram atau kg	m
Modulus Elastisitas	Kilonewton per milimeter kuadrat atau kN/mm ²	E
Momen	Kilogram meter atau kg.m	M
Mutu beton kubus	Kilogram per centimeter kuadrat atau Kg/cm ²	K
Mutu beton silinder	Megapascal atau MPa	f'_c
Panjang	Meter atau m	L
Perubahan Panjang	Milimeter atau mm	ΔL
Regangan	-	ε
Tegangan	Megapascal atau MPa	σ
Tegangan Leleh	Megapascal atau MPa	f_y
Tegangan Ultimit	Megapascal atau MPa	f_u
Tinggi penampang	Milimeter	h



- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



RINGKASAN

Ajit Rachmatsyah Waluyo, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2019, *Pengaruh Eksentrisitas Satu Sisi Bracing pada Struktur Portal akibat Beban Lateral terhadap Hubungan Tegangan-Regangan Struktur*, Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Lilya Susanti ST., MT. dan Ananda Insan F, ST., MT., M.Sc

Indonesia memiliki tingkat ancaman gempa bumi yang tinggi. Banyak bangunan di Indonesia rusak akibat gempa karena strukturnya tidak memenuhi. Salah satu inovasi untuk meningkatkan kekuatan struktur dalam menahan gempa adalah dengan menambahkan *bracing*. Pada umumnya *bracing* terhubung di titik pertemuan antara kolom dan balok, yang disebut sebagai *bracing* tanpa eksentrisitas (CBF). Namun, sistem *bracing* CBF terkadang sulit diterapkan pada sebuah struktur. Pemasangan *bracing* dengan eksentrisitas (EBF) perlu dilakukan. Maka, dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efektifitas *bracing* yang memiliki eksentrisitas.

Dalam penelitian ini dibuat tiga benda uji portal. Benda uji portal berupa portal beton sederhana yang terdiri dari balok, kolom, dan *bracing* satu arah. Benda uji portal memiliki tinggi 70 cm dan panjang 100 cm. *Bracing* pada benda uji portal pertama tidak memiliki eksentrisitas. Sedangkan, benda uji lainnya diberikan eksentrisitas pada sisi atasnya masing-masing 15 cm, dan 30 cm. Benda uji portal dibuat dengan tulangan utama $\emptyset 6$ dan sengkang $\emptyset 4-150$. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *load cell* untuk memberikan beban lateral, LVDT untuk memperoleh nilai defleksi, dan *strain gauge* untuk memperoleh nilai regangan.

Hasil penelitian ini diketahui bahwa portal dengan eksentrisitas 15 cm memiliki tegangan maksimum yang hampir sama dengan portal yang non-eksentris, dengan nilai tegangan baja dan beton masing-masing 0,21% dan 0,24% lebih kecil. Regangan maksimum benda uji non-eksentris untuk baja dan beton masing-masing $23,73 \times 10^{-4}$ dan $4,14 \times 10^{-4}$. Sedangkan benda uji dengan eksentrisitas 15 cm masing-masing $23,36 \times 10^{-4}$ dan $10,64 \times 10^{-4}$. Beban maksimum dari benda uji non-eksentris dan benda uji dengan eksentrisitas 15 cm sama besar, namun untuk benda uji dengan eksentrisitas 30 cm memiliki beban maksimum 52,27% lebih kecil dari benda uji yang non-eksentris.

Kata Kunci : Portal, *Bracing*, Tegangan-Regangan, Beban Lateral

- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



SUMMARY

Ajit Rachmatsyah Waluyo, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, January 2018, *Effect of One-sided Eccentricity on Single Bracing of Portal Frame Structure due to Lateral Load against Stress-Strain Relation of the Structure*
Academic Supervisor : Dr. Eng. Lilya Susanti ST., MT. and Ananda Insan F, ST., MT., M.Sc.

Indonesia has a high risk of earthquakes. Many buildings in Indonesia were damaged by earthquake because the structure did not meet standards for supporting earthquake loads. One of the innovation to increase the strength of the structure in resisting earthquakes is to add bracing. Generally, bracing is connected on the meeting point between columns and beams, which are called CBF (Concentrically Braced Frames). However, CBF bracing are sometimes difficult to apply effectively to a structure. The solution is to install an eccentric bracing called EBF (Eccentrically Braced Frames). Therefore, further research is needed to determine the effectiveness of eccentric bracing.

In this study three frame samples were made. The frame samples is simple concrete frame consisting of beams, columns and one-way bracing. The frame samples have a height of 70 cm and length of 100 cm. Bracing on the first frame sample did not have any eccentricity. Meanwhile, the other two samples were given eccentricity on the upper side with a length of 15 cm and 30 cm, respectively. Frame samples reinforcement composed of $\varnothing 6$ main reinforcement and $\varnothing 4-150$ stirrups. Testing is done by using a load cell to provide lateral loads to the frame samples, LVDT to obtain deflection values, and strain gauges to obtain strain values.

The results of this study is that the frame with 15 cm eccentricity has a maximum stress that is almost the same as a non-eccentric frame, with tensile and compressive column stress values only 0.21% and 0.24% smaller, respectively. The maximum strain of non-eccentric sample for the tensile and compressive columns is 23.73×10^{-4} and 4.14×10^{-4} , respectively. While the sample with 15 cm eccentricity were 23.36×10^{-4} and 10.64×10^{-4} , respectively. The maximum load of non-eccentric sample and sample with 15 cm eccentricity are equal, but for sample with 30 cm eccentricity have a maximum load which 52.27% smaller than the non-eccentric sample.

Keywords: Frame Structure, Bracing, Stress-Strain Relation, Lateral Load

- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia yang berada diantara tiga lempeng tektonik raksasa yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng India-Australia menyebabkan negara tersebut memiliki tingkat ancaman gempa bumi tektonik yang tinggi. Gempa bumi tektonik adalah gempa bumi yang terjadi karena gesekan antara lempeng bumi. Tingkat ancaman gempa bumi di Indonesia menjadi semakin tinggi dikarenakan Indonesia merupakan salah satu negara *ring of fire*, yang berarti Indonesia memiliki banyak gunung berapi aktif. Aktivitas gunung berapi aktif di dalam bumi dapat menyebabkan gempa yang dinamakan gempa bumi vulkanik.

Banyak bangunan di Indonesia terutama gedung rusak akibat gempa karena struktur dari bangunan tersebut tidak memenuhi standar untuk menerima beban yang diakibatkan oleh gempa. Ada beberapa inovasi yang telah diteliti untuk meningkatkan kekuatan struktur dalam menahan gempa, seperti misalnya menambahkan balok diagonal pada struktur yang dinamakan *bracing*, mengisolasi pondasi dari struktur lainnya agar beban gempa hanya diterima pondasi yang disebut sebagai *base isolation*, dan penggunaan bandul pada bangunan tinggi untuk menciptakan ayunan dengan arah berlawanan dari arah gempa agar getaran yang diterima bangunan menjadi lebih kecil. Diantara ketiga inovasi diatas *bracing* merupakan solusi yang cukup praktis untuk diterapkan di Indonesia, hal ini dikarenakan kemudahan pengerjaan dan desain *bracing* jauh lebih mudah dibanding inovasi lainnya yang membutuhkan keahlian khusus untuk pengerjaannya.

Pada umumnya *bracing* terhubung di titik pertemuan antara kolom dan balok, yang disebut sebagai *bracing* tanpa eksentrisitas atau CBF (*Concentrically Braced Frames*). Namun, sayangnya sistem *bracing* CBF kadangkala sulit diterapkan dengan efektif pada sebuah struktur, karena seringkali posisi dari *bracing* sangatlah terbatas karena penempatan jendela dan pintu pada struktur tersebut yang menghalangi posisi *bracing*. Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah memasang *bracing* dengan eksentrisitas pada satu atau kedua sisinya yang disebut EBF (*Eccentrically Braced Frames*), dengan konsekuensi efektifitas dari *bracing* tidak akan maksimal jika dibandingkan dengan *bracing* CBF. Maka, dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efektifitas *bracing* yang memiliki eksentrisitas.

Pada penelitian ini, penulis mencoba menganalisa perkuatan struktur portal beton dengan menggunakan pengaku (*bracing*) beton tipe *Single Diagonal* yang dilakukan secara eksperimen di laboratorium. Dengan perencanaan pemberian beban lateral yang sama antara struktur portal menggunakan *bracing* tanpa eksentrisitas atau CBF (*Concentrically Braced Frames*) dan struktur portal menggunakan *bracing* dengan eksentrisitas pada satu sisi atau EBF (*Eccentrically Braced Frames*), untuk mendapatkan perbandingan tegangan dan regangan antara kedua struktur portal tersebut. Diharapkan dari penelitian ini dapat mengetahui alternatif desain yang lebih ekonomis, kuat, dan aman sehingga dapat dijadikan pilihan dalam merencanakan suatu bangunan di kehidupan nyata. Sehingga tugas akhir ini diberi judul “Pengaruh Eksentrisitas Satu Sisi *Bracing* Pada Struktur Portal Akibat Beban Lateral Terhadap Tegangan-Regangan Struktur”.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan grafik hubungan tegangan-regangan pada portal dengan *bracing* tanpa eksentrisitas (CBF) dengan *bracing* yang memiliki eksentrisitas (EBF). Variasi yang digunakan untuk mengetahui karakteristik tersebut adalah perbedaan jarak eksentrisitas satu sisi *bracing* pada portal,

1.3 Rumusan Masalah

Agar pembahasan penelitian lebih sistematis, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh eksentrisitas satu sisi *bracing* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap tegangan struktur?
2. Bagaimana pengaruh eksentrisitas satu sisi *bracing* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap regangan struktur?

1.4 Batasan Masalah

- Penelitian ini ditujukan pada bentuk portal sederhana yang seluruh komponennya (kolom, balok, dan *bracing*) terbuat dari beton bertulang.
- Seluruh komponen pada portal memiliki penampang serupa yang berbentuk persegi dengan ukuran 10 cm x 10 cm, dan selimut berukuran 2 cm.
- Tulangan yang digunakan berupa $\varnothing 4$ mm untuk tulangan sengkang dan $\varnothing 6$ mm untuk tulangan utama, dengan jarak sengkang sebesar 20 cm.

- Karakteristik campuran beton yang digunakan pada penelitian ini antara lain beton yang digunakan adalah beton dengan mutu K-175.
- Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton adalah kerikil maksimal diameter 2 cm.
- Agregat halus yang digunakan adalah pasir.
- Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I.
- Mutu beton rencana adalah $f_c' = 14,525$ (K-175).
- Pengujian dilakukan pada portal yang sudah berumur 28 hari.
- Karakteristik yang dilihat dari portal yang diuji adalah grafik tegangan regangan dari portal tersebut.
- Tegangan-regangan ditinjau pada kedua kolom portal di titik terendah kolom tersebut.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh eksentrisitas satu sisi *bracing* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap tegangan struktur
2. Mengetahui pengaruh eksentrisitas satu sisi *bracing* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap regangan struktur

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis:
Dapat mengetahui pengaruh eksentrisitas pada bracing terhadap grafik tegangan regangan struktur portal yang menerima beban lateral.
2. Bagi pembaca:
Dapat menjadi acuan untuk menentukan pengaruh eksentrisitas pada bracing terhadap kekuatan struktur menahan beban lateral.

- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton bertulang

Menurut Edward G. Nawy dikatakan bahwa beton merupakan campuran antara semen dengan agregat halus, agregat kasar, dan air. Selain itu, pada campuran beton dapat ditambahkan pula tambahan campuran (*admixture*). Menurut Istimawan Dipohusodo dikatakan bahwa nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dimana nilai kuat tariknya hanya 9% - 15 % saja dari kuat tekannya. Maka dari itu pada umumnya beton diberi perkuatan tulangan baja sebagai bahan yang kuat untuk menahan gaya tarik. Pada akhirnya akan terbentuk susunan pembagian tugas, dimana beton bertugas menahan gaya tekan, sedangkan tulangan baja bertugas menahan gaya tarik.. Komponen struktur beton yang bekerja sama seperti demikian lazim disebut sebagai beton bertulang.

Menurut McCormac, beton bertulang merupakan bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dan paling sering. Beton bertulang digunakan pada hamper seluruh jenis struktur besar maupun struktur kecil seperti bangunan, jembatan, perkerasan jalan, bendungan, dinding penahan tanah, terowongan, drainase serta fasilitas irigasi, tangki, dan sebagainya.

2.1.1 Semen

Semen yang digunakan untuk bahan beton adalah Semen Portland atau Semen Pozzolan, yaitu semen hidrolis yang memiliki fungsi sebagai perekat untuk bahan penyusun beton. Jenis semen diatas membutuhkan air untuk memantik reaksi kimia yang membuat proses hidrasi. Proses hidrasi membuat semen mengeras dan mengikat bahan penyusun beton menjadi sebuah massa padat. Semen Portland yang dipakai harus memenuhi syarat SII 0013-81 dan Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI) 1982, sedangkan untuk Semen Pozzolan harus memenuhi syarat SII-0132-75.

2.1.2 Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang memiliki ukuran diatas 1/4 in. (6 mm). Agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek merusak lainnya. Agregat harus bersih dari bahan organik dan harus memiliki ikatan yang baik dengan semen.

Jenis agregat yang umum dipakai pada campuran beton adalah :

1. Batu pecah alami
2. Kerikil alami
3. Agregat kasar buatan
4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

2.1.3 Agregat halus

Agregat halus berperan sebagai pengisi celah celah pada campuran yang tidak terisi oleh agregat kasar. Agregat halus adalah pengisi yang berupa pasir dengan variasi ukuran diantara ayakan no. 4 dan ayakan no. 100. Agregat halus harus terbebas dari bahan organik, lempung, bahan-bahan lain yang dapat merusak beton dan partikel yang lebih kecil dari ayakan no. 100. Selain itu gradasi dari agregat harus baik, yaitu memiliki banyak variasi ukuran dengan presentase yang seimbang sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (American Society of Testing and Materials)

2.1.4 Air

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih dan tidak boleh tercampur dengan minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik dan bahan-bahan lain yang dapat merusak komponen beton. Selain itu air yang berasal dari alam tanpa pengolahan perlu perhatian karena sering mengandung garam anorganik, zat organik, dan zat mengapung seperti lempung, minyak, dan kotoran lainnya yang akan berpengaruh buruk terhadap sifat dan mutu beton.

2.1.5 Bahan tambahan (*admixture*)

Seringkali bahan campuran tambahan sering dipakai sebagai campuran beton untuk menyelesaikan pekerjaan tertentu. Bahan tambahan yang umum dipakai adalah sebagai berikut :

1. Bahan tambahan pemercepat (*accelerating admixtures*)

2. Bahan tambahan untuk *air-entraining* (air-entraining admixtures)
3. Bahan tambahan pengurang air dan pengontrol pengeringan
4. Bahan tambahan penghalus gradasi (finely divided mineral admixtures)
5. Bahan tambahan untuk mengurangi *slump*
6. Polimer
7. *Superplastisizer*

2.1.6 Faktor air-semen

Kekuatan beton pada umur tertentu bergantung pada perbandingan berat air dan berat semen dalam campuran beton yang biasa disebut faktor air-semen. Dengan kata lain, jika angka perbandingan air dan semen sudah ditentukan, maka kekuatan beton pada umur tertentu dapat diperoleh. Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam campuran beton umumnya dipakai nilai faktor air semen sebesar 0,40 – 0,60 sesuai dengan mutu beton yang ingin dicapai. Semakin rendah nilai faktor air semen, maka umumnya semakin besar mutu beton yang akan dihasilkan. Sedangkan di lain pihak, untuk menambah kemudahan dalam pengerjaan atau yang biasa disebut sebagai *workability* dibutuhkan nilai faktor air-semen yang lebih tinggi.

2.2 Gaya lateral

Gaya lateral adalah gaya yang arah gayanya tegak lurus terhadap beban gravitasi. Umumnya sejajar dengan permukaan bumi. Gaya lateral pada struktur terjadi karena hal-hal berikut :

1. Beban gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka beban gempa adalah gaya-gaya dalam struktur yang terjadi karena gerakan tanah akibat gempa.

2. Beban angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

2.3 Portal

Portal adalah suatu sistem yang terdiri dari gabungan beberapa komponen struktur yaitu balok dan kolom yang berhubungan dengan fungsi menahan beban sebagai suatu kesatuan lengkap dengan atau tanpa diafragma horizontal. Struktur portal dipengaruhi oleh gaya internal dan gaya eksternal. Gaya internal merupakan kekakuan struktur tersebut terhadap gaya eksternal, dalam hal ini yaitu elastisitas bahan sesuai persamaan (2-1) dengan satuan kg/cm^2 dan momen inersia persamaan (2-2) dengan satuan cm^4 .

$$E = \sigma / \varepsilon \dots\dots\dots (2-1)$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 + A y^2 \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas

σ = Tegangan

ε = Regangan

I = Inersia

b = Lebar penampang

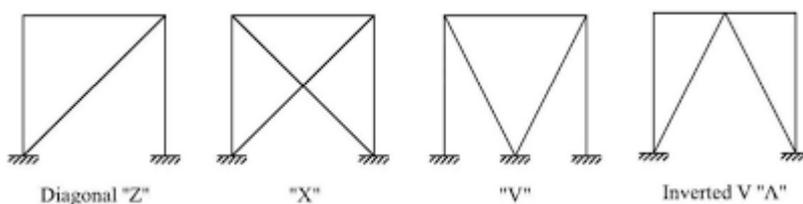
h = Tinggi penampang

2.3.1 Portal dengan pengaku

Struktur portal merupakan struktur yang lemah apabila dibebani oleh beban lateral yang besar terutama beban gempa. Salah satu cara efisien struktur portal untuk memikul beban lateral adalah menambahkan diagonal *bracing* (pengaku) pada struktur.

2.3.2 Pengaku tanpa eksentrisitas

Concentrically Braced Frames atau sistem rangka pengaku konsentrik adalah rangka struktur yang mempunyai sistem pengaku terletak pada diagonal setiap petak rangkanya. Ada tiga tipe batang pengaku diagonal ini yaitu tipe Z, X, dan V.



Gambar 2.1 Jenis-jenis sistem rangka pengaku konsentrik (CBF)

Pada sistem rangka pengaku konsentrik, batang diagonal dapat berlaku sebagai batang tekan maupun batang tarik bergantung dari pembebanannya. Namun untuk pengaku konsentrik tipe X memiliki kelemahan yaitu menghalangi penempatan pintu, jendela, atau yang lainnya. Sedangkan pada pengaku tipe V mempunyai kelebihan yaitu batang diagonal mampu menahan beban lateral dan juga beban vertikal.

2.3.3 Pengaku dengan eksentrisitas

Pada *Eccentrically Braced Frames* atau sistem rangka pengaku eksentrik adalah sistem pengaku yang perletakkan batang diagonal dengan salah satu atau kedua ujung batang pengaku terletak pada suatu jarak tertentu seperti gambar 2.3 atau yang biasa disebut eksentrisitas. Sistem pengaku eksentrik memiliki respon yang baik dalam analisa plastis ketika menerima beban gempa karena sistem ini mampu menyerap energi yang sangat besar dan konsisten.



Gambar 2.2 Jenis-jenis sistem rangka pengaku eksentrik (EBF)

2.4 Tegangan

Tegangan adalah besaran pengukuran untuk mengukur intensitas gaya. Ada beberapa jenis tegangan yang dapat terjadi pada sebuah struktur. Konsep dasar dari tegangan dapat digambarkan sebagai sebuah batang prismatik yang dibebani dengan gaya luar. Sebuah batang prismatik adalah sebuah batang lurus yang memiliki penampang yang sama pada keseluruhan panjangnya. Untuk mengetahui tegangan-tegangan internal yang ditimbulkan ditimbulkan gaya-gaya aksial dalam batang, dibuat sebuah potongan garis khayal. Irisan ini diambil tegak lurus sumbu longitudinal batang dan dilihat diagram gaya yang terjadi pada potongan tersebut.

Diagram gaya yang terjadi pada suatu irisan batang dapat berbeda-beda bergantung pada jenis gaya dan intensitas gaya yang terjadi pada batang tersebut. Tegangan pun dapat dikategorikan sesuai jenis gaya yang terjadi pada batang tersebut.

2.4.1 Tegangan Aksial

Tegangan aksial terjadi bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang memiliki arah sejajar terhadap sumbu utama batang dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Tegangan aksial dapat dibagi dua menurut arah gayanya :

- Tegangan tarik, bila arah gaya menarik batang dan cenderung membuat batang menjadi lebih panjang.



Gambar 2.3 Tegangan aksial tarik

- Tegangan tekan, bila arah gaya menekan batang dan cenderung membuat batang menjadi lebih pendek.



Gambar 2.4 Tegangan aksial tekan

Tegangan normal dapat diartikan sebagai intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A). Rumus untuk mencari tegangan pada beton bertulang yakni :

$$\sigma = P/A \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana :

P = gaya tekan

A = luas tampang melintang

2.4.2 Tegangan Lentur

Suatu gaya yang tegak lurus sumbu netral struktur disebut sebagai gaya lentur. Tiap serat longitudinal dari sebuah balok hanya dikenakan beban tarik dan tekan. Sehingga diagram tegangan regangan bahan akan memberikan hubungan sebanding antara tegangan dan regangan. Jika bahannya elastis dengan suatu diagram tegangan-regangan linier, maka tegangan lentur yang bekerja pada penumpang berubah secara linier terhadap jarak y dari

permukaan netral. Tegangan lentur pada suatu balok dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\sigma = \frac{M y}{I} \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana :

σ = Tegangan lentur

M = Momen lentur pada penampang

y = Jarak dari sumbu netral ke tegangan yang ditinjau

I = Momen inersia

2.5 Regangan

Deformasi atau regangan yaitu perubahan ukuran dari panjang awal yang dihasilkan dari gaya tarik maupun gaya tekan yang dikenakan pada suatu bahan. Rumus untuk mencari regangan pada beton bertulang yakni :

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\Delta L = L - L_0 \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana :

ε = Regangan

ΔL = perubahan panjang akibat beban P

L = panjang setelah perubahan

L_0 = panjang semula

2.6 Modulus elastisitas

Modulus elastisitas atau disebut juga sebagai modulus young adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Semakin kecil nilai modulus elastisitas suatu benda, maka semakin mudah benda menjadi elastis sehingga mampu mengalami perpanjangan atau perpendekan. Sebaliknya, semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda menjadi kaku untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (2-7)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan

ε = Regangan

2.7 Penelitian terdahulu

Penelitian ini tidak akan lepas dari hasil penelitian terdahulu, dimana hasil penelitian terdahulu akan menjadi salah satu refrensi penulis untuk melakukan penelitian kembali. Dari hasil penelitian terdahulu, penulis jadi dapat mengetahui kekurangan dari penelitian sebelumnya. Sehingga penulis akan dapat mengangkat beberapa judul penelitian yang tidak akan terlepas dari topik penelitian sebagai referensi untuk memperkaya bahan kajian pada penulisan tersebut. Berikut merupakan uraian singkat dari beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 2.1

Penelitian terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Hendro Suseno (2009)	Variasi Bentuk Pengaku Diagonal Ganda Tipe Knee pada Portal Baja Bidang Bertingkat	Variasi bentuk pengaku tipe Knee ternyata relatif tidak mempengaruhi perpindahan lateral pada jumlah tingkat yang di evaluasi sehingga kestabilan lateral masih tetap terjamin.
2	Jhonson Andar Harianja dan Zaluku, R.A (2012)	Efektifitas Penggunaan Bracing Pada Portal Bertingkat Asimetris	Hasil percobaan baik pengujian maupun analisis mengungkapkan bahwa portal asimetris dengan aplikasi bracing dapat mengurangi kekuatan gempa dengan nilai perpindahan lateral 0,04 cm dan 0,044 cm serta persentase efektivitas hasil pengujian sebesar 95,18% dan hasil analisis sebesar 96,431%.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan waktu penelitian

Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya adalah tempat dilaksanakannya penelitian ini. Sedangkan, penelitian dimulai pada bulan Januari 2019 sampai selesai.

3.2 Bahan penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian digunakan beberapa bahan penelitian.

a. Semen Portland

Penelitian ini menggunakan semen Portland merk Tiga Roda dengan berat kemasan 40 kg. Sebelum dilaksanakan penelitian, dipastikan terlebih dahulu bahwa tidak terjadi penggumpalan. Selain itu, kemasan harus dipastikan dalam kondisi baik.

b. Tulangan Baja

Tulangan yang dipakai pada penelitian ini terbuat dari baja. Ukuran yang dipakai antara lain $\varnothing 6$ mm untuk tulangan longitudinal dan $\varnothing 4$ mm untuk tulangan transversal. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal ini digunakan untuk seluruh komponen struktur dari portal, seperti kolom, balok, dan *bracing*.

c. Agregat

Pada penelitian ini digunakan agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Ukuran spesifikasi agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah berukuran maksimal 2 cm. Agregat yang digunakan pada penelitian didapat dari daerah Kota Malang.

d. Air

Supply air yang dipakai untuk penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

3.3 Peralatan penelitian

Seluruh alat yang digunakan pada penelitian ini, dimulai dari persiapan material hingga proses pengujian benda uji. Peralatan yang akan dipakai berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.3.1 Pembuatan benda uji

Alat-alat yang digunakan pada saat fase pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

a. Ayakan

Pada Penelitian ini ayakan digunakan untuk analisis gradasi. Dimana diatas No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil). Sedangkan, saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

b. Neraca

Neraca dipakai sebagai alat pengukur berat material penyusun beton yang digunakan pada benda uji silinder dan benda uji portal. Neraca yang digunakan adalah neraca dengan kapasitas 200 kg yang memiliki ketelitian 10 gram dan neraca dengan kapasitas 5 kg yang memiliki ketelitian 0,1 gram.

c. Mesin pengaduk beton

Material penyusun beton dicampur hingga menjadi homogen dengan cara dimasukkan kedalam mesin pengaduk beton.

d. Kerucut slump

Kerucut slump digunakan untuk menguji nilai slump dari campuran beton yang baru diaduk. Nilai slump digunakan untuk mengetahui *workability* dari campuran beton. Nilai slump didapat dari *mix design*.

e. Vibrator

Vibrator adalah mesin yang digunakan pada saat penuangan campuran beton ke cetakan. Vibrator digunakan untuk memastikan campuran beton tercampur merata dan menghilangkan gelembung air pada campuran.

f. Cetakan benda uji silinder

Penelitian ini menggunakan cetakan untuk benda uji silinder yang terbuat dari baja dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

g. Bekisting benda uji portal

Bekisting benda uji portal digunakan pada saat penuangan benda uji dan berperan sebagai cetakan. Benda uji portal terbuat dari kayu yang fabrikasinya akan dilakukan oleh pengrajin kayu di Kota Malang.

3.3.2 Pengujian Benda Uji

Alat-alat yang digunakan pada saat fase persiapan material atau pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

a. Alat uji tekan

Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji silinder. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*.

b. Alat uji tarik

Alat uji tarik digunakan untuk mengetahui kuat tarik sesungguhnya dari tulangan baja Ø4 mm dan Ø6 mm sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Hydraulic Universal Testing Machine*.

c. *Load cell*

Load cell adalah alat yang digunakan untuk memberi beban pada benda uji. Pada penelitian ini *load cell* digunakan untuk memberikan beban lateral pada benda uji portal.

d. *Dial gauge*

Penelitian ini menggunakan alat tambahan *dial gauge digital* yang akan dipasang pada benda uji pada saat uji tekan. Dial ini berfungsi untuk mengetahui perubahan panjang dari benda uji pada saat diuji. Tampilan dari dial gauge berupa analog yang membutuhkan ketelitian untuk membacanya. *Dial Gauge* akan dipasang benda uji portal untuk mengantisipasi dan mengetahui besarnya perpindahan yang disebabkan gaya guling pada benda uji.

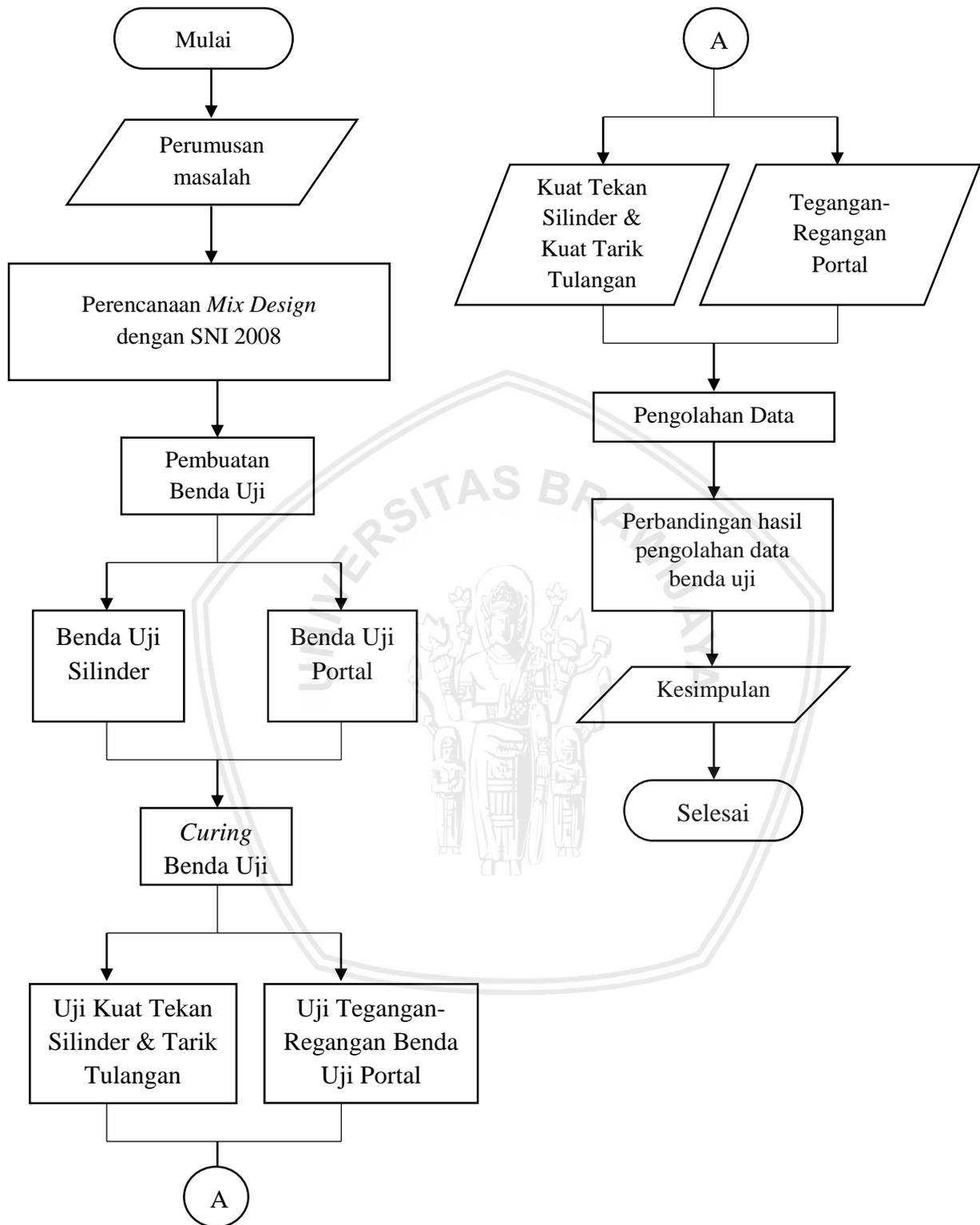
e. *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

LVDT berfungsi seperti *dial gauge*, yaitu mengetahui perubahan panjang dari benda uji pada saat diuji. Tampilan LVDT yang sudah digital memudahkan pembacaan dan mengurangi faktor kelalaian peneliti saat melakukan pembacaan. Karena kemudahan dalam pembacaan LVDT akan dipakai untuk mengetahui besarnya defleksi yang terjadi pada kolom dari benda uji pada saat pengujian.

f. *Strain gauge*

Strain gauge adalah alat yang dipasang pada tulangan dan beton benda uji portal. *Strain gauge* berfungsi untuk mengetahui regangan yang terjadi pada benda uji.

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir tahapan penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

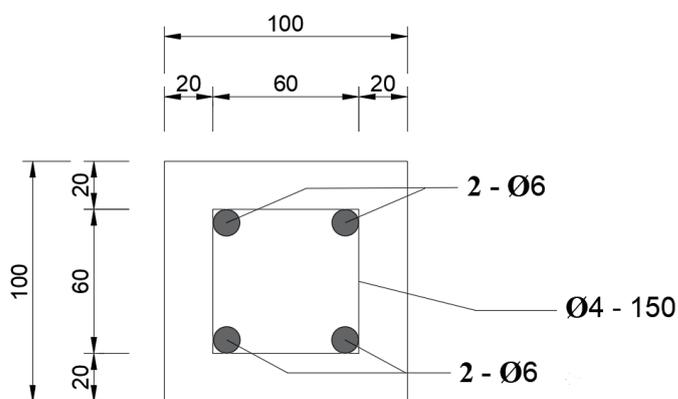
Dalam penelitian ini dibuat dua jenis benda uji yaitu benda uji silinder dan benda uji portal. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji portal berupa portal beton sederhana yang terdiri balok, kolom, dan *bracing* satu arah. Benda uji portal memiliki tinggi 70 cm dan panjang 100 cm. Masing-masing *bracing* pada benda uji portal diberikan eksentrisitas pada sisi atasnya dengan jarak yang bervariasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3.1

Variasi konfigurasi *bracing* pada benda uji portal

Kode	Eksentrisitas (e)	Ilustrasi
A	0 cm	
D	15 cm	
E	30 cm	

Benda uji portal memiliki penampang dengan dimensi 100 cm x 100 cm untuk seluruh komponen struktur sesuai dengan penampang pada Gambar 3.2



(satuan dalam mm)

Gambar 3.2 Detail penampang benda uji portal

Pada penelitian ini digunakan portal dengan kode A, D dan E dengan variasi jarak eksentrisitas pada setiap sampelnya.

1. Portal A menggunakan *bracing* satu arah tanpa eksentrisitas.
2. Portal D menggunakan *bracing* satu arah dengan eksentrisitas satu sisi pada bagian atasnya sebesar 15 cm.
3. Portal E menggunakan *bracing* satu arah dengan eksentrisitas satu sisi pada bagian atasnya sebesar 30 cm.

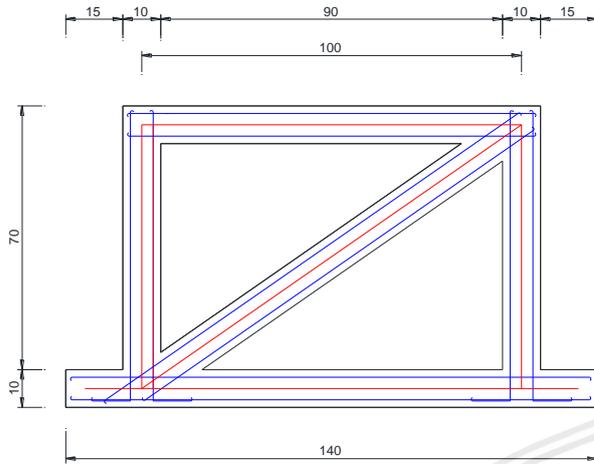
Jumlah benda uji portal sebanyak tiga buah. Sedangkan, jumlah benda uji silinder sebanyak sembilan buah, dengan pembagian tiga benda uji silinder untuk setiap benda uji portal. Benda uji portal digunakan untuk uji *load cell* dengan beban lateral. Sehingga, nanti pada hasil penelitian akan didapatkan tegangan dan regangan struktur untuk masing-masing konfigurasi *bracing*. Sedangkan, benda uji silinder digunakan untuk uji tekan, yang berguna sebagai kontrol mutu beton. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3.2

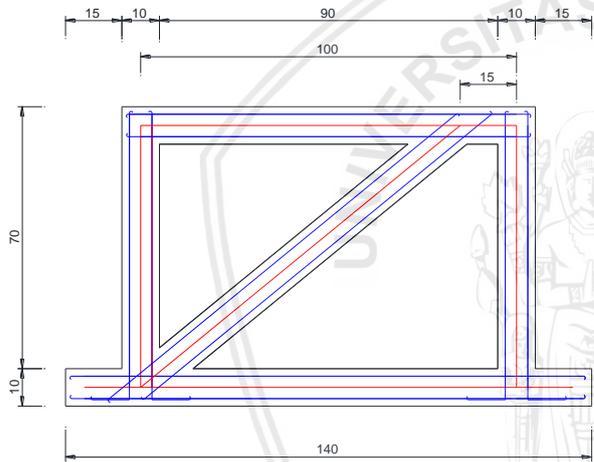
Jumlah benda uji

Varian	Jumlah
Benda uji silinder Kode A	3 buah
Benda uji silinder Kode D	3 buah
Benda uji silinder Kode E	3 buah
Benda uji portal Kode A	1 buah
Benda uji portal Kode D	1 buah
Benda uji portal Kode E	1 buah

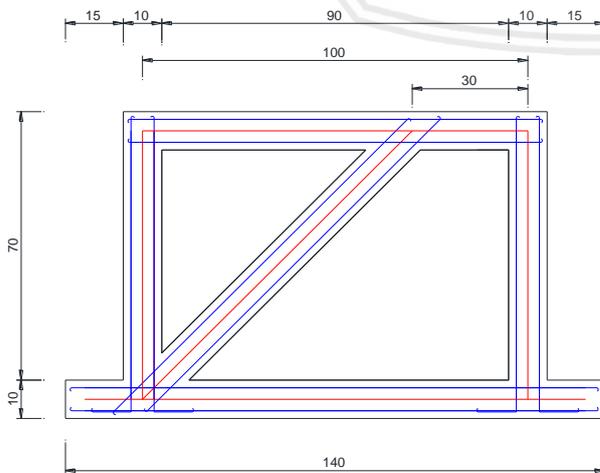
Tampak benda uji sesuai dengan gambar 3.3, gambar 3.4 dan gambar 3.5



Gambar 3.3 Benda uji portal kode A



Gambar 3.4 Benda uji portal kode D



Gambar 3.5 Benda uji portal kode E

3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah variasi jarak eksentrisitas pada sisi atas *bracing*.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah tegangan dan regangan dari benda uji portal.

3.7 Mix Design

Mix Design yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada rasio kebutuhan harga satuan pekerjaan beton pada SNI 7394:2008, dengan kebutuhan bahan untuk membuat 1m³ beton dengan mutu K-175 sesuai dengan tabel 3-3.

Tabel 3.3

Kebutuhan bahan untuk membuat 1m³ beton K-175

Bahan	Satuan	Jumlah
Semen Portland	Kg	326
Pasir Beton	Kg	760
Kerikil	Kg	1029
Air	Liter	215

Berdasarkan SNI diatas maka dapat disimpulkan nilai *slump*, karakteristik rasio komponen beton dan faktor air-semen sebagai berikut :

- Rasio Semen : Pasir : Kerikil = 1 : 2,33 : 3,16
- Faktor Air-Semen = 0,66
- Nilai *Slump* = 12 (± 2) cm

3.8 Prosedur Penelitian

3.8.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar

(kerikil). Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

3.8.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan silinder disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder.

Langkah-langkah pembuatan benda uji portal adalah sebagai berikut:

1. Fabrikasi bekisting dan tulangan oleh pengrajin
2. Pemasangan *strain gauge* pada tulangan di setiap benda uji
3. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
4. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
5. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
6. Campuran beton dituang ke dalam cetakan portal.

3.8.3 Perawatan Benda Uji

Setelah 72 jam cetakan benda uji silinder dan kolom dibuka dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

- Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji silinder.
- Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan setiap hari dibasahi terus menerus dengan air untuk benda uji portal.

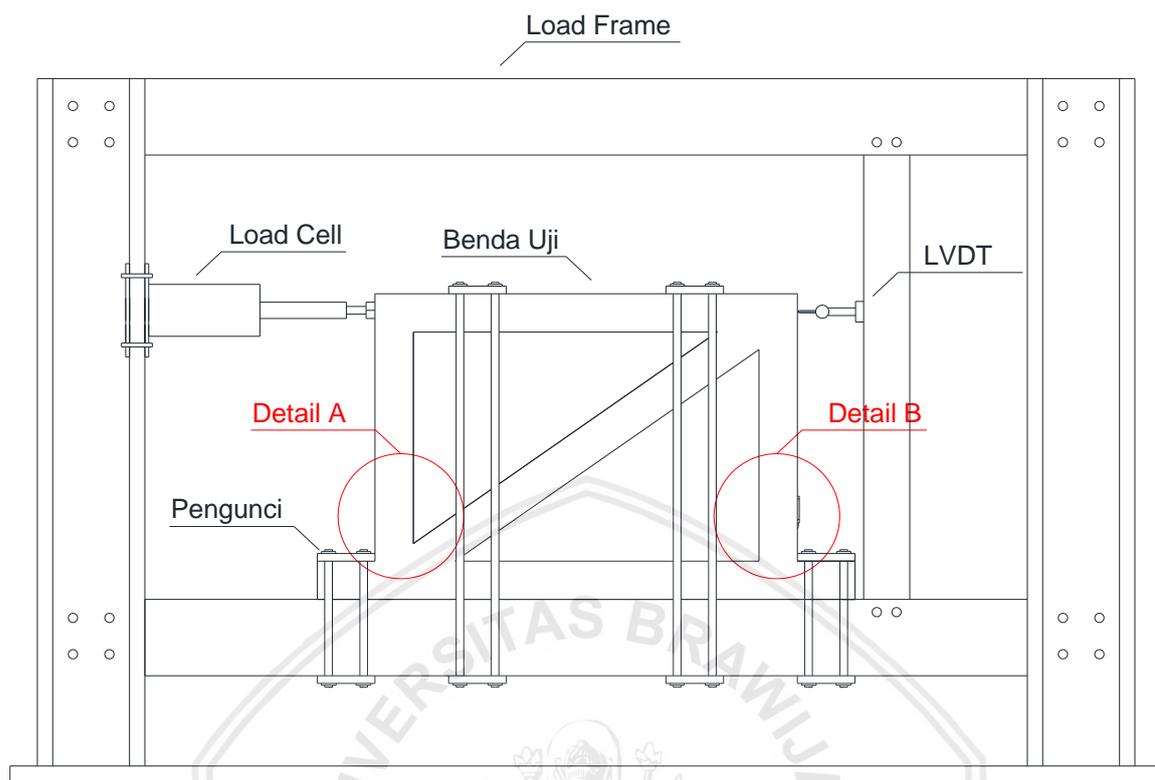
Pada penelitian ini digunakan perawatan benda uji dengan cara benda uji diselimuti karung goni basah sehingga tiap hari dibasahi terus menerus dengan air. Perawatan benda uji yakni selama 28 hari.

3.8.4 Pengujian Beban Lateral

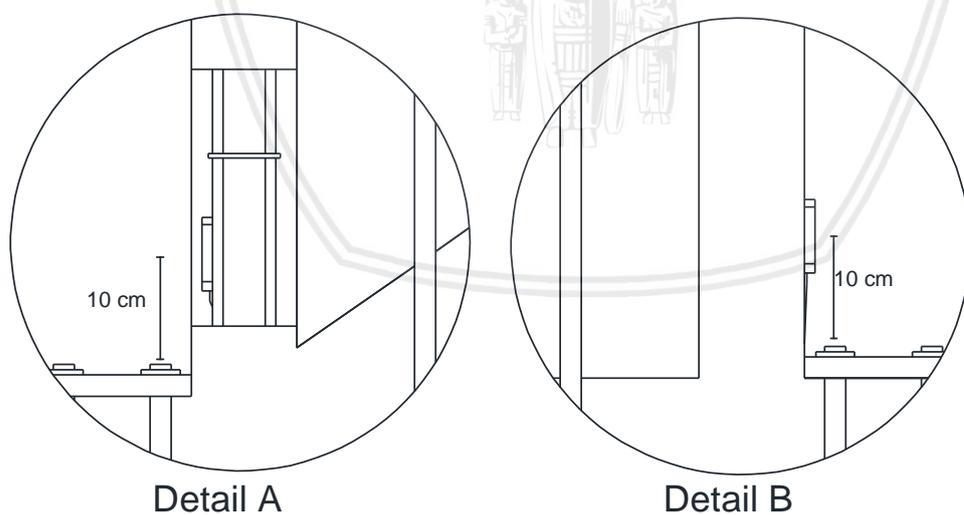
Pengujian benda uji ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan-regangan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian defleksi horizontal dan momen lentur adalah sebagai berikut :

1. Letakkan benda uji portal pada *load frame* secara sentris lalu klem benda uji terhadap frame.
2. Pasang *strain gauge* pada benda uji portal.
3. Pasang Load Cell secara horizontal di titik yang telah ditentukan.
4. Pasang LVDT pada titik yang telah ditentukan.
5. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan LVDT yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya lateral dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton.
6. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

Untuk mempermudah pemahaman dibuat ilustrasi sistem pengujian benda uji portal sesuai dengan gambar 3.6. Selain itu dapat dilihat detail pemasangan *strain gauge* tarik yang digunakan untuk mengukur regangan baja pada detail A dan pemasangan *strain gauge* tekan yang digunakan untuk mengukur regangan beton pada detail B.



Gambar 3.6 Ilustrasi pengujian benda uji portal



Gambar 3.7 Detail pemasangan strain gauge

3.8.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji kolom diberi lapisan belerang (*caping*) agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Pada permukaan bawah benda uji kolom diberi plat memanjang yang berfungsi sebagai penampang dial.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Dan untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan dial yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya tekan dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

3.8.6 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja $\varnothing 4$ mm dan $\varnothing 6$ mm. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur diameternya dengan jangka sorong untuk mengetahui diameter sebenarnya tulangan tersebut.
2. Siapkan kertas millimeter blok untuk tempat hasil pembacaan tegangan regangan tarik dari benda uji dapat tergambar.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Pastikan bahwa benda uji benar-benar dalam keadaan terjepit bagian atas dan bawahnya dengan kuat.
4. Mesin uji tekan dijalankan hingga benda uji putus.
5. Pada saat pengujian akan terlihat jarum pertama kali berhenti yang menunjukkan tegangan leleh dan pada pemberhentian jarum kedua yang menunjukkan kuat tarik maksimum. Setelah itu akan didapatkan grafik tegangan tarik dari benda uji.
6. Grafik yang didapat dari hasil pengujian akan di analisis.

3.9 Pengumpulan Data

Dari pengujian yang akan dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengujian kuat tekan menghasilkan data-data beban maksimum yang kemudian dikonversikan menjadi kuat tekan dari setiap benda uji silinder. Sedangkan, untuk benda uji portal diambil data perubahan panjang dari *dial gauge* yang akan dikonversikan menjadi regangan dan data beban maksimum *load cell* yang akan dikonversikan menjadi tegangan. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan masing-masing variasi benda uji. Nilai dari beban dan perubahan panjang yang terjadi diperoleh dari video yang telah dibuat pada saat pengujian dengan cara *play and pause* saat pemutaran video tiap beberapa detik untuk membaca nilai beban dan perubahan panjang. *Format* dari formulir pengumpulan data untuk mutu beton, tegangan leleh baja, dan tegangan ultimit baja sesuai dengan contoh form yang terdapat pada tabel 3-4, tabel 3-5, dan tabel 3-6.

Tabel 3.4

Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder.

Kode	Nomor	Beban Maksimum		Mutu Beton	Mutu Beton Rata-rata
		(Kn)	(N)	(Mpa)	(Mpa)

Tabel 3.5

Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm

Sampel Tulangan	Diameter	Beban	Tegangan Leleh (f_y)	Tegangan Leleh Rata-Rata
	(mm)	(N)	(Mpa)	(Mpa)

Tabel 3.6

Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm (2)

Sampel Tulangan	Diameter	Beban	Tegangan Ultimit (f_u)	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(N)	(Mpa)	(Mpa)

3.10 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan dari benda uji portal, serta pengaruh eksentrisitas setiap benda uji terhadap hubungan tegangan-regangan. Maka diperlukan perbandingan hubungan tegangan-regangan bagi setiap benda uji. Untuk mendapatkan perbandingan yang cukup baik dari segi kuantitas maupun kualitas maka akan diolah tiga jenis diagram sebagai dasar perbandingan yaitu diagram $P/\Delta L$ dan dua diagram tegangan – regangan pada kolom yang menerima momen lentur tarik dan kolom yang menerima momen lentur tekan. Ketiga diagram tadi akan dibandingkan untuk setiap benda uji agar dapat menentukan pengaruh eksentrisitas terhadap efektivitas dari portal.

3.10.1 Diagram $P/\Delta L$

Diagram $P/\Delta L$ adalah diagram yang membandingkan beban lateral yang diterima (sumbu y) terhadap perpindahan lateral yang terjadi (sumbu x) hingga benda uji portal mengalami *failure*. Nilai P didapatkan dari pembacaan *load cell* sedangkan nilai ΔL didapatkan dari hasil pembacaan LVDT.

3.10.2 Diagram tegangan-regangan

Hubungan tegangan-regangan yang ditinjau pada eksperimen ini adalah hubungan tegangan-regangan dari kolom yang terdapat pada portal. Maka dari itu akan ada dua diagram tegangan-regangan, yaitu diagram tegangan-regangan untuk kolom yang menerima tegangan tarik dan diagram tegangan-regangan untuk kolom yang menerima tegangan tekan. Sesuai yang telah dibahas pada bab II, kolom pada portal menerima tegangan aksial dengan persamaan sesuai persamaan 2-3, dan tegangan lentur sesuai persamaan 2-4. Maka total tegangan yang diterima oleh kolom dapat disimpulkan sesuai dengan persamaan 3-1.

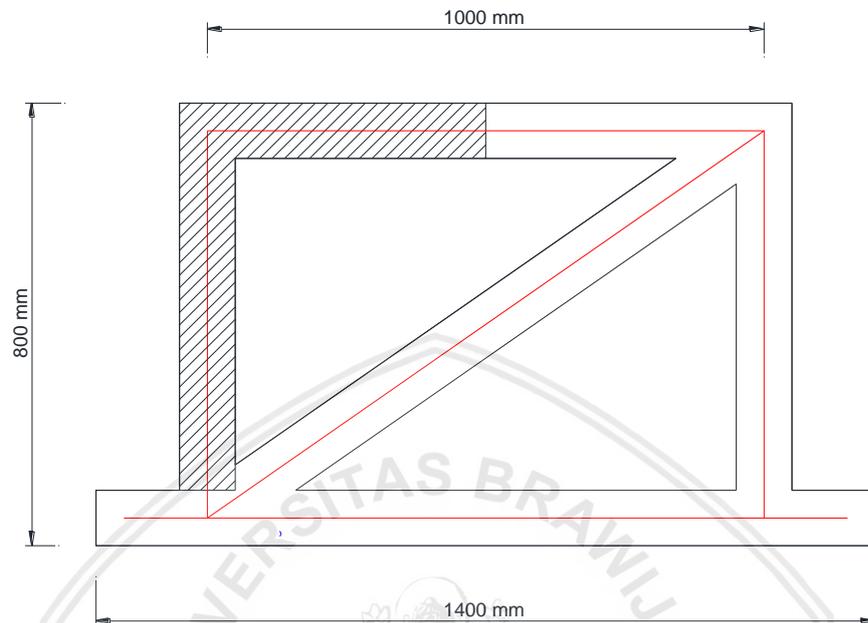
$$\sigma_{total} = \frac{P}{A} \pm \frac{M x y}{I} \dots\dots\dots (3-1)$$

Berikut dibahas metode mendapatkan setiap nilai variabel untuk persamaan diatas :

1. Beban aksial (P_{aksial})

Beban aksial adalah beban yang arahnya sejajar dengan sumbu kolom. Pada eksperimen ini beban aksial diasumsikan sebagai berat portal yang diterima oleh kolom, yaitu seluruh berat kolom ditambah dengan setengah dari berat balok yang berada di atas kolom. Gambar 3.8 menunjukkan ilustrasi beban yang diterima oleh

kolom, dimana daerah yang diarsir merupakan daerah yang menjadi beban untuk kolom.



Gambar 3.8 Bagian portal yang diterima sebagai beban aksial oleh kolom

Sesuai gambar diatas maka dapat dihitung besar beban yang diterima oleh kolom (P) sesuai persamaan 3-2.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban kolom } (P_{\text{aksial}}) &= (\text{Volume daerah yang diarsir}) \times (\text{Massa jenis benda uji}) \\
 &= (0,7 \times 0,1 + 0,45 \times 0,1) \times \lambda_{\text{sampel}} \\
 &= 0,0115 \text{ m}^3 \times \lambda_{\text{sampel}} \dots\dots\dots (3-2)
 \end{aligned}$$

2. Luas penampang (A)

Luas penampang adalah besar luasan penampang kolom yang ditinjau. Berhubung dimensi penampang untuk setiap portal sejenis, maka dapat dihitung besarnya luas penampang sesuai persamaan 3-3.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang (A)} &= 0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \\
 &= 0,01 \text{ m}^2 \dots\dots\dots (3-3)
 \end{aligned}$$

3. Momen (M)

Tegangan yang ditinjau pada eksperimen ini adalah tegangan pada titik terendah kolom. Maka dari itu jarak dari beban lateral menuju titik tinjau adalah sebesar 0,7 m. Nilai momen yang diterima oleh kolom dapat dihitung dengan cara mengkalikan beban lateral yang diterima dengan jarak menuju titik tinjau sesuai persamaan 3-4.

$$\begin{aligned} \text{Momen (M)} &= (\text{Jarak ke titik tinjau}) \times (\text{Beban lateral}) \\ &= 0,7 \text{ m} \times P_{\text{lateral}} \dots\dots\dots (3-4) \end{aligned}$$

4. Jarak pusat penampang menuju titik tinjau (y)

Sesuai dengan yang telah dibahas pada bab II, diketahui bahwa pada saat suatu penampang menerima beban lentur maka tegangan terbesar yang diterima oleh penampang tersebut berada di ujung penampang. Maka dari itu titik tinjau dari penampang kolom ada pada ujung penampang. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai y dari eksperimen ini adalah sebesar setengah dari panjang penampang, yaitu sebesar 5 cm.

5. Momen inersia (I)

Sesuai dengan persamaan 2-2 maka nilai momen inersia pada eksperimen ini dapat dianalisis mengingat dimensi penampang seluruh benda uji adalah sama. Nilai momen inersia dari eksperimen ini sesuai dengan persamaan 3-5.

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} b h^3 + A y^2 \\ &= \frac{1}{12} (0,1) (0,1)^3 + (0,1 \times 0,1) (0)^2 \\ &= 8,333 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \dots\dots\dots (3-5) \end{aligned}$$

3.11 Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka yang telah dibahas pada penelitian ini maka dapat dibuat hipotesis untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda uji portal dengan jarak eksentrisitas yang lebih rapat akan memiliki kapasitas beban lateral maksimum yang lebih besar, yang pada akhirnya akan menghasilkan nilai tegangan maksimum yang lebih besar.

2. Benda uji portal dengan jarak eksentrisitas yang lebih rapat akan memiliki defleksi maksimum yang lebih kecil, yang pada akhirnya akan menghasilkan nilai regangan maksimum yang lebih kecil.



- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisis bahan

Sebelum dilakukan eksperimen untuk mengetahui perbandingan efektivitas dari eksentrisitas pada *bracing* harus dilakukan beberapa pengujian untuk setiap komponen yang akan dipakai pada saat pembuatan benda uji portal. Pengujian pada setiap komponen diperlukan untuk mengetahui kuantitas dan kualitas dari benda uji portal yang akan dibuat.

4.1.1 Komposisi campuran beton

Campuran beton dibuat dengan menggunakan acuan harga satuan pekerjaan beton menurut SNI 7394-2008 untuk pembuatan beton dengan mutu K-175 (14.5 Mpa). Berdasarkan SNI tersebut maka dibuat kebutuhan kuantitas dari tiap komponen beton untuk setiap benda uji. Satu kali pengecoran dilaksanakan untuk satu buah benda uji portal dan tiga buah benda uji silinder. Benda uji silinder dibuat sebagai kontrol mutu beton dan massa jenis beton dari benda uji portal. Safety faktor sebesar 30% dari kebutuhan volume total digunakan sebagai langkah preventif mencegah kurangnya campuran beton pada saat pengecoran.

Berdasarkan tabel 4-1 dapat disimpulkan untuk melakukan pengecoran satu buah benda uji portal dan tiga benda uji silinder dengan kode A dibutuhkan 26,74 Kg semen, 62,33 Kg pasir, 84,39 Kg kerikil dan 17,63 liter air. Selanjutnya, untuk pengecoran dengan kode D dibutuhkan 14,83 Kg semen, 34,57 Kg pasir, 46,81 Kg kerikil dan 9,78 liter air. Sedangkan, untuk pengecoran dengan kode E membutuhkan 14,55 Kg semen, 33,92 Kg pasir, 45,92 Kg kerikil, dan 9,60 liter air.

Tabel 4.1

Komposisi campuran beton

Sampel	Volume Portal	Volume Silinder (3 buah)	Safety Factor	Volume Total	Semen	Pasir	Kerikil	Air
	m ³	(m ³)		(m ³)				
A	0.04718			0.0820096	26.74	62.33	84.39	17.63
D	0.04548	0.015904	30.00	0.0454860	14.83	34.57	46.81	9.78
E	0.04463			0.0446300	14.55	33.92	45.92	9.60

4.1.2 Karakteristik baja tulangan

Pengujian tegangan tulangan baja dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* yang berada di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) dari baja yang akan digunakan sebagai komponen benda uji.

Pengujian *universal testing machine* memakai dua buah tulangan baja $\varnothing 6$ yang dipotong sepanjang 20 cm. Hasil pengujian diolah sesuai tabel 4-2 dan tabel 4-3, yaitu untuk tulangan baja A dan tulangan baja B memiliki tegangan leleh sebesar 495,149 Mpa dan 424,413 Mpa dengan rata-rata tegangan leleh sebesar 459,781 Mpa. Hasil ini jauh lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan leleh baja tulangan polos secara umum yaitu 240 Mpa.

Sedangkan, dari hasil pengujian dapat diolah untuk mendapatkan tegangan ultimit dari setiap baja tulangan. Baja tulangan A dan baja tulangan B masing-masing memiliki tegangan ultimit sebesar 707,355 Mpa dan 636,620 Mpa. Didapat tegangan ultimit rata-rata dari baja tulangan sebesar 671,988 Mpa.

Tabel 4.2

Tegangan leleh baja tulangan

Sampel Tulangan	Diameter	Beban	Tegangan Leleh (f_y)	Tegangan Leleh Rata-Rata
	(mm)	(N)	(Mpa)	(Mpa)
A	6	14000	495.149	459.781
B	6	12000	424.413	

Tabel 4.3

Tegangan ultimit baja tulangan

Sampel Tulangan	Diameter	Beban	Tegangan Ultimit (f_u)	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(N)	(Mpa)	(Mpa)
A	6	20000	707.355	671.988
B	6	18000	636.620	

4.1.3 Karakteristik beton

Karakteristik beton didapat dengan membuat tiga buah sampel silinder untuk setiap sampel benda uji portal yang dibuat. *Curing* dilakukan ke setiap benda uji silinder selama 28 hari sebelum ditimbang dan dilaksanakan pengujian. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *compression test machine* untuk mendapatkan nilai berat benda uji silinder dan beban maksimum yang mampu diterima dari setiap benda uji silinder. Setelah itu dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan mutu beton dan massa jenis beton dari setiap sampel.

Tabel 4-4 menunjukkan pengolahan data dan nilai mutu beton dari setiap sampel benda uji. Benda uji A memiliki mutu beton sebesar 17,73 Mpa, benda uji D memiliki mutu beton tertinggi diantara benda uji lainnya sebesar 19,30 Mpa, sedangkan benda uji E memiliki mutu beton sebesar 17,73 Mpa sama seperti benda uji A. Nilai mutu beton ini lebih tinggi dan tidak sesuai dari nilai mutu beton rencana sebesar 14,5 Mpa (K-175).

Tabel 4-5 menunjukkan pengolahan data dan nilai massa jenis dari setiap sampel benda uji. Benda uji A memiliki massa jenis sebesar 2464,75 Kg/m³, benda uji D memiliki massa jenis yang paling besar yaitu 2515,04 Kg/m³, sedangkan benda uji E memiliki massa jenis sebesar 2480,46 Kg/m³.

Tabel 4.4

Mutu beton silinder

Kode	Nomor	Beban Maksimum		Mutu Beton	Mutu Beton Rata-rata
		(Kn)	(N)	(Mpa)	(Mpa)
A	1	349	349000	19.75	17.73
	2	286	286000	16.18	
	3	305	305000	17.26	
D	1	352	352000	19.92	19.30
	2	354	354000	20.03	
	3	317	317000	17.94	
E	1	312	312000	17.66	17.73
	2	340	340000	19.24	
	3	288	288000	16.30	

Tabel 4.5

Massa jenis beton silinder

Kode	Nomor	Berat	Massa Jenis	Massa Jenis Rata-rata
		(Kg)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)
A	1	13.00	2452.17	2464.74
	2	13.15	2480.46	
	3	13.05	2461.60	
D	1	13.25	2499.32	2515.04
	2	13.35	2518.18	
	3	13.40	2527.62	
E	1	13.05	2461.60	2480.46
	2	13.30	2508.75	
	3	13.10	2471.03	

4.2 Proses pembuatan benda uji

Benda uji pada eksperimen ini, baik benda uji portal maupun benda uji silinder memiliki tahapan yang cukup panjang dalam pembuatannya. berikut pembahasan terperinci dari proses pembuatan benda uji dari awal hingga benda uji siap diuji.

4.2.1 Pengadaan bahan

Pengadaan bahan dengan kuantitas yang telah dihitung sesuai tabel 4-1 dilakukan untuk mendapatkan komponen yang dibutuhkan untuk membuat benda uji. Pengadaan bahan dilaksanakan di sekitar Kota Malang dengan rincian sebagai berikut :

1. Semen menggunakan semen tiga roda sebesar 40 kg per sak di toko bangunan di Kota Malang.
2. Pasir didapat di toko bangunan di Kota Malang.
3. Kerikil didapat di toko bangunan di Kota Malang dengan ukuran agregat yang bervariasi maksimal 2 mm.
4. Air didapat dari Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang.
5. Tulangan baja baik untuk Ø6 maupun Ø4 diperoleh di toko konstruksi di Kota Malang.

4.2.2 Proses fabrikasi

Pengerjaan fabrikasi dilakukan dengan menggunakan jasa pengrajin yang berada di Kecamatan Sawojajar, Kota Malang. Jasa pengrajin digunakan untuk fabrikasi bekisting dan

fabrikasi tulangan. Jumlah bekisting dan tulangan yang difabrikasi berjumlah tiga buah sesuai dengan jumlah benda uji portal yang akan dibuat. Jasa pengrajin diperlukan dikarenakan keterbatasan alat dan keterampilan yang tersedia mengingat perlunya tingkat akurasi dan presisi yang cukup tinggi pada saat proses fabrikasi.

Bekisting digunakan sebagai cetakan dari benda uji portal. Bekisting yang digunakan terbuat dari kombinasi kayu multipleks dan batang kayu. Sedangkan, fabrikasi tulangan diperlukan untuk pembuatan sengkang dan tulangan utama agar dapat disambung dengan baik dan tidak bergerak pada saat dilakukan pengecoran.

Selain bekisting dan tulangan, beton *decking* juga perlu dibuat sebelum dilaksanakan pengecoran. Beton *decking* merupakan beton kecil yang terbuat dari campuran pasir, semen, dan air yang berguna untuk mengganjal tulangan agar tidak menyentuh bekisting pada saat pengecoran benda uji portal dilakukan. Beton tahu berguna untuk menjaga jarak selimut dari benda uji portal yang akan dibuat.

4.2.3 Pemasangan strain gauge baja

Sebelum pengecoran dilakukan pada tulangan baja dipasang *strain gauge* terlebih dahulu. *Strain gauge* berfungsi untuk mengetahui regangan yang terjadi pada tulangan baja pada saat pengujian. Posisi pemasangan *strain gauge* berada di tulangan yang paling dekat dengan *load cell* pada saat pengujian, dengan asumsi tulangan tersebut menerima gaya tarik terbesar. *Strain gauge* baja dipasang 10 cm dari joint antara *base* dengan kolom sesuai dengan detail pemasangan *strain gauge* baja yang dapat dilihat di detail A pada gambar 3.7.

Strain gauge dipasang pada tulangan baja dengan cara dilem menggunakan lem serbaguna. Setelah itu *strain gauge* disolder ke PCB yang berfungsi sebagai penghubung antara *strain gauge* dengan kabel yang pada saat pengujian akan dihubungkan dengan *strain meter* untuk membaca nilai regangan. Kabel yang dipakai harus dipastikan cukup panjang agar tidak kesulitan pada saat pengujian ketika melakukan pembacaan, pada eksperimen ini dipakai kabel sepanjang ± 2 meter. Setelah *strain gauge* disolder pada PCB, solder juga kabel ke PCB tersebut. Setelah semua terpasang pastikan *strain gauge* dapat terbaca di *strain meter*. Terakhir, tutup *strain gauge* menggunakan selotip dan ditambah lagi menggunakan *sealant* agar pada saat pengecoran *strain gauge* tidak terkena air.

Karena keterbatasan jumlah *strain gauge* maka hanya benda uji A dan benda uji D yang diberi *strain gauge*. Sedangkan, benda uji E hanya di analisis grafik $P/\Delta L$ saja.

4.2.4 Pembuatan adonan beton dan pengecoran

Sebelum pencampuran dimulai, agar pengerjaan sistematis, setiap komponen campuran beton ditimbang dan dikelompokkan menurut kuantitasnya masing-masing. Setelah itu komponen dari salah satu benda uji dimasukkan ke dalam *concrete mixer* satu per satu secara perlahan agar tercampur dengan merata. Setelah 15 sampai 20 menit atau terlihat telah homogen, campuran beton dikeluarkan sedikit dari *concrete mixer* untuk dilakukan *slump test*. Sesuai SNI 7394:2008 untuk campuran beton dengan mutu K-175 diperlukan *slump* setinggi 12 cm dengan toleransi 2 cm. Hasil *slump* dari setiap sampel sesuai dengan Tabel 4-6. Jika *slump* sudah sesuai maka adonan beton dapat digunakan untuk pengecoran.

Tabel 4.6

Hasil *slump test*

Kode Benda Uji	Slump (cm)
A	13
D	12
E	14

Jika *slump* sudah sesuai (12 ± 2 cm) selanjutnya adonan beton dapat dicor ke bekisting portal dan cetakan silinder. Pengecoran dilakukan perlahan sambil dipadatkan dengan menggunakan batang besi atau *vibrator*. Pemadatan diperlukan untuk mengeluarkan gelembung-gelembung air yang terjebak di dalam adonan beton. Gelembung air akan menyebabkan penurunan pada kualitas mutu beton pada saat mengeras.

4.2.5 Proses curing

Curing adalah proses perawatan beton hingga siap untuk diuji. Pada penelitian kali ini kedua benda uji, yaitu benda uji silinder dan benda uji portal akan di-*curing* selama 28 hari sebelum akhirnya dapat diuji. Pada hari pertama setelah pengecoran kedua benda uji dibiarkan mengering selama sekitar dua hari hingga benda uji mulai mengeras. Setelah mengeras kedua benda uji harus selalu diberi air agar tidak terjadi susut dan retak pada benda uji. Benda uji silinder dimasukkan ke dalam bak yang berisi air, sedangkan benda uji portal ditutup dengan karung goni basah yang secara rutin diganti agar tetap basah.

4.3 Proses pengujian

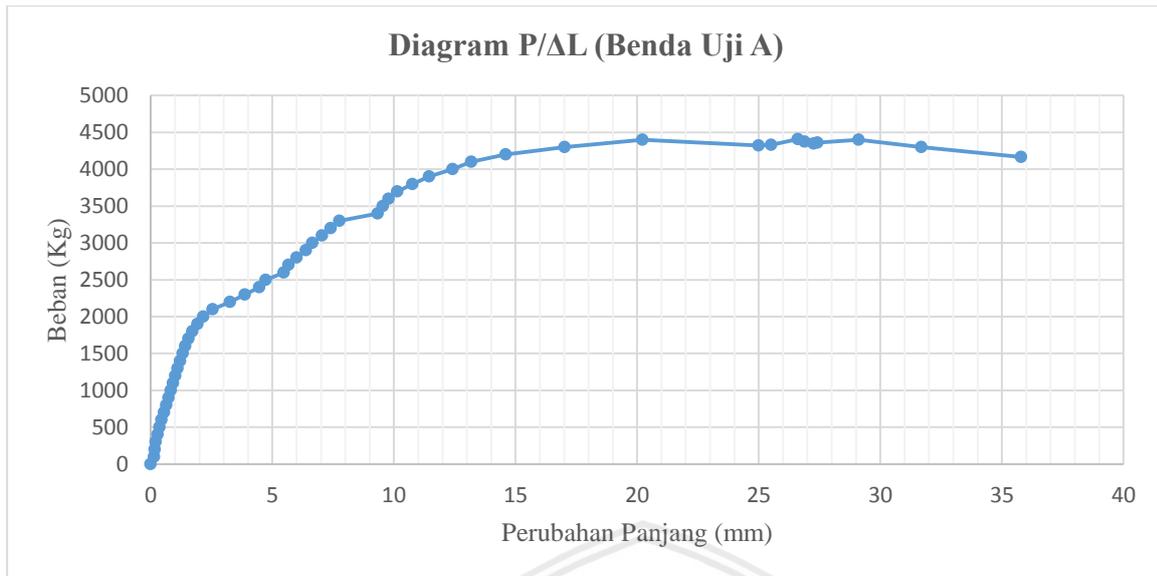
Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Proses pengujian mengikuti alur yang telah dibahas pada bab 3. Pengujian menggunakan *compression test machine* dilaksanakan untuk benda uji silinder untuk mendapat mutu beton. Pengujian menggunakan *universal testing machine* dilaksanakan untuk tulangan baja agar mendapat tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) dari tulangan baja. Sedangkan pengujian menggunakan *frame loading* dan *load cell* dilaksanakan untuk benda uji portal sebagai cara untuk mensimulasikan beban lateral dan pada akhirnya mendapat diagram tegangan-regangan dari setiap benda uji.

4.4 Hasil pengujian

Berikut ini disajikan hasil pengujian untuk ketiga benda uji berdasarkan diagram P/ Δ L dan juga diagram tegangan-regangan.

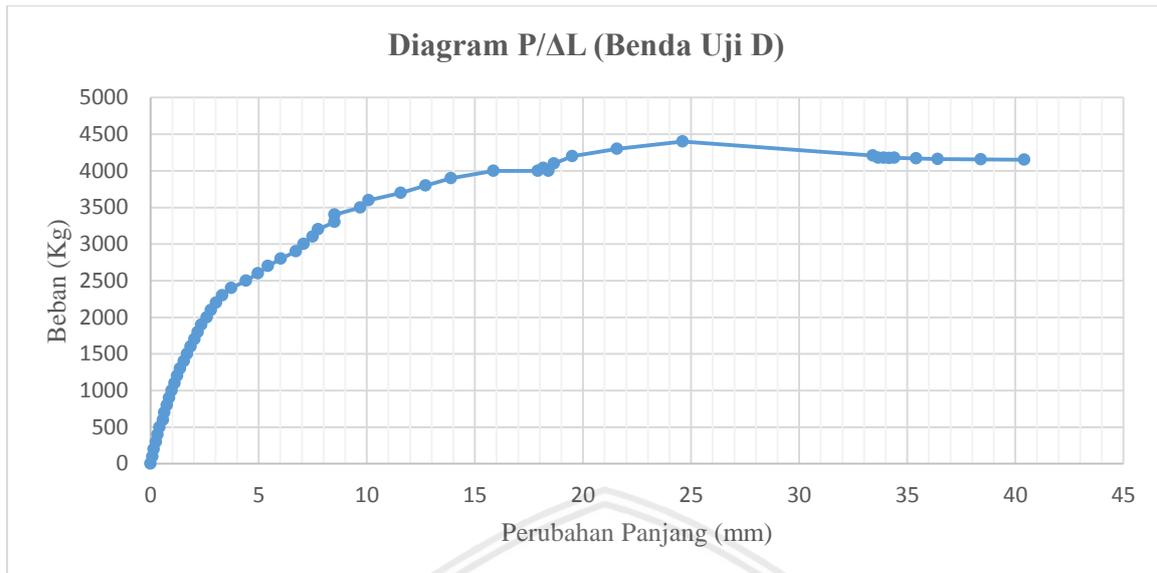
4.4.1 Hasil pengujian hubungan P/ Δ L

Diagram P/ Δ L dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh beban lateral terhadap deformasi horizontal dari portal. Berikut adalah hasil pengujian dan diagram P/ Δ L dari benda uji A, benda uji D, dan benda uji E. Dimana benda uji A merupakan benda uji tanpa eksentrisitas, benda uji D merupakan benda uji dengan eksentrisitas 15 cm, dan benda uji E merupakan benda uji dengan eksentrisitas 30 cm sesuai dengan yang telah dibahas pada *sub-bab 3.5*.



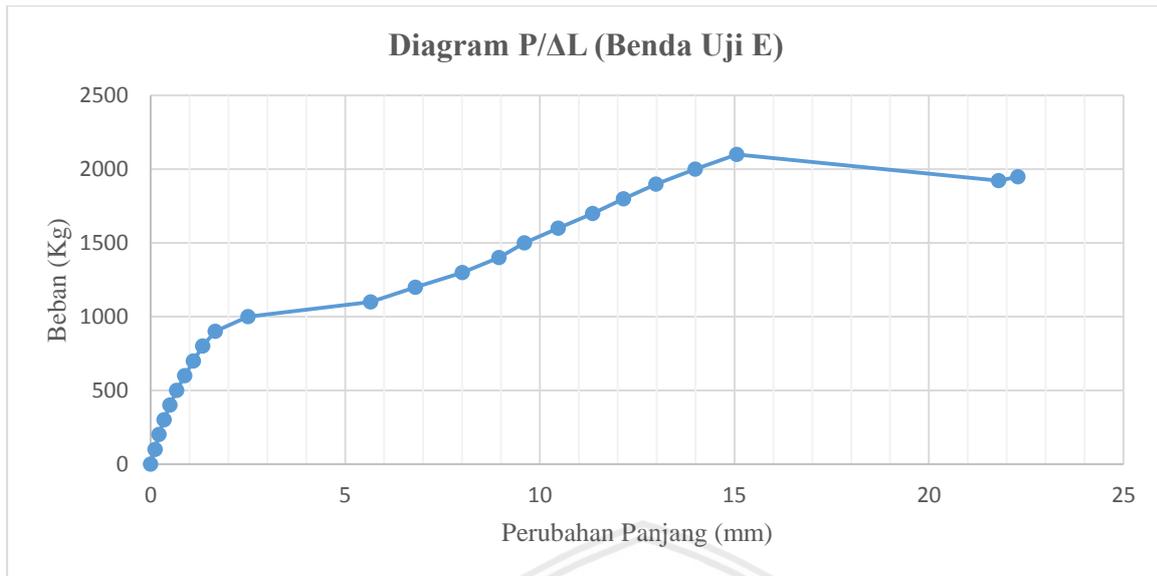
Gambar 4.1 Diagram P/ΔL benda uji A

Hubungan diagram P/ΔL dapat dilihat pada gambar 4.1, dimana diagram tersebut dibuat dari hasil pembacaan data yang telah dilakukan rekapitulasi. Berdasarkan hasil pengujian diketahui dengan metode grafis bahwa beban lateral maksimum yang dapat diterima oleh benda uji A adalah sebesar 4400 kg pada nilai deformasi sebesar 20,215 mm. Setelah itu benda uji tidak dapat menerima beban yang lebih besar. Pada saat deformasi 35,79 mm dan tegangan sebesar 4167 kg terlihat bahwa benda uji sudah tidak layak untuk diuji karena banyaknya jumlah retak dan pengujian pun dihentikan. Penurunan yang terjadi pada benda uji A adalah sebesar 5,29% dari beban ultimit.



Gambar 4.2 Diagram P/ Δ L benda uji D

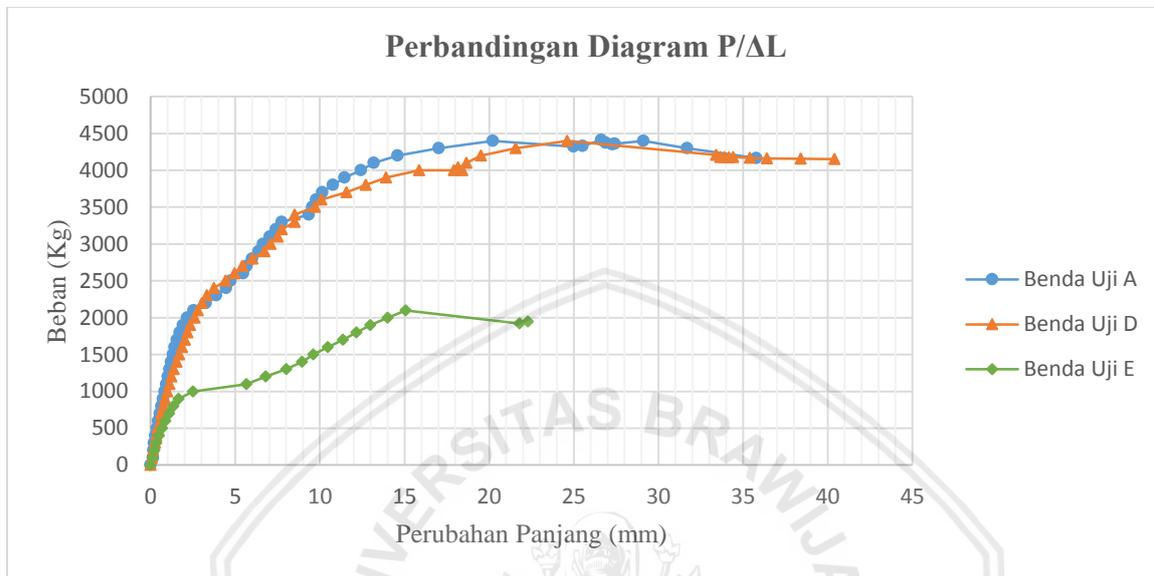
Hubungan diagram P/ Δ L dapat dilihat pada gambar 4.2, dimana diagram tersebut dibuat dari hasil pembacaan data yang telah dilakukan rekapitulasi. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa beban lateral maksimum yang dapat diterima oleh benda uji D adalah sebesar 4400 kg pada nilai deformasi sebesar 24,61 mm. Pada saat deformasi 40,41 mm dan beban sebesar 4150 kg terlihat bahwa benda uji sudah tidak layak untuk diuji karena banyaknya jumlah retak dan pengujian pun dihentikan. Penurunan yang terjadi pada benda uji D adalah sebesar 6,02% dari beban ultimit.



Gambar 4.3 Diagram P/ΔL benda uji E

Hubungan diagram P/ΔL dapat dilihat pada gambar 4.3, dimana diagram tersebut dibuat dari hasil pembacaan data yang telah dilakukan rekapitulasi. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa beban lateral maksimum yang dapat diterima oleh benda uji E adalah sebesar 2100 kg pada nilai deformasi sebesar 15,057 mm. Pada saat deformasi 22,29 mm dan beban sebesar 1948 kg terlihat bahwa benda uji sudah tidak layak untuk diuji karena banyaknya jumlah retak dan pengujian pun dihentikan. Penurunan yang terjadi pada benda uji E adalah sebesar 8,47% dari beban ultimit.

Agar dapat menilai pengaruh eksentrisitas terhadap efektivitas portal maka dibuat diagram yang menunjukkan perbandingan diagram $P/\Delta L$ antara ketiga benda uji sesuai yang disajikan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perbandingan diagram $P/\Delta L$ dari ketiga benda uji

Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin rapat eksentrisitas dari *bracing* maka semakin besar beban maksimum yang mampu diterima sebelum akhirnya terjadi kegagalan, yaitu benda uji A yang non-eksentris dengan beban maksimum 4400 kg, benda uji D dengan beban maksimum 4400 kg dengan eksentrisitas sebesar 15 cm, dan benda uji E dengan beban maksimum 2100 kg dengan eksentrisitas terbesar sebesar 30 cm. Dapat diambil kesimpulan bahwa benda uji D memiliki kapasitas beban maksimum yang sama dengan benda uji A. Sedangkan, benda uji E memiliki kapasitas beban maksimum 52,27% lebih kecil dibanding benda uji A.

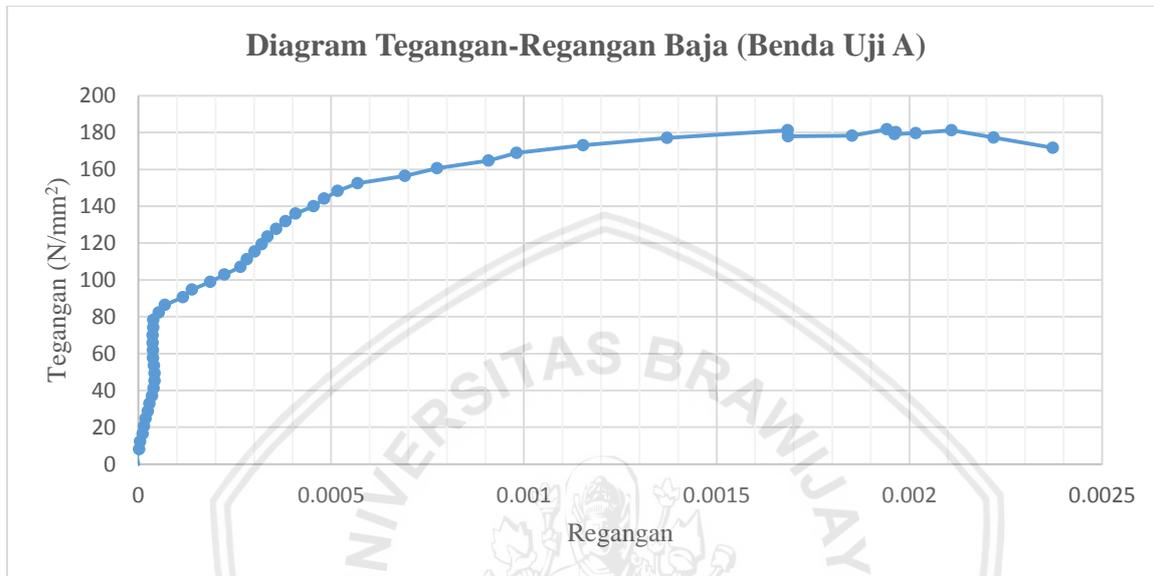
Selain itu, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin kecil eksentrisitas pada *bracing* maka pada beban yang sama deformasi yang terjadi akan semakin kecil. Sebagai contoh berdasarkan tabel 4-7, tabel 4-8, dan tabel 4-9 pada beban lateral 1000 kg benda uji A, benda uji D, dan benda uji E masing-masing memiliki deformasi sebesar 0,825 mm, 0,856 mm, dan 1,656 mm. Maka dapat disimpulkan bahwa untuk beban 1000 kg benda uji D memiliki deformasi yang lebih besar 3,75% dari benda uji A. sedangkan untuk beban uji E memiliki deformasi yang lebih besar 100,72% dari benda uji A.

Benda uji A memiliki deformasi maksimal sebesar 35,79 mm, sedangkan untuk benda uji D memiliki deformasi maksimal sebesar 40,41 mm, terakhir benda uji E memiliki deformasi maksimal sebesar 22,29 mm.



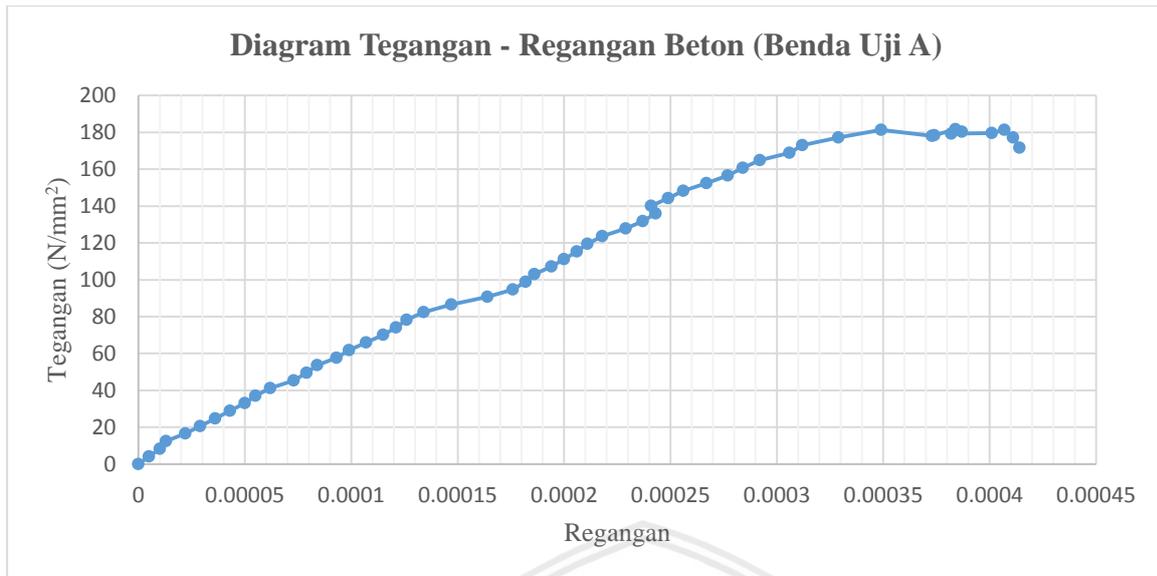
4.4.2 Hasil pengujian hubungan tegangan-regangan

Diagram tegangan-regangan dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh besarnya tegangan yang diberikan pada portal terhadap regangan yang terjadi pada kolom dari portal. Berikut adalah hasil pengujian dan diagram tegangan-regangan dari kedua kolom pada benda uji A, benda uji D, dan benda uji E.



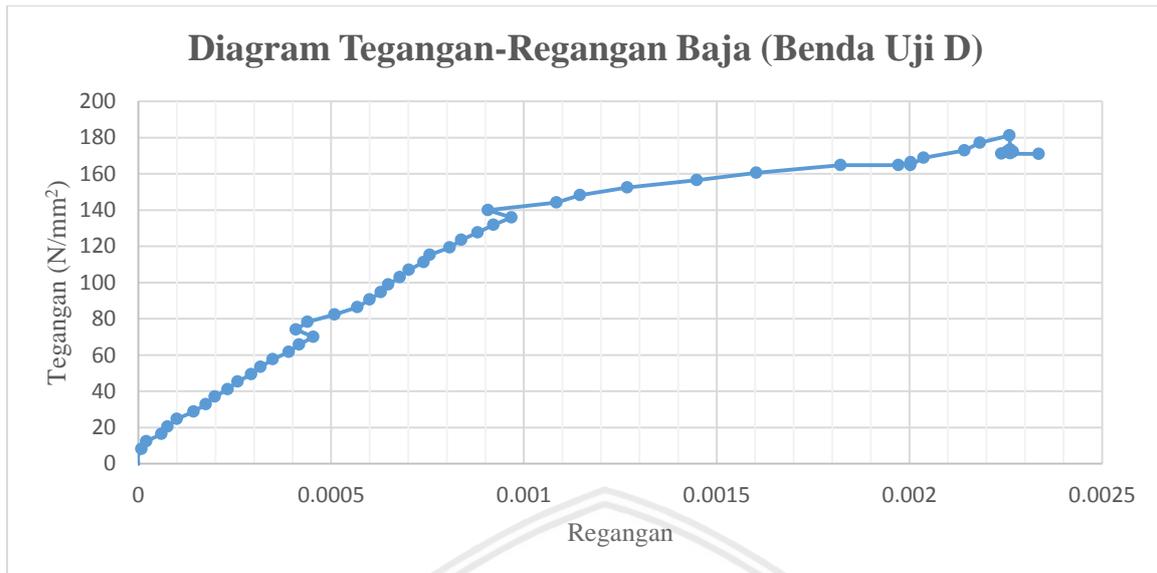
Gambar 4.5 Diagram tegangan-regangan baja untuk benda uji A

Hubungan diagram tegangan-regangan untuk kolom yang menerima gaya tarik dapat dilihat pada gambar 4.5, dimana diagram tersebut dibuat dari hasil pembacaan data yang telah dilakukan rekapitulasi. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada benda uji A adalah sebesar $181,67 \text{ N/mm}^2$ pada nilai regangan sebesar $19,42 \times 10^{-4}$. Pada saat regangan $23,73 \times 10^{-4}$ dan tegangan sebesar $171,66 \text{ N/mm}^2$ terlihat bahwa benda uji sudah tidak layak untuk diuji karena banyaknya jumlah retak dan pengujian pun dihentikan. Pada benda uji A terjadi penurunan sebesar 5,51% dari tegangan ultimit. Regangan leleh dapat ditentukan dengan menggunakan metode observasi grafis, modulus secan, dan modulus tangen masing-masing $0,5 \times 10^{-4}$, $5,4 \times 10^{-4}$, dan $5,9 \times 10^{-4}$



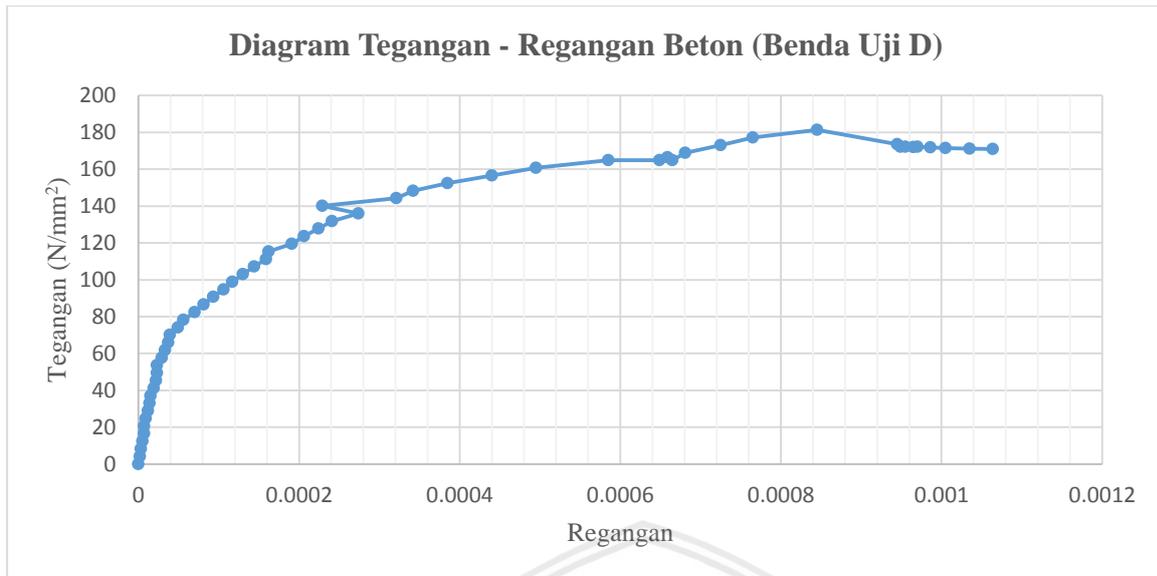
Gambar 4.6 Diagram tegangan-regangan beton untuk benda uji A

Hubungan diagram tegangan-regangan beton dapat dilihat pada gambar 4.6, dimana diagram tersebut dibuat dari hasil pembacaan data yang telah dilakukan rekapitulasi. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada benda uji A adalah sebesar $181,72 \text{ N/mm}^2$ pada nilai regangan sebesar $3,84 \times 10^{-4}$. Pada saat regangan $4,14 \times 10^{-4}$ dan tegangan sebesar $171,71 \text{ N/mm}^2$ terlihat bahwa benda uji sudah tidak layak untuk diuji karena banyaknya jumlah retak dan pengujian pun dihentikan. Pada benda uji A terjadi penurunan sebesar 5,51% dari tegangan ultimit.



Gambar 4.7 Diagram tegangan-regangan baja untuk benda uji D

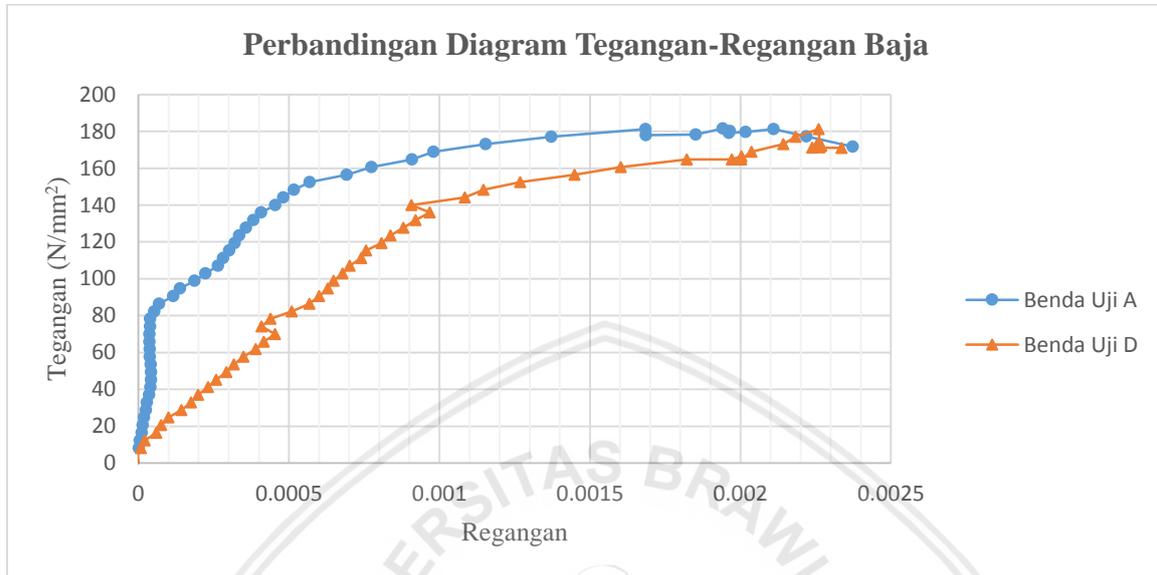
Hubungan diagram tegangan-regangan untuk kolom yang menerima gaya tarik dapat dilihat pada gambar 4.7, dimana diagram tersebut dibuat dari hasil pembacaan data yang telah dilakukan rekapitulasi. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada benda uji D adalah sebesar $181,26 \text{ N/mm}^2$ pada nilai regangan sebesar $22,6 \times 10^{-4}$. Pada saat regangan $23,36 \times 10^{-4}$ dan tegangan sebesar $170,96 \text{ N/mm}^2$ terlihat bahwa benda uji sudah tidak layak untuk diuji karena banyaknya jumlah retak dan pengujian pun dihentikan. Pada benda uji D terjadi penurunan sebesar 6,03% dari tegangan ultimit. Regangan leleh dapat ditentukan dengan menggunakan metode observasi grafis, modulus secan, dan modulus tangen masing-masing $4,3 \times 10^{-4}$, $12,8 \times 10^{-4}$, dan $14,4 \times 10^{-4}$



Gambar 4.8 Diagram tegangan-regangan beton untuk benda uji D

Hubungan diagram tegangan-regangan beton dapat dilihat pada gambar 4.8, dimana diagram tersebut dibuat dari hasil pembacaan data yang telah dilakukan rekapitulasi. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada benda uji A adalah sebesar $181,31 \text{ N/mm}^2$ pada nilai regangan sebesar $8,45 \times 10^{-4}$. Pada saat regangan $10,64 \times 10^{-4}$ dan tegangan sebesar $171,02 \text{ N/mm}^2$ terlihat bahwa benda uji sudah tidak layak untuk diuji karena banyaknya jumlah retak dan pengujian pun dihentikan. Pada benda uji D terjadi penurunan sebesar 6,02% dari tegangan ultimit.

Agar dapat menilai pengaruh eksentrisitas terhadap efektivitas portal maka dibuat diagram yang menunjukkan perbandingan diagram tegangan-regangan antara ketiga benda uji sesuai yang disajikan pada gambar 4.9 untuk baja dan gambar 4.10 untuk beton.

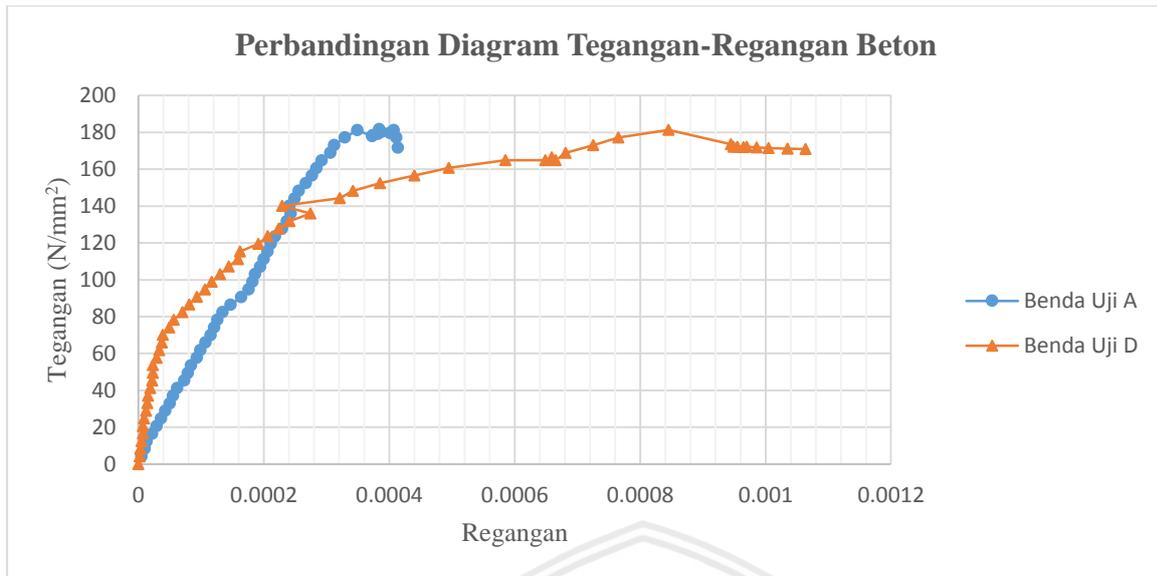


Gambar 4.9 Perbandingan diagram tegangan-regangan baja.

Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa benda uji dengan eksentrisitas yang lebih kecil memiliki tegangan maksimum yang lebih besar sebelum akhirnya terjadi kegagalan, yaitu benda uji A yang non-eksentris dengan tegangan maksimum $181,67 \text{ N/mm}^2$ dan benda uji D dengan tegangan maksimum $181,26 \text{ N/mm}^2$ dengan eksentrisitas sebesar 15 cm. Dapat diambil kesimpulan bahwa benda uji D memiliki tegangan maksimum 0,21% lebih kecil dibanding benda uji kontrol.

Selain itu, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin kecil eksentrisitas pada *bracing* maka pada tegangan yang sama regangan yang terjadi akan semakin kecil. Sebagai contoh pada beban lateral 1000 kg benda uji A dan benda uji D masing-masing memiliki regangan sebesar 4×10^{-5} dan $23,2 \times 10^{-5}$. Maka dapat disimpulkan bahwa untuk beban 1000 kg benda uji D memiliki regangan yang lebih besar 480% dari benda uji kontrol.

Benda uji A memiliki regangan maksimal sebesar $23,73 \times 10^{-4}$, sedangkan untuk benda uji D memiliki regangan maksimal sebesar $23,36 \times 10^{-4}$.



Gambar 4.10 Perbandingan diagram tegangan-regangan beton

Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa benda uji dengan eksentrisitas yang lebih kecil memiliki tegangan maksimum yang lebih besar sebelum akhirnya terjadi kegagalan, yaitu benda uji A yang non-eksentris dengan tegangan maksimum $181,72 \text{ N/mm}^2$ dan benda uji D dengan tegangan maksimum $181,32 \text{ N/mm}^2$ dengan eksentrisitas sebesar 15 cm. Dapat diambil kesimpulan bahwa benda uji D memiliki tegangan maksimum 0,242% lebih kecil dibanding benda uji kontrol.

Benda uji A memiliki regangan maksimal sebesar $4,14 \times 10^{-4}$, sedangkan untuk benda uji D memiliki regangan maksimal sebesar $10,64 \times 10^{-4}$.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijabarkan sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa portal dengan eksentrisitas 15 cm (Benda uji D) memiliki tegangan maksimum yang hampir sama dengan portal yang non-eksentris (Benda uji A), yaitu hanya lebih kecil 0,21% untuk baja dan lebih kecil 0,24% untuk beton. Selain itu, beban maksimum dari kedua benda uji sama besar, namun untuk benda uji dengan eksentrisitas 30 cm (benda uji E) memiliki beban maksimum 52,27% lebih kecil dari benda uji yang non-eksentris. Semakin besar jarak eksentrisitas maka semakin kecil tegangan maksimum dan beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji.
2. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa portal tanpa eksentrisitas (benda uji A) memiliki regangan maksimum untuk baja dan beton masing-masing $23,73 \times 10^{-4}$ dan $4,14 \times 10^{-4}$. Sedangkan benda uji dengan eksentrisitas 15 cm (benda uji D) memiliki regangan maksimum baja dan beton masing-masing $23,36 \times 10^{-4}$ dan $10,64 \times 10^{-4}$.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk peneliti yang akan melakukan penelitian yang sejenis dengan penelitian ini antara lain adalah :

1. Teliti kembali pengunci yang akan digunakan untuk pengujian benda uji portal baik dari penempatannya maupun ukuran dimensinya. Ukuran dimensi pengunci harus diperhatikan untuk memastikan dapat menahan beban yang terjadi pada saat pengujian, mengingat beban yang akan diterima oleh portal mencapai 5 ton. Penempatan pengunci lebih baik hanya di bagian bawah portal saja agar klem tidak memberikan kekuatan pada struktur.

2. Kuantitas sampel perlu diperbanyak agar hasil pengujian yang didapat menjadi semakin akurat. Variasi jarak eksentrisitas juga perlu ditambah agar menambah jumlah pembandingan pada saat pengambilan kesimpulan. Penambahan sampel dan variasi jarak eksentrisitas pada akhirnya akan menghasilkan hasil pengolahan data yang lebih akurat dan presisi.



DAFTAR PUSTAKA

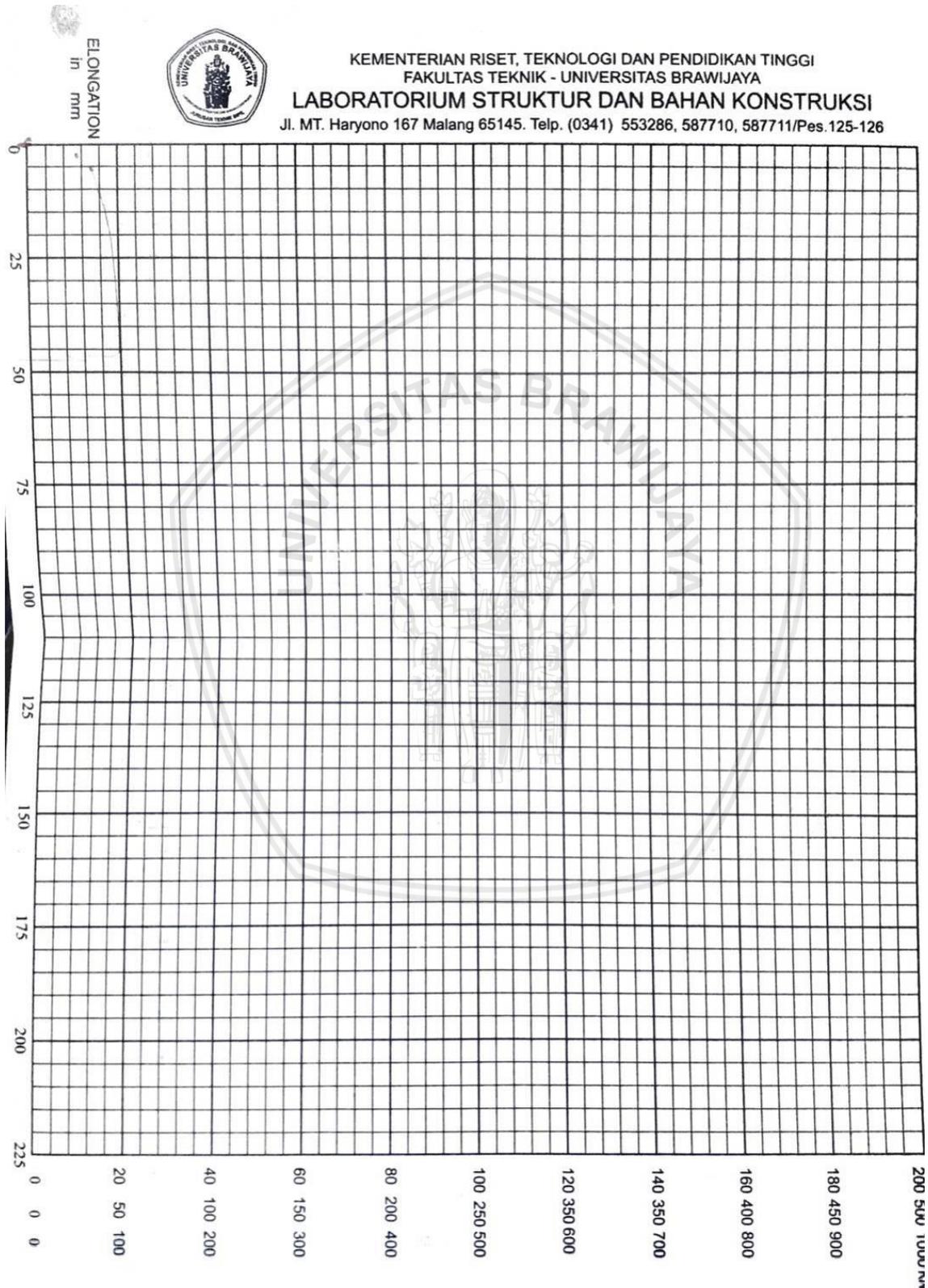
- Aryandi, Darin. 2017. *Pengaruh Bentuk Bracing Terhadap Kinerja Seismik Struktur Beton Bertulang*, 3, 49-50
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 03-2847-2013 *Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 7394:2008 *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-2847-2002 *Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: BSN
- Dipohusodo, Istimawan. 1993. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum RI
- Gere, J.M., Timoshenko. 1997. *Mekanika Bahan – Terjemahan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Harianja, Jhonson Andar. 2012. *Efektifitas Penggunaan Bracing Pada Portal Bertingkat Asimetris*, 2, 34-37
- McCormac, Jack. C. 2010. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Moestopo, M. 2012. *Kajian Eksperimental Peningkatan Kinerja Link Geser pada Sistem Rangka Baja Berpengaku Eksentrik*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 19 no.2:93-102
- Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- Park, R. and Paulay, T. 1974, *Reinforced Concrete Structures*, Jhon Wiley and Sons, Inc., New Work
- Soemono. 1989. *Tegangan 1*. Bandung: ITB Bandung.
- Suseno, H. 2010. *Bahan Bangunan untuk Teknik Sipil*. Malang: Penerbit Bargie Media.
- Suseno, H. dkk. 2016. *Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP Dan GFRP*, 10, 65-68
- Yurisman dkk. 2010. *Kajian Numerik Terhadap Kinerja Link Geser dengan Pengaku Diagonal Pada Struktur Rangka Baja Berpenopang Eksentrik (EBF)*. Jurnal Teknik Sipil. 17(1):25-3

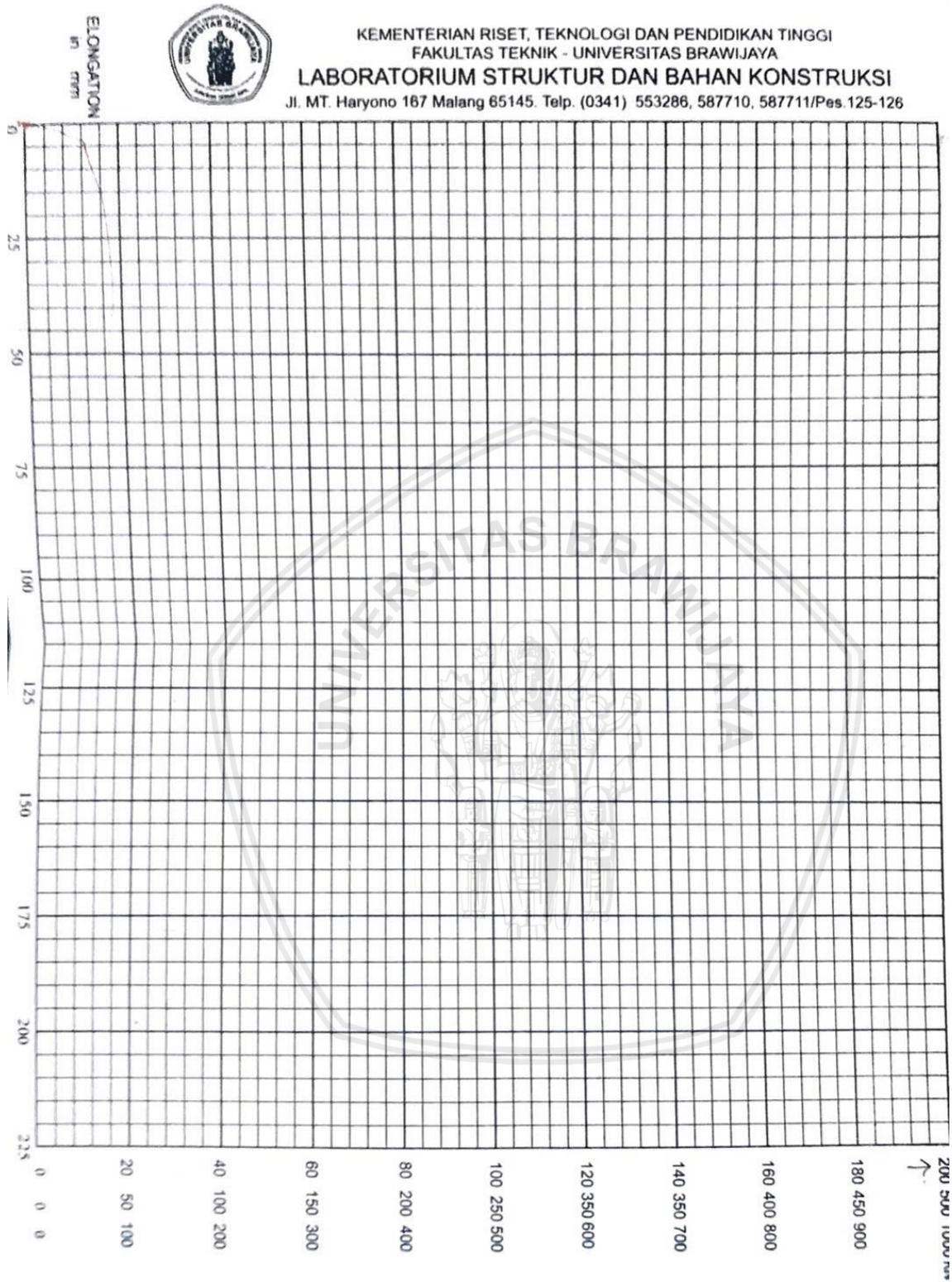
- HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN -



LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis material

Gambar L 1.1. Data Hasil Uji Tarik Tulangan $\varnothing 6$ mm (Sampel A)



Gambar L 1.2.. Data Hasil Uji Tarik Tulangan Ø6 mm (Sampel B)

Tabel L 1.1

Analisis tegangan leleh baja

Sampel	Diameter	Luas	Beban	Beban	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Leleh Rata-Rata
	(mm)	(mm ²)	(kN)	(N)	(Mpa)	(Mpa)
A	6	28,274	14	14000	495,149	459,781
B	6	28,274	12	12000	424,413	

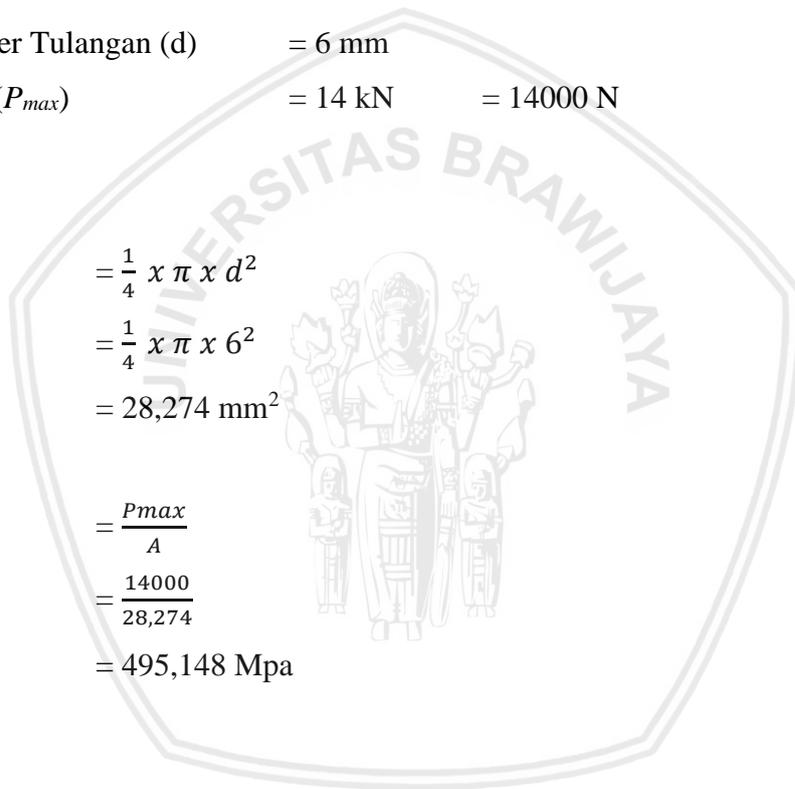
Contoh perhitungan tegangan leleh :

Data :

$$\begin{aligned} \text{Diameter Tulangan (d)} &= 6 \text{ mm} \\ \text{Beban (} P_{max} \text{)} &= 14 \text{ kN} \quad = 14000 \text{ N} \end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 6^2 \\ &= 28,274 \text{ mm}^2 \\ \\ f_y &= \frac{P_{max}}{A} \\ &= \frac{14000}{28,274} \\ &= 495,148 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



Tabel L 1.2

Perhitungan Tegangan Ultimit Baja

Sampel	Diameter	Luas	Beban	Beban	Tegangan Ultimit (fu)	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(mm ²)	(kN)	(N)	(Mpa)	(Mpa)
A	6	28,274	20	20000	707,355	671,988
B	6	28,274	18	18000	636,620	

Contoh perhitungan tegangan ultimit :

Data :

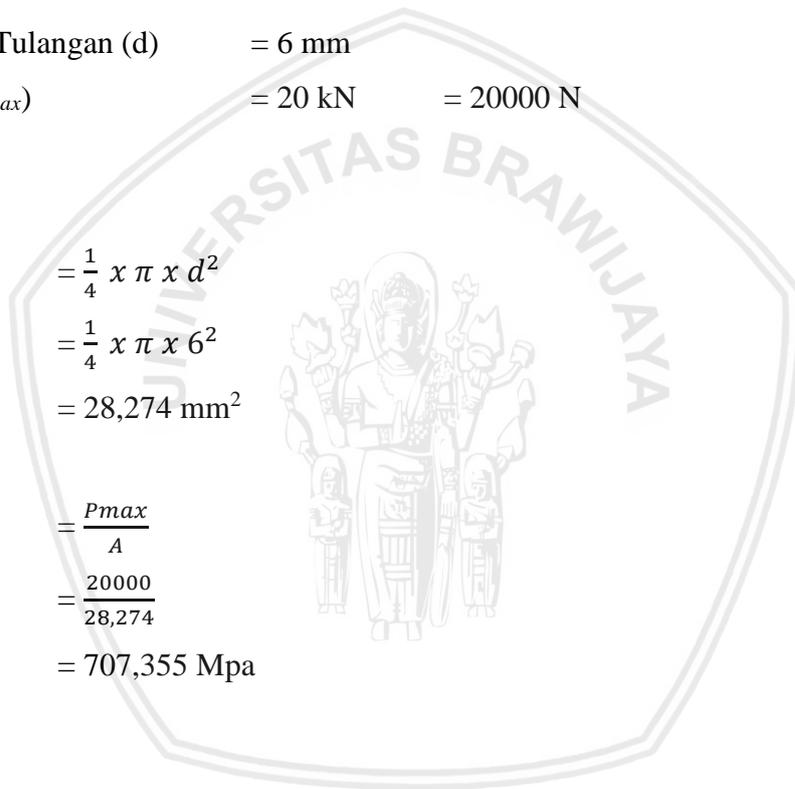
$$\text{Diameter Tulangan (d)} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Beban (} P_{max} \text{)} = 20 \text{ kN} = 20000 \text{ N}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 6^2 \\ &= 28,274 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_u &= \frac{P_{max}}{A} \\ &= \frac{20000}{28,274} \\ &= 707,355 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



Tabel L 1.3

Perhitungan Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder

Kode Benda Uji	Nomor	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
A	1			13.00	349	19.749	17.7310
	2		13	13.15	286	16.184	
	3			13.05	305	17.259	
D	1			13.25	352	19.919	19.2967
	2	28	12	13.35	354	20.032	
	3			13.40	317	17.939	
E	1			13.05	312	17.656	17.7310
	2		14	13.30	340	19.240	
	3			13.10	288	16.297	

Contoh perhitungan kuat tekan beton :

Data :

$$\text{Beban } (P_{max}) = 349 \text{ kN} = 349000 \text{ N}$$

$$\text{Diameter Sampel } (d) = 150 \text{ mm}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\ &= 17671.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P_{max}}{A} \\ &= \frac{349000}{17671.46} \\ &= 19,749 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tabel L 1.4

Perhitungan Massa Jenis Benda Uji Silinder

Kode	Nomor	Berat	Massa Jenis	Massa Jenis Rata-rata
		(Kg)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)
A	1	13.00	2452.165	2464.740
	2	13.15	2480.459	
	3	13.05	2461.596	
D	1	13.25	2499.322	2515.041
	2	13.35	2518.185	
	3	13.40	2527.616	
E	1	13.05	2461.596	2480.459
	2	13.30	2508.753	
	3	13.10	2471.028	

Contoh perhitungan massa jenis beton :

Data :

Berat sampel (m) = 13 Kg
 Diameter sampel (d) = 150 mm
 Tinggi sampel (h) = 300 mm

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 V &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2\right) \times h \\
 &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 150^2\right) \times 300 \\
 &= 5301437,603 \text{ mm}^3 = 53,014 \times 10^{-3} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{beton}} &= \frac{m}{V} \\
 &= \frac{13}{53,014 \times 10^{-3}} \\
 &= 2452,165 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

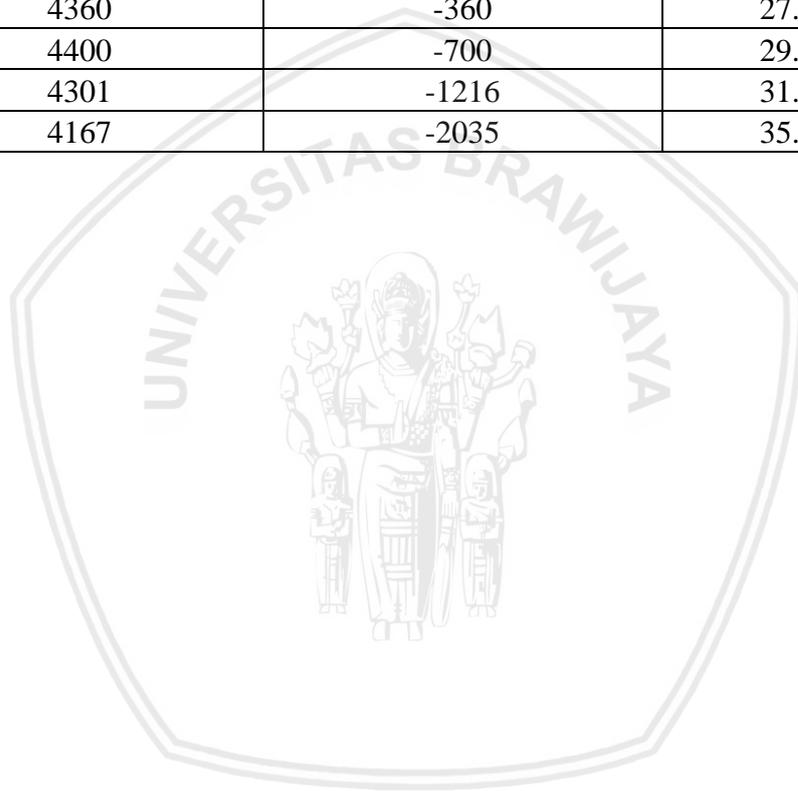
Lampiran 2. Data hasil pengujian hubungan P/ Δ L

Tabel L 2.1

Data Hubungan P/ Δ L Uji Portal A (Tanpa Eksentrisitas)

no	Beban (Kg)	Perubahan Panjang (LVDT)	
		Non-Kalibrasi	Terkalibrasi (mm)
1	0	5123	0.000
2	100	5095	0.140
3	200	5089	0.170
4	300	5081	0.210
5	400	5067	0.280
6	500	5050	0.365
7	600	5033	0.450
8	700	5014	0.545
9	800	4995	0.640
10	900	4977	0.730
11	1000	4958	0.825
12	1100	4939	0.920
13	1200	4920	1.015
14	1300	4901	1.110
15	1400	4881	1.210
16	1500	4860	1.315
17	1600	4838	1.425
18	1700	4811	1.560
19	1800	4780	1.715
20	1900	4739	1.920
21	2000	4689	2.170
22	2100	4614	2.545
23	2200	4470	3.265
24	2300	4350	3.865
25	2400	4230	4.465
26	2500	4176	4.735
27	2600	4029	5.470
28	2700	3988	5.675
29	2800	3923	6.000
30	2900	3847	6.380
31	3000	3793	6.650
32	3100	3713	7.050
33	3200	3642	7.405
34	3300	3572	7.755
35	3400	3255	9.340
36	3500	3213	9.550
37	3600	3165	9.790
38	3700	3094	10.145

39	3800	2970	10.765
40	3900	2833	11.450
41	4000	2639	12.420
42	4100	2486	13.185
43	4200	2203	14.600
44	4300	1718	17.025
45	4400	1080	20.215
46	4320	125	24.990
47	4330	20	25.515
48	4410	-200	26.615
49	4375	-255	26.890
50	4350	-330	27.265
51	4360	-360	27.415
52	4400	-700	29.115
53	4301	-1216	31.695
54	4167	-2035	35.790

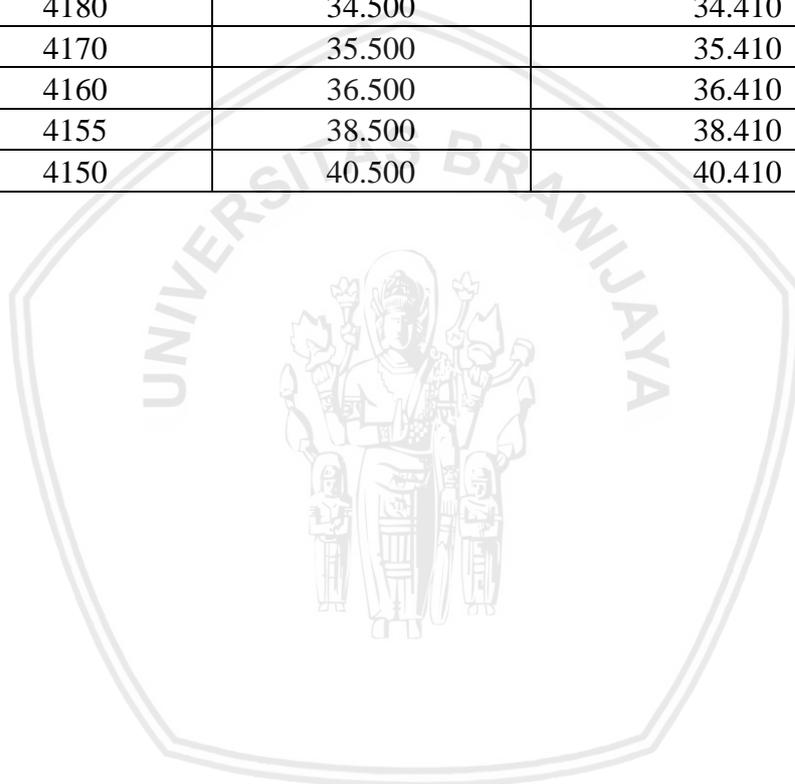


Tabel L 2.2

Data Hubungan P/ Δ L Benda Uji Portal D (Eksentrisitas Satu Sisi 15 cm)

no	Beban (Kg)	Perubahan Panjang (LVDT)	
		Non-Kalibrasi	Terkalibrasi (mm)
1	0	0.090	0.000
2	100	0.174	0.084
3	200	0.236	0.146
4	300	0.341	0.251
5	400	0.417	0.327
6	500	0.508	0.418
7	600	0.672	0.582
8	700	0.718	0.628
9	800	0.845	0.755
10	900	0.946	0.856
11	1000	1.069	0.979
12	1100	1.196	1.106
13	1200	1.325	1.235
14	1300	1.460	1.370
15	1400	1.629	1.539
16	1500	1.780	1.690
17	1600	1.951	1.861
18	1700	2.124	2.034
19	1800	2.267	2.177
20	1900	2.430	2.340
21	2000	2.695	2.605
22	2100	2.879	2.789
23	2200	3.120	3.030
24	2300	3.410	3.320
25	2400	3.827	3.737
26	2500	4.510	4.420
27	2600	5.050	4.960
28	2700	5.510	5.420
29	2800	6.113	6.023
30	2900	6.805	6.715
31	3000	7.175	7.085
32	3100	7.589	7.499
33	3200	7.838	7.748
34	3300	8.599	8.509
35	3400	8.600	8.510
36	3500	9.788	9.698
37	3600	10.175	10.085
38	3700	11.660	11.570
39	3800	12.805	12.715
40	3900	13.990	13.900

41	4000	15.950	15.860
43	4000	18.000	17.910
44	4040	18.250	18.160
45	4000	18.500	18.410
46	4100	18.750	18.660
47	4200	19.600	19.510
48	4300	21.660	21.570
49	4400	24.700	24.610
50	4210	33.500	33.410
51	4180	33.750	33.660
52	4180	34.000	33.910
53	4175	34.250	34.160
54	4180	34.500	34.410
55	4170	35.500	35.410
56	4160	36.500	36.410
57	4155	38.500	38.410
58	4150	40.500	40.410

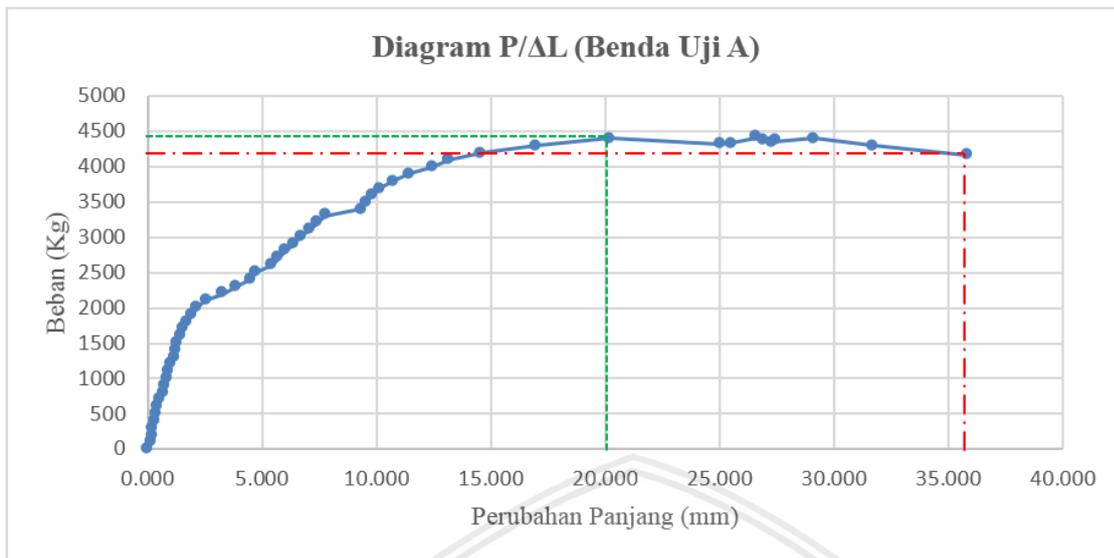


Tabel L 2.3

Data Hubungan P/ Δ L Uji Portal E (Eksentrisitas Satu Sisi 30 cm)

no	Beban (Kg)	Perubahan Panjang (LVDT)	
		Non-Kalibrasi	Terkalibrasi (mm)
1	0	14.210	0.000
2	100	14.323	0.113
3	200	14.424	0.214
4	300	14.555	0.345
5	400	14.706	0.496
6	500	14.879	0.669
7	600	15.081	0.871
8	700	15.306	1.096
9	800	15.546	1.336
10	900	15.866	1.656
11	1000	16.713	2.503
12	1100	19.864	5.654
13	1200	21.014	6.804
14	1300	22.222	8.012
15	1400	23.163	8.953
16	1500	23.817	9.607
17	1600	24.685	10.475
18	1700	25.568	11.358
19	1800	26.359	12.149
20	1900	27.195	12.985
21	2000	28.206	13.996
22	2100	29.267	15.057
23	1922	36.000	21.790
24	1948	36.500	22.290

Contoh analisis data metode grafis :



----- = Beban ultimit

- - - - = Deformasi ultimit

Kesimpulan metode grafis :

- Beban ultimit sebesar 4400 kg pada deformasi 20,215 mm
- Deformasi ultimit sebesar 35,79 mm pada beban 4167 kg

Contoh perhitungan persen penurunan :

Data :

Beban ultimit (P_{max}) = 4400 kg

Beban pada deformasi ultimit (P_{end}) = 4167 kg

Penyelesaian :

$$\% \text{ penurunan} = \left(\frac{P_{max} - P_{end}}{P_{max}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{4400 - 4167}{4400} \right) \times 100\%$$

$$= 5,29 \%$$

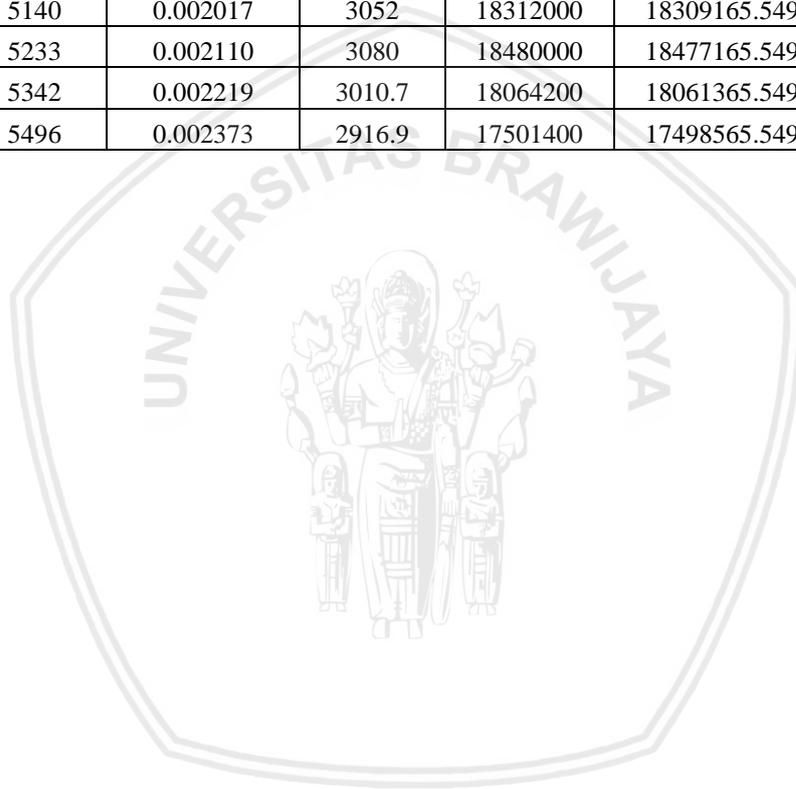
Lampiran 3. Data hasil pengujian hubungan tegangan-regangan

Tabel L 3.1

Data Hubungan Tegangan-Regangan Uji Portal A (Tanpa Eksentrisitas) Tarik

no	Beban (Kg)	Regangan (Strain Gauge)		Momen (Kg.m)	Tegangan Lentur (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tarik) (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tarik) (N/mm ²)
		Non-Kalibrasi	Terkalibrasi				
0	0	3123	0.000000	0	0	-2834.451	-0.028
1	100	3118	-0.000005	70	420000	417165.549	4.092
2	200	3125	0.000002	140	840000	837165.549	8.213
3	300	3128	0.000005	210	1260000	1257165.549	12.333
4	400	3134	0.000011	280	1680000	1677165.549	16.453
5	500	3138	0.000015	350	2100000	2097165.549	20.573
6	600	3142	0.000019	420	2520000	2517165.549	24.693
7	700	3148	0.000025	490	2940000	2937165.549	28.814
8	800	3152	0.000029	560	3360000	3357165.549	32.934
9	900	3159	0.000036	630	3780000	3777165.549	37.054
10	1000	3163	0.000040	700	4200000	4197165.549	41.174
11	1100	3165	0.000042	770	4620000	4617165.549	45.294
12	1200	3165	0.000042	840	5040000	5037165.549	49.415
13	1300	3164	0.000041	910	5460000	5457165.549	53.535
14	1400	3161	0.000038	980	5880000	5877165.549	57.655
15	1500	3161	0.000038	1050	6300000	6297165.549	61.775
16	1600	3160	0.000037	1120	6720000	6717165.549	65.895
17	1700	3160	0.000037	1190	7140000	7137165.549	70.016
18	1800	3162	0.000039	1260	7560000	7557165.549	74.136
19	1900	3162	0.000039	1330	7980000	7977165.549	78.256
20	2000	3176	0.000053	1400	8400000	8397165.549	82.376
21	2100	3192	0.000069	1470	8820000	8817165.549	86.496
22	2200	3239	0.000116	1540	9240000	9237165.549	90.617
23	2300	3262	0.000139	1610	9660000	9657165.549	94.737
24	2400	3310	0.000187	1680	10080000	10077165.549	98.857
25	2500	3346	0.000223	1750	10500000	10497165.549	102.977
26	2600	3388	0.000265	1820	10920000	10917165.549	107.097
27	2700	3405	0.000282	1890	11340000	11337165.549	111.218
28	2800	3425	0.000302	1960	11760000	11757165.549	115.338
29	2900	3443	0.000320	2030	12180000	12177165.549	119.458
30	3000	3458	0.000335	2100	12600000	12597165.549	123.578
31	3100	3481	0.000358	2170	13020000	13017165.549	127.698
32	3200	3505	0.000382	2240	13440000	13437165.549	131.819
33	3300	3531	0.000408	2310	13860000	13857165.549	135.939
34	3400	3578	0.000455	2380	14280000	14277165.549	140.059
35	3500	3605	0.000482	2450	14700000	14697165.549	144.179
36	3600	3640	0.000517	2520	15120000	15117165.549	148.299
37	3700	3692	0.000569	2590	15540000	15537165.549	152.420

38	3800	3815	0.000692	2660	15960000	15957165.549	156.540
39	3900	3898	0.000775	2730	16380000	16377165.549	160.660
40	4000	4032	0.000909	2800	16800000	16797165.549	164.780
41	4100	4104	0.000981	2870	17220000	17217165.549	168.900
42	4200	4277	0.001154	2940	17640000	17637165.549	173.021
43	4300	4495	0.001372	3010	18060000	18057165.549	177.141
44	4400	4808	0.001685	3080	18480000	18477165.549	181.261
45	4320	4809	0.001686	3024	18144000	18141165.549	177.965
46	4330	4975	0.001852	3031	18186000	18183165.549	178.377
47	4410	5065	0.001942	3087	18522000	18519165.549	181.673
48	4375	5088	0.001965	3062.5	18375000	18372165.549	180.231
49	4350	5085	0.001962	3045	18270000	18267165.549	179.201
50	4360	5140	0.002017	3052	18312000	18309165.549	179.613
51	4400	5233	0.002110	3080	18480000	18477165.549	181.261
52	4301	5342	0.002219	3010.7	18064200	18061365.549	177.182
53	4167	5496	0.002373	2916.9	17501400	17498565.549	171.661



Tabel L 3.2

Data Hubungan Tegangan- Regangan Uji Portal A (Tanpa Eksentrisitas) Tekan

no	Beban (Kg)	Regangan (Strain Gauge)		Momen (Kg.m)	Tegangan Lentur (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tekan) (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tekan) (N/mm ²)
		Non-Kalibrasi	Terkalibrasi				
0	0	3394	0.000000	0	0	-2834.451	0.028
1	100	3389	0.000005	70	420000	-422834.451	4.148
2	200	3384	0.000010	140	840000	-842834.451	8.268
3	300	3381	0.000013	210	1260000	-1262834.451	12.388
4	400	3372	0.000022	280	1680000	-1682834.451	16.509
5	500	3365	0.000029	350	2100000	-2102834.451	20.629
6	600	3358	0.000036	420	2520000	-2522834.451	24.749
7	700	3351	0.000043	490	2940000	-2942834.451	28.869
8	800	3344	0.000050	560	3360000	-3362834.451	32.989
9	900	3339	0.000055	630	3780000	-3782834.451	37.110
10	1000	3332	0.000062	700	4200000	-4202834.451	41.230
11	1100	3321	0.000073	770	4620000	-4622834.451	45.350
12	1200	3315	0.000079	840	5040000	-5042834.451	49.470
13	1300	3310	0.000084	910	5460000	-5462834.451	53.590
14	1400	3301	0.000093	980	5880000	-5882834.451	57.711
15	1500	3295	0.000099	1050	6300000	-6302834.451	61.831
16	1600	3287	0.000107	1120	6720000	-6722834.451	65.951
17	1700	3279	0.000115	1190	7140000	-7142834.451	70.071
18	1800	3273	0.000121	1260	7560000	-7562834.451	74.191
19	1900	3268	0.000126	1330	7980000	-7982834.451	78.312
20	2000	3260	0.000134	1400	8400000	-8402834.451	82.432
21	2100	3247	0.000147	1470	8820000	-8822834.451	86.552
22	2200	3230	0.000164	1540	9240000	-9242834.451	90.672
23	2300	3218	0.000176	1610	9660000	-9662834.451	94.792
24	2400	3212	0.000182	1680	10080000	-10082834.451	98.913
25	2500	3208	0.000186	1750	10500000	-10502834.451	103.033
26	2600	3200	0.000194	1820	10920000	-10922834.451	107.153
27	2700	3194	0.000200	1890	11340000	-11342834.451	111.273
28	2800	3188	0.000206	1960	11760000	-11762834.451	115.393
29	2900	3183	0.000211	2030	12180000	-12182834.451	119.514
30	3000	3176	0.000218	2100	12600000	-12602834.451	123.634
31	3100	3165	0.000229	2170	13020000	-13022834.451	127.754
32	3200	3157	0.000237	2240	13440000	-13442834.451	131.874
33	3300	3151	0.000243	2310	13860000	-13862834.451	135.994
34	3400	3153	0.000241	2380	14280000	-14282834.451	140.115
35	3500	3145	0.000249	2450	14700000	-14702834.451	144.235
36	3600	3138	0.000256	2520	15120000	-15122834.451	148.355
37	3700	3127	0.000267	2590	15540000	-15542834.451	152.475
38	3800	3117	0.000277	2660	15960000	-15962834.451	156.595

39	3900	3110	0.000284	2730	16380000	-16382834.451	160.716
40	4000	3102	0.000292	2800	16800000	-16802834.451	164.836
41	4100	3088	0.000306	2870	17220000	-17222834.451	168.956
42	4200	3082	0.000312	2940	17640000	-17642834.451	173.076
43	4300	3065	0.000329	3010	18060000	-18062834.451	177.196
44	4400	3045	0.000349	3080	18480000	-18482834.451	181.317
45	4320	3021	0.000373	3024	18144000	-18146834.451	178.020
46	4330	3020	0.000374	3031	18186000	-18188834.451	178.432
47	4410	3010	0.000384	3087	18522000	-18524834.451	181.729
48	4375	3007	0.000387	3062.5	18375000	-18377834.451	180.287
49	4350	3012	0.000382	3045	18270000	-18272834.451	179.257
50	4360	2993	0.000401	3052	18312000	-18314834.451	179.669
51	4400	2987	0.000407	3080	18480000	-18482834.451	181.317
52	4301	2983	0.000411	3010.7	18064200	-18067034.451	177.238
53	4167	2980	0.000414	2916.9	17501400	-17504234.451	171.717



Tabel L 3.3

Data Hubungan Tegangan- Regangan Uji Portal D (Eksentrisitas Satu Sisi 15 cm) Tarik

no	Beban (Kg)	Regangan (Strain Gauge)		Momen (Kg.m)	Tegangan Lentur (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tarik) (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tarik) (N/mm ²)
		Non-Kalibrasi	Terkalibrasi				
1	0	3887	0.000000	0	0	-2892.297	-0.028
2	100	3885	-0.000002	70	420000	417107.703	4.092
3	200	3895	0.000008	140	840000	837107.703	8.212
4	300	3908	0.000021	210	1260000	1257107.703	12.332
5	400	3947	0.000060	280	1680000	1677107.703	16.452
6	500	3963	0.000076	350	2100000	2097107.703	20.573
7	600	3987	0.000100	420	2520000	2517107.703	24.693
8	700	4030	0.000143	490	2940000	2937107.703	28.813
9	800	4062	0.000175	560	3360000	3357107.703	32.933
10	900	4085	0.000198	630	3780000	3777107.703	37.053
11	1000	4119	0.000232	700	4200000	4197107.703	41.174
12	1100	4145	0.000258	770	4620000	4617107.703	45.294
13	1200	4180	0.000293	840	5040000	5037107.703	49.414
14	1300	4204	0.000317	910	5460000	5457107.703	53.534
15	1400	4236	0.000349	980	5880000	5877107.703	57.654
16	1500	4277	0.000390	1050	6300000	6297107.703	61.775
17	1600	4304	0.000417	1120	6720000	6717107.703	65.895
18	1700	4341	0.000454	1190	7140000	7137107.703	70.015
19	1800	4296	0.000409	1260	7560000	7557107.703	74.135
20	1900	4326	0.000439	1330	7980000	7977107.703	78.255
21	2000	4396	0.000509	1400	8400000	8397107.703	82.376
22	2100	4455	0.000568	1470	8820000	8817107.703	86.496
23	2200	4487	0.000600	1540	9240000	9237107.703	90.616
24	2300	4516	0.000629	1610	9660000	9657107.703	94.736
25	2400	4535	0.000648	1680	10080000	10077107.703	98.856
26	2500	4565	0.000678	1750	10500000	10497107.703	102.977
27	2600	4589	0.000702	1820	10920000	10917107.703	107.097
28	2700	4627	0.000740	1890	11340000	11337107.703	111.217
29	2800	4643	0.000756	1960	11760000	11757107.703	115.337
30	2900	4695	0.000808	2030	12180000	12177107.703	119.457
31	3000	4725	0.000838	2100	12600000	12597107.703	123.578
32	3100	4767	0.000880	2170	13020000	13017107.703	127.698
33	3200	4808	0.000921	2240	13440000	13437107.703	131.818
34	3300	4855	0.000968	2310	13860000	13857107.703	135.938
35	3400	4794	0.000907	2380	14280000	14277107.703	140.058
36	3500	4972	0.001085	2450	14700000	14697107.703	144.179
37	3600	5033	0.001146	2520	15120000	15117107.703	148.299
38	3700	5155	0.001268	2590	15540000	15537107.703	152.419
39	3800	5336	0.001449	2660	15960000	15957107.703	156.539

40	3900	5490	0.001603	2730	16380000	16377107.703	160.659
41	4000	5709	0.001822	2800	16800000	16797107.703	164.780
43	4000	5859	0.001972	2800	16800000	16797107.703	164.780
44	4040	5891	0.002004	2828	16968000	16965107.703	166.428
45	4000	5890	0.002003	2800	16800000	16797107.703	164.780
46	4100	5924	0.002037	2870	17220000	17217107.703	168.900
47	4200	6030	0.002143	2940	17640000	17637107.703	173.020
48	4300	6070	0.002183	3010	18060000	18057107.703	177.140
49	4400	6147	0.002260	3080	18480000	18477107.703	181.260
50	4210	6149	0.002262	2947	17682000	17679107.703	173.432
51	4180	6142	0.002255	2926	17556000	17553107.703	172.196
52	4180	6156	0.002269	2926	17556000	17553107.703	172.196
53	4175	6140	0.002253	2922.5	17535000	17532107.703	171.990
54	4180	6141	0.002254	2926	17556000	17553107.703	172.196
55	4170	6150	0.002263	2919	17514000	17511107.703	171.784
56	4160	6149	0.002262	2912	17472000	17469107.703	171.372
57	4155	6126	0.002239	2908.5	17451000	17448107.703	171.166
58	4150	6223	0.002336	2905	17430000	17427107.703	170.960



Tabel L 3.4

Data Hubungan Tegangan-Regangan Uji Portal D (Eksentrisitas Satu Sisi 15 cm) Tekan

no	Beban (Kg)	Regangan (Strain Gauge)		Momen (Kg.m)	Tegangan Lentur (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tekan) (Kg/m ²)	Tegangan Total (Tekan) (N/mm ²)
		Non-Kalibrasi	Terkalibrasi				
1	0	2915	0.000000	0	0	-2892.297	0.028
2	100	2913	0.000002	70	420000	-422892.297	4.149
3	200	2912	0.000003	140	840000	-842892.297	8.269
4	300	2910	0.000005	210	1260000	-1262892.297	12.389
5	400	2908	0.000007	280	1680000	-1682892.297	16.509
6	500	2908	0.000007	350	2100000	-2102892.297	20.629
7	600	2906	0.000009	420	2520000	-2522892.297	24.750
8	700	2903	0.000012	490	2940000	-2942892.297	28.870
9	800	2901	0.000014	560	3360000	-3362892.297	32.990
10	900	2900	0.000015	630	3780000	-3782892.297	37.110
11	1000	2896	0.000019	700	4200000	-4202892.297	41.230
12	1100	2893	0.000022	770	4620000	-4622892.297	45.351
13	1200	2892	0.000023	840	5040000	-5042892.297	49.471
14	1300	2892	0.000023	910	5460000	-5462892.297	53.591
15	1400	2886	0.000029	980	5880000	-5882892.297	57.711
16	1500	2882	0.000033	1050	6300000	-6302892.297	61.831
17	1600	2878	0.000037	1120	6720000	-6722892.297	65.952
18	1700	2876	0.000039	1190	7140000	-7142892.297	70.072
19	1800	2866	0.000049	1260	7560000	-7562892.297	74.192
20	1900	2859	0.000056	1330	7980000	-7982892.297	78.312
21	2000	2845	0.000070	1400	8400000	-8402892.297	82.432
22	2100	2834	0.000081	1470	8820000	-8822892.297	86.553
23	2200	2822	0.000093	1540	9240000	-9242892.297	90.673
24	2300	2809	0.000106	1610	9660000	-9662892.297	94.793
25	2400	2798	0.000117	1680	10080000	-10082892.297	98.913
26	2500	2785	0.000130	1750	10500000	-10502892.297	103.033
27	2600	2771	0.000144	1820	10920000	-10922892.297	107.154
28	2700	2756	0.000159	1890	11340000	-11342892.297	111.274
29	2800	2753	0.000162	1960	11760000	-11762892.297	115.394
30	2900	2724	0.000191	2030	12180000	-12182892.297	119.514
31	3000	2709	0.000206	2100	12600000	-12602892.297	123.634
32	3100	2691	0.000224	2170	13020000	-13022892.297	127.755
33	3200	2674	0.000241	2240	13440000	-13442892.297	131.875
34	3300	2641	0.000274	2310	13860000	-13862892.297	135.995
35	3400	2686	0.000229	2380	14280000	-14282892.297	140.115
36	3500	2594	0.000321	2450	14700000	-14702892.297	144.235
37	3600	2573	0.000342	2520	15120000	-15122892.297	148.356
38	3700	2530	0.000385	2590	15540000	-15542892.297	152.476
39	3800	2475	0.000440	2660	15960000	-15962892.297	156.596

40	3900	2420	0.000495	2730	16380000	-16382892.297	160.716
41	4000	2330	0.000585	2800	16800000	-16802892.297	164.836
43	4000	2266	0.000649	2800	16800000	-16802892.297	164.836
44	4040	2256	0.000659	2828	16968000	-16970892.297	166.484
45	4000	2250	0.000665	2800	16800000	-16802892.297	164.836
46	4100	2234	0.000681	2870	17220000	-17222892.297	168.957
47	4200	2190	0.000725	2940	17640000	-17642892.297	173.077
48	4300	2150	0.000765	3010	18060000	-18062892.297	177.197
49	4400	2070	0.000845	3080	18480000	-18482892.297	181.317
50	4210	1970	0.000945	2947	17682000	-17684892.297	173.489
51	4180	1966	0.000949	2926	17556000	-17558892.297	172.253
52	4180	1960	0.000955	2926	17556000	-17558892.297	172.253
53	4175	1950	0.000965	2922.5	17535000	-17537892.297	172.047
54	4180	1945	0.000970	2926	17556000	-17558892.297	172.253
55	4170	1929	0.000986	2919	17514000	-17516892.297	171.841
56	4160	1910	0.001005	2912	17472000	-17474892.297	171.429
57	4155	1880	0.001035	2908.5	17451000	-17453892.297	171.223
58	4150	1851	0.001064	2905	17430000	-17432892.297	171.017

Contoh perhitungan tegangan total

Data :

Beban *load cell* ($P_{lateral}$) = 500 Kg
 Massa jenis sampel (λ_{sampel}) = 2464,740 Kg/m³ (Tabel L 1.4)
 Luas penampang (A) = 0,01 m² (Persamaan 3-3)
 Jarak pusat ke titik tinjau (y) = 0,05 m
 Momen Inersia (I) = 8,333 x 10⁻⁶ m⁴ (Persamaan 3-5)

Penyelesaian :

Momen (m) = 0,7 m x $P_{lateral}$ (Persamaan 3-4)
 = 0,7 x 500
 = 350 Kg.m

Beban kolom (P_{aksial}) = 0,0115 m³ x λ_{sampel} (Persamaan 3-2)
 = 0,0115 x 2464,740
 = 28,345 Kg

Tegangan aksial (σ_{aksial}) = $\frac{P_{aksial}}{A}$ (Persamaan 2-3)
 = $\frac{28,345}{0.01}$

$$= 2834,451 \text{ Kg/m}^2$$

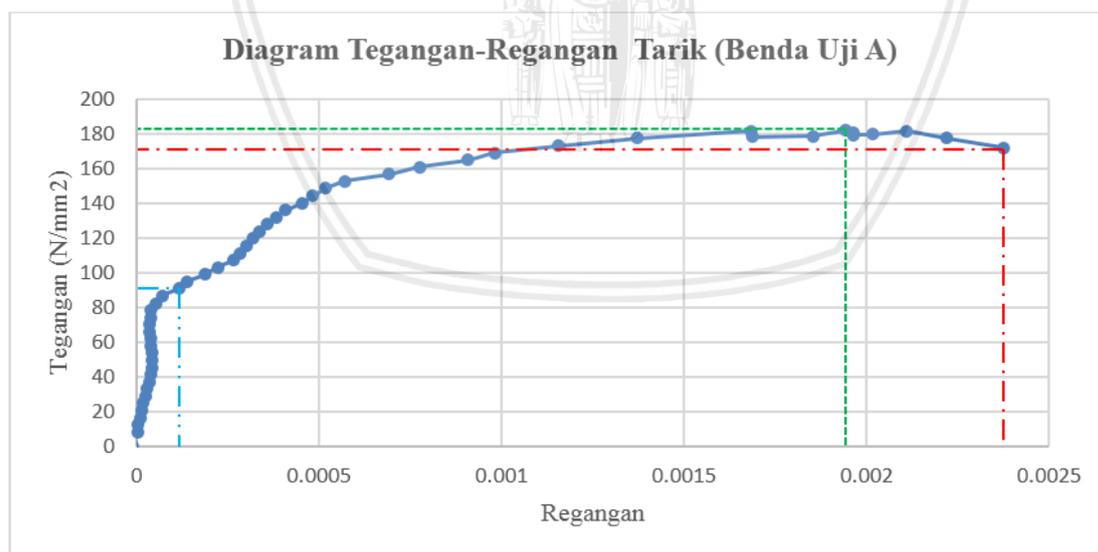
$$\begin{aligned} \text{Tegangan lentur } (\sigma_{lentur}) &= \frac{M \cdot y}{I} && \text{(Persamaan 2-4)} \\ &= \frac{350 \times 0,05}{8,333 \times 10^{-6}} \\ &= 2100000 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan total } (\sigma_{total}) = \sigma_{lentur} \pm \sigma_{aksial}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan total tarik } (\sigma_{total}) &= 2100000 - 2834,451 \\ &= 2097165,549 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 20,573 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan total tekan } (\sigma_{total}) &= 2100000 + 2834,451 \\ &= 2102834,451 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 20,629 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Contoh analisis data dengan metode observasi grafis ::

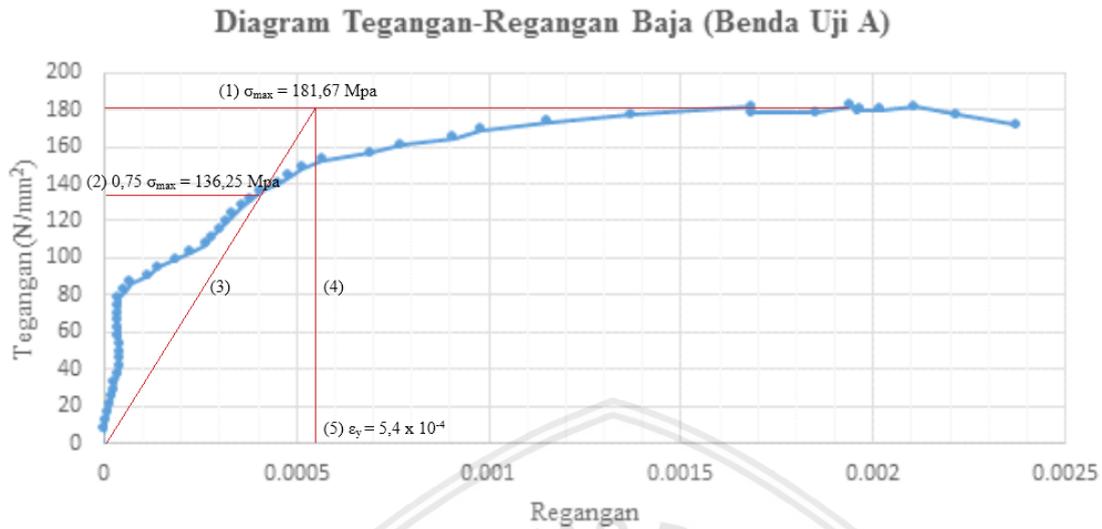


--- = Tegangan Ultimit - - - = Regangan Ultimit - · - · = Tegangan Leleh

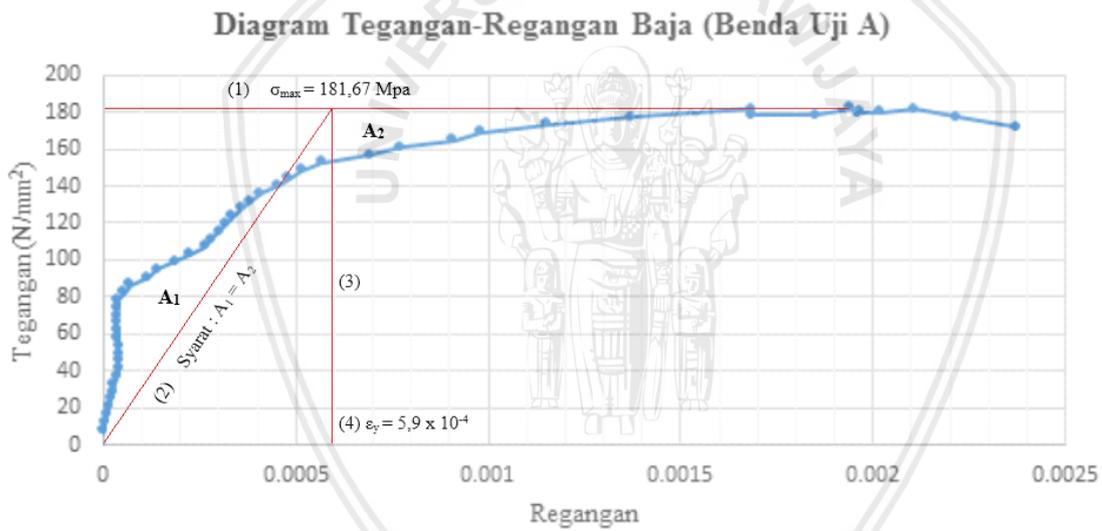
Kesimpulan metode grafis :

- Tegangan ultimit sebesar 181,67 N/mm² pada nilai regangan sebesar 19,42 x 10⁻⁴
- Regangan ultimit sebesar 23,73 x 10⁻⁴ pada nilai tegangan sebesar 171,66 N/mm²
- Tegangan leleh sebesar 90 N/mm²

Contoh analisis data regangan leleh dengan metode secan :



Contoh analisis data regangan leleh dengan metode tangen :



Lampiran 4. Dokumentasi

Tabel L 4.1

Dokumentasi data berat dan gaya tekan benda uji silinder sampel A

Sampel	Berat		Gaya Tekan	
	(Kg)	Dokumentasi	(Kn)	Dokumentasi
A1	13,00		349	
A2	13,15		286	
A3	13,05		305	

Tabel L 4.2

Dokumentasi berat dan gaya tekan benda uji silinder sampel D

Sampel	Berat		Gaya Tekan	
	(Kg)	Dokumentasi	(Kn)	Dokumentasi
D1	13,25		352	
D2	13,35		354	
D3	13,40		317	

Tabel L 4.3

Data berat dan gaya tekan benda uji silinder sampel E

Sampel	Berat		Gaya Tekan	
	(Kg)	Dokumentasi	(Kn)	Dokumentasi
E1	13,05		312	
E2	13,30		340	
E3	13,10		288	

Tabel L 4.4

Dokumentasi hasil uji *slump*

Kode Benda Uji	Slump	
	(cm)	Dokumentasi
A	13	
D	12	
E	14	

Dokumentasi proses pembuatan benda uji



Gambar L 4.1 Pengukuran berat semen



Gambar L 4.4 Proses pembuatan beton decking



Gambar L 4.2 Pasir untuk mix design



Gambar L 4.5 Tulangan yang telah dirakit



Gambar L 4.3 Agregat kasar diameter $\pm 2\text{cm}$



Gambar L 4.6 Hasil akhir pemasangan strain gauge baja



Gambar L 4.7 Bekisting untuk benda uji portal



Gambar L 4.10 Pengukuran slump



Gambar L 4.8 Bekisting sebelum dicor



Gambar L 4.11 Proses pengecoran bekisting



Gambar L 4.9 Proses pembuatan campuran beton



Gambar L 4.12 Bekisting yang telah selesai dicor



Gambar L 4.13 Cetakan untu benda uji silinder



Gambar L 4.16 Proses *capping* benda uji silinder



Gambar L 4.14 Curing dengan menggunakan garung goni



Gambar L 4.17 Setting load frame untuk pengujian benda uji portal



Gambar L 4.15 Proses pengecatan benda uji portal



Gambar L 4.18 Pengukuran berat benda uji portal



Gambar L 4.19 Pengukuran berat benda uji silinder



Gambar L 4.22 Hydraulic jack sebagai pemberi beban lateral pada saat pengujian



Gambar L 4.20 Setting benda uji portal pada Load frame



Gambar L 4.23 Pembacaan LVDT dan hydraulic jack



Gambar L 4.21 Proses pengujian benda uji portal



Gambar L 4.24 Pembacaan strain meter



Gambar L 4.25 Uji kuat tekan silinder



Gambar L 4.26 Uji kuat tarik tulangan baja



Gambar L 4.27 Benda uji portal A saat terjadi keruntuhan



Gambar L 4.28 Benda uji portal D saat terjadi keruntuhan



Gambar L 4.28 Benda uji portal E saat terjadi keruntuhan

