

**PENGARUH VARIASI BUKAAN PANEL DINDING  
(SHEATHED WALL) BERBAHAN MULTIPLEK TERHADAP  
KEKAKUAN AKIBAT BEBAN MONOTONIK PADA PORTAL  
BAJA CANAI DINGIN 2D**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**WINONA PUTRI REVANI**

NIM. 165060101111001

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2020**





LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI BUKAAN PANEL DINDING  
(SHEATHED WALL) BERBAHAN MULTIPLEK TERHADAP  
KEKAKUAN AKIBAT BEBAN MONOTONIK PADA PORTAL  
BAJA CANAI DINGIN 2D**

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**WINONA PUTRI REVANI**

**NIM. 165060101111001**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 15 Juli 2020

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc**  
NIK. 201607 900504 1 001

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Eng. Desy Setvowulan, ST., M.Sc**  
NIK. 201102 841203 2 001



Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

**Dr. Eng. Indradi W, ST, M.Eng (Prac.)**  
NIP. 19810220 200604 1 002



**HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI****JUDUL SKRIPSI:**

Pengaruh Variasi Buka-an Panel Dinding (*Sheathed Wall*) Berbahan Multiplek Terhadap Kekakuan Akibat Beban Monotonik pada Portal Baja Canai Dingin 2D

Nama Mahasiswa : Winona Putri Revani

NIM : 165060101111001

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji I : Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, M.Sc

Dosen Penguji II : Ir. Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji III : Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc

Tanggal Ujian : 30 Juni 2020

SK Penguji : 1114/UN10.F07/PP/2020





## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 16 Juli 2020

Mahasiswa,



Winona Putri Revani

NIM. 165060101111001







*Keberhasilan adalah sebuah proses.  
Niat adalah awal keberhasilan.  
Peluh keringat adalah penyedapnya.  
Tetesan air mata adalah pewarnanya.  
Doa dari orang-orang di sekitarku adalah bara api,  
yang mematangkannya.*



DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>1</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Portal .....	5
2.1.1 Portal Terbuka .....	5
2.1.2 Portal Tertutup.....	6
2.2 Material Baja Canai Dingin.....	7
2.2.1 Gambaran Umum .....	7
2.2.2 Tegangan leleh, Kuat Tarik, dan Kurva Tegangan Regangan.....	7
2.2.3 Profil Baja Canai Dingin .....	9
2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan Baja Canai Dingin.....	9
2.3 Panel Dinding pada Konstruksi Baja Ringan .....	10
2.3.1 Material Panel Dinding.....	10
2.3.2 Bukaan pada Panel Dinding .....	11
2.3.3 Perilaku Portal dengan Panel Dinding.....	12
2.3.4 Pola Keruntuhan Portal dengan Panel Dinding.....	13
2.4 Pembebanan Monotonik Statik.....	14
2.5 Perpindahan.....	15

2.5.1 Perpindahan Lentur ( $\Delta f$ )	15
2.5.2 Perpindahan Penetrasi Leleh ( $\Delta y$ )	15
2.5.3 Perpindahan Geser	16
2.6 Kekakuan	16
2.8 Penelitian Terdahulu	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>21</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Bahan Penelitian	21
3.2.1 Canai Dingin	21
3.2.2 Mur-Baut	21
3.2.3 Sekrup	22
3.2.4 Multiplek	22
3.2.5 Lem	22
3.3 Alat Penelitian	23
3.3.1 Alat bor	23
3.3.2 Mal (Cetakan)	23
3.3.3 Gerinda Tangan ( <i>Cutting</i> )	24
3.3.4 Gunting Canai	24
3.3.5 LVDT ( <i>Linear Variable Differential Transformer</i> )	24
3.3.6 <i>Hydraulic Jack</i>	25
3.3.7 <i>Load Cell</i>	25
3.3.8 <i>Loading Frame</i>	25
3.3.9 <i>Railing</i>	26
3.3.10 Alat Bantu Lainnya	26
3.4 Tahapan Penelitian	27
3.5 Rancangan Penelitian	28
3.6 Variabel Penelitian	31
3.7 Prosedur Penelitian	31
3.7.1 Pembuatan Komponen Benda Uji	31
3.7.2 Perakitan Benda Uji	32
3.7.3 Pengujian Monotonik	33
3.8 Metode Analisis	34
3.8.1 Analisa Eksperimental	34

3.8.1.1 Metode Pengumpulan Data .....	34
3.8.1.2 Metode Pengolahan Data.....	34
3.8.2 Analisa Simulasi Numerikal.....	35
3.9 Hipotesis Penelitian .....	38
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Hasil Pengujian Beban Monotonik .....	39
4.1.1 Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan.....	39
4.1.2 Analisis Kekakuan .....	48
4.1.2.1. Kekakuan Metode <i>Tangent</i> .....	49
4.1.2.2. Kekakuan Metode <i>Secant</i> .....	51
4.2 Kegagalan Struktur pada Benda Uji .....	54
4.2.1 Kegagalan pada sambungan.....	54
4.2.2 Sobek pada panel dinding di bagian sambungan .....	54
4.2.3 Kegagalan pada pondasi.....	57
4.3 Distribusi Momen pada Benda Uji .....	58
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>67</b>
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>L-1</b>





DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Material Kayu dan Kayu Komposit.....	11
Tabel 2.2	Penelitian Terdahulu.....	19
Tabel 3.1	<i>Form</i> pengumpulan data pembacaan beban monotonik dan LVDT per drift ratio.....	34
Tabel 3.2	<i>Form</i> Pengolahan Data Kekakuan <i>Secant</i> .....	34
Tabel 3.3	<i>Form</i> Pengolahan Data Kekakuan <i>Tangent</i> .....	35
Tabel 3.4	Karakteristik Material Baja Canai Dingin.....	35
Tabel 3.5	Karakteristik Material Multiplek.....	36
Tabel 4.1	Perbandingan Perpindahan ( $\Delta$ ) Setiap Benda Uji pada Saat Mencapai Beban (P) Maksimum.....	43
Tabel 4.2	Perpindahan Vertikal Benda Uji dengan Panel Dinding.....	47
Tabel 4.3	Hasil Pengolahan Data Kekakuan Rata-Rata M-100 A dan M-100 B.....	49
Tabel 4.4	Hasil Pengolahan Data Kekakuan <i>Tangent</i> .....	50
Tabel 4.5	Hasil Pengolahan Data Kekakuan <i>Secant</i> .....	52
Tabel 4.6	Hasil Pengolahan Data Kekakuan.....	53
Tabel 4.7	Perbandingan Beban pada Saat Benda Uji Mengalami Kegagalan Cabut pada Screw.....	55
Tabel 4.8	Beban Maksimum Tiap Variasi Benda Uji.....	58
Tabel 4.9	Distribusi Momen Pada Balok dengan Pembebanan Sebesar P Maksimum Tiap Benda Uji.....	62
Tabel 4.10	Distribusi Momen Pada Balok dengan Pembebanan Sebesar 18,8 Kg untuk Semua Benda Uji.....	62
Tabel 4.11	Distribusi Momen Pada Kolom dengan Pembebanan Sebesar P Maksimum Tiap Benda Uji.....	64
Tabel 4.12	Distribusi Momen Pada Kolom dengan Pembebanan Sebesar 18,8 Kg untuk Semua Benda Uji.....	64



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Portal Terbuka .....	5
Gambar 2.2	Deformasi Geser Terhadap Lentur Pada Portal .....	6
Gambar 2.3	Portal Tertutup .....	6
Gambar 2.4	Proses Pembentukan Profil Baja .....	7
Gambar 2.5	Kurva Tegangan Regangan Baja Ringan (a) Tegangan Leleh Tajam, (b) Tegangan Leleh Stabil .....	8
Gambar 2.6	Jenis profil baja canai dingin (a) bentuk profil structural tunggal (b) bentuk profil dek dan panel .....	9
Gambar 2.7	Perbandingan Kolom panjang dan Kolom pendek pada penerimaan beban gempa .....	12
Gambar 2.8	Pola Keruntuhan Portal dengan Dinding Pengisi .....	14
Gambar 2.9	Kurva Gaya-Deformasi Uji Monotonik .....	14
Gambar 2.10	Perpindahan Lentur .....	15
Gambar 2.11	Mekanisme Yield Displacement .....	16
Gambar 2.12	Perpindahan geser .....	16
Gambar 2.13	Penentuan Nilai Kekakuan (a) Metode <i>Secant</i> (b) Metode <i>Tangent</i> .....	17
Gambar 3.1	Profil Baja Canai Dingin .....	21
Gambar 3.2	Baut .....	21
Gambar 3.3	Sekrup .....	22
Gambar 3.4	Multiplek (a) Pada Dinding Pengisi (b) Pada Pondasi .....	22
Gambar 3.5	Lem Kayu Rajawali .....	22
Gambar 3.6	Alat Bor .....	23
Gambar 3.7	Mal (Cetakan) .....	23
Gambar 3.8	Gerinda Tangan .....	24
Gambar 3.9	Gunting Canai .....	24
Gambar 3.10	LVDT .....	24
Gambar 3.11	<i>Hydraulic jack</i> .....	25
Gambar 3.12	<i>Load cell</i> .....	25
Gambar 3.13	<i>Loading frame</i> .....	25



Gambar 3.14	<i>Railing</i> pada Benda Uji (a) Bagian Belakang Benda Uji (b) Bagian Depan Benda Uji.....	26
Gambar 3.15	Alat bantu pembuatan benda uji.....	26
Gambar 3.16	Flow chart penelitian.....	27
Gambar 3.17	Benda Uji Portal Canai Dingin 2D.....	28
Gambar 3.18	Benda Uji Portal dengan Bukaannya 100%.....	29
Gambar 3.19	Benda Uji Portal dengan Bukaannya 25% (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	29
Gambar 3.20	Benda Uji Portal dengan Bukaannya 50% (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	30
Gambar 3.21	Benda Uji Portal dengan Bukaannya 0% (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	30
Gambar 3.22	Detail Sambungan (a) Sambungan balok-kolom (b) Sambungan kolom pondasi.....	31
Gambar 3.23	Detail Pemasangan <i>Screw</i> pada Dinding Pengisi .....	31
Gambar 3.24	Skema Pengujian Monotonik .....	33
Gambar 3.25	Pemodelan Struktur Portal.....	35
Gambar 3.26	Dimensi Panel Dinding pada pemodelan SAP2000: (a) M-T-25, (b) M-T-50, dan (c) M-T-0.....	36
Gambar 3.27	Pemilihan Jenis Tumpuan Jepit untuk Pemodelan Struktur.....	37
Gambar 4.1	Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-T-0.....	40
Gambar 4.2	Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-T-25.....	40
Gambar 4.3	Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-T-50.....	41
Gambar 4.4	Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-100.....	41
Gambar 4.5	Rekapitulasi grafik hubungan beban dan perpindahan semua variasi benda uji .....	42
Gambar 4.6	Grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal benda uji M-T-0.....	44
Gambar 4.7	Grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal benda uji M-T-25.....	45
Gambar 4.8	Grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal benda uji M-T-50.....	45

Gambar 4.9	Rekapitulasi grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal semua variasi benda uji.....	46
Gambar 4.10	Grafik kekakuan benda uji M-100 A.....	48
Gambar 4.11	Grafik kekakuan benda uji M-100 B.....	49
Gambar 4.12	Grafik kekakuan <i>tangent</i> benda uji M-T-0 A.....	50
Gambar 4.13	Grafik kekakuan <i>secant</i> benda uji M-T-0 A.....	52
Gambar 4.14	Kegagalan sambungan <i>screw</i> pada panel dinding; (a) Kegagalan jungkit dan (b) Kegagalan cabut.....	56
Gambar 4.15	Kegagalan sambungan baut pada balok kolom.....	56
Gambar 4.16	Kegagalan sobek pada panel dinding di bagian sambungan.....	57
Gambar 4.17	<i>Screw</i> mengalami kegagalan cabut pada bagian pondasi.....	57
Gambar 4.18	Pemodelan portal pada SAP2000: (a) M-T-0; (b) M-T-25; (c) M-T-50, dan (d) M-100.....	59
Gambar 4.19	Distribusi momen pada SAP2000 dengan beban (P) maksimum yang berbeda pada setiap benda uji: (a) M-T-0; (b) M-T-25; (c) M-T-50; dan (d) M-100.....	60
Gambar 4.20	Distribusi momen pada SAP2000 dengan beban (P) yang sama sebesar 18,8 Kg : (a) M-T-0; (b) M-T-25; (c) M-T-50; dan (d) M-100.....	61
Gambar 4.21	Penomoran titik buhul pada struktur portal: (a) balok, dan (b) kolom.....	62





DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

**Lampiran I Data Hasil Pengujian Pembebanan Monotonik..... L-1**

1.1 Benda Uji M-100 A .....	L-2
1.2 Benda Uji M-100 B.....	L-8
1.3 Benda Uji M-T-0 A.....	L-14
1.4 Benda Uji M-T-0 B.....	L-23
1.5 Benda Uji M-T-25 A.....	L-31
1.6 Benda Uji M-T-25 B.....	L-38
1.7 Benda Uji M-T-50 A.....	L-45
1.8 Benda Uji M-T-50 B.....	L-49

**Lampiran II Hasil Analisis Kekakuan..... L-53**

2.1 Kekakuan Benda Uji M-100 A .....	L-54
2.2 Kekakuan Benda Uji M-100 B .....	L-55
2.3 Kekakuan Benda Uji M-T-0 A .....	L-56
2.4 Kekakuan Benda Uji M-T-0 B.....	L-56
2.5 Kekakuan Benda Uji M-T-25 A .....	L-57
2.6 Kekakuan Benda Uji M-T-25 B.....	L-57
2.7 Kekakuan Benda Uji M-T-50 A.....	L-58
2.8 Kekakuan Benda Uji M-T-50 B.....	L-58

**Lampiran III Dokumentasi Penelitian ..... L-59**

3.1 Pembuatan Benda Uji .....	L-59
3.2 Benda Uji Sebelum Pengujian Monotonik .....	L-60
3.3 Pengujian Monotonik pada Portal Canai Dingin .....	L-61
3.4 Benda Uji Setelah Pengujian Monotonik .....	L-63



## RINGKASAN

**Winona Putri R.**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2020, *Pengaruh Variasi Bukaannya Panel Dinding (Sheathed Wall) Berbahan Multiplek Terhadap Kekakuan Akibat Beban Monotonik pada Portal Baja Canai Dingin 2D*, Dosen Pembimbing: Ir. Ananda Insan F, ST., MT., M.Sc dan Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, M.Sc.

Baja canai dingin merupakan jenis baja ringan yang dibentuk tanpa peleburan material, tetapi dengan penggabungan atau penekanan lembaran baja. Pada umumnya baja canai dingin digunakan sebagai struktur atap, namun kini mulai diterapkan penggunaannya pada struktur bangunan, salah satunya sebagai portal sederhana. Struktur portal biasanya menggunakan panel dinding yang dianggap sebagai komponen non-struktural, padahal panel dinding tersebut mampu berinteraksi dengan portalnya ketika menerima beban lateral. Keberadaan panel dinding tidak selalu menutup struktur portal secara penuh, melainkan terdapat bukaan untuk fungsi tambahan. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi bukaan pada panel dinding terhadap kekakuan struktur portal tersebut.

Dimensi baja canai dingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja profil *hollow* dengan ukuran 40.40.0,4 mm untuk kolom dan 20.40.0,4 mm untuk balok. Portal dibuat dua lantai satu bentang dengan tinggi keseluruhan 106 cm, lebar 50 cm, dan jarak antar lantai sebesar 50 cm. Panel dinding yang digunakan adalah multiplek dengan tebal 4mm dengan variasi bukaan 0% (M-T-0), 25% (M-T-25), 50% (M-T-50), dan satu variasi benda uji tanpa panel dinding (M-100). Masing-masing variasi tersebut memiliki 2 sampel benda uji yang akan diberi beban monotonik. Alat yang digunakan berupa *loading frame*, *load cell*, *LVDT*, dan *hydraulic jack*.

Hasil pengujian pembebanan monotonik menunjukkan bahwa nilai beban maksimum diperoleh pada benda uji M-T-0 dengan nilai sebesar 58 kg. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kekakuan rata-rata metode *tangent* dan metode *secant* yang paling besar dimiliki benda uji M-T-0 dengan nilai kekakuan berturut-turut sebesar 3,281 kg/mm dan 1,584 kg/mm. Keberadaan panel dinding mampu meningkatkan kekakuan struktur portal secara keseluruhan. Selain itu nilai kekakuan yang dimiliki benda uji M-T-25 lebih besar dari M-T-50. Benda uji M-T-25 memiliki nilai kekakuan rata-rata sebesar 1,149 kg/mm untuk metode *tangent* dan 0,524 kg/mm untuk metode *secant*, sedangkan benda uji M-T-50 memiliki nilai kekakuan rata-rata sebesar 1,083 kg/mm untuk metode *tangent* dan 0,457 kg/mm untuk metode *secant*. Dari nilai kekakuan kedua benda uji tersebut menunjukkan adanya peningkatan nilai kekakuan dari benda uji M-T-50 ke benda uji M-T-25 meskipun tidak signifikan. Semakin kecil bukaan pada panel dinding, maka semakin besar kapasitas beban maksimum dan nilai kekakuannya.

**Kata kunci:** portal canai dingin, panel dinding, pembebanan monotonik, kekakuan.



## SUMMARY

**Winona Putri R.**, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2020, The Effects of Variations in Openings on Plywood Sheated Wall to the Stiffness under Monotonic Load of a 2D Cold-Formed Steel Frame*, Academic Supervisor: Ananda Insan F, Ir., ST., MT., M.Sc and Desy Setyowulan, Dr. Eng., ST, M.Sc.

Cold-formed steel is a type of steel that is formed without melting the material, but by combining or pressing a steel sheet. In general, cold-formed steel is used as a roof structure, but now it is applied to building structures, one of them is as a simple frame. Frame structures usually use sheated wall for non-structural components, even though the sheated wall are able to interact with frame when the structure receiving lateral loads. The existence of sheated wall doesn't always completely cover the frame structure, but there are openings for additional functions. This experiment aims to determine how the effect of variations in openings on sheated wall to the stiffness of the frame structure.

The dimensions of cold-formed steel used in this experiment are hollow steel profiles 40.40.0.4 mm for columns and 20.40.0.4 mm for beams. The frame is made of two story and one-span with an overall height of 106 cm, a width of 50 cm, and a distance between story is 50 cm. The sheated wall used in this experiment are plywood with 4mm thick and has a variations in openings that is 0% (M-T-0), 25% (M-T-25), 50% (M-T-50), and one variation of specimens doesn't have sheated wall (M-100). Each of these variations has 2 sample specimens that will be given a monotonic load. The equipments that used are loading frame, load cell, LVDT, and hydraulic jack.

The monotonic loading test results indicate that the maximum load value is obtained by the M-T-0 specimen with a value of 58 kg. Based on the calculation results, the highest average value of the stiffness with tangent method and secant method is achieved by the M-T-0 specimen with a stiffness value of 3,281 kg/mm and 1,584 kg/mm, respectively. With the existence of sheated wall can increase the stiffness of the frame structure. In addition, the stiffness value of the M-T-25 test specimen is greater than M-T-50. M-T-25 specimens have an average stiffness value of 1,149 kg/mm for the tangent method and 0.524 kg/mm for the secant method, while the M-T-50 specimens have an average stiffness value of 1,083 kg/mm for the tangent method and 0,457 kg/mm for the secant method. From the stiffness values of the two specimens above, it is showed an increasing value of stiffness from the M-T-50 specimen to the M-T-25 specimen although it was not significant. The smaller the opening on the sheated wall, the greater the maximum load capacity and the value of the stiffness.

**Keywords:** cold-formed frame, sheated wall, monotonic load, stiffness.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya kerak bumi yang diakibatkan oleh terjadinya pergerakan lempeng bumi, adanya aktivitas gunung berapi, maupun terjadinya kelongsoran pada tanah. Diantara ketiga penyebab tersebut, gempa yang disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi atau yang sering disebut gempa tektonik merupakan gempa yang paling luas dan besar pengaruhnya. Getaran yang diakibatkan oleh gempa tektonik biasanya jauh lebih kuat dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuhan, maupun gempa bumi buatan. Gempa tektonik ini terjadi karena pelepasan energi gelombang seismik akibat lempengan tektonik yang selalu bergerak dan mendesak satu sama lain sehingga menyebabkan penimbunan energi secara perlahan-lahan.

Besarnya pelepasan energi akan mempengaruhi besarnya magnitude gempa yang ditimbulkan. Getaran yang sampai ke permukaan bumi dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan maupun benda yang ada di atasnya. Hal yang bisa dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah mengupayakan agar bangunan didesain untuk mampu menahan gempa dengan mengikuti kaidah-kaidah konstruksi yang benar dan memasukkan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan sesuai dengan standar yang ada. Struktur bangunan tahan gempa diharuskan memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan pada bangunan tersebut.

Menurut Gioncu (2014), pada era konstruksi modern baja banyak digunakan sebagai material bangunan, terutama pada daerah gempa atau *seismic area*. Hal ini disebabkan karena struktur baja memiliki kekuatan, kekakuan dan daktilitas yang sangat baik dibandingkan dengan material lain. Baja canai dingin merupakan jenis baja ringan yang dibentuk tanpa peleburan material, tetapi dengan penggabungan atau penekanan lembaran baja tipis menjadi penampang yang dibutuhkan. Profil baja canai dingin memiliki ketebalan relatif tipis dengan rasio dimensi lebar terhadap tebalnya yang sangat besar. Selain itu, baja canai dingin juga merupakan komponen yang ringan dan mudah dalam proses pengerjaan konstruksi. (Mutawalli, 2007).

Pada umumnya baja ringan digunakan sebagai struktur atap, namun kini mulai diterapkan konsep penggunaan material baja ringan pada struktur bangunan, salah satunya sebagai portal sederhana. Portal terbagi menjadi dua, yaitu portal terbuka dan portal isi. Dalam portal isi, perencanaan panel dinding dianggap sebagai komponen non-struktural, padahal panel dinding ini memiliki kecenderungan berinteraksi dengan portal yang ditempatinya terutama bila ada beban horizontal akibat gempa yang besar. Namun pada kenyataannya, panel dinding pada portal tidak selalu menutup portal secara penuh, melainkan terdapat bukaan-bukaan untuk kebutuhan akan penerangan dan sirkulasi udara. Kondisi tersebut menyebabkan bagian portal yang tertutup panel dinding secara penuh memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan portal dengan bukaan pada panel dindingnya. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas pengaruh variasi bukaan pada panel dinding berbahan multiplek terhadap kekakuan struktur akibat pembebanan monotonik pada portal canai 2 (dua) dimensi.

### 1.2 Identifikasi Masalah

Portal terbuka tidak memiliki kekakuan yang cukup besar untuk menahan beban horizontal akibat gempa. Keberadaan panel dinding pada portal memberikan pengaruh besar terhadap keruntuhan gedung karena dapat meningkatkan kekakuan dari struktur portal tersebut, sehingga perilakunya berbeda dengan portal terbuka (Diptes Das dan CVR Murty, 2004). Namun kenyataan di lapangan sangat besar kemungkinan panel dinding dari portal tidaklah penuh, melainkan terdapat beberapa bukaan. Maka dari itu, perlu diketahui pengaruh variasi bukaan pada panel dinding portal terhadap parameter kekakuan akibat pembebanan monotonik.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah dipaparkan, maka ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi bukaan panel dinding berbahan multiplek terhadap kapasitas beban maksimum struktur akibat beban monotonik pada portal baja canai dingin?
2. Bagaimana pengaruh variasi bukaan panel dinding berbahan multiplek terhadap kekakuan struktur akibat beban monotonik pada portal baja canai dingin?
3. Bagaimana pola kegagalan struktur yang menerima beban monotonik pada portal baja canai dingin?

4. Bagaimana hasil analisis simulasi numerikal pengujian pembebanan monotonik dengan menggunakan aplikasi SAP2000?

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model benda uji berupa portal dua dimensi dua lantai satu bentang dengan tinggi 106 cm dan lebar 50 cm. Ketinggian balok pada ketinggian 50 cm dan 100 cm.
2. Material yang digunakan baja canai dingin dengan profil balok hollow square 20.40.0,3 dan kolom hollow 40.40.0,3.
3. Material panel dinding yang digunakan adalah multiplek dengan ketebalan 4 mm.
4. Portal yang ditinjau adalah portal terbuka (tanpa panel dinding), portal dengan panel dinding penuh, dan portal dengan pengisi sebagian (bukaan 25% dan 50%).
5. Panel dinding dipasang pada salah satu sisi portal.
6. Alat sambung yang digunakan adalah baut (untuk sambungan balok dan kolom) dan sekrup (untuk sambungan panel dinding dan kolom).
7. Pelat sambung yang digunakan berbentuk siku dengan lebar 20 mm dan panjang 80 mm.
8. Jarak alat sambung yang digunakan yaitu 20 mm terhadap kolom dan 10 mm terhadap balok.
9. Alas benda uji yang digunakan adalah multiplek dengan ketebalan 30 mm asumsi jepit sempurna.

#### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi bukaan panel dinding berbahan multiplek terhadap kapasitas beban maksimum struktur akibat beban monotonik pada portal baja canai dingin.
2. Mengetahui pengaruh variasi bukaan panel dinding berbahan multiplek terhadap kekakuan struktur akibat beban monotonik pada portal baja canai dingin.
3. Mengetahui pola kegagalan struktur yang menerima beban monotonik pada portal baja canai dingin.
4. Mengetahui hasil analisis simulasi numerikal pengujian pembebanan monotonik dengan menggunakan aplikasi SAP2000.

#### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat utama dari penelitian ini adalah meningkatkan pemahaman mengenai perilaku portal terbuka, portal dengan panel dinding penuh maupun sebagian, sehingga dapat memberi solusi dalam perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa secara lebih realistik dan lebih ekonomis. Bagi penulis, penelitian ini dapat dijadikan sebagai sarana menambah ilmu pengetahuan selama proses pengujian maupun dalam proses penyusunan karya tulis. Selain itu, penelitian ini bisa dijadikan sebagai bahan referensi bagi akademisi lain untuk penelitian selanjutnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Portal

Struktur portal adalah struktur bangunan yang terdiri dari elemen-elemen balok dan kolom yang bertemu pada titik-titik buhul yang kaku antara elemen vertikal dan horizontal yang membentuk suatu kerangka. Portal merupakan struktur yang mampu menahan beban gravitasi maupun beban gempa dengan menyalurkan semua beban tersebut melalui kapasitas geser, aksial, dan lentur dari elemen struktur balok dan kolom serta joint dari kedua elemen tersebut. Beban angin dan gempa yang bekerja secara lateral pada portal dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan struktur secara lateral apabila titik hubung antara balok dan kolom tidak cukup kaku. Portal akan mengalami rotasi dan defleksi pada elemen-elemen lokalnya akibat beban-beban yang bekerja.

Portal sebagai permodelan suatu struktur terbagi menjadi dua jenis, yaitu sebagai berikut.

#### 2.1.1. Portal Terbuka

Struktur portal terbuka terdiri dari balok dan kolom yang digabungkan dengan sambungan tahan momen. Seluruh momen dan gaya yang bekerja pada struktur portal terbuka akan ditahan sepenuhnya oleh pondasi, sedangkan sloof hanya menahan dinding yang ada di atasnya saja. Pada portal terbuka, kekuatan dan kekakuan portal dalam menahan beban lateral dan kestabilannya tergantung pada kekuatan dari elemen-elemen strukturnya (Carvalho, 2012).

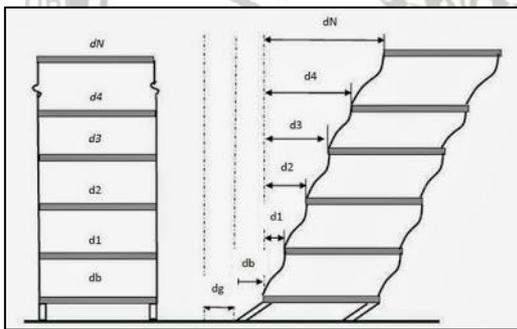


Gambar 2.1 Portal Terbuka

Pada struktur portal terbuka, panel dinding pada umumnya digunakan sebagai partisi atau penutup luar. Pemasangannya akan dikerjakan setelah struktur utama selesai dikerjakan dan dianggap sebagai komponen non-struktural. Keberadaan panel dinding ini

akan memberikan pengaruh besar terhadap kekakuan dan kekuatan struktur, sehingga perilakunya berbeda dengan portal tanpa panel dinding. (Diptes Das dan CVR Murty, 2004). Schodek (1999) menyebutkan bahwa kekakuan pada titik hubung berkontribusi untuk memberikan banyak kestabilan terhadap gaya lateral yang bekerja pada struktur. Oleh karena itu, penggunaan panel dinding dapat mengatasi kurangnya kekakuan antara kolom dan balok.

Keunggulan dari struktur portal terbuka salah satunya yaitu dengan adanya bukaan penuh pada portal akan memberikan keleluasaan dan kemudahan dalam perencanaan arsitektural. Namun portal terbuka juga memiliki kekurangan yaitu ukuran balok dan kolom serta harga material menjadi sangat mahal pada bangunan dengan ketinggian lebih dari 30 tingkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi bangunan maka aspek kekakuan menjadi lebih dominan daripada kekuatan untuk menjaga simpangan dalam nilai yang diijinkan.



Gambar 2.2 Deformasi Geser Terhadap Lentur Pada Portal

### 2.1.2. Portal Tertutup

Pada struktur portal tertutup, seluruh momen dan gaya yang bekerja pada struktur akan ditahan lebih dulu oleh sloof yang kemudian diratakan ke elemen struktur yang lain, baru sebagian kecil beban akan diteruskan ke pondasi. Sloof pada struktur tersebut berfungsi sebagai pengikat kolom yang satu dengan yang lain untuk mencegah *differential settlement*.

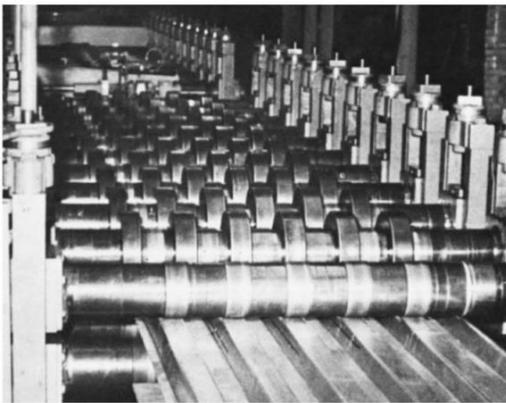


Gambar 2.3 Portal Tertutup

## 2.2. Material Baja Canai Dingin

### 2.2.1. Gambaran Umum

Profil struktur baja canai dingin atau *cold formed steel (CFS)* merupakan komponen struktural dari lembaran baja yang dibentuk model tertentu dengan proses *press braking* atau *roll forming*. Suhu yang tinggi tidak diperlukan dalam proses pembentukan (tidak seperti baja *hot-rolled*), oleh sebab itu baja ringan ini juga disebut *cold-formed*. Pada umumnya baja *cold-formed* merupakan komponen yang tipis, ringan, mudah dalam pengerjaan dibandingkan dengan baja *hot-rolled* (Mutawalli, 2007).

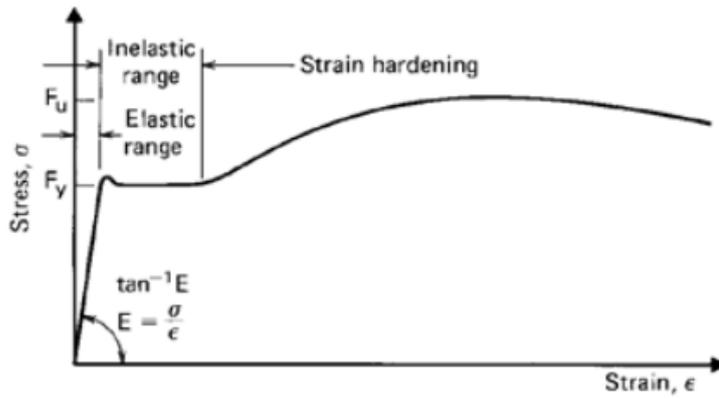


Gambar 2.4 Proses Pembentukan Profil Baja Canai Dingin (Yu, 2000)

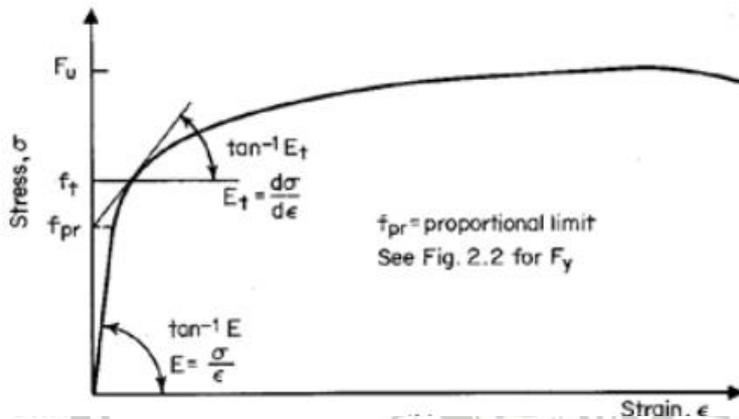
### 2.2.2. Tegangan leleh, Kuat Tarik, dan Kurva Tegangan Regangan

Baja ringan merupakan carbon steel yaitu *zincallume (G550)* yang terdiri dari 1,70% Carbon, 1,65 Manganese, 0,60% Silicon, dan 0,60% Copper. Notasi G550 menandakan bahwa baja memiliki tegangan dan kuat tarik minimum 550 Mpa (5500 kg/cm<sup>2</sup>), biasanya aja G550 memiliki modulus geser 80.000 Mpa dan modulus elastisitas 200.000 Mpa. Baja ringan memiliki kekuatan tarik yang setara dengan baja konvensional meskipun memiliki dimensi dan ketebalan yang relatif tipis.

Kekuatan batang struktural baja ringan tergantung dari titik leleh atau tegangan leleh, kecuali dalam kasus di mana tekuk lokal elastis atau tekuk globalnya kritis. Tegangan leleh merupakan batas baja akan mengalami penambahan deformasi tanpa adanya penambahan beban. Dalam kurva tegangan regangan, batas tersebut biasa disebut dengan titik leleh. Tegangan leleh baja ringan berkisar antara 165 Mpa hingga 552 Mpa (Yu, 2000). Pada umumnya, kurva tegangan regangan material baja yang diproduksi dengan cara *cold form* lebih stabil dibandingkan dengan material baja yang diproduksi dengan cara *hot rolling*.



(a)



(b)

Gambar 2.5 Kurva Tegangan Regangan Baja Ringan (a) Tegangan Leleh Tajam; (b) Tegangan Leleh Stabil (Sumber : Yu, 2000)

Kekuatan dari elemen yang tertekuk tidak hanya bergantung dari tegangan leleh, tetapi juga dari modulus elastisitas ( $E$ ) dan tangen modulusnya ( $E_t$ ). Modulus elastisitas ditentukan dari kemiringan yang lurus pada kurva tegangan-regangan. Nilai dari  $E$  yang ditentukan dalam Standard berkisar dari 200 sampai 207 GPa. Nilai 200 GPa digunakan untuk standar pendesainan. Tangen modulus ditentukan oleh kemiringan dari kurva tegangan-regangan di setiap level tegangan. (Yu, 2000)

Untuk sharp-yielding steel,  $E_t$  bernilai sama dengan  $E$  sampai tegangan leleh, tetapi untuk gradually-yielding stress,  $E_t$  bernilai sama dengan  $E$  hanya sampai proportional limit ( $F_{pr}$ ). Setelah tegangan melampaui proportional limit, nilai tangen modulus ( $E_t$ ) akan menurun dibandingkan modulus elastisitasnya.

### 2.2.3. Profil Baja Canai Dingin

Menurut Wiguna (2015), profil baja ringan dibagi menjadi dua golongan utama:

#### 1. Profil struktural tunggal

Bentuk profil structural tunggal diantaranya adalah profil kanal (*C-section*), profil sigma (*sigma section*), profil Z (*Z-section*), profil siku (*angle section*), profil I (*I-section*), profil T (*T-section*), dan profil bulat (*tubular section*).

#### 2. Profil dek dan panel

Dari berbagai profil tersebut, profil kanal merupakan profil tertua dan umum digunakan pada dunia konstruksi seperti kanopi, rangka atap, hingga elemen struktur utama balok kolom.



Gambar 2.6 Jenis profil baja canai dingin

Sumber: (Yu, 2000)

### 2.2.4. Kelebihan dan Kekurangan Baja Canai Dingin

Seperti halnya material lainnya, baja canai dingin juga memiliki kelebihan dan kelemahan, adapun kelebihannya adalah sebagai berikut.

1. Baja canai dingin relatif ringan dan tipis, hal ini akan mengurangi berat sendiri struktur sehingga beban yang diterima struktur selanjutnya akan berkurang.
2. Mudah dalam proses pembuatan maupun proses pemasangan.
3. Bersifat *fire resistance* sehingga anti api atau tidak membuat api membesar jika ada api.

4. Tidak memiliki nilai muai susut seperti yang dimiliki material kayu.
5. Memiliki daya tahan terhadap serangga sehingga waktu penggunaan lebih lama.
6. Penggunaan baja canai dingin lebih efisien dan ekonomi karena biaya pemeliharannya relatif kecil

Sedangkan kekurangannya adalah :

1. Baja canai dingin yang tersedia di pasaran memiliki profil yang terbatas sehingga pemilihan profil harus tepat.
2. Baja canai dingin termasuk material baru, sehingga diperlukan tenaga ahli khusus untuk merakitnya.
3. Baja canai dingin umumnya digunakan pada suatu sistem struktur rangka dimana memerlukan perhitungan yang matang dan ketelitian yang serius, jika terjadi kesalahan akan berakibat fatal. Perhitungan yang perlu dilakukan secara matang adalah kapasitas penampang dan kelangsingan profil.

### 2.3. Panel Dinding pada Konstruksi Baja Ringan

Dinding yang berfungsi sebagai pemikul beban sekaligus penyekat atau pembatas antar ruang merupakan bagian bangunan yang dipasang secara vertikal dan memanjang. (Julistiono, 2003). Dalam perencanaannya suatu struktur gedung pada umumnya didesain sebagai *open frame* dengan panel dinding yang hanya dianggap sebagai beban mati. Padahal apabila dipelajari lebih lanjut, panel dinding tersebut memiliki kecenderungan untuk berinteraksi dengan portalnya apabila ada beban vertikal maupun horizontal akibat gempa yang besar. (Dewobroto, 2005)

#### 2.3.1. Material Panel Dinding

Panel dinding yang digunakan dalam penelitian ini adalah multiplek, hal ini dikarenakan multiplek sering digunakan sebagai material panel dinding pada struktur partisi bangunan. Multiplek merupakan lembaran kayu olahan tipis yang dipres kemudian dilem menjadi satu. Papan kayu olahan tersebut biasa disebut dengan *plywood*. Di pasaran, ukuran standart yang sering digunakan adalah 120x240 cm dengan ketebalan antara 3-18 mm.

Tabel 2.1  
Sifat Material Kayu dan Kayu Komposit

Material	Specific gravity	Static bending properties			
		Modulus of elasticity		Modulus of rupture	
		GPa	( $\times 10^6$ lb in <sup>-2</sup> )	MPa	(lb in <sup>-2</sup> )
<b>Clear wood</b>					
White oak	0.68	12.27	(1.78)	104.80	(15,200)
Red maple	0.54	11.31	(1.64)	92.39	(13,400)
Douglas-fir (Coastal)	0.48	13.44	(1.95)	85.49	(12,400)
Western white pine	0.38	10.07	(1.46)	66.88	(9,700)
Longleaf pine	0.59	13.65	(1.98)	99.97	(14,500)
<b>Panel products</b>					
Hardboard	0.9–1.0	3.10–5.52	(0.45–0.80)	31.02–56.54	(4,500–8,200)
Medium-density fiberboard	0.7–0.9	3.59	(0.52)	35.85	(5,200)
Particleboard	0.6–0.8	2.76–4.14	(0.40–0.60)	15.17–24.13	(2,200–3,500)
Oriented strandboard	0.5–0.8	4.41–6.28	(0.64–0.91)	21.80–34.70	(3,161–5,027)
Plywood	0.4–0.6	6.96–8.55	(1.01–1.24)	33.72–42.61	(4,890–6,180)
<b>Structural timber products</b>					
Glued-laminated timber	0.4–0.6	9.00–14.50	(1.30–2.10)	28.61–62.62	(4,150–9,080)
Laminated veneer lumber	0.4–0.7	8.96–19.24	(1.30–2.79)	33.78–86.18	(4,900–12,500)
<b>Wood-nonwood composites</b>					
Wood plastic		1.53–4.23	(0.22–0.61)	25.41–52.32	(3,684–7,585)

Sumber: *Mechanical Properties of Wood-Based Composite Materials*

Penggunaan mutiplek sebagai panel dinding pada struktur partisi memiliki beberapa kelebihan antara lain sebagai berikut.

1. Mudah dipasang dimana saja karena teksturnya yang fleksibel dan ringan.
2. Kokoh sehingga dapat digunakan sebagai komponen pembangun rumah atau material dasar pembuatan furnitur *indoor*.
3. Dibuat dengan metode ukuran yang sangat tepat dan seragam sehingga memiliki permukaan yang halus dibandingkan dengan jenis kayu yang lain.
4. Tersedia dalam berbagai macam ketebalan dan ukuran sehingga memudahkan kita untuk mengaplikasikannya di rumah.
5. Dapat tahan di bawah cuaca dan suhu ekstrem di Indonesia apabila dipasang dan dirawat dengan benar.

### 2.3.2. Bukan pada Panel Dinding

Pada beberapa struktur partisi bangunan, struktur portal tidak hanya diisi oleh panel dinding penuh, tetapi juga dinding dengan bukaan (lubang) yang difungsikan untuk jendela, pintu, ventilasi udara, dan lain-lain. Menurut Choi H. (2005), pengaruh dinding dengan bukaan diabaikan dalam perhitungan dengan asumsi bahwa dinding tersebut tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap struktur rangka yang mengekangnya.

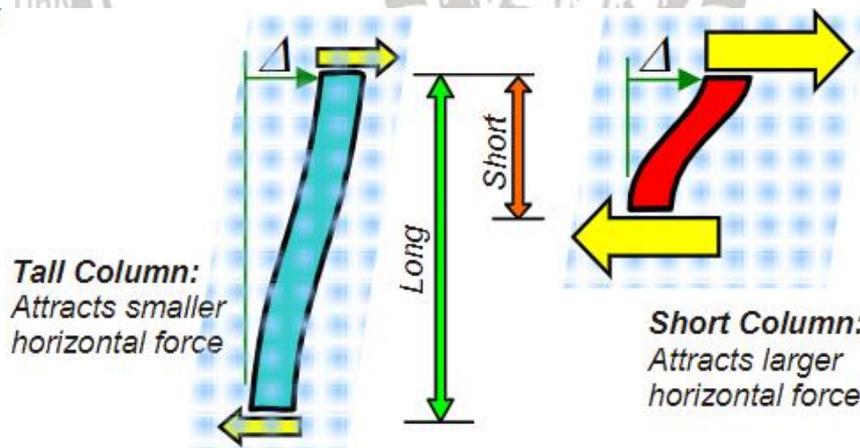
Namun sejumlah peneliti (Goutam M. and Sudhir K.J., 2008, Surendran S. and Kaushik H.B., 2012) menyatakan bahwa pemasangan dinding dengan bukaan memberikan



pengaruh terhadap kekuatan struktur rangka namun besarnya bergantung pada rasio luas bukaan terhadap luas dinding itu sendiri.

Menurut Maidawati (2017), suatu struktur portal dengan dinding baik yang penuh maupun terdapat bukaan akan berkontribusi untuk menunda terjadinya keruntuhan pada struktur portal itu sendiri. Penggunaan dinding penuh pada suatu struktur portal dapat meningkatkan kekuatan lateral struktur lebih dari dua kali lipat. Pada penelitiannya, Maidawati menyimpulkan bahwa semakin luas bukaan pada dinding maka semakin kecil dinding tersebut berkontribusi terhadap kekuatan lateral struktur.

Adanya bukaan pada dinding bisa mengakibatkan kolom pada struktur portal mengalami *short column effect*. Selama terjadinya gempa bumi, kolom yang memiliki ketinggian lebih pendek akibat adanya pengekangan akan mengalami kerusakan yang lebih besar daripada kolom yang lebih panjang dengan pemberian beban yang sama. Hal tersebut disebabkan karena kolom yang lebih pendek memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan kolom yang lebih panjang padahal menerima perpindahan yang sama. Oleh karena itu, kolom pendek tersebut harus dirancang lebih kuat untuk menahan beban yang lebih besar.



Gambar 2.7 Perbandingan Kolom panjang dan Kolom pendek pada penerimaan beban gempa

Sumber: C.V.R. Murty (2017)

### 2.3.3. Perilaku Portal dengan Panel Dinding

Suatu kinerja struktur dapat dilihat dari kemampuannya menerima gaya gempa yang kuat. Struktur yang memiliki kinerja yang baik akan mampu bertahan dari gempa meskipun telah mencapai batas keruntuhan. Beban yang diterima struktur tersebut diharapkan bisa menyebar ke seluruh elemen-elemen strukturnya sehingga tidak terfokus ke beberapa elemen struktur saja.

Pada saat struktur portal dengan panel dinding menerima pembebanan yang relatif kecil, panel dinding tersebut berperan terhadap kekakuan dan kekuatan struktur secara penuh. Pada saat pembebanan tersebut, panel dinding belum mengalami kegagalan yang dapat menurunkan kekakuan strukturnya meskipun portalnya sendiri berpeluang besar mengalami kerusakan. Hal ini disebabkan karena pembebanan yang diberikan belum melampaui kekuatan panel dinding tersebut. Namun apabila struktur tersebut diberi pembebanan yang lebih besar, deformasi yang terjadi akan mengakibatkan kekuatan panel dinding terlampaui sehingga terjadi kerusakan pada dinding. Kerusakan tersebut dapat menurunkan kekakuan struktur secara signifikan, sehingga gaya gempa yang sebelumnya diterima langsung oleh struktur portal dan panel dindingnya secara bersamaan akan berubah diterima sepenuhnya oleh portal saja. Hal tersebut akan menyebabkan kegagalan terjadi pada struktur portal. (Tjahjanto & Imran, 2009)

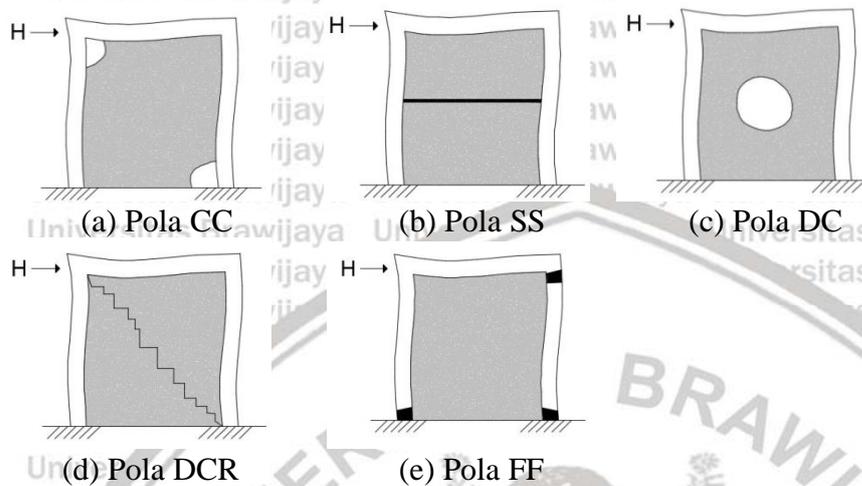
#### 2.3.4. Pola Retak dan Keruntuhan Portal dengan Panel Dinding

Pola keruntuhan yang terjadi pada panel dinding dapat menentukan kekuatan lateralnya. Pola keruntuhan yang dapat terjadi adalah timbulnya retak pada panel dinding akibat pembebanan lateral maksimum pada salah satu arah dan dua arah, kemudian beban lateral terus ditingkatkan secara bertahap diiringi dengan penambahan lendutan yang menyebabkan retakan pada panel dinding semakin terbuka dan test uji bisa diakhiri.

Menurut Paulay dan Priestley (1992), pola keruntuhan portal dengan dinding terbagi menjadi lima kategori, yaitu sebagai berikut.

- a. *Corner crushing* (CC), pola keruntuhan dimulai dari daerah pojok portal. Pola keruntuhan ini biasanya terjadi pada dinding yang dikelilingi struktur portal balok kolom yang kuat namun memiliki hubungan balok kolom lemah.
- b. *Sliding shear* (SH), ditandai dengan terjadinya kegagalan geser horizontal pada sambungan dinding. Keruntuhan seperti ini terjadi akibat lemahnya kekuatan dinding sedangkan struktur portal sangat kuat.
- c. *Diagonal compression* (DC), keruntuhan ditandai dengan adanya kerusakan area pada daerah tengah dinding. Hal ini disebabkan karena terjadinya tekuk luar bidang (*out of plane*) yang dipicu oleh besarnya kelangsingan dinding.
- d. *Diagonal cracking* (DCR), terjadi keruntuhan yang ditandai dengan terbentuknya retak pada arah diagonal struktur, dimana kondisi ini merupakan kondisi paling kritis akan tetapi kemungkinan terjadinya kecil.

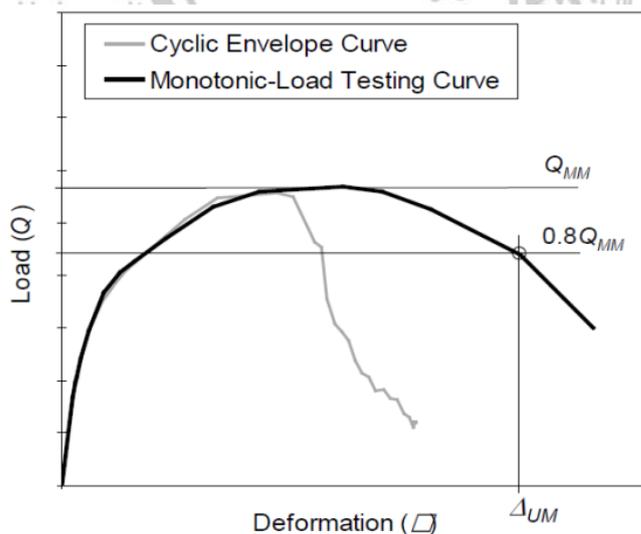
e. *Frame failure* (FF), terjadi keruntuhan ditandai dengan terbentuknya sendi plastis pada sambungan balok-kolom. Hal ini dikarenakan dinding memiliki kekuatan besar namun struktur portal memiliki kekuatan kecil dengan hubungan balok-kolom yang lemah.



Gambar 2.8 Pola Keruntuhan Portal dengan Dinding  
 Sumber : Paulay dan Priestley (1992)

#### 2.4. Pembebanan Monotonik Statik (Static Monotonic Loading)

Beban monotonik merupakan pemberian pola beban static tertentu dalam arah lateral yang besarnya meningkat secara bertahap hingga mencapai target perpindahan tertentu ataupun hingga terjadi keruntuhan pada struktur. Data dari hasil pengujian pembebanan monotonik dapat dijadikan sebagai dasar perbandingan dengan data hasil yang didapatkan dari pengujian pembebanan siklik.



Gambar 2.9 Kurva Gaya-Deformasi Uji Monotonik  
 Sumber: FEMA P-795 (2011)

**2.5. Perpindahan**

Perpindahan terjadi apabila suatu struktur mengalami pembebanan secara terus-menerus sebagai bentuk dari respon struktur itu sendiri. Perpindahan tersebut terjadi karena struktur tidak cukup kuat lagi untuk menahan beban yang bekerja. Terdapat tiga macam perpindahan akibat beban lateral, yaitu sebagai berikut.

**2.5.1. Perpindahan Lentur ( $\Delta_{ft}$ )**

Perpindahan lentur dapat menyebabkan struktur mengalami kelengkungan. Perkiraan perpindahan lentur bisa dianalisis dengan mengidealisasikan distribusi kelengkungan pada daerah elastis dan plastis.

$$\Delta_{ft} = \Delta_{fe} + \Delta_{fp} \dots\dots\dots (2-1)$$

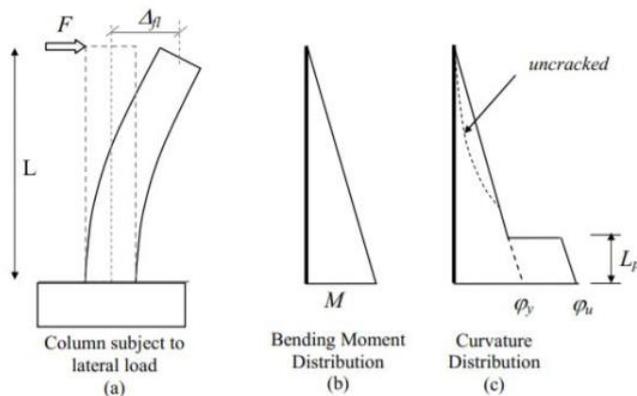
Keterangan:

$\Delta_{ft}$  = Perpindahan lentur

$\Delta_{fe}$  = Perpindahan lentur elastis

$\Delta_{fp}$  = Perpindahan lentur plastis

Perpindahan elastis merupakan perpindahan pada struktur yang masih dapat kembali ke bentuk atau posisi semula ketika beban dihilangkan. Sedangkan pada perpindahan plastis, perpindahan yang terjadi sudah tidak dapat kembali ke bentuk atau posisi semula meskipun beban sudah tidak lagi bekerja pada struktur.



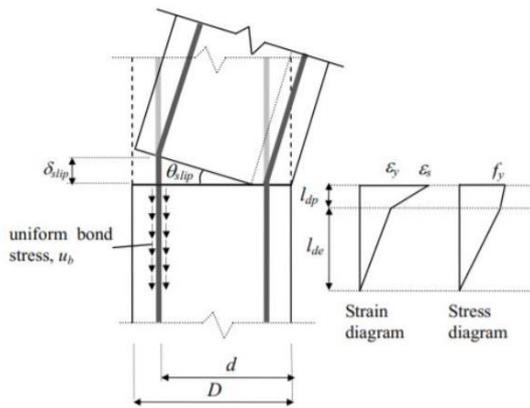
Gambar 2.10 Perpindahan Lentur

Sumber: (Wibowo, 2012)

**2.5.2. Perpindahan Penetrasi Leleh ( $\Delta_{\gamma}$ )**

Adanya rotasi pada struktur yang kaku pada ujung kolom dapat menyebabkan perpindahan penetrasi leleh. Rotasi tersebut dapat terjadi ketika terdapat celah pada pertemuan ujung kolom dan pondasi.

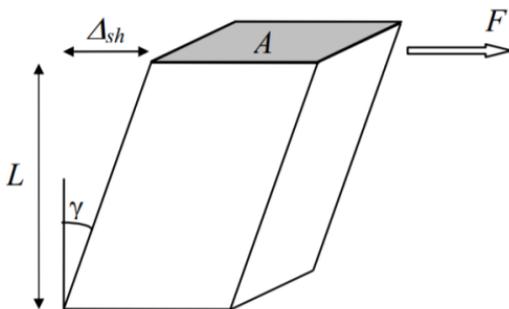




Gambar 2.11 Mekanisme Yield Displacement  
Sumber: (Wibowo, 2012)

### 2.5.3. Perpindahan Geser

Perpindahan geser dapat terjadi karena adanya gaya geser yang bekerja. Perpindahan geser ini berupa translasi pada arah tegak lurus sumbu batang. Perpindahan ini relatif tidak berpengaruh besar terhadap perpindahan total pada kolom daktile terbatas.



Gambar 2.12 Perpindahan geser  
Sumber: (Wibowo, 2012)

### 2.6. Kekakuan

Menurut Gere dan Timoshenko (1996), kekakuan merupakan besarnya gaya yang dibutuhkan oleh suatu elemen atau komponen struktur untuk dapat menghasilkan suatu lendutan. Kekakuan juga bisa didefinisikan sebagai rasio antara beban dengan perpindahan kolom. Rumus umum kekakuan adalah:

$$k = \frac{P}{x} \dots \dots \dots (2-2)$$

Keterangan:

P = Beban yang terjadi (kg)

x = Deformasi searah beban (m)

k = Kekakuan struktur (kg/m)



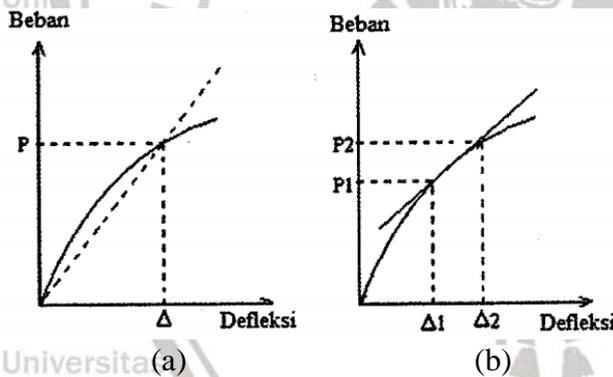
Kekakuan merupakan persyaratan pada struktur dimana pembatasan kekakuan ini bertujuan agar struktur tidak mengalami deformasi yang melampaui batas yang telah disyaratkan. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari kurva hubungan beban dan lendutan. Nilai kekakuan dapat didekati dengan menggunakan 2 (dua) metode, yaitu:

a. Kekakuan metode *secant*

Pendekatan nilai kekakuan dengan metode *secant* menggambarkan kondisi struktur pada saat mencapai kondisi leleh dikarenakan perhitungannya berdasarkan beban leleh materialnya, yaitu didekati sebesar 75% dari beban maksimum yang mampu ditahan.

b. Kekakuan metode *tangent*

Nilai kekakuan yang didapat dari metode *tangent* menggambarkan keadaan struktur ketika struktur tersebut belum mengalami kerusakan atau masih dalam kondisi bagus. Nilai kekakuan *tangent* didapatkan dari nilai kemiringan garis linear yang ditarik dari titik (0,0) dan menyinggung lengkung pertama dari grafik hubungan beban dan perpindahan.



Gambar 2.13 Penentuan Nilai Kekakuan (a) Metode *Secant* (b) Metode *Tangent*  
 Sumber: (Timoshenko, 1987)

Ukuran kekakuan suatu material dapat dilihat dari modulus elastisitasnya. Material yang memiliki modulus elastisitas tinggi akan mengalami deformasi yang lebih kecil daripada material dengan modulus elastisitas yang rendah akibat pemberian beban. Modulus elastisitas dapat diperoleh dengan membagi besar tegangan yang terjadi dengan regangan yang dialami suatu material tersebut.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2-3)$$

Keterangan:

$E$  = Modulus elastisitas (kg/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan (kg/m<sup>2</sup>)

$\epsilon$  = Regangan



Rumus umum tegangan adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{..... (2-4)}$$

Keterangan :  $\sigma$  = Tegangan ( $\text{kg/m}^2$ )

$P$  = Beban (kg)

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

Rumus umum regangan adalah sebagai berikut.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad \text{..... (2-5)}$$

Keterangan:  $\varepsilon$  = Regangan

$\delta$  = Perubahan panjang (m)

$L$  = Panjang awal (m)

Dari ketiga rumus yang telah disebutkan sebelumnya, maka dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{P \times L}{A \times \delta} \quad \text{..... (2-6)}$$

$$\frac{P}{\delta} = E \times \frac{A}{L} \quad \text{..... (2-7)}$$

Dari persamaan rumus (2-2) dan (2-7) didapatkan rumus kekakuan yaitu sebagai berikut.

$$k = E \times \frac{A}{L} \quad \text{..... (2-8)}$$

Keterangan:  $k$  = Kekakuan struktur ( $\text{kg/m}$ )

$E$  = Modulus elastisitas ( $\text{kg/m}^2$ )

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$L$  = Panjang awal (m)

## 2.7. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi penyusunan penelitian ini, selain itu juga dijadikan sebagai gambaran serta memberikan pemahaman yang lebih agar dapat memaksimalkan penelitian dengan baik dan benar. Hal ini bertujuan agar penelitian ini dapat menjadi penelitian yang berkualitas baik sehingga dapat menjadi bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

Tabel 2.2  
 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	I Gusti Made Sudika	Analisis Perilaku Struktur Portal dengan Dinding Pengisi Penuh dan Sebagian terhadap Beban Lateral	Dinding mempengaruhi perilaku portal dengan menambah kekakuan portal dan meningkatkan kemampuan portal dalam memikul beban terutama pada saat portal tersebut menahan beban lateral.
2.	Maidawati, Jafril Tanjung, Hamdeni Medriosa (2017)	Pengaruh Dinding Bata dengan Bukaannya terhadap Ketahanan Lateral Struktur Rangka Beton Bertulang	Keruntuhan pada struktur rangka dengan dinding bata penuh maupun ada bukaan didahului dengan keruntuhan pada dinding bata sebelum terjailah keruntuhan pada struktur kolom. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan dinding dengan atau tanpa bukaan akan menunda keruntuhan yang terjadi pada struktur rangka beton bertulang.
3.	Meirheyma Denfia Saputri (2019)	Pengaruh Variasi Bentuk Pelat Sambung terhadap Beban Lateral Maksimum dan Kekakuan akibat Beban Siklik (Quasi-Static) pada Portal Canai 2D	Portal dengan pelat sambung berbentuk siku memiliki kapasitas beban maksimum dan nilai kekakuan yang lebih tinggi daripada portal dengan pelat sambung berbentuk segitiga, sedangkan penurunan kekakuan portal dengan pelat sambung berbentuk siku lebih kecil dari portal dengan pelat sambung berbentuk segitiga.



Shin-Hua Lin, Chi-Ling Pan, Wei-Thing Hsu (2014)

Monotonic and Cyclic Loading Tests for Cold-Formed Steel Wall Frames Sheathed with Calcium Silicate Board

Besarnya beban lateral maksimum, kekakuan, energi penyerapan, dan daktilitas struktur yang diuji di bawah pembebanan siklik kurang dari struktur yang diuji dengan pembebanan monotonik.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan penelitian simulasi numerikal dengan menggunakan software SAP2000. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2020 sampai selesai.

### 3.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 3.2.1. Canai Dingin

Penelitian menggunakan baja canai dingin dengan profil hollow square berdimensi 40.40.0,3 mm untuk kolom dan dimensi 20.40.0,3 mm untuk balok.



Gambar 3.1 Profil Baja Canai Dingin

#### 3.2.2. Mur-Baut

Pada penelitian ini baut yang digunakan untuk sambungan balok dan kolom adalah baut jenis UNS 4.6 dengan diameter kepala baut 8 mm dengan panjang dari kepala hingga ujung baut  $\pm 50$ mm.



Gambar 3.2 Baut

### 3.2.3. Sekrup

Penelitian ini menggunakan sekrup jenis SS untuk sambungan dinding multiplek dengan diameter kepala sekrup 8 mm dengan panjang dari kepala hingga kaki sekrup  $\pm 20$  mm.



Gambar 3.3 Sekrup

### 3.2.4. Multiplek

Multiplek yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketebalan 4 mm untuk panel dinding. Sedangkan untuk pondasi portal menggunakan 2 lapisan multipleks dengan ketebalan 15 mm yang dilem sehingga memiliki ketebalan 30 mm. Multipleks yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata, baik pada sisi depan maupun sisi belakang.



(a)



(b)

Gambar 3.4 Multiplek (a) Pada Panel dinding (b) Pada Pondasi

### 3.2.5. Lem

Lem yang digunakan pada penelitian ini adalah lem kayu merk rajawali. Lem ini digunakan untuk menggabungkan dua multipleks dengan tebal 15 mm sehingga membentuk multipleks dengan ketebalan 30 mm yang nantinya dijadikan sebagai pondasi portal.



Gambar 3.5 Lem Kayu Rajawali

### 3.3. Alat penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan yang digunakan mulai dari proses persiapan material hingga proses pengujian benda uji. Peralatan yang digunakan telah tersedia di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil dan Inventaris Departemen Amara Himpunan Mahasiswa Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

#### 3.3.1. Alat bor

Alat bor digunakan untuk memasang alat sambung *screw* pada profil agar dapat menyatukan profil yang telah disusun. Dalam penelitian ini alat bor menggunakan mata bor berdiameter 8 mm.



Gambar 3.6 Alat Bor

#### 3.3.2. Mal (Cetakan)

Cetakan terbuat dari balok kayu yang dirangkai di multipleks sedemikian rupa sehingga membentuk susunan balok kolom untuk kemudian dirangkai dengan sambungan hingga menjadi benda uji berupa portal 2 dimensi. Cetakan berfungsi untuk mempermudah proses pemasangan sambungan sehingga benda uji presisi sesuai dengan model yang diharapkan.



Gambar 3.7 Mal (Cetakan)

### 3.3.3. Gerinda Tangan (*Cutting*)

Gerinda (*cutting*) digunakan untuk memotong material canai sesuai dengan panjang yang diinginkan dengan cara kerja memutar mata pisau dengan kecepatan tinggi.



Gambar 3.8 Gerinda Tangan

### 3.3.4. Gunting Canai

Pada penelitian ini gunting canai digunakan untuk memotong canai dingin untuk membentuk bagian yang diinginkan seperti pelat sambung dan kaki kolom.



Gambar 3.9 Gunting Canai

### 3.3.5. LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*)

LVDT berfungsi untuk mengetahui besarnya defleksi atau perpindahan pada benda uji saat diuji. Alat LVDT ini dipasang pada ujung atas portal untuk mengetahui defleksi arah horizontal dan juga dipasang pada kaki kolom portal untuk mengetahui defleksi arah vertikal. Tampilan LVDT menggunakan monitor digital sehingga memudahkan pembacaan dan meningkatkan ketelitian saat melakukan pembacaan.



Gambar 3.10 LVDT

### 3.3.6. Hydraulic Jack

Hydraulic jack berfungsi untuk memberi beban lateral pada portal melalui *load cell*. Pada penelitian ini beban lateral diberikan dari satu arah untuk beban monotonic.



Gambar 3.11 Hydraulic jack

### 3.3.7. Load Cell

Pada penelitian ini, *load cell* berfungsi untuk menyalurkan dan membaca beban yang diberikan oleh *hydraulic jack*. *Load cell* yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas beban sebesar 5 ton.



Gambar 3.12 Load cell

### 3.3.8. Loading Frame

Loading frame merupakan frame konstruksi baja WF digunakan untuk perletakan benda uji portal saat pembebanan monotonic.



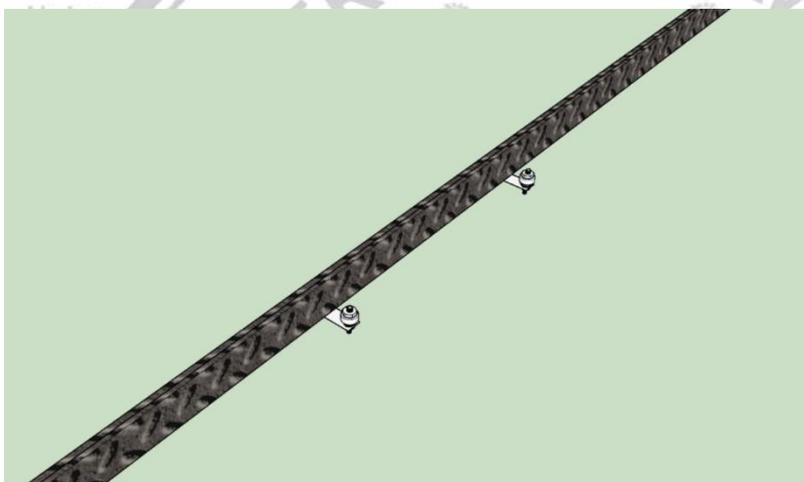
Gambar 3.13 Loading frame

### 3.3.9. Railing

Railing pada penelitian ini digunakan agar benda uji tetap pada sumbunya sehingga dapat mencegah terjadinya puntir pada saat dilakukan pembebanan monotonic. Railing ini dipasang pada bagian depan dan belakang benda uji. Pada bagian depan portal yang memiliki panel dinding, sistem *railing* menggunakan dua *bearing* yang dipasang pada profil baja siku. Sedangkan pada bagian belakang portal yang tidak memiliki panel dinding, sistem *railing* menggunakan pipa galvanis yang diklem pada profil baja siku. Kedua railing tersebut dibuat menempel pada *loading frame* dan dikunci dengan mur baut.



(a)



(b)

Gambar 3.14 Railing pada Benda Uji (a) Bagian Belakang Benda Uji (b) Bagian Depan Benda Uji

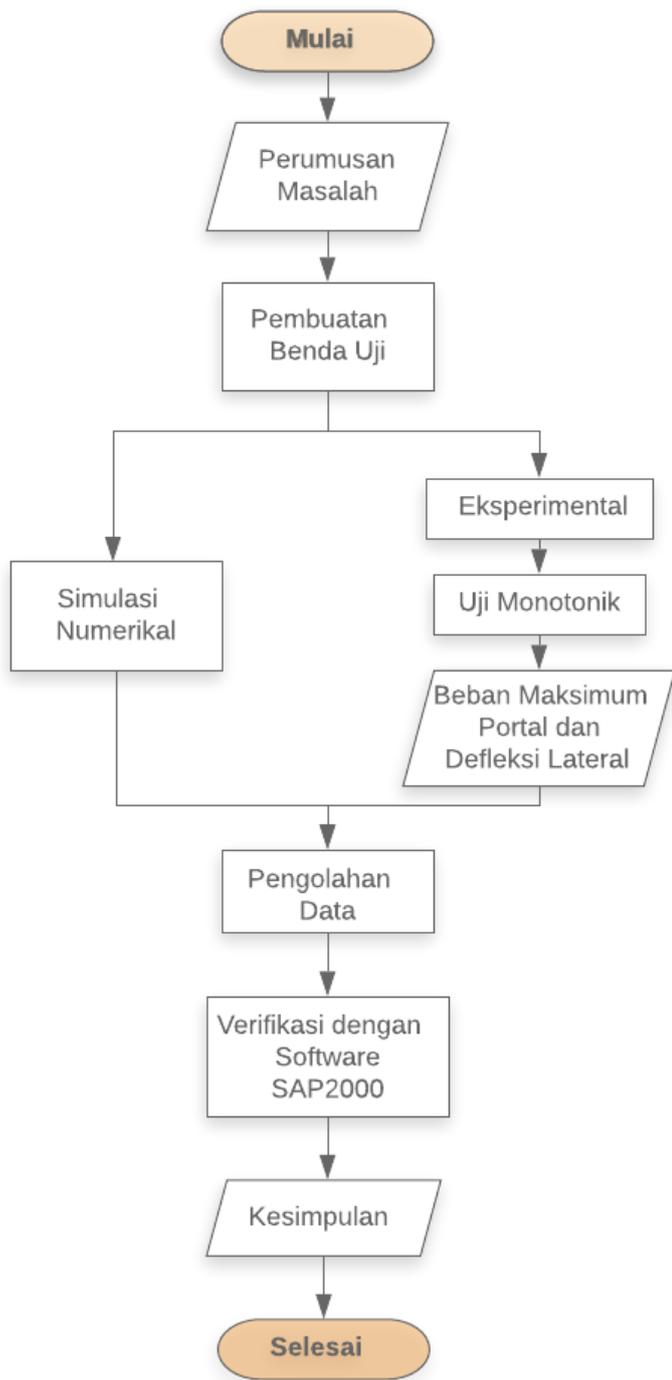
### 3.3.10. Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya yang digunakan antara lain adalah palu, paku, kunci, tang, kabel ties, penggaris, meteran, cutter, pensil, dan gunting.



Gambar 3.15 Alat bantu pembuatan benda uji

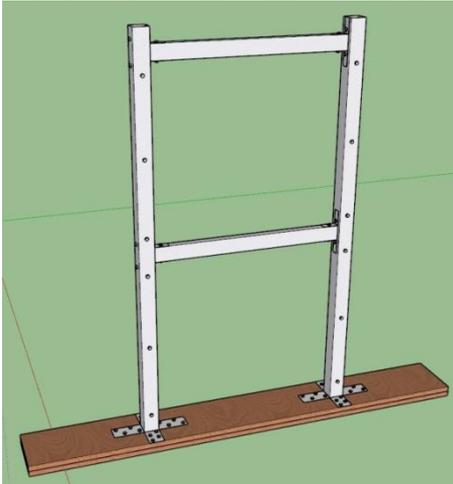
3.4. Tahap Penelitian



Gambar 3.16 Flow chart penelitian

### 3.5. Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini, benda uji yang digunakan merupakan portal canai dingin 2 dimensi dengan lebar 58 cm dan tinggi 106 cm. Penelitian ini menggunakan 4 jenis portal dengan variasi bukaan pada panel dinding multipleks yaitu sebesar 0%, 25%, 50%, dan 100%. Dari keempat jenis portal tersebut, letak perbedaannya hanya pada persentase bukaan panel dindingnya saja. Sedangkan untuk dimensi profil, konfigurasi sambungan, dan material penyusun lainnya pada keempat portal tersebut dibuat sama.



Gambar 3.17 Benda Uji Portal Canai Dingin 2D

Pada penelitian ini jumlah benda uji portal sebanyak 8 buah dengan pembagian 2 buah benda uji untuk setiap variabel. Portal diberikan kode sebagai berikut.

**M - T - ##**

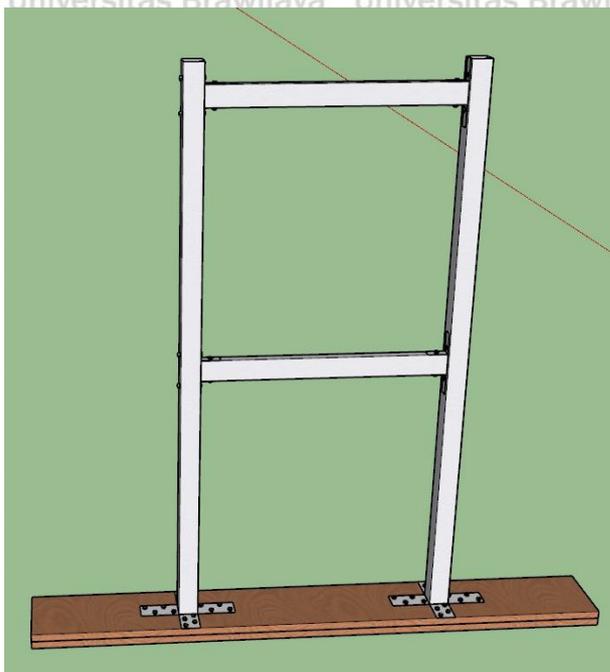
Keterangan : M – menunjukkan pembebanan yang digunakan, yaitu monotonik.

T – menunjukkan material panel dinding, yaitu multiplek.

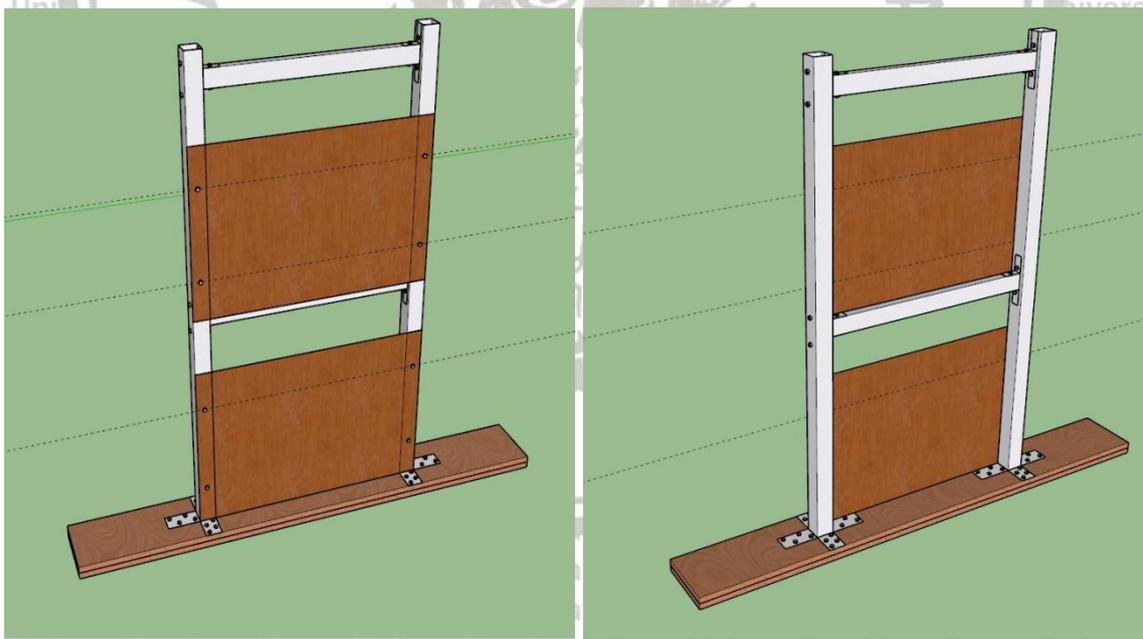
## – menunjukkan prosentase bukaan pada panel dinding.

Berdasarkan ketentuan tersebut, maka benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

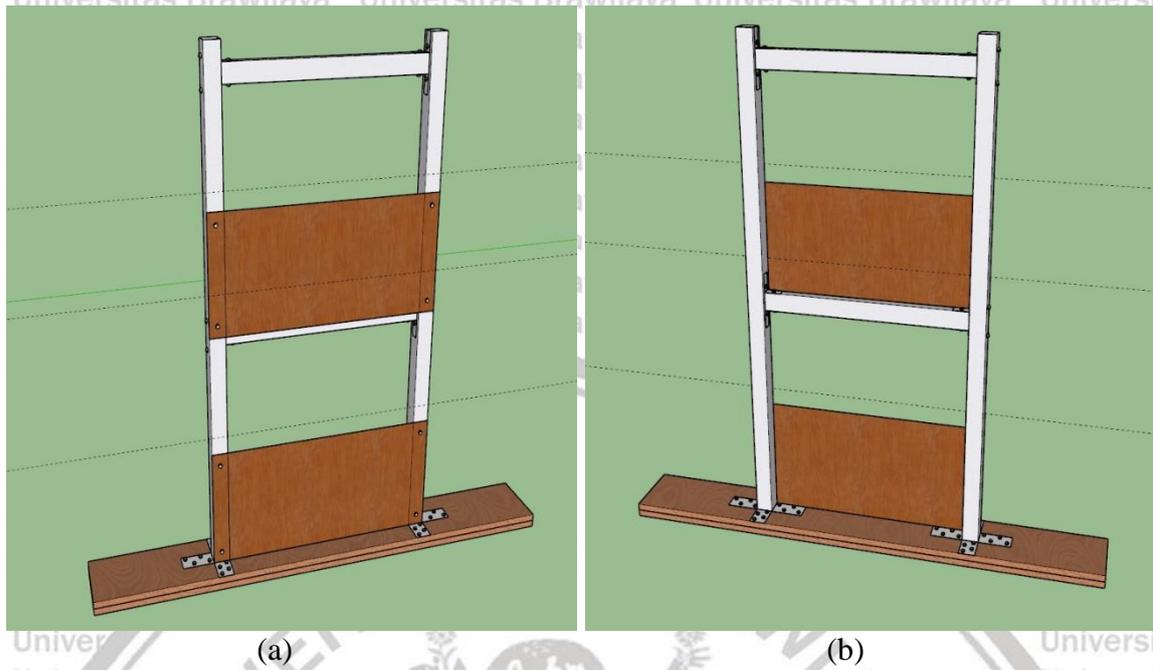
1. Portal M-100 dengan bukaan sebesar 100% pada panel dinding multiplek dan diberi pembebanan monotonik.
2. Portal M-T-25 dengan bukaan sebesar 25% pada panel dinding multiplek dan diberi pembebanan monotonik.
3. Portal M-T-50 dengan bukaan sebesar 50% pada panel dinding multiplek dan diberi pembebanan monotonik.
4. Portal M-T-0 dengan bukaan sebesar 0% pada panel dinding multiplek dan diberi pembebanan monotonik.



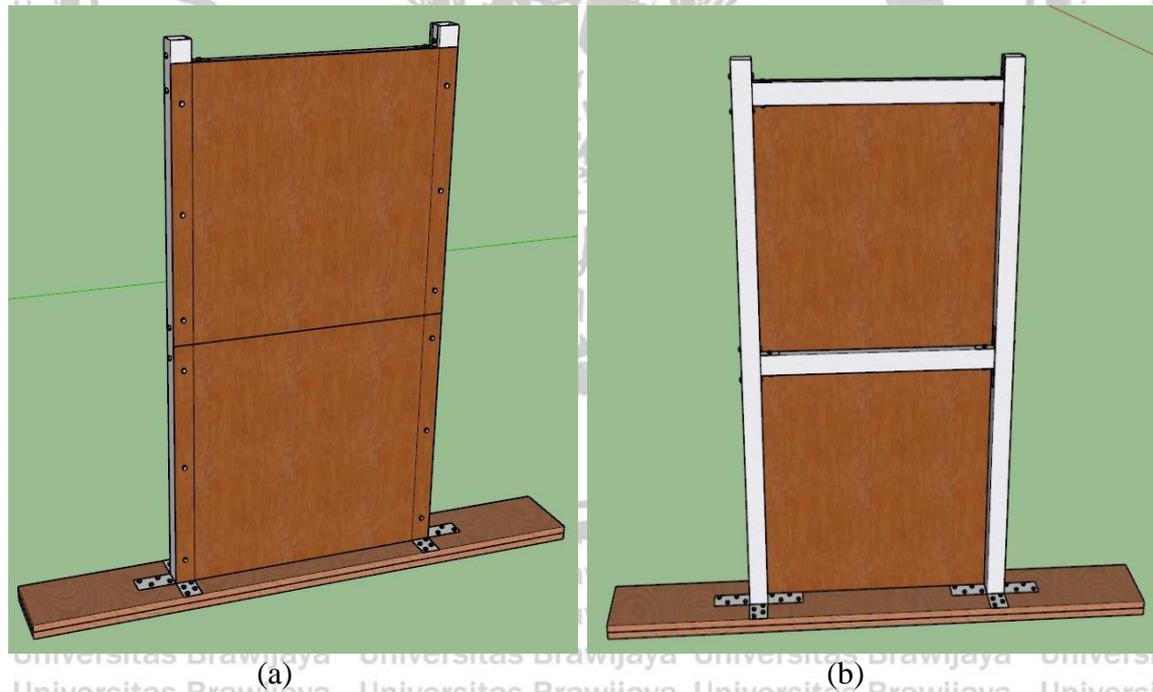
Gambar 3.18 Benda Uji Portal dengan Bukaan 100%



Gambar 3.19 Benda Uji Portal dengan Bukaan 25% (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

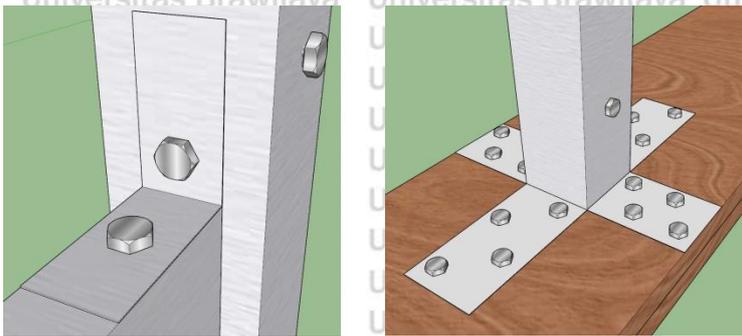


(a) (b)  
 Gambar 3.20 Benda Uji Portal dengan Bukaan 50% (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

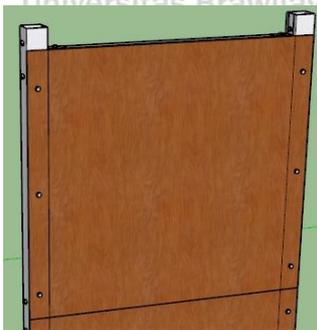


(a) (b)  
 Gambar 3.21 Benda Uji Portal dengan Bukaan 0% (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

Benda uji portal tersebut selanjutnya diuji menggunakan *load cell* dengan pembebanan monotonik pada salah satu ujung balok atas portal, pembebanan dilakukan hingga portal mengalami kerusakan pada panel dinding maupun portalnya.



Gambar 3.22 Detail Sambungan (a) Sambungan balok-kolom (b) Sambungan kolom-pondasi



Gambar 3.23 Detail Pemasangan Screw pada Panel dinding

### 3.6. Variabel Penelitian

Variabel yang akan diukur pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas (*Independent variable*), yaitu variabel yang dapat ditentukan peneliti secara bebas dan dapat diubah sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah bukaan pada panel dinding multipleks yaitu sebesar 0%, 25%, 50%, dan 100%.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kekakuan pada portal canai dingin tersebut.

### 3.7. Prosedur Penelitian

#### 3.7.1. Pembuatan Komponen Benda Uji

Pada penelitian ini benda uji yang digunakan terbuat dari potongan material canai dingin yang dirakit menjadi portal 2 dimensi yang kemudian dipasang panel dinding pada salah satu sisinya. Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Balok dan kolom

Canai dingin yang telah disiapkan diukur sepanjang 50 cm untuk balok dan 114 cm untuk kolom lalu dipotong sesuai kebutuhan dengan ketelitian ( $\pm$ ) 1 mm, masing-masing sebanyak 30 buah.

32

## 2. Pelat sambung pada sambungan balok-kolom

Canai dingin dengan profil 40x40 mm dipotong selebar 2 cm kemudian 2 rusuknya dipotong secara diagonal sehingga menghasilkan pelat sambung berbentuk siku berukuran 80x20 mm. Pelat sambung tersebut dibuat sebanyak 120 buah. Detail pelat sambung dapat dilihat pada *Gambar 3.21*.

## 3. Pelat sambung untuk sambungan kolom-pelat lantai

Canai dingin yang sudah dipotong untuk kolom kemudian digunting keempat rusuknya sedalam 8 cm menggunakan gunting canai. Kemudian keempat sisi profil dibentuk sudut 90 derajat dengan cara ditekuk.

## 4. Panel dinding

Multipleks dipotong menggunakan gerinda dengan 4 macam ukuran yaitu sebagai berikut.

- Multipleks pada portal M-25 berukuran 57x12,5 cm untuk dinding bagian atas dan bawah.
- Multipleks pada portal M-50 berukuran 57x25 cm untuk dinding bagian atas dan bawah.
- Multipleks pada portal M-0 berukuran 57x50 cm untuk dinding bagian bawah dan ukuran 57x52 cm untuk dinding bagian atas.

## 5. Pelat lantai

Multipleks setebal 15 mm dipotong menjadi pelat persegi panjang dengan ukuran 15x120 cm menggunakan gergaji. Kedua pelat tersebut kemudian direkatkan menggunakan lem kayu sehingga menjadi sebuah pelat dengan ketebalan 30 mm. Pelat dengan ketebalan 30 mm tersebut kemudian dipaku di keempat sudutnya agar lebih kuat.

### 3.7.2. Perakitan benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah portal canai dingin 2 dimensi dengan lebar 58 cm dan tinggi 106 cm. langkah-langkah perakitan benda uji setelah komponennya selesai dibuat adalah sebagai berikut.

- Meletakkan balok dan kolom yang telah disiapkan kedalam cetakan sehingga terbentuk portal 2 dimensi.
- Pelat sambung balok-kolom diletakkan pada titik sambungan kemudian memasang sekrup menggunakan bor tangan dengan detail ukuran seperti pada *Gambar 3.21*.
- Portal kemudian diangkat dari cetakan.

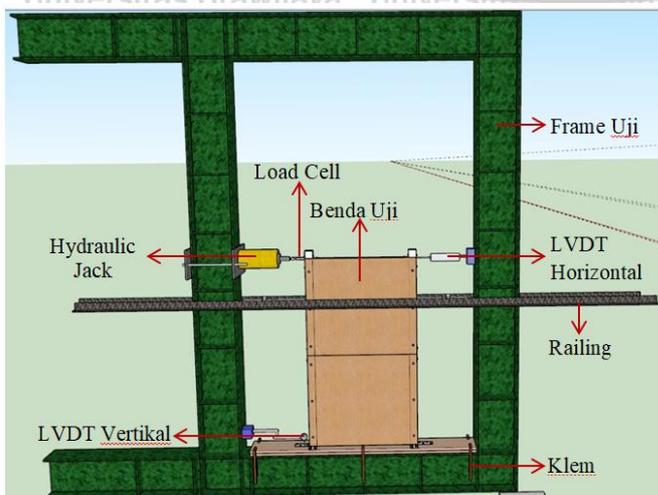


4. Setelah sambungan dirasa cukup kuat kemudian panel dinding dipasang pada portal dengan sambungan sekrup pada titik sambungan seperti pada *Gambar 3.22*. Pada benda uji M-T-0 dan M-T-25, sekrup sebanyak 6 buah dipasang pada sisi kanan dan kiri dinding dengan jarak vertikal antar sekrup sebesar 20 cm dan jarak sekrup dari tepi dinding sebesar 1,8 cm. Sedangkan untuk benda uji M-T-50, dipasang 4 buah sekrup pada sisi kanan dan kiri dinding dengan jarak vertikal antar sekrup sebesar 15 cm dan jarak sekrup dari tepi dinding sebesar 1,8 cm.
5. Portal dipasang pada pelat lantai kemudian dibor dengan sekrup pada sambungan portal-pelat lantai pada titik yang telah ditentukan seperti pada *Gambar 3.21*.

### 3.7.3. Pengujian Monotonik

Pengujian monotonik dilakukan dengan memberikan beban lateral horizontal pada salah satu ujung portal yang sejajar dengan balok atas portal sehingga portal mengalami perpindahan. Pembacaan perpindahan dilakukan setiap terjadi penambahan beban ( $\pm$ ) 0,1kg. Langkah-langkah pengujian yaitu sebagai berikut.

1. Meletakkan benda uji pada loading frame yang akan digunakan untuk tempat pengujian.
2. Melakukan setting alat hydraulic jack, load cell, dan LVDT pada frame. Load cell dan LVDT dipasang pada ketinggian sejajar balok atap benda uji.
3. Memberikan beban dengan memompa hydraulic jack, dilakukan pada salah satu sisi benda uji dan melakukan pembacaan perpindahan setiap penambahan beban  $\pm 0,1$  kg untuk portal tanpa panel dinding dan  $\pm 0,5$  kg untuk portal dengan panel dinding.
4. Percobaan dilakukan sampai benda uji mengalami kerusakan pada panel dinding dan portalnya.



*Gambar 3.24* Skema Pengujian Monotonik

**3.8. Metode Analisis**

**3.8.1. Analisis Eksperimental**

Analisis ekperimental ini dilakukan dengan pengujian di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang menggunakan 15 benda uji portal dengan variasi bukaan panel dinding multiplek sebesar 0%, 25%, 50%, dan 100% yang kemudian diberi pembebanan monotonik .

**3.8.1.1. Metode Pengumpulan Data**

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa data yang diperlukan. Dari pembebanan pada benda uji *frame* dapat diambil data berupa perubahan panjang dari *dial gauge* yang dinotasikan sebagai perpindahan ( $\Delta$ ) dan data beban maksimum *load cell* yang dinotasikan sebagai beban (P). Beberapa data yang telah didapat tersebut dikelompokkan berdasarkan masing-masing variasi benda uji. Pengamatan nilai dari beban dan perubahan panjang yang terjadi pada portal dilakukan dengan cara *play and pause* video selama pengujian berlangsung.

Tabel 3.1  
Form pengumpulan data pembacaan beban monotonik dan LVDT per drift ratio

No	Pembacaan Beban kg	Pembacaan LVDT mm	Beban kg	Simpangan mm

**3.8.1.2. Metode Pengolahan Data**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi bukaan panel dinding terhadap kekakuan struktur akibat beban monotonik pada portal baja canai dingin. Parameter kekakuan merupakan rasio antara beban dengan perpendekan kolom.

Tabel 3.2  
Form Pengolahan Data Kekakuan Secant

Bukaan Panel Dinding	Beban kg	$\Delta$ secant stiffness mm	Secant Stiffness



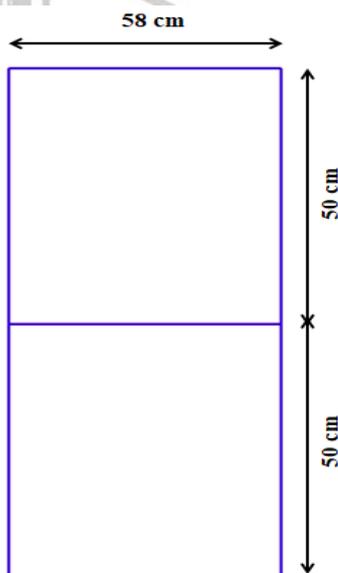
Tabel 3.3  
Form Pengolahan Data Kekakuan Tangent

Bukaan Panel Dinding	Beban kg	$\Delta$ tangent stiffness mm	Tangent Stiffness
----------------------	----------	-------------------------------	-------------------

**3.8.2. Analisis Simulasi Numerikal**

Selain dilakukan analisis secara eksperimental, diperlukan juga analisis simulasi numerikal dengan menggunakan software SAP2000. Simulasi numerikal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon perilaku struktur portal akibat pemberian beban berupa pembebanan monotonik. Pemodelan struktur pada SAP2000 dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menyusun bentuk struktur portal canai dingin 2 dimensi 2 lantai dengan lebar 58 cm dan tinggi tiap lantai 50 cm.



Gambar 3.25 Pemodelan Strukur Portal

2. Memasukkan data karakteristik material.
  - a. Material baja canai dingin

Tabel 3.4  
Karakteristik Material Baja Canai Dingin

Parameter	Besaran
Berat jenis	7400 kg/m <sup>3</sup>
Modulus elastisitas	200.000 Mpa
Modulus geser	80.000 Mpa
Tegangan leleh	550 Mpa
Tegangan ultimit	550 Mpa

b. Material panel dinding multiplek

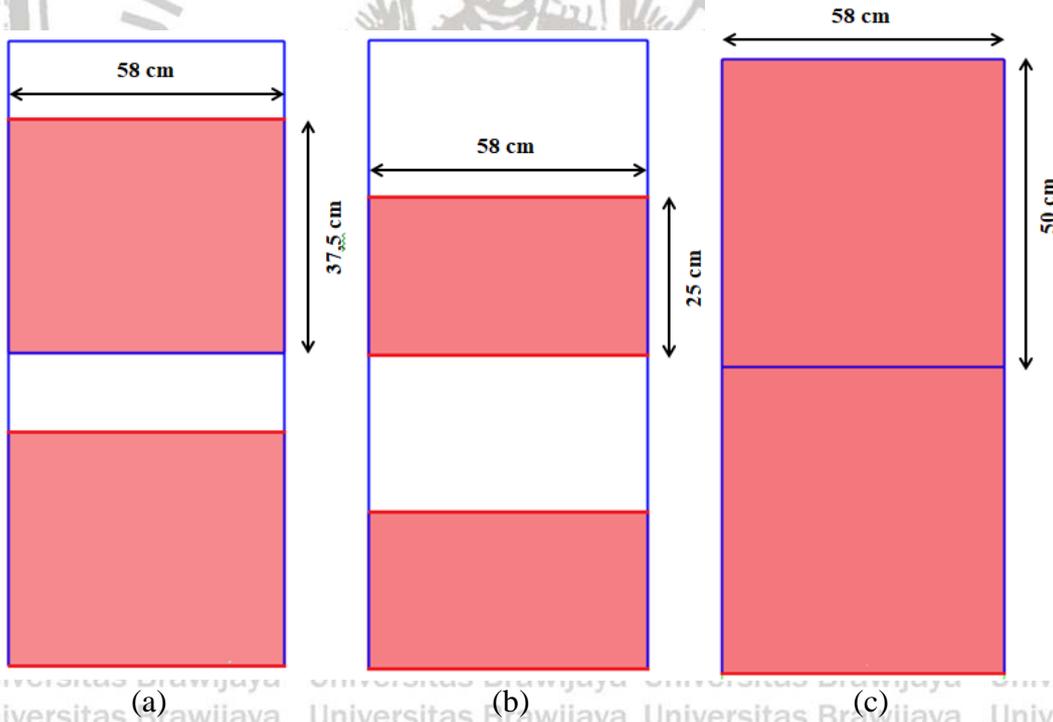
Tabel 3.5  
Karakteristik Material Multiplek

Parameter	Besaran
Berat jenis	500 kg/m <sup>3</sup>
Modulus elastisitas	8.500 Mpa
Modulus geser	3.000 Mpa

3. Memasukkan data dimensi elemen baja canai dingin dan panel dinding.

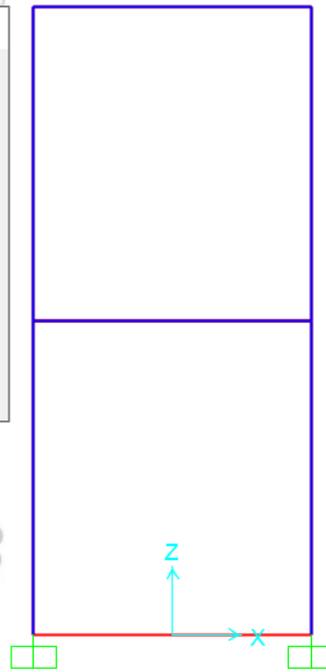
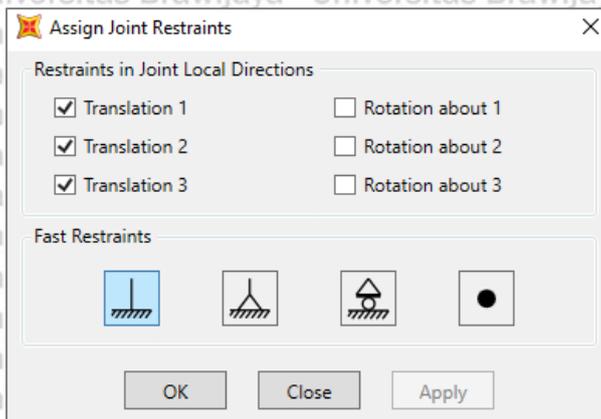
Baja canai dingin yang digunakan adalah profil *hollow square* dengan dimensi 40.40.0,3 untuk kolom dan 20.40.0,3 untuk balok, sedangkan untuk multipleknya memiliki ketebalan 4mm. Panel dinding pada struktur portal dimodelkan sebagai pelat pada SAP2000 dengan dimensi sebagai berikut.

- a. Benda uji M-T-25 memiliki lebar dinding 58 cm dengan tinggi 37,5 cm.
- b. Benda uji M-T-50 memiliki lebar dinding 58 cm dengan tinggi 25 cm.
- c. Benda uji M-T-0 memiliki lebar dinding 58 cm dengan tinggi 50 cm.



Gambar 3.26 Dimensi Panel Dinding pada Pemodelan SAP2000: (a) M-T-25, (b) M-T-50, dan (c) M-T-0.

- 4. Menempatkan elemen pada sistem struktur.
- 5. Memilih jenis tumpuan pada struktur, yaitu tumpuan jepit.



Gambar 3.27 Pemilihan Jenis Tumpuan Jepit untuk Pemodelan Struktur.

6. Memasukkan pembebanan lateral pada struktur.
7. Melakukan proses analisis struktur.

Pada simulasi numerikal menggunakan SAP2000 ini tidak dilakukan pemodelan *interface* elemen. *Interface* elemen yang dimaksud pada penelitian ini berupa hubungan antara panel dinding multiplek dengan kolom baja canai dingin. Pada analisis eksperimental, panel dinding multiplek dan kolom baja canai dingin dihubungkan dengan sambungan *screw*. Karena pada pemodelan struktur pada SAP2000 tidak dimodelkan *interface* elemen, maka pada analisis SAP2000 dianggap bahwa panel dinding pada struktur portal tidak mengalami kerusakan sama sekali walaupun benda uji telah mencapai kapasitas beban maksimumnya.

Dari hasil analisis dengan pemodelan struktur pada SAP2000 dihasilkan respon perilaku struktur setelah menerima beban lateral berupa diagram bidang momen, bidang gaya lintang, dan bidang normal. Diagram yang menunjukkan respon perilaku struktur portal tersebut tidak bisa diketahui apabila hanya melakukan uji eksperimental saja, sehingga hasil Analisis dari simulasi numerikal ini dijadikan sebagai referensi tambahan dalam melakukan analisis.

### 3.9. Hipotesis Penelitian

Benda uji dengan prosentase bukaan panel dinding yang lebih besar akan memiliki nilai kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan prosentase bukaan panel dinding yang lebih kecil.



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian Beban Monotonik

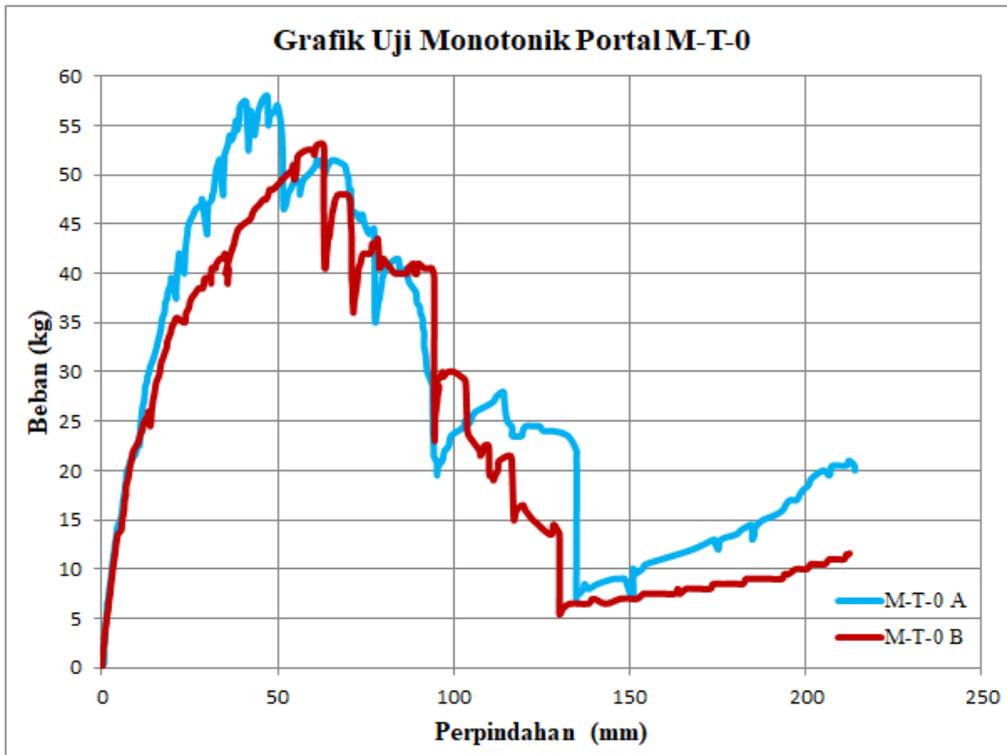
Pengujian pembebanan monotonik dilakukan pada semua variasi benda uji portal baja canai dingin 2 (dua) dimensi yang sudah dibuat, yaitu meliputi portal tanpa panel dinding, portal dengan panel dinding bukaan 25%, portal dengan panel dinding bukaan 50%, dan portal dengan panel dinding bukaan 0%. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban lateral pada sisi ujung atas portal secara perlahan dan terus-menerus. Pengujian monotonik ini menggunakan *loadcell* berkapasitas 50 kg untuk portal tanpa panel dinding dan *loadcell* berkapasitas 5 ton untuk portal dengan panel dinding. Penggunaan kapasitas *loadcell* yang berbeda untuk portal tanpa panel dinding dan portal dengan panel dinding bertujuan untuk meningkatkan keakurasian dalam pembacaan tiap penambahan beban yang terjadi.

Pengujian monotonik dihentikan apabila terjadi 2 (dua) kondisi, yaitu:

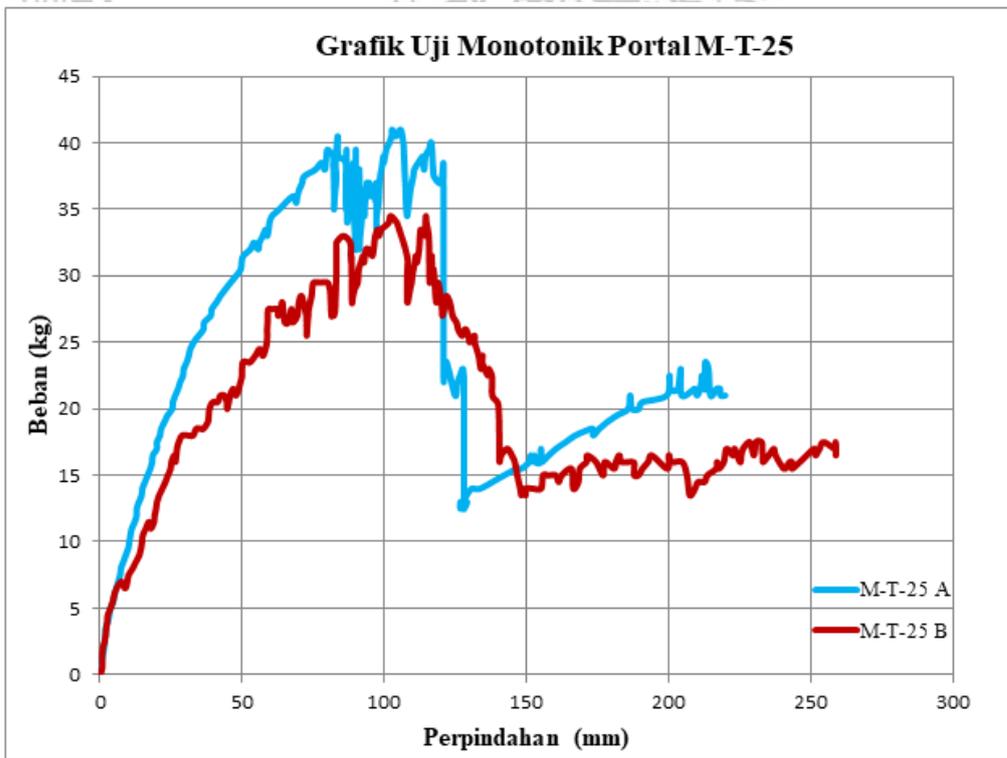
- a. Portal mengalami kerusakan, baik pada panel dinding maupun struktur portalnya sendiri. Hal ini menyebabkan kemampuan portal untuk menahan beban akan terus menurun dan penambahan beban sudah tidak dapat dilakukan lagi.
- b. Pemberian beban lateral sudah mencapai kapasitas maksimum dari *hydraulic jack* yaitu sebesar 30 cm, sehingga pemberian beban harus dihentikan meskipun portal belum mengalami kerusakan.

##### 4.1.1 Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan

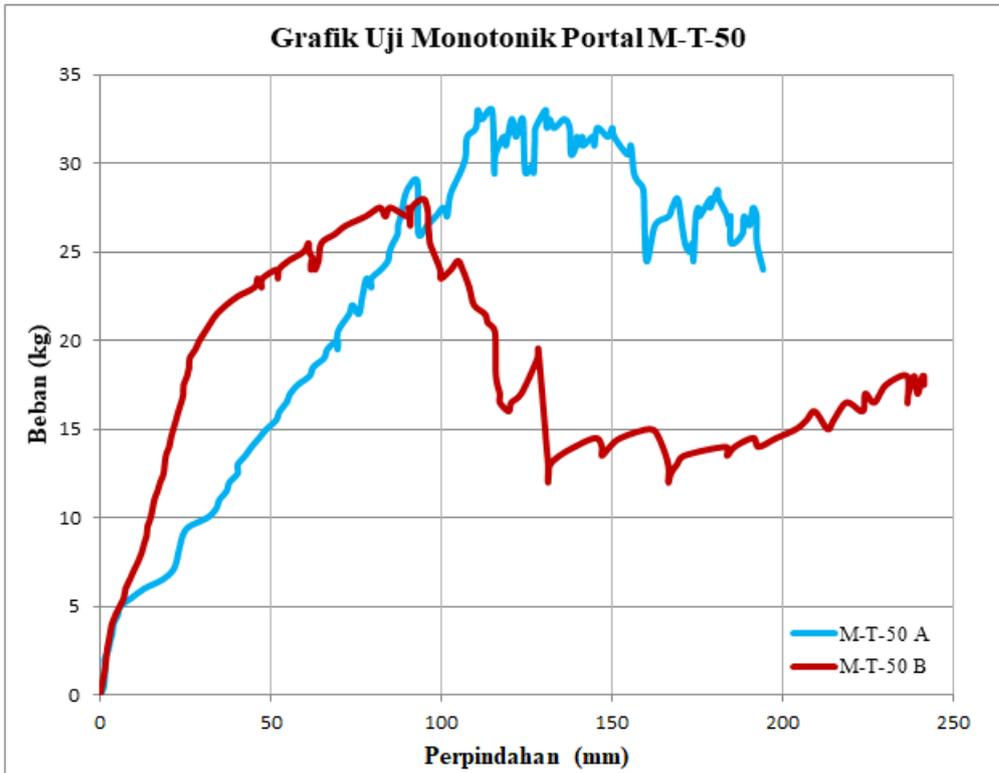
Pengujian monotonik menghasilkan data berupa hubungan beban lateral ( $P$ ) dan besar perpindahan yang terjadi ( $\Delta$ ). Kedua data tersebut didapat dengan cara melakukan pengamatan video pengujian dengan cara *play* dan *pause* video untuk membaca besar beban lateral yang terjadi dan pembacaan *lvdt* pada waktu yang sama. Setelah memperoleh data beban lateral dan perpindahan, maka diperoleh grafik uji monotonik. Dari grafik tersebut dapat diketahui beban maksimum yang mampu ditahan setiap benda ujinya. Selain itu, dari grafik hubungan beban dan perpindahan dapat dianalisis nilai kekakuan untuk setiap benda ujinya. Berikut grafik hubungan beban dan perpindahan dari masing-masing benda uji.



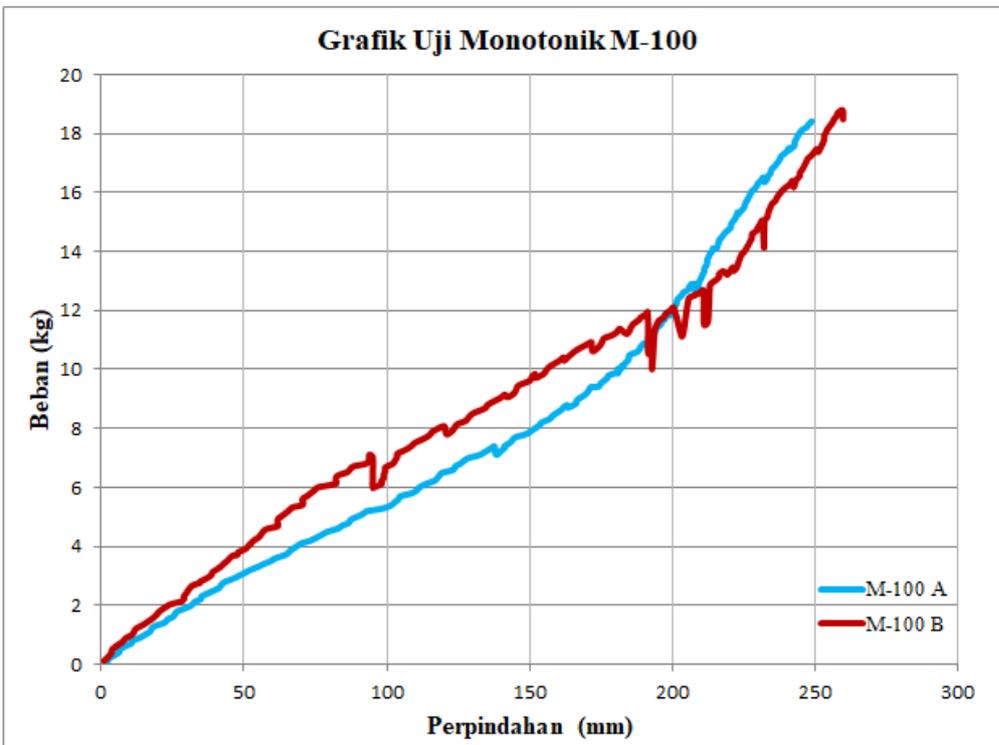
Gambar 4.1 Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-T-0



Gambar 4.2 Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-T-25



Gambar 4.3 Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-T-50



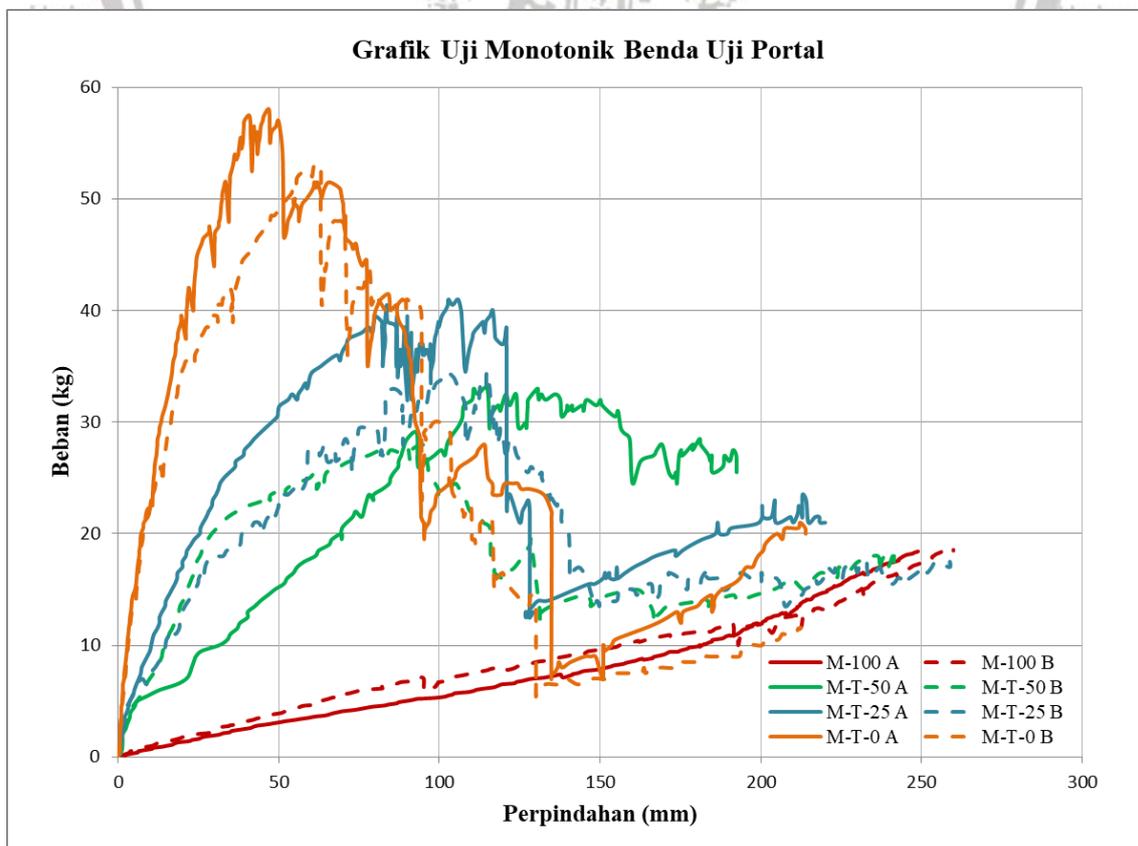
Gambar 4.4 Grafik hubungan beban dan perpindahan benda uji M-100

Berdasarkan keempat grafik hubungan beban dan perpindahan tersebut, dapat dilihat bahwa masing-masing benda uji dengan tipe dan variasi yang sama memiliki trend grafik yang serupa atau mendekati. Trend tersebut dapat dilihat pada grafik benda uji portal

M-T-0, M-T-25, dan M-100. Ketiga grafik tersebut menunjukkan bahwa benda uji dengan variasi yang sama memiliki kemampuan yang cenderung sama besarnya untuk menahan beban. Sementara itu untuk benda uji M-T-50, grafik yang didapat menunjukkan trend yang sedikit berbeda. Perbedaan trend pada benda uji M-T-50 disebabkan karena keterbatasan alat laboratorium sehingga menimbulkan terjadinya *error* pada pembacaan beban pada saat pengujian.

Grafik beban dan perpindahan yang didapatkan dari pengujian menghasilkan besaran beban yang naik turun secara signifikan pada titik-titik tertentu. Penurunan beban yang signifikan tersebut menandakan bahwa telah terjadi kegagalan pada komponen struktur sehingga kemampuannya dalam menahan beban akan berkurang. Setelah beban mengalami penurunan secara tiba-tiba, maka selanjutnya beban akan meningkat secara perlahan karena secara keseluruhan struktur masih mampu menahan beban walaupun besarnya tidak sama seperti sebelum mengalami kerusakan.

Dari keempat grafik yang sudah dipaparkan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa terdapat keterkaitan antara grafik hubungan beban dan perpindahan satu variasi benda uji dengan variasi benda uji yang lain. Keterkaitan antar keempat grafik hubungan beban dan perpindahan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Rekapitulasi grafik hubungan beban dan perpindahan semua variasi benda uji

Gambar 4.5 menunjukkan adanya keterkaitan grafik hubungan beban dan perpindahan untuk seluruh variasi benda uji. Berdasarkan hasil pengujian, portal dengan panel dinding penuh memiliki kekuatan struktur yang lebih besar daripada portal tanpa panel dinding. Selain itu, portal dengan bukaan yang besar memiliki kekuatan struktur yang lebih kecil daripada portal dengan bukaan yang kecil. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa adanya panel dinding pada struktur portal dapat meningkatkan kekuatan lateral suatu struktur. Kesimpulan tersebut diperkuat dengan data hasil penelitian pembebanan monotonik berupa beban maksimum setiap benda uji yang ditabulasikan pada tabel berikut.

Tabel 4.1  
Perbandingan Perpindahan ( $\Delta$ ) Setiap Benda Uji pada Saat Mencapai Beban (P) Maksimum.

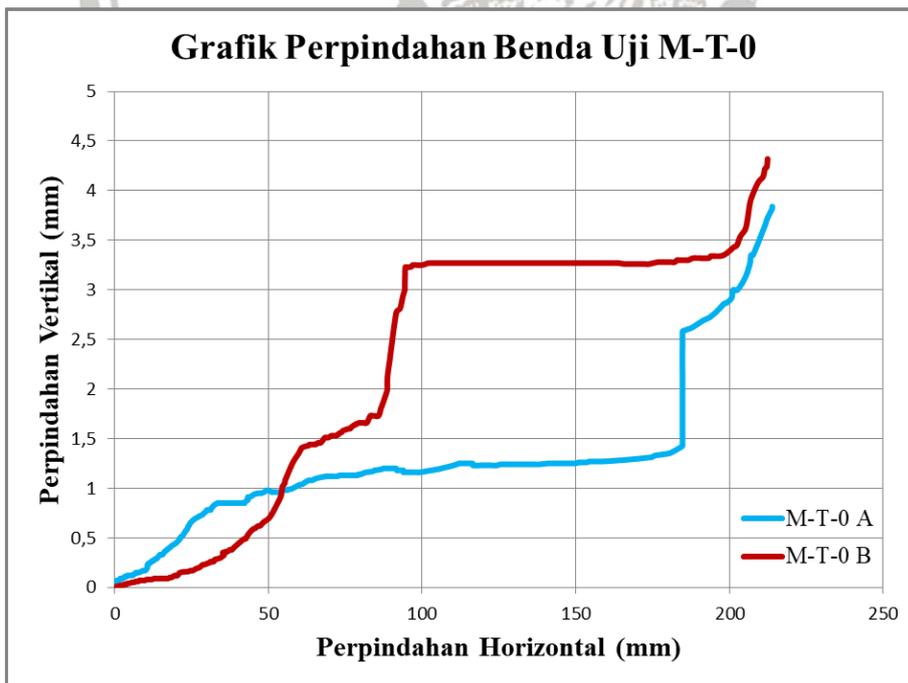
Benda Uji		P maks	$\Delta$ pada saat P maks
		Kg	mm
M-T-0	A	58	46,96
	B	53	61,02
M-T-25	A	41	102,79
	B	34,5	102,23
M-T-50	A	33	130,42
	B	28	94,66
M-100	A	18,41	248,88
	B	18,8	259,51

Berdasarkan tabel 4.1, benda uji M-T-25 memiliki kapasitas beban maksimum yang lebih besar dengan perpindahan yang kecil bila dibandingkan dengan benda uji M-T-50. Besar kapasitas beban maksimum dan perpindahan yang dimiliki benda uji M-T-25 dan M-T-50 menunjukkan bahwa semakin kecil bukaan pada panel dinding, maka semakin besar kapasitas beban lateral maksimum. Hal tersebut disebabkan karena luasan panel dinding mempengaruhi distribusi gaya yang diterima oleh struktur, semakin luas permukaan panel dinding maka semakin besar kemampuan panel dinding tersebut menahan bahan secara keseluruhan.

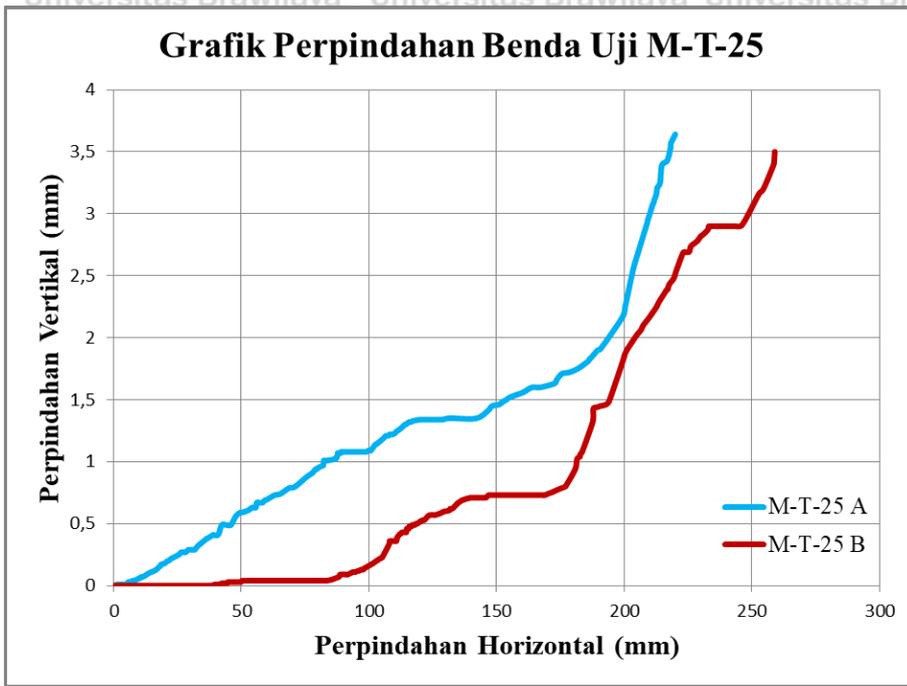
Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa perpindahan yang terjadi pada benda uji M-T-0 pada saat mencapai beban maksimum merupakan perpindahan paling kecil. Sementara itu, beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji M-T-0 merupakan beban maksimum yang paling besar. Besar kapasitas beban maksimum dan perpindahan yang dimiliki benda uji M-T-0 menandakan bahwa adanya panel dinding mampu meningkatkan kapasitas

beban maksimum struktur portal. Peningkatan kapasitas beban maksimum pada benda uji M-T-0 disebabkan karena beban yang diberikan pada struktur ditahan oleh panel dindingnya terlebih dahulu sebelum akhirnya didistribusikan ke struktur portalnya ketika panel dinding mengalami kerusakan. Selain pengaruh adanya panel dinding pada struktur portal, kekuatan struktur portal juga dipengaruhi oleh kekuatan sambungan sekrup dan baut pada sambungan panel dinding dengan kolom portal, sambungan kolom portal dengan pondasi, maupun sambungan antar balok dan kolomnya.

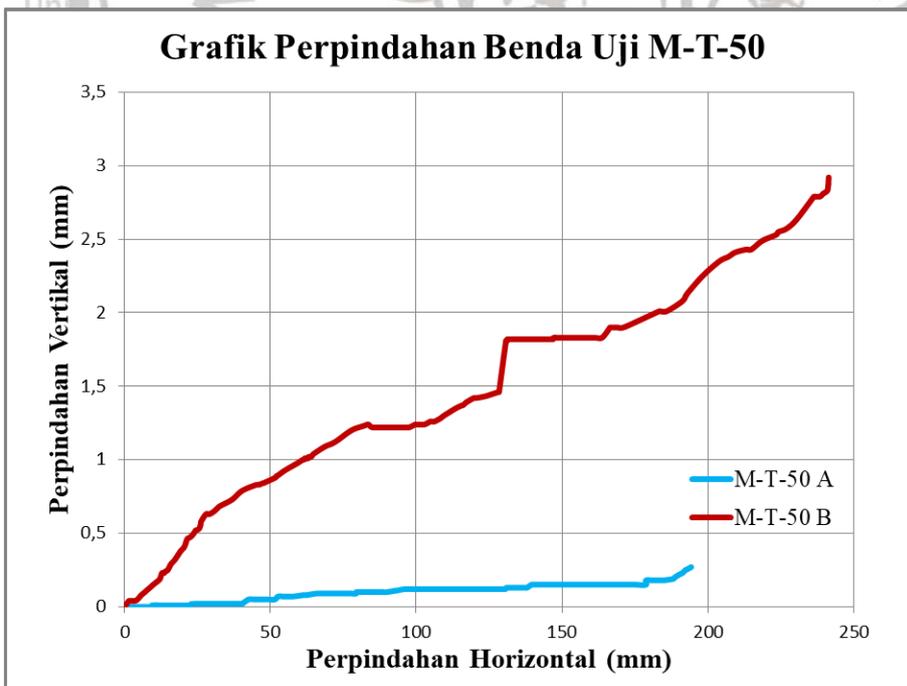
Pada saat pengujian di laboratorium dilakukan juga pengukuran perpindahan vertikal yang ditujukan untuk mengetahui respon perilaku struktur portal dengan panel dinding pada bagian pondasinya akibat pemberian beban monotonik. Pengukuran perpindahan vertikal ini dilakukan dengan memasang LVDT vertikal pada bagian pondasi sebelah kiri benda uji karena pemberian beban dilakukan dari sebelah kiri benda uji. Selanjutnya nilai perpindahan vertikal yang didapat dari hasil pengujian akan dibandingkan dengan besar perpindahan horizontal yang dialami setiap benda uji. Berikut grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal dari masing-masing benda uji.



Gambar 4.6 Grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal benda uji M-T-0



Gambar 4.7 Grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal benda uji M-T-25

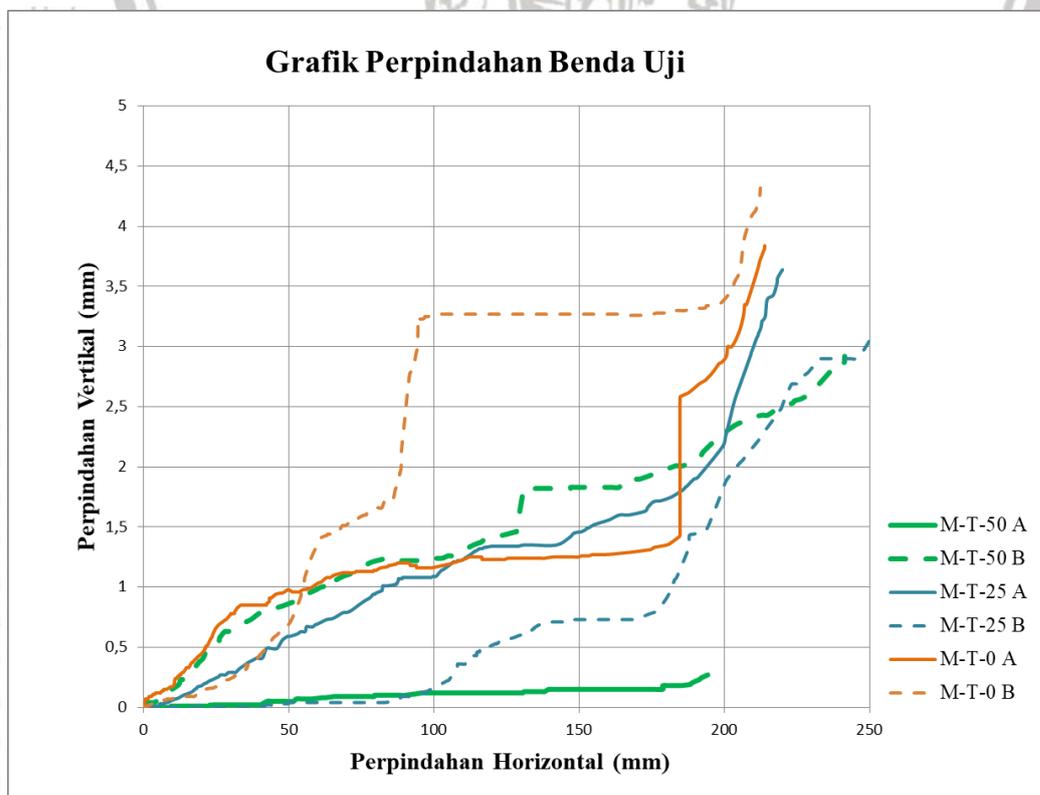


Gambar 4.8 Grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal benda uji M-T-50

Berdasarkan grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal pada Gambar 4.6, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pola grafik benda uji dengan variasi yang sama memiliki trend yang sama. Trend yang sama tersebut didapat dengan membandingkan grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal dengan perpindahan pada saat benda uji mencapai P maksimum pada tabel 4.1. Dari perbandingan kedua data tersebut didapatkan hasil bahwa grafik perpindahan horizontal dan vertikal pada benda uji

akan cenderung naik sebelum mengalami perpindahan horizontal saat mencapai P maksimum. Hal tersebut menandakan bahwa perpindahan vertikal yang dialami oleh pondasi benda uji terus meningkat secara signifikan sebelum panel dinding pada struktur portal mengalami kerusakan setelah mencapai kapasitas beban maksimumnya. Perpindahan vertikal yang terus meningkat tersebut disebabkan karena beban lateral yang diberikan dan mampu ditahan oleh struktur masih besar karena panel dindingnya belum mengalami kerusakan, sehingga keberadaan panel dinding masih mempengaruhi kekuatan struktur secara keseluruhan. Setelah mencapai perpindahan horizontal pada saat P maksimum, grafik akan relatif konstan lalu nantinya akan terjadi kenaikan lagi. Grafik yang cenderung konstan tersebut menunjukkan bahwa setelah panel dinding mencapai P maksimum dan mengalami kerusakan, keberadaan panel dinding sudah tidak mempengaruhi kekuatan strukturnya lagi. Hal tersebut menyebabkan beban lateral yang mampu ditahan oleh struktur akan menurun, sehingga perpindahan vertikal pada pondasi tidak lagi mengalami peningkatan.

Dari *Gambar 4.6*, *Gambar 4.7* dan *Gambar 4.8* menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan antara grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal satu variasi benda uji dengan variasi benda uji yang lain. Keterkaitan antar ketiga grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut ini.



*Gambar 4.9* Rekapitulasi grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal semua variasi benda uji

Gambar 4.9 menunjukkan adanya keterkaitan grafik hubungan perpindahan horizontal dan vertikal untuk semua variasi benda uji dengan panel dinding. Berdasarkan pengamatan pada gambar 4.9, benda uji dengan bukaan panel dinding yang lebih kecil akan mengalami perpindahan vertikal yang lebih besar. Selain itu juga didapat kesimpulan bahwa benda uji dengan variasi yang sama memiliki perpindahan vertikal total yang hampir sama atau mendekati. Besar perpindahan vertikal pada masing-masing benda uji dengan panel dinding tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.2  
Perpindahan Vertikal Benda Uji dengan Panel Dinding

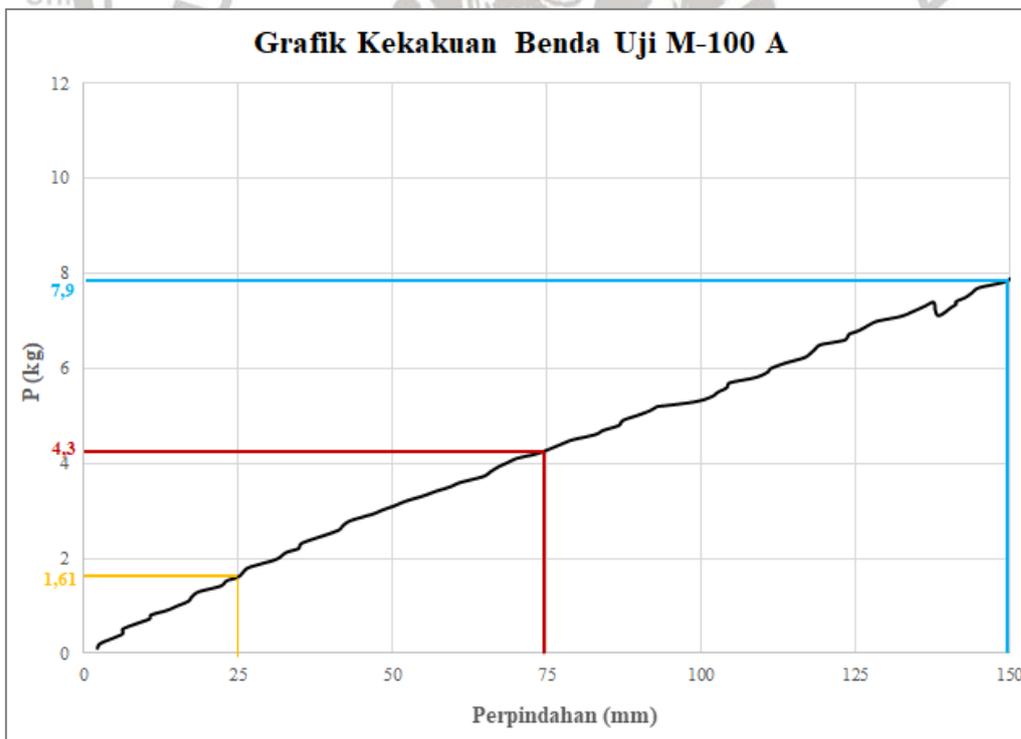
Benda Uji	Perpindahan Vertikal (mm)	Perpindahan Vertikal Rata-rata (mm)
M-T-0 A	3,84	4,08
M-T-0 B	4,32	
M-T-25 A	3,64	3,57
M-T-25 B	3,5	
M-T-50 A	0,27	1,60
M-T-50 B	2,92	

Berdasarkan tabel 4.2 dapat dilihat bahwa besar perpindahan vertikal yang hampir sama dimiliki oleh variasi benda uji M-T-0 dan M-T-25. Nilai perpindahan vertikal yang sama pada benda uji dengan variasi yang sama tersebut menunjukkan bahwa kemampuan dan kekuatan benda uji dengan variasi yang sama dalam menahan beban lateral juga hampir sama. Namun terjadi perbedaan nilai perpindahan vertikal yang cukup jauh pada benda uji M-T-50 A dan M-T-50 B, hal ini disebabkan karena keterbatasan alat *LVDT* vertikal sehingga menimbulkan terjadinya *error* pada pembacaan perpindahan vertikal pada saat pengujian.

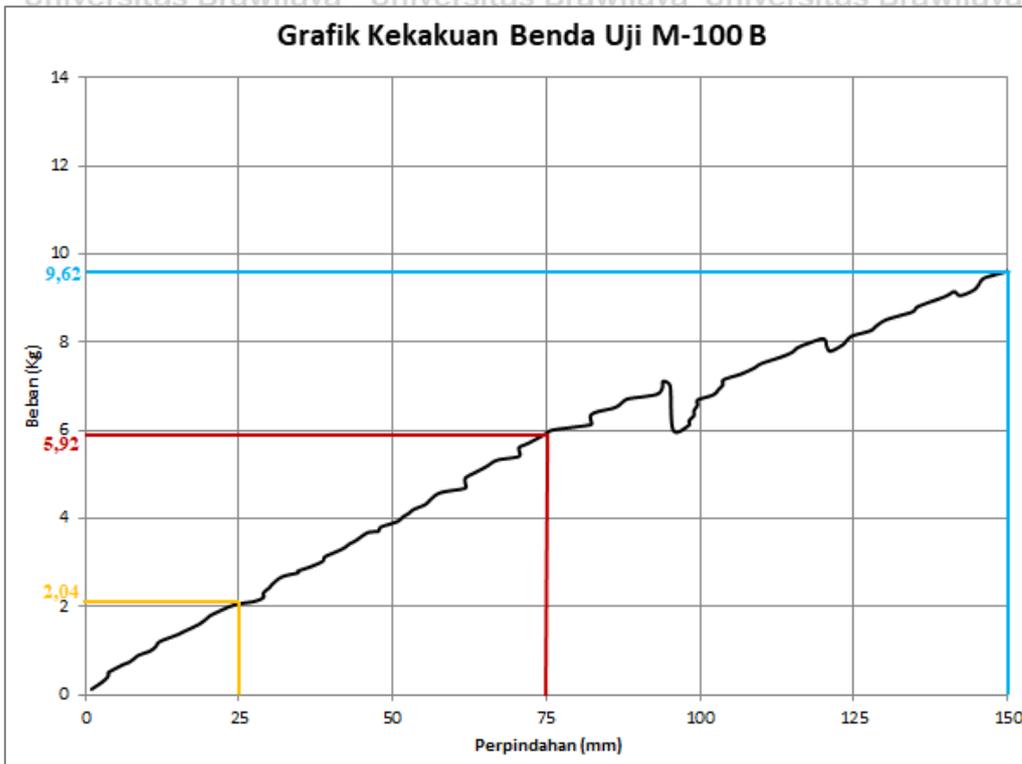
Berdasarkan pengamatan besar *P* maksimum setiap benda uji pada tabel 4.1 dan perpindahan vertikal yang dialami setiap benda uji pada tabel 4.2 didapatkan hasil bahwa semakin kecil bukaan pada panel dinding maka semakin besar kapasitas beban maksimumnya, sehingga perpindahan vertikal yang dialami oleh benda uji tersebut juga akan semakin besar. Perbedaan nilai perpindahan vertikal yang dialami setiap benda uji tersebut dipengaruhi oleh besarnya kapasitas beban lateral maksimum yang dimiliki oleh benda uji.

#### 4.1.2 Analisis Kekakuan

Kekakuan merupakan kemampuan yang dimiliki suatu material dalam menerima beban tanpa menyebabkan material tersebut mengalami deformasi yang besar. Pada penelitian ini, nilai kekakuan dari benda uji didapatkan dengan perhitungan metode *secant stiffness* dan *tangent stiffness*. Namun untuk benda uji tanpa panel dinding, yaitu benda uji M-100 A dan M-100 B, nilai kekakuannya tidak dianalisis dengan metode *secant stiffness* ataupun *tangent stiffness*. Hal ini dikarenakan pengujian tidak dilakukan hingga mencapai kapasitas beban maksimum dari kedua benda uji tersebut karena faktor keterbatasan alat, sehingga grafik hubungan beban dan perpindahan yang didapat memiliki trend mendekati garis linear. Oleh karena itu, nilai kekakuan dari benda uji M-100 A dan M-100 B diperoleh dengan membagi beban dan perpindahan pada saat benda uji mengalami perpindahan sebesar 25 mm, 75 mm, dan 150 mm. Dari ketiga nilai kekakuan tersebut kemudian dihitung rata-ratanya sehingga diperoleh nilai kekakuan rata-rata untuk setiap benda uji. Berikut grafik kekakuan untuk benda uji M-100 A dan M-100 B.



Gambar 4.10 Grafik kekakuan benda uji M-100 A



Gambar 4.11 Grafik kekakuan benda uji M-100 B

Tabel 4.3 Hasil Pengolahan Data Kekakuan Rata-Rata M-100 A dan M-100 B

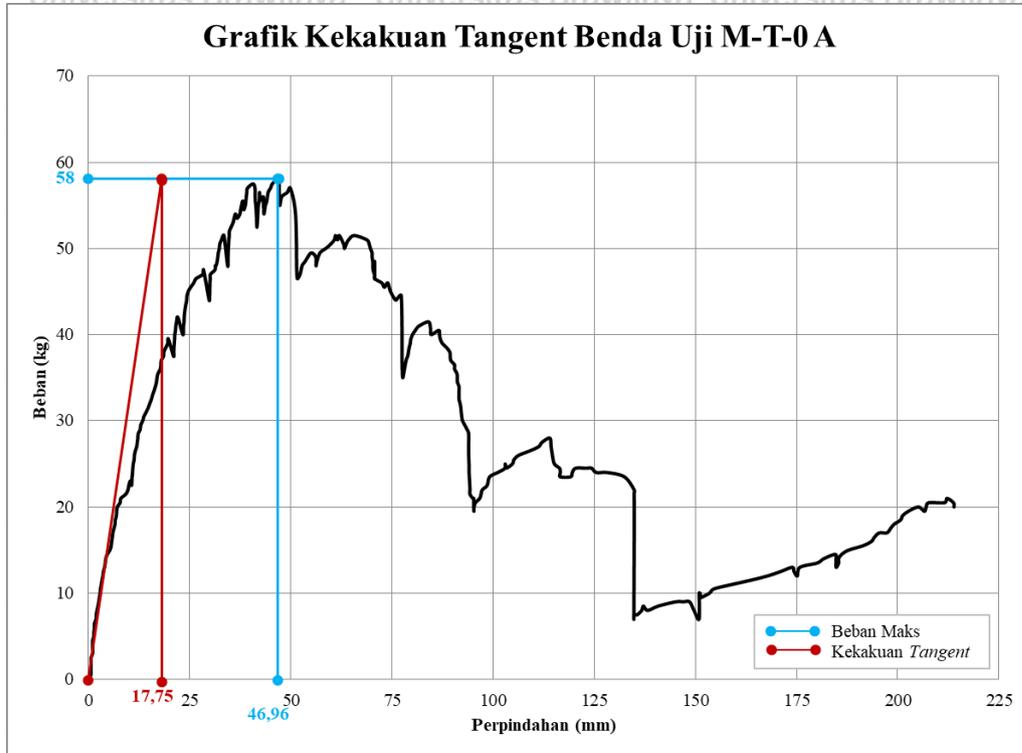
Benda Uji	Kekakuan ( Kg/mm)			Kekakuan Rata-rata (Kg/mm)
	$\Delta$ 25 mm	$\Delta$ 75 mm	$\Delta$ 150 mm	
M-100 A	0,064	0,057	0,053	0,058
M-100 B	0,082	0,079	0,064	0,075

Dari hasil perhitungan tabel 4.3, dapat dilihat bahwa nilai kekakuan dari benda uji M-100 A dan M-100 B tidak jauh berbeda, baik nilai kekakuan pada saat perpindahan tertentu maupun nilai kekakuan rata-rata. Benda uji M-100 A memiliki nilai kekakuan rata-rata sebesar 0,058 Kg/mm, sedangkan benda uji M-100 B memiliki nilai kekakuan rata-rata sebesar 0,075 Kg/mm. Perbedaan yang tidak terlalu jauh tersebut menandakan bahwa kekuatan dari kedua struktur tersebut, mulai dari sambungan balok-kolom hingga sambungan kolom-pondasi hampir sama.

#### 4.1.2.1. Kekakuan Metode *Tangent*

Hasil dari analisis kekakuan *tangent* menggambarkan nilai kekakuan struktur pada saat struktur tersebut belum mengalami kerusakan apapun saat menerima pembebanan atau bisa dikatakan masih dalam kondisi yang bagus. Nilai kekakuan *tangent* didapatkan

dengan menarik garis linear melewati titik (0,0) dan menyinggung lengkung pertama dari grafik hubungan beban dan perpindahan. Berikut contoh perhitungan kekakuan dengan metode *tangent* untuk benda uji M-T-0 A.



Gambar 4.12 Grafik kekakuan *tangent* benda uji M-T-0 A

Tabel 4.4 Hasil Pengolahan Data Kekakuan *Tangent*

Benda Uji	Beban Kg	Perpindahan mm	Kekakuan <i>Tangent</i> kg/mm	Kekakuan Rata-rata kg/mm
M-100 A				0,058
M-100 B				0,075
M-T-50 A	33	34,94	0,944	1,083
M-T-50 B	28	22,92	1,222	
M-T-25 A	41	34,7	1,182	1,149
M-T-25 B	34,5	30,91	1,116	
M-T-0 A	58	17,75	3,268	3,281
M-T-0 B	53	16,09	3,294	

Dari perhitungan tabel 4.4, dapat dilihat bahwa nilai kekakuan untuk setiap benda uji dengan perhitungan metode *tangent* yang paling besar dimiliki oleh benda uji M-T-0 B, yaitu sebesar 3,294 Kg/mm. Apabila dilihat dari nilai kekakuan rata-ratanya, benda uji M-

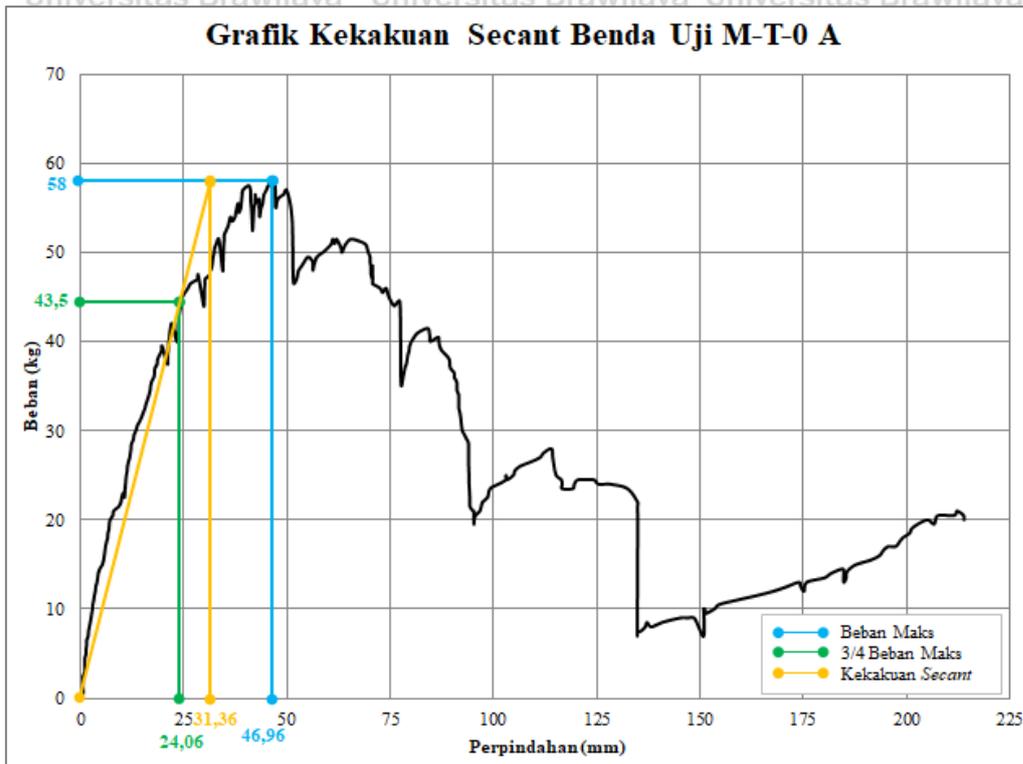
T-0 memiliki nilai kekakuan yang paling besar yaitu 3,281 Kg/mm. Sedangkan nilai kekakuan rata-rata yang paling kecil dimiliki oleh benda uji M-100, yaitu sebesar 0,067 Kg/mm. Selain itu, nilai kekakuan *tangent* rata-rata yang dimiliki benda uji M-T-25 lebih besar dari benda uji M-T-50 dengan nilai kekakuan berturut-turut sebesar 1,149 Kg/mm dan 1,083 Kg/mm.

Berdasarkan nilai kekakuan rata-rata untuk seluruh benda uji yang sudah disebutkan, menunjukkan bahwa benda uji dengan bukaan panel dinding yang kecil memiliki kekakuan yang lebih besar apabila dibandingkan dengan benda uji dengan bukaan panel dinding yang besar. Perbedaan nilai kekakuan tersebut disebabkan karena besaran luasan panel dinding dapat mempengaruhi distribusi beban lateral yang diberikan pada struktur portal. Semakin luas panel dinding pada struktur portal, maka akan semakin besar kemampuan struktur tersebut menahan beban dengan deformasi yang kecil sehingga didapatkan nilai kekakuan yang lebih besar pula.

Selain itu, dari tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa benda uji dengan panel dinding memiliki kekakuan yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan benda uji tanpa panel dinding. Peningkatan kekakuan pada benda uji berpanel dinding tersebut disebabkan karena keberadaan panel dinding mampu menahan beban lateral yang diterima struktur lebih dulu sebelum beban tersebut diterima oleh struktur portalnya. Setelah beban lateral diterima oleh panel dinding, selanjutnya beban tersebut didistribusikan ke seluruh permukaan panel dinding sampai panel dinding mencapai batas beban maksimumnya dan akhirnya mengalami kerusakan. Setelah panel dinding rusak, beban lateral yang bekerja pada struktur diterima sepenuhnya oleh portal. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa adanya panel dinding pada struktur portal mampu memberikan tambahan kekuatan pada struktur portal dalam menahan beban lateral dengan deformasi yang kecil, sehingga didapatkan nilai kekakuan yang besar.

#### 4.1.2.2. Kekakuan Metode *Secant*

Hasil dari analisis kekakuan *secant* menggambarkan perilaku leleh dari benda uji sesungguhnya dikarenakan perhitungannya berdasarkan beban leleh materialnya. Nilai kekakuan didapatkan dengan membagi besar beban dengan perpindahan yang terjadi pada saat kondisi leleh. Kondisi leleh tersebut didapat dengan pendekatan sebesar 75% dari beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Berikut contoh perhitungan kekakuan dengan metode *secant* untuk benda uji M-T-0 A.



Gambar 4.13 Grafik kekakuan secant benda uji M-T-0 A

Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Data Kekakuan Secant

Benda Uji	Beban	Perpindahan	Kekakuan Secant	Kekakuan Rata-rata
	Kg	mm	kg/mm	kg/mm
M-100 A				0,058
M-100 B				0,075
M-T-50 A	33	111,92	0,295	0,457
M-T-50 B	28	45,29	0,618	
M-T-25 A	41	68,09	0,602	0,524
M-T-25 B	34,5	77,47	0,445	
M-T-0 A	58	31,36	1,849	1,584
M-T-0 B	53	40,22	1,318	

Dari perhitungan tabel 4.5, dapat dilihat bahwa nilai kekakuan untuk setiap benda uji dengan perhitungan metode *secant* yang paling besar dimiliki oleh benda uji M-T-0 A, yaitu sebesar 1,849 Kg/mm. Kesimpulan hasil perhitungan nilai kekakuan dengan metode *secant* dan metode *tangent* memiliki kesamaan, yaitu benda uji dengan panel dinding memiliki kekakuan yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan benda uji tanpa panel dinding. Apabila dilihat dari nilai kekakuan rata-ratanya, benda uji M-T-0 memiliki nilai kekakuan yang paling besar yaitu 1,584 Kg/mm, sedangkan nilai kekakuan rata-rata yang paling kecil dimiliki oleh benda uji M-100, yaitu sebesar 0,067 Kg/mm. Perbedaan nilai

kekakuan yang signifikan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan panel dinding pada struktur portal mampu meningkatkan kekakuan struktur secara keseluruhan. Hal ini disebabkan karena keberadaan panel dinding mampu menahan beban lateral yang diterima struktur lebih dulu sebelum beban tersebut diterima oleh struktur portalnya. Setelah beban lateral diterima oleh panel dinding, selanjutnya beban tersebut didistribusikan ke seluruh permukaan panel dinding sampai panel dinding mencapai batas beban maksimumnya dan akhirnya mengalami kerusakan. Setelah panel dinding rusak, beban lateral yang bekerja pada struktur diterima sepenuhnya oleh portal.

Selain itu dari perhitungan tabel 4.5 didapatkan nilai kekakuan *secant* rata-rata yang dimiliki benda uji M-T-25 lebih besar dari benda uji M-T-50 dengan nilai kekakuan berturut-turut sebesar 0,524 Kg/mm dan 0,457 Kg/mm. Dari kedua nilai kekakuan rata-rata dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan kekuatan dari portal dengan bukaan 50% ke portal dengan bukaan 25% meskipun tidak signifikan, namun tetap perlu dilakukan cek ulang pada nilai kekakuan setiap benda ujinya karena beberapa nilai kekakuan setiap benda uji ada yang lebih besar dari seharusnya. Seperti yang bisa dilihat pada nilai kekakuan benda uji M-T-50 B yaitu sebesar 0,618 Kg/mm, nilai kekakuan tersebut lebih besar dari nilai kekakuan yang dimiliki benda uji M-T-25 A dan M-T-25 B.

Tabel 4.6  
Hasil Pengolahan Data Kekakuan

Benda Uji	Kekakuan			
	<i>Tangent</i>	Rata-rata	<i>Secant</i>	Rata-rata
	Kg/mm	Kg/mm	Kg/mm	Kg/mm
M-100 A		0,067		0,067
M-100 B				
M-T-50 A	0,944	1,083	0,295	0,457
M-T-50 B	1,222		0,618	
M-T-25 A	1,182	1,149	0,602	0,524
M-T-25 B	1,116		0,445	
M-T-0 A	3,268	3,281	1,849	1,584
M-T-0 B	3,294		1,318	

Berdasarkan hasil pengolahan data pada tabel 4.6, didapatkan nilai kekakuan rata-rata untuk benda uji M-100 sebesar 0,067 Kg/mm. Benda uji M-T-50 memiliki kekakuan *tangent* sebesar 0,944 Kg/mm dan kekakuan *secant* sebesar 0,457 Kg/mm. Benda uji M-T-25 memiliki kekakuan *tangent* sebesar 1,149 Kg/mm dan kekakuan *secant* sebesar

0,524 Kg/mm. Sedangkan untuk benda uji M-T-0 memiliki kekakuan *tangent* sebesar 0,944 Kg/mm dan kekakuan *secant* sebesar 0,457 Kg/mm. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kekakuan *tangent* dan *secant* yang terbesar dimiliki oleh benda uji M-T-0, selain itu benda uji M-T-25 juga memiliki kekakuan *tangent* dan *secant* yang lebih besar daripada M-T-50.

Hasil kekakuan metode *tangent* dan metode *secant* memiliki hasil yang cukup jauh dengan nilai kekakuan *tangent* hampir dua kali lebih besar dari kekakuan *secant*. Perbedaan nilai kekakuan yang cukup jauh disebabkan karena kedua nilai kekakuan tersebut menggambarkan dua keadaan yang berbeda pada struktur. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai kekakuan *tangent* menggambarkan nilai kekakuan struktur pada saat struktur tersebut belum mengalami kerusakan apapun saat menerima pembebanan atau bisa dikatakan masih dalam kondisi yang bagus. Sedangkan nilai kekakuan *secant* menggambarkan perilaku leleh dari benda uji sesungguhnya dikarenakan perhitungannya berdasarkan beban leleh materialnya.

## 4.2 Kegagalan Struktur pada Benda Uji

Pada penelitian ini, benda uji yang berjumlah 8 (delapan) dengan 4 (empat) macam variasi pada bukaan panel dindingnya diuji menggunakan pembebanan monotonik untuk mengetahui perilaku panel dinding pada struktur portal. Selama pemberian beban berlangsung, terjadi beberapa kegagalan struktur pada setiap benda ujinya. Setidaknya terdapat 3 (tiga) jenis kegagalan struktur yang diamati yaitu sebagai berikut.

### 4.2.1 Kegagalan pada sambungan

Kegagalan sambungan terjadi pada *screw* panel dinding dan baut pada sambungan balok dan kolom. Kegagalan yang terjadi meliputi kegagalan cabut dan jungkit pada *screw* maupun baut. Kegagalan jungkit terjadi karena adanya gerakan pergeseran antara panel dinding dan canai dingin, sehingga *screw* maupun baut harus menahan gaya tarik. Apabila beban terus bertambah, maka kegagalan tersebut akan menjadi kegagalan cabut pada *screw* dan baut. Semua benda uji dengan variasi bukaan pada panel dindingnya mengalami kegagalan jungkit hingga kegagalan cabut pada *screw*. Sementara itu, kegagalan sambungan baut pada sambungan balok kolom terjadi pada semua benda uji baik yang menggunakan panel dinding maupun tidak.

Kegagalan cabut pada *screw* sambungan panel dinding yang terjadi secara tiba-tiba mengakibatkan terjadinya penurunan yang cukup signifikan pada kapasitas beban yang

mampu ditahan oleh benda uji, walaupun nantinya kapasitas beban dari setiap benda uji tersebut akan mengalami peningkatan kembali secara perlahan. Benda uji dengan panel dinding akan mengalami kegagalan cabut screw setelah menerima beban dengan besaran yang berbeda untuk setiap benda ujinya.

Tabel 4.7  
Perbandingan Beban pada Saat Benda Uji Mengalami Kegagalan Cabut pada *Screw*

Benda Uji	Beban (Kg)
M-T-50 A	29
M-T-50 B	28
M-T-25 A	41
M-T-25 B	33
M-T-0 A	56
M-T-0 B	53

Dari tabel 4.7 didapatkan besaran beban yang mampu ditahan setiap benda uji hingga akhirnya mengalami kegagalan struktur yang pertama kali yaitu berupa kegagalan cabut pada screw sambungan panel dinding. Besar beban yang menyebabkan kegagalan struktur pada benda uji M-T-0 A merupakan beban yang paling besar dari benda uji M-T-50 dan M-T-25, yaitu sebesar 56 kg. Perbedaan yang cukup signifikan pada nilai beban yang menyebabkan benda uji mengalami kegagalan pertama kali tersebut menandakan bahwa besaran luasan panel dinding yang digunakan pada benda uji akan menunda terjadinya kegagalan struktur. Semakin besar luasan panel dinding yang digunakan maka akan semakin besar pula kemampuannya dalam menahan beban lateral. Selain pengaruh luasan panel dinding pada struktur portal, kegagalan pada benda uji juga dipengaruhi oleh kekuatan sambungan sekrupnya sendiri.



(a)



(b)

Gambar 4.14 Kegagalan sambungan *screw* pada panel dinding: (a) Kegagalan jungkit dan (b) Kegagalan cabut.



Gambar 4.15 Kegagalan sambungan baut pada balok kolom.

#### 4.2.2 Sobek pada panel dinding di bagian sambungan

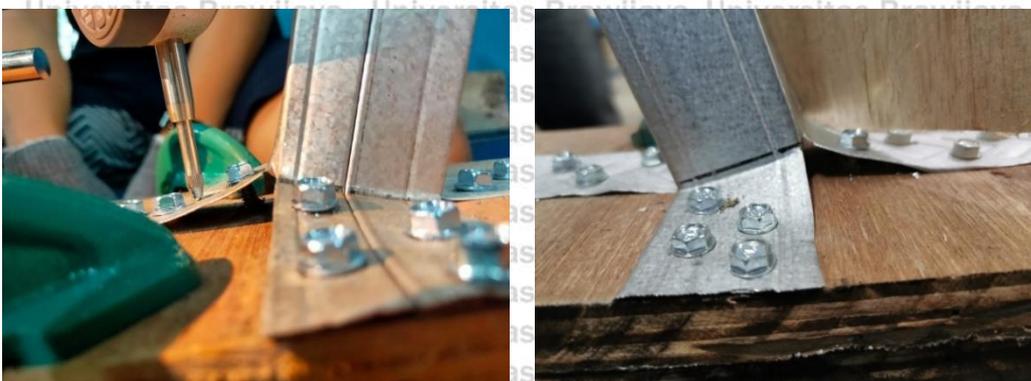
Penambahan beban secara terus menerus mengakibatkan terjadinya sobek pada panel dinding di bagian sambungannya dengan kolom portal. Hal ini disebabkan karena *screw* menahan gaya geser yang sangat besar, sementara panel dinding tidak memiliki kekuatan geser yang cukup besar sehingga terjadilah sobek pada panel dinding. Sobek pada panel dinding tersebut tidak terjadi pada seluruh sambungan, melainkan hanya beberapa bagian saja. Semua benda uji dengan panel dinding dan variasi bukaan mengalami sobek pada panel dindingnya di beberapa bagian sambungan.



Gambar 4.16 Kegagalan sobek pada panel dinding di bagian sambungan.

#### 4.2.3 Kegagalan pada pondasi

Pada saat pengujian berlangsung, beberapa benda uji mengalami kegagalan pada pondasi. Kegagalan pondasi ini terjadi setelah panel dinding mengalami kerusakan, yaitu tercabutnya sambungan *screw* pada panel dinding ataupun terjadinya sobek pada panel dinding di bagian sambungannya. Kerusakan pada panel dinding tersebut menyebabkan panel dinding tidak mampu lagi menahan beban lateral yang masih bekerja sehingga beban sepenuhnya diterima oleh portal. Beban lateral yang terus bekerja pada struktur portal tersebut menyebabkan *screw* yang menghubungkan kolom dan alas multiplek tidak mampu menahan beban sehingga *screw* mengalami kegagalan jungkit hingga cabut. Kegagalan pada pondasi ini ditandai dengan terangkatnya kolom portal dari pondai alas papan multiplek. Semua benda uji portal baik yang menggunakan panel dinding maupun tidak, mengalami kegagalan pada pondasi.



Gambar 4.17 Screw mengalami kegagalan cabut pada bagian pondasi.

### 4.3 Distribusi Momen pada Benda Uji

Pada penelitian ini distribusi momen pada setiap benda uji dihitung secara teoritis menggunakan aplikasi SAP2000. Perhitungan distribusi momen menggunakan SAP2000 ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon perilaku struktur portal akibat pemberian beban monotonik. Data yang didapat dari pengolahan data pada aplikasi SAP2000 dapat dijadikan referensi tambahan untuk menguatkan data hasil penelitian di laboratorium. Terdapat 2 (dua) macam besaran pemberian beban yang diinput pada pemodelan portal di SAP2000, yaitu sebagai berikut.

- Seluruh benda uji diberikan beban dengan besar yang berbeda menyesuaikan dengan beban (P) maksimum dari masing-masing variasi benda uji.

Tabel 4.8

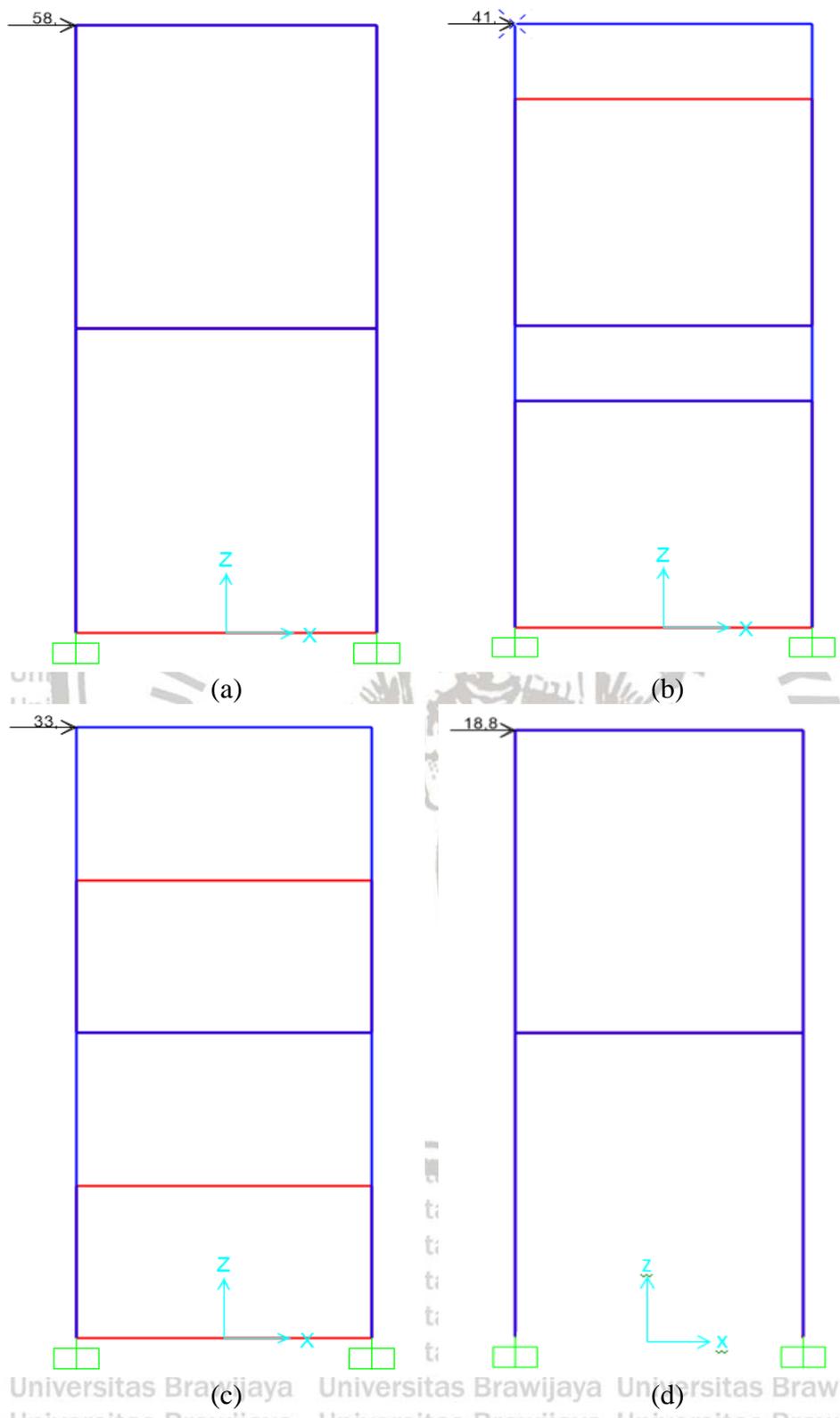
Beban Maksimum Tiap Variasi Benda Uji

Benda Uji	Beban Maksimum (Kg)
M-T-0	58
M-T-25	41
M-T-50	33
M-100	18,8

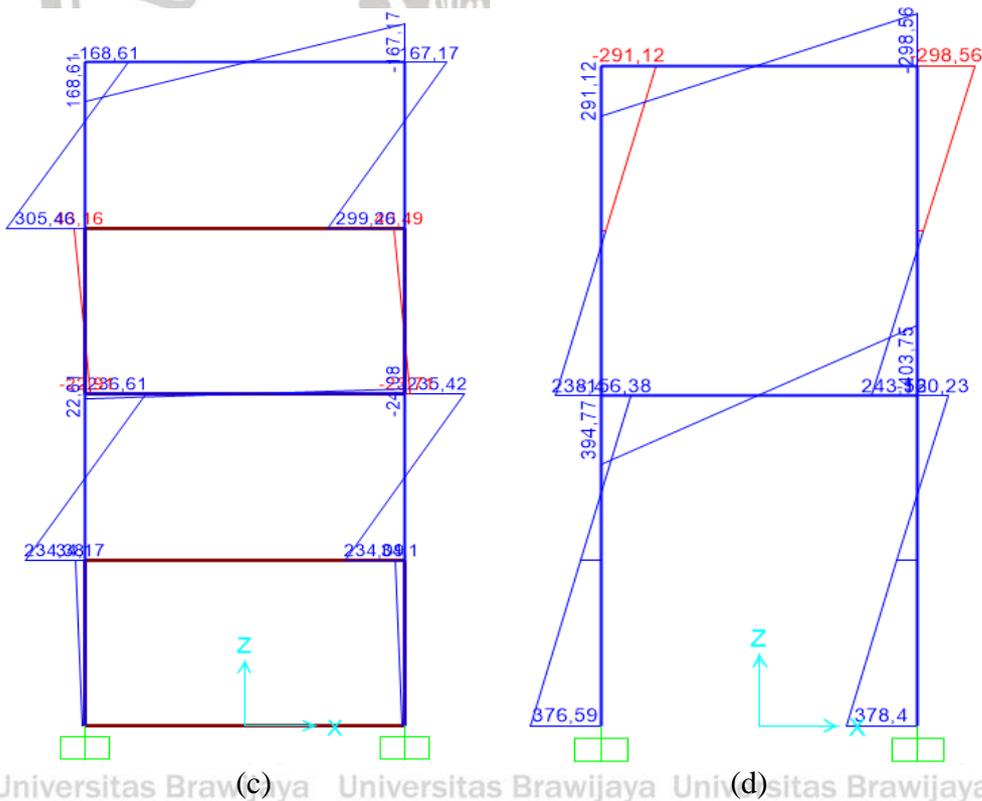
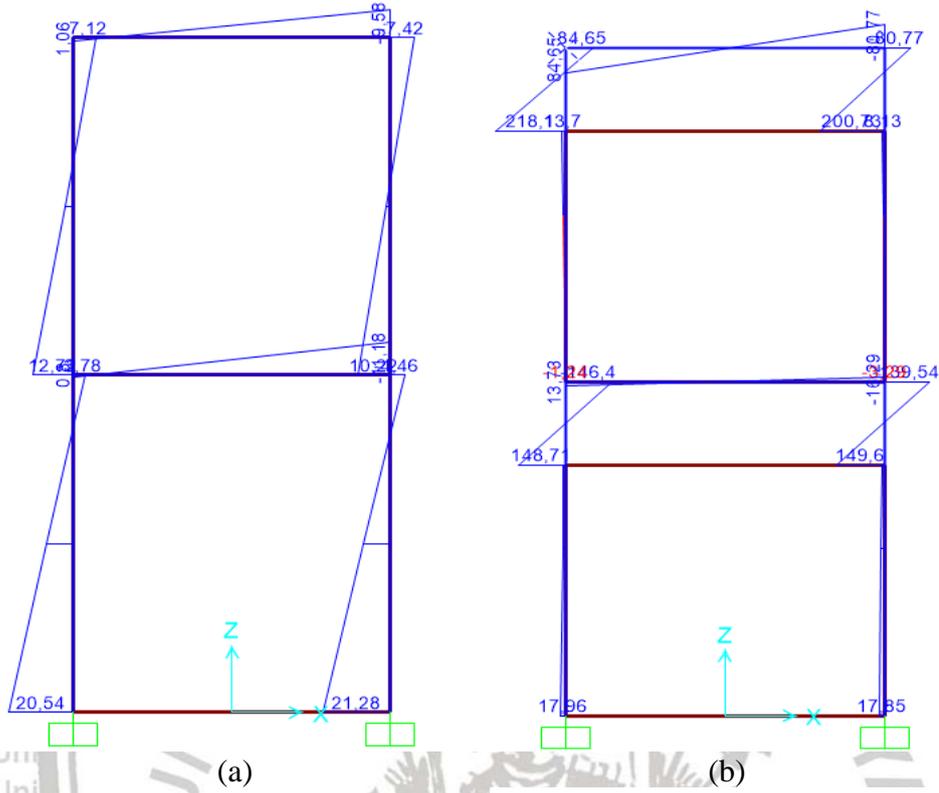
- Seluruh benda uji diberikan beban dengan besar yang sama menyesuaikan dengan beban (P) maksimum yang paling kecil dari semua variasi benda uji, yaitu sebesar 18,8 Kg yang dimiliki oleh benda uji M-100.

Pemberian 2 (dua) macam besaran beban pada benda uji dilakukan untuk mengetahui lebih jelas dan detail mengenai perbandingan respon perilaku struktur antara benda uji yang satu dengan yang lain ketika diberikan beban sesuai kapasitas beban maksimumnya masing-masing maupun ketika diberikan beban yang besarnya sama.

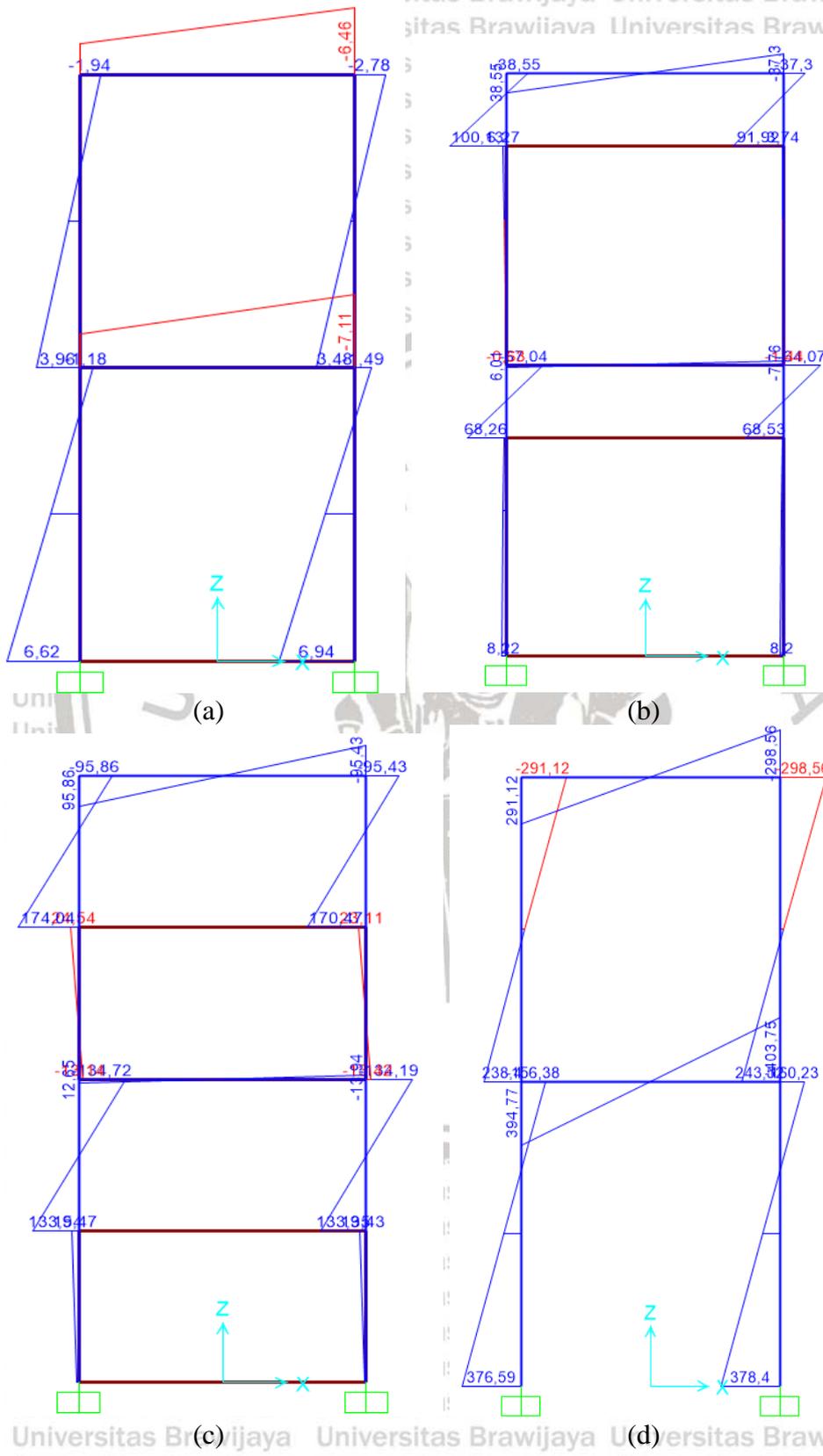
Pemodelan struktur portal di SAP2000 disesuaikan dengan kondisi asli benda uji pada saat pengujian, mulai dari karakteristik material baja canai dingin dan material panel dinding, ukuran dimensi baja untuk balok dan kolom, ukuran dimensi panel dinding, jenis tumpuan struktur, hingga pembebanan yang diberikan pada struktur.



Gambar 4.18 Pemodelan portal pada SAP2000: (a) M-T-0; (b) M-T-25; (c) M-T-50; dan (d) M-100.



Gambar 4.19 Distribusi momen pada SAP2000 dengan beban (P) maksimum yang berbeda pada setiap benda uji: (a) M-T-0; (b) M-T-25; (c) M-T-50; dan (d) M-100.



Gambar 4.20 Distribusi momen pada SAP2000 dengan beban (P) yang sama sebesar 18,8 Kg : (a) M-T-0; (b) M-T-25; (c) M-T-50; dan (d) M-100.



Hasil perhitungan distribusi momen menggunakan aplikasi SAP2000 ditinjau berdasarkan dua elemen strukturnya, yaitu balok dan kolom. Penomoran tiap titik pada balok dan kolom untuk setiap benda uji adalah sebagai berikut.



Gambar 4.21 Penomoran titik buhul pada struktur portal: (a) balok, dan (b) kolom.

Berdasarkan analisis distribusi momen pada aplikasi SAP2000, didapatkan besaran momen pada balok untuk masing-masing variasi benda uji yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.9  
Distribusi Momen Pada Balok dengan Pembebanan Sebesar P Maksimum Tiap Benda Uji.

Benda Uji	Momen Tiap Titik Buhul pada Balok (Kgcm)			
	A	B	C	D
M-T-0	1,06	9,58	0,8	11,18
M-T-25	84,65	80,77	13,73	16,29
M-T-50	168,61	167,17	22,61	24,08
M-100	291,12	29856	394,77	403,75

Tabel 4.10  
Distribusi Momen Pada Balok dengan Pembebanan Sebesar 18,8 Kg untuk Semua Benda Uji.

Benda Uji	Momen Tiap Titik Buhul pada Balok (Kgcm)			
	A	B	C	D
M-T-0	3,01	6,46	3,23	7,11
M-T-25	38,55	37,3	6,01	7,76
M-T-50	95,86	95,43	12,65	13,94
M-100	291,12	298,56	394,77	403,75

Tabel 4.9 menunjukkan besaran momen yang terjadi pada balok struktur portal ketika diberi pembebanan sesuai kapasitas beban maksimum masing-masing variasi benda uji. Benda uji berpanel dinding penuh (M-T-0) dengan beban maksimum paling besar yaitu 58 Kg, memiliki momen yang paling kecil di setiap titik tinjauannya jika dibandingkan dengan benda uji yang lain, yaitu sebesar 1,06 kgcm; 9,58 kgcm; 0,8 kgcm; dan 11,18 kgcm. Nilai momen yang kecil pada benda uji M-T-0 menunjukkan bahwa dengan adanya panel dinding pada struktur portal akan mendistribusikan beban yang diterima oleh portal ke elemen panel dindingnya terlebih dahulu sebelum ke struktur portalnya sendiri, sehingga momen yang terjadi pada struktur portal akan lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur portal tanpa panel dinding.

Berdasarkan tabel 4.9 juga dapat dilihat bahwa benda uji M-T-0 memiliki momen pada balok yang lebih kecil jika dibandingkan dengan benda uji M-T-25, demikian pula benda uji M-T-25 memiliki momen pada balok lebih kecil dari benda uji M-T-50. Perbedaan nilai momen pada ketiga benda uji tersebut menunjukkan bahwa semakin besar bukaan pada panel dinding struktur portal, maka semakin besar pula momen yang terjadi pada struktur tersebut. Hal tersebut disebabkan karena besaran luasan panel dinding dapat mempengaruhi distribusi beban lateral yang diberikan pada struktur portal.

Analisis distribusi momen pada struktur portal pada tabel 4.10 dengan pemberian beban yang sama sebesar 18,8 Kg untuk semua benda uji menghasilkan kesimpulan yang sama seperti ketika benda uji diberikan beban sesuai kapasitas beban maksimum masing-masing. Pemberian dua macam besaran beban pada benda uji menghasilkan trend yang serupa, yaitu semakin besar bukaan pada panel dinding maka semakin besar pula momen yang terjadi pada elemen baloknya. Hal ini disebabkan karena semakin luas panel dinding pada struktur portal, maka semakin besar pula beban yang ditahan oleh panel dindingnya, sehingga distribusi beban ke struktur portalnya menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, elemen baloknya akan mengalami momen yang lebih kecil juga.

Analisis distribusi momen pada aplikasi SAP2000 juga menghasilkan besaran

momen pada kolom untuk masing-masing variasi benda uji yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.11

Distribusi Momen Pada Kolom dengan Pembebanan Sebesar P Maksimum Tiap Benda Uji.

Benda Uji	Momen Tiap Titik Buhul pada Kolom (KgcM)					
	1	2	3	4	5	6
M-T-0	7,12	2,16	2,8	3,78	2,3	8,38
M-T-25	84,65	218,13 13,7	8,72	146,4	148,71 5,98	9,97
M-T-50	168,61	68,43	305,46 43,16	236,61	1,11	236,61 34,17
M-100	291,12	158,74	26,36	156,38	23,13	110,11
Benda Uji	7	8	9	10	11	12
M-T-0	7,42	3,01	1,4	4,46	1,97	8,41
M-T-25	80,77	200,73 8,13	4,32	139,54	149,6 6,14	10,05
M-T-50	167,17	66,04	299,26 40,49	235,42	0,66	234,09 34,1
M-100	29856	163,04	27,52	160,23	25,57	109,08

Keterangan:

- Terjadi lompatan momen pada daerah bukaan benda uji M-T-25
- Terjadi lompatan momen pada daerah bukaan benda uji M-T-50

Tabel 4.12

Distribusi Momen Pada Kolom dengan Pembebanan Sebesar 18,8 Kg untuk Semua Benda Uji.

Benda Uji	Momen Tiap Titik Buhul pada Kolom (KgcM)					
	1	2	3	4	5	6
M-T-0	1,94	0,46	1,01	1,18	0,77	2,72
M-T-25	38,55	100,13 6,27	3,97	67,04	68,26 2,75	4,58
M-T-50	95,86	39,09	174,04 24,54	134,72	0,59	133,54 19,47
M-100	291,12	158,74	26,36	156,38	23,13	110,11



Benda Uji	7	8	9	10	11	12
M-T-0	2,78	1,21	0,35	1,49	0,61	2,72
M-T-25	37,3	91,92 3,74	2,01	64,07	68,53 2,8	4,6
M-T-50	95,43	37,52	170,47 23,11	134,19	0,33	133,35 19,43
M-100	298,56	163,04	27,52	160,23	25,57	109,08

## Keterangan:

 Terjadi lompatan momen pada daerah bukaan benda uji M-T-25

 Terjadi lompatan momen pada daerah bukaan benda uji M-T-50

Pada tabel 4.11 dan tabel 4.12 dapat dilihat besaran momen yang terjadi pada kolom struktur portal ketika diberi pembebanan sesuai kapasitas beban maksimum masing-masing variasi benda uji maupun ketika diberi pembebanan sebesar 18,8 Kg untuk semua benda uji akan menghasilkan kesimpulan yang sama. Benda uji berpanel dinding penuh (M-T-0) memiliki momen yang paling kecil di setiap titik tinjauannya jika dibandingkan dengan benda uji yang tidak memiliki panel dinding (M-100). Nilai momen yang kecil pada benda uji M-T-0 menunjukkan bahwa panel dinding pada struktur portal mampu mendistribusikan beban yang diterima oleh portal ke elemen panel dindingnya terlebih dahulu sampai panel dinding mengalami kerusakan hingga akhirnya beban diterima sepenuhnya oleh struktur portalnya sendiri. Oleh karena itu, momen yang terjadi pada kolom struktur portal dengan panel dinding akan lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur portal tanpa panel dinding.

Selain itu, benda uji M-T-25 juga memiliki momen yang paling kecil di setiap titik tinjauannya jika dibandingkan dengan benda uji M-T-50. Perbedaan nilai momen yang dimiliki kedua benda uji tersebut menunjukkan bahwa besarnya bukaan panel dinding pada struktur portal dapat mempengaruhi besar momen yang terjadi pada kolom struktur tersebut. Adanya bukaan pada panel dinding dapat mengakibatkan terjadinya *short column effect* pada kolom portal. Terjadinya *short column effect* ditandai dengan adanya lompatan momen pada setiap daerah bukaan panel dinding yang dapat dilihat pada tabel 4.9 dan tabel 4.10.

Hasil pengujian di laboratorium dengan hasil analisis menggunakan aplikasi SAP2000 memiliki perbedaan, yaitu hasil analisis yang diperoleh dari SAP2000 menunjukkan terjadinya *short column effect* pada benda uji M-T-25 dan M-T-50, namun pada saat pengujian berlangsung tidak terjadi kerusakan kolom pada daerah bukaan panel

dinding. Hal ini disebabkan karena panel dinding mengalami kerusakan terlebih dahulu sehingga kolom tidak mengalami *short column effect*. Perbedaan hasil analisis SAP2000 dengan hasil pengujian di laboratorium disebabkan karena pemodelan struktur pada SAP2000 tidak memperhitungkan adanya sambungan antar panel dinding dengan kolom portal karena keterbatasan data yang dimiliki.



**BAB V****PENUTUP****5.1 Kesimpulan**

Hasil pengamatan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan pada struktur portal canai dingin berupa analisis data ekperimental dan numerikal. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh variasi bukaan panel dinding pada struktur portal terhadap kekakuan dengan pemberian pembebanan monotonik. Kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan panel dinding pada struktur portal mampu meningkatkan kapasitas beban maksimumnya. Semakin besar luasan panel dinding yang digunakan (semakin kecil bukaan), maka semakin besar juga beban maksimum yang mampu ditahan. Beban maksimum rata-rata yang dimiliki benda uji M-T-0, M-T-25, M-T-50, dan M-100 secara berturut-turut yaitu sebesar 55,5 kg; 37,75 kg; 30,5 kg; dan 18,61 kg.
2. Perhitungan nilai kekakuan dengan menggunakan metode *tangent* dan *secant* menghasilkan kesimpulan dengan pola yang sama, yaitu semakin besar luasan panel dinding yang digunakan (semakin kecil bukaan), maka nilai kekakuannya juga semakin besar. Berdasarkan hasil perhitungan, benda uji dengan nilai kekakuan terbesar hingga terkecil secara berurutan yaitu benda uji M-T-0, M-T-25, M-T-50, dan M-100.
3. Pemberian pembebanan monotonik pada benda uji mengakibatkan terjadinya kegagalan struktur yang dapat diamati secara langsung, seperti kegagalan pada sambungan, sobek pada panel dinding di bagian sambungan, dan terjadinya kegagalan pada pondasi.
4. Berdasarkan analisis data numerikal menggunakan aplikasi SAP2000 didapatkan momen maksimum yang paling besar dimiliki oleh benda uji tanpa panel dinding (M-100), kemudian disusul oleh benda uji M-T-50 dan M-T-25. Sedangkan momen maksimum paling kecil dimiliki oleh benda uji dengan panel dinding penuh tanpa bukaan (M-T-0). Selain itu, analisis numerikal menggunakan aplikasi SAP2000 juga menunjukkan bahwa benda uji portal dengan bukaan pada panel dindingnya memiliki momen yang besar di daerah bukaan pada kolom.



## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengamatan pengaruh variasi bukaan panel dinding pada struktur portal terhadap kekakuan dengan pemberian pembebanan monotonik, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Diperlukan adanya kontrol kekuatan pada sambungan-sambungan yang terdapat pada benda uji sebelum dilakukan pengujian, mulai dari sambungan pada balok kolom, sambungan pada panel dinding, maupun sambungan pada pondasi.
2. Diperlukan pengawasan dan pengontrolan pada kondisi panel dinding maupun papan alas multiplek sebelum dipasang pada struktur portal, hal ini bertujuan untuk meminimalisir adanya kerusakan pada multiplek akibat faktor lingkungan serta menjaga mutu dan kekuatan dari multiplek itu sendiri.
3. Diperlukan perkuatan lebih pada pondasi tepatnya pada sambungan antar kaki kolom portal dengan papan alas multiplek. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya kegagalan pondasi seperti tercabutnya *screw* pada sambungan kaki kolom dan alas multiplek.
4. Diperlukan kehati-hatian terhadap alat-alat pengujian pada saat pengujian sedang berlangsung. Hal ini berkaitan dengan pembacaan beban pada *loadcell* maupun pembacaan *lvdt* sehingga didapatkan hasil pembacaan beban dan perpindahan yang lebih akurat.
5. Diperlukan data material yang lengkap dari seluruh komponen struktur pada benda uji untuk mempermudah penyesuaian pemodelan struktur pada aplikasi SAP2000 dengan keadaan yang sebenarnya sehingga hasil perhitungan yang didapat dari analisis SAP2000 lebih akurat.
6. Pada penelitian selanjutnya dapat diberikan pembebanan yang lain pada benda uji, seperti pembebanan siklik quasi-statis agar didapatkan respon perilaku struktur yang lebih mendalam ketika struktur tersebut menerima beban.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adang, E., Susanti, L., & Nuralinah, D. (2005). *Studi Eksperimental Pengaruh Perkuatan Sambungan pada Struktur Jembatan Rangka Canai Dingin Terhadap Lentutan*. Malang: Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- Al-Sulayfani, J., B., & Al-Tae, H. T. (2008). Modeling of Stress-Strain Relationship for Fibrous Concrete Under Cyclic Loads.
- Bachroni, C. B. (2013). Pengaruh Penambahan Baja Tulangan Horizontal pada Dinding Pasangan Bata Merah Terkekang. *Jurnal Permukiman*. 8(1):1-12.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Struktur Baja Canai Dingin SNI 7971-2013*.
- Budiono, B., & Supriatna, L. (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x*. Bandung: ITB.
- Carvalho, G., Rita, B., Carlos, B. (2012). *Nonlinear Static and Dynamic Analyses of Reinforced Concrete Buildings-Comparison of Different Modelling Approaches*. Portugal.
- Choi, H., Yoshiaki, Nakano., and Sanada, Y., (2005), *Seismic Performance and Crack Pattern of Concrete Block Infilled Frames*. Bulletin of ERS, No. 38.
- Dewobroto, W. (2005). *Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. Bandung: Jurnal Teknik Sipil ITB.
- Diptesh Das, C.V.R Murty, (2000). *Brickmasonry infills in seismic design of RC frame buildings*, Civil Engineering IIT Kanpur, India, Part 2.
- FEMA. (2011). *FEMA P-795: Quantification of Building Seismic Performance Factors: Component Equivalency Methodology*. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency. FEMA. (2011). *FEMA P-795: Quantification of Building Seismic Performance Factors: Component Equivalency Methodology*. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Frapanti, S. (2018). Studi Perhitungan Kekakuan Portal Dinding Bata pada Bangunan Bertingkat dari Beberapa Negara dengan Pushover. *Jurnal Education Building*. 4(1):1-10.
- Gere & Timoshenko. (1996). *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Gioncu, V., & Mazzolani, F. M. (2014). *Seismic Design of Steel Structures*. Boca Raton: CRC Press.



- Goutam, Mondal., and Sudhir, K., Jain, M., (2008), *Lateral Stiffness of Masonry Infilled Reinforced Concrete (RC) Frames with Central Opening*, Earthquake Spectre Earthquake Engineering Research Institute (EERDI), Vol. 24, No. 3, 701 –723. DOI: 10.1193/1.2942.376.
- Julistiono, H. (2003). *Menggambar Struktur Bangunan*. Jakarta: Grasindo.
- Kubon, K. D., Sukrawa, M., & Putra, D. (2014). Analisa Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi dengan Variasi Penempatan Dinding pada Lantai Dasar. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. 18(1): 66-76.
- Lin, S., Pan, C., & Hsu, W. (2014). Monotonic and Cyclic Loading Tests for Cold-Formed Steel Wall Frames Sheathed with Calcium Silicate Board. *Thin-Walled Structure*. 49-58.
- Maidawati, Tanjung, J., & Medriosa, H. (2017). *Pengaruh Dinding Bata dengan Bukaang (Lobang) terhadap Ketahanan Lateral Struktur Rangka Beton Bertulang*. Bandung: Jurnal Teknik Sipil ITB. 24(2): 145-151.
- Mutawalli M. (2007). *Stabilitas Sambungan Struktur Baja Ringan SMART FRAME Type-T Terhadap Beban Siklik Pada Rumah Sederhana Tahan Gempa*, Tesis Program Pasca Sarjana. UGM Yogyakarta.
- Nugroho, F. (2018). Respon Dinamis Struktur pada Portal Terbuka, Portal dengan Bresing “V”, dan Portal dengan Bresing Diagonal. *Jurnal Momentum*. 20(1): 94-101.
- Paulay, T. and M.J.N., Priestley. (1992), *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, J.Wiley and Sons, NY, 744 pp.
- Sandjaya, A., Suryoatmojo, B. (2018). *Studi Eksperimental Batang Tekan Baja Canai Dingin Diperkaku Sebagian*. Jakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanegara. 25(1): 19-24.
- Saputri, M. D. (2019). *Pengaruh Variasi Bentuk Pelat Sambung terhadap Beban Lateral Maksimum dan Kekakuan akibat Beban Siklik (Quasi-Static) pada Portal Canai 2D*. Malang: Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- Sari, M.I., Abdullah, dkk. (2018). *Perilaku Lateral Siklik Portal Beton Bertulang Berisi Dinding Bata Merah*. Aceh: Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. 1(4):845-856.
- Schodek, D. L. (1999). *Struktur*. Jakarta: Erlangga.

- Simanjuntak, J. B., Wibowo, A., & Wijaya, M. N. (2005). *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Vertikal terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Malang: Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- Sudika, I. G. M. (2017). *Analisis Perilaku Struktur Portal dengan Dinding Pengisi Penuh dan Sebagian terhadap Beban Lateral*. Bali: Jurusan Teknik Sipil Universitas Ngurah Rai.
- Tjahjanto, H. H., & Imran, I. (2009). Kajian Performance Struktur Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi. *Seminar dan Pameran HAKI*. HAKI.
- Watanabe, K., Niwa, J., Yokota, H., & Iwanami, M. (2004). *Stress-Strain Relationship for the Localized Compressive Failure Zone of Concrete under Cyclinic Loading*. Japan.
- Wibowo, A. (2012). Seismic Performance of Insitu and Precast Soft Storey Buildings.
- Wiguna, A., & Walujodjati, E. (2015). Analisis Kekuatan Baja Canai Dingin (Cold Formed Steel) sebagai Alternatif untuk Elemen Struktur Balok Rumah Sederhana yang Merespon Gempa. *Jurnal Kalibrasi*. 13(1): 1-20.
- Wijaya, I. I. (2009). Kajian Eksperimental Kinerja Dinding Bata Terkekang Portal Beton Bertulang.
- Yu, W. W. (2000). *Cold Formed Stel Design*. John Wiley and Sons.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -





**LAMPIRAN I**  
**DATA HASIL PENGUJIAN PEMBEBANAN MONOTONIK**

1.1 Benda Uji M-100 A

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0,11	-0,02	-0,02	0	53,9	51,71	2,19	
0,21		-0,02	0		51,24	2,66	
0,41		-0,02	0		47,66	6,24	
0,51		-0,02	0		47,64	6,26	
0,62		-0,02	0		45,57	8,33	
0,73		-0,01	0,01		43,23	10,67	
0,81		-0,01	0,01		43,04	10,86	
0,91		-0,01	0,01		40,38	13,52	
1		-0,01	0,01		38,8	15,1	
1,1		-0,01	0,01		36,98	16,92	
1,2		-0,01	0,01		36,37	17,53	
1,3		-0,01	0,01		35,28	18,62	
1,42		0	0,02		31,73	22,17	
1,53		0	0,02		30,75	23,15	
1,61		0	0,02		28,91	24,99	
1,71		0	0,02		28,11	25,79	
1,81		0	0,02		27,18	26,72	
1,97		0,01	0,03		22,97	30,93	
2,03		0,01	0,03		22,08	31,82	
2,13		0,01	0,03		21,08	32,82	
2,21		0,02	0,04		19,1	34,8	
2,32		0,02	0,04		18,64	35,26	
2,5		0,03	0,05		14,66	39,24	
2,6		0,03	0,05		12,59	41,31	
2,7		0,03	0,05		11,86	42,04	
2,8		0,03	0,05		10,65	43,25	
2,94		0,03	0,05		7	46,9	
3,01		0,03	0,05		5,73	48,17	
3,1		0,04	0,06		3,75	50,15	
3,2		0,04	0,06		1,9	52	
3,32		0,04	0,06		-1,1	55	
3,42		0,05	0,07		-3,23	57,13	
3,51		0,05	0,07		-5,49	59,39	
3,6		0,05	0,07		-7,07	60,97	
3,73		0,05	0,07		-10,86	64,76	
3,83		0,05	0,07		-12,01	65,91	
3,92		0,05	0,07		-13,12	67,02	
4,01		0,05	0,07		-14,59	68,49	
4,11		0,06	0,08		-16,29	70,19	
4,2		0,06	0,08		-19,3	73,2	

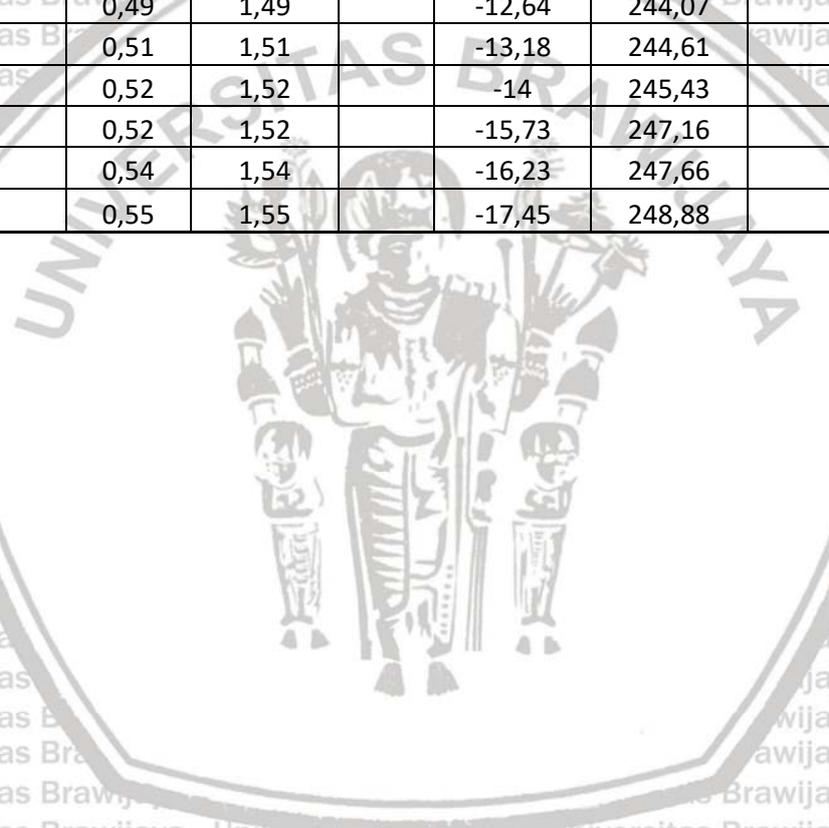
Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
4,3		0,07	0,09		-21,45	75,35	
4,41		0,07	0,09		-23,49	77,39	
4,5		0,07	0,09		-25,3	79,2	
4,61		0,07	0,09		-28,95	82,85	
4,7		0,08	0,1		-30,29	84,19	
4,8		0,08	0,1		-32,76	86,66	
4,91		0,08	0,1		-33,48	87,38	
5,04		0,08	0,1		-36,39	90,29	
5,12		0,08	0,1		-37,92	91,82	
5,2		0,08	0,1		-38,98	92,88	Mengatur ulang LVDT Horizontal
5,2		0,09	0,11	50,63		92,88	
5,3		0,09	0,11		44,51	99	
5,41		0,09	0,11		41,75	101,76	
5,5		0,09	0,11		40,81	102,7	
5,6		0,1	0,12		39,33	104,18	
5,7		0,1	0,12		38,88	104,63	
5,81		0,1	0,12		34,75	108,76	
5,92		0,1	0,12		32,78	110,73	
6		0,1	0,12		32,21	111,3	
6,11		0,11	0,13		30,03	113,48	
6,23		0,12	0,14		26,78	116,73	
6,32		0,12	0,14		25,78	117,73	
6,41		0,13	0,15		25,02	118,49	
6,5		0,13	0,15		24,2	119,31	
6,6		0,15	0,17		20,24	123,27	
6,72		0,15	0,17		19,55	123,96	
6,8		0,15	0,17		17,93	125,58	
6,92		0,16	0,18		16,25	127,26	
7		0,17	0,19		14,93	128,58	
7,1		0,19	0,21		11,13	132,38	
7,2		0,2	0,22		9,22	134,29	
7,32		0,21	0,23		7,17	136,34	
7,4		0,21	0,23		5,92	137,59	
7,31		0,23	0,25		5,61	137,9	
7,25		0,23	0,25		5,61	137,9	
7,11		0,23	0,25		4,99	138,52	
7,29		0,23	0,25		2,95	140,56	
7,35		0,23	0,25		2,19	141,32	
7,41		0,23	0,25		2,19	141,32	
7,5		0,25	0,27		0,64	142,87	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
7,6		0,26	0,28		-0,43	143,94	
7,7		0,27	0,29		-1,47	144,98	
7,81		0,32	0,34		-5,27	148,78	
7,9		0,33	0,35		-6,79	150,3	
8		0,34	0,36		-8,33	151,84	
8,11		0,35	0,37		-9,91	153,42	
8,2		0,36	0,38		-10,68	154,19	
8,33		0,4	0,42		-13,64	157,15	
8,4		0,4	0,42		-14,25	157,76	
8,5		0,41	0,43		-15,51	159,02	
8,62		0,42	0,44		-17,47	160,98	
8,72		0,44	0,46		-18,41	161,92	
8,8		0,45	0,47		-19,65	163,16	
8,71		0,47	0,49		-19,98	163,49	
8,85		0,49	0,51		-22,83	166,34	
8,92		0,49	0,51		-22,83	166,34	
9		0,5	0,52		-23,62	167,13	
9,13		0,52	0,54		-25,72	169,23	
9,21		0,52	0,54		-26,66	170,17	
9,33		0,54	0,56		-27,46	170,97	
9,41		0,56	0,58		-28,15	171,66	
9,42		0,59	0,61		-30,68	174,19	
9,52		0,59	0,61		-31,34	174,85	
9,61		0,61	0,63		-32,46	175,97	
9,72		0,62	0,64		-33,78	177,29	
9,8		0,63	0,65		-34,23	177,74	
9,91		0,63	0,65		-37,02	180,53	
10,03		0,65	0,67		-37,41	180,92	Mengatur ulang LVDT Horizontal
9,87		0,73	0,75	50,51		180,92	
9,96		0,73	0,75	50,01		181,42	
10,02		0,73	0,75	49,61		181,82	
10,13		0,73	0,75	49		182,43	
10,07		0,73	0,75	48,77		182,66	
10,21		0,73	0,75	47,99		183,44	
10,34		0,73	0,75	46,68		184,75	
10,45		0,73	0,75	46,68		184,75	
10,51		0,73	0,75	46,05		185,38	
10,61		0,73	0,75	43,53		187,9	
10,7		0,73	0,75	42,86		188,57	
10,8		0,73	0,75	42,3		189,13	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
10,9		0,73	0,75	41,1	190,33		
10,85		0,73	0,75	40,86	190,57		
10,99		0,73	0,75	38,86	192,57		
11,37		0,73	0,75	37,06	194,37		
11,4		0,73	0,75	37,06	194,37		
11,52		0,73	0,75	35,56	195,87		
11,65		0,73	0,75	34,8	196,63		
11,7		0,73	0,75	34,07	197,36		
11,81		0,73	0,75	34,07	197,36		
11,95		0,73	0,75	33,16	198,27		
11,83		0,73	0,75	32,45	198,98		
11,95		0,73	0,75	31,11	200,32		
12,03		0,73	0,75	31,11	200,32		
12,17		0,73	0,75	30,45	200,98		
12,23		0,73	0,75	29,89	201,54		
12,31		0,73	0,75	29,88	201,55		
12,41		0,73	0,75	29,36	202,07		
12,51		0,73	0,75	28,14	203,29		
12,61		0,73	0,75	27,55	203,88		
12,71		0,73	0,75	25,81	205,62		
12,81		0,73	0,75	25,41	206,02		
12,9		0,73	0,75	24,65	206,78		
12,82		0,73	0,75	24,58	206,85		
12,91		0,73	0,75	23,64	207,79		
12,85		0,73	0,75	23,53	207,9		
12,75		0,73	0,75	23,49	207,94		
12,66		0,73	0,75	23,42	208,01		
12,78		0,73	0,75	22,39	209,04		
12,81		0,73	0,75	22,39	209,04		Mengatur ulang LVDT Vertikal
12,97	-0,25		0,75	22,02	209,41		
13,03	-0,26		0,74	21,63	209,8		
13,13	-0,26		0,74	21,19	210,24		
13,24	-0,26		0,74	20,69	210,74		
13,33	-0,26		0,74	20,16	211,27		
13,44	-0,26		0,74	20,16	211,27		
13,5	-0,26		0,74	19,65	211,78		
13,63	-0,26		0,74	19,19	212,24		
13,72	-0,26		0,74	19,19	212,24		
13,81	-0,25		0,75	18,71	212,72		
13,92	-0,25		0,75	18,24	213,19		

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
14,02		-0,25	0,75	17,34	214,09		
14,11		-0,25	0,75	17,26	214,17		
14,09		-0,25	0,75	17,16	214,27		
14,11		-0,24	0,76	15,92	215,51		
14,2		-0,24	0,76	15,53	215,9		
14,32		-0,23	0,77	15,16	216,27		
14,4		-0,22	0,78	14,88	216,55		
14,5		-0,21	0,79	13,96	217,47		
14,6		-0,18	0,82	13,29	218,14		
14,71		-0,17	0,83	12,13	219,3		
14,81		-0,17	0,83	10,88	220,55		
14,92		-0,16	0,84	10,89	220,54		
15,02		-0,14	0,86	10,1	221,33		
15,13		-0,14	0,86	9,33	222,1		
15,24		-0,12	0,88	8,79	222,64		
15,33		-0,1	0,9	8,6	222,83		
15,25		-0,09	0,91	8,54	222,89		
15,33		-0,07	0,93	7,69	223,74		
15,47		-0,04	0,96	6,48	224,95		
15,54		-0,04	0,96	6,1	225,33		
15,68		-0,03	0,97	5,68	225,75		
15,72		-0,03	0,97	5,27	226,16		
15,82		-0,01	0,99	4,82	226,61		
15,9		-0,01	0,99	4,28	227,15		
16,03		-0,01	0,99	3,7	227,73		
16,13		-0,01	0,99	2,54	228,89		
16,21		-0,01	0,99	1,93	229,5		
16,32		0,07	1,07	1,27	230,16		
16,43		0,07	1,07	0,13	231,3		
16,52		0,11	1,11	-0,38	231,81		
16,42		0,15	1,15	-0,53	231,96		
16,35		0,16	1,16	-0,84	232,27		
16,48		0,18	1,18	-1,93	233,36		
16,54		0,2	1,2	-1,93	233,36		
16,62		0,22	1,22	-2,76	234,19		
16,71		0,22	1,22	-3,12	234,55		
16,8		0,23	1,23	-3,45	234,88		
16,9		0,25	1,25	-4,55	235,98		
17		0,27	1,27	-5,32	236,75		
17,12		0,3	1,3	-6,19	237,62		
17,21		0,3	1,3	-6,59	238,02		

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
17,31		0,34	1,34		-7,69	239,12	
17,41		0,37	1,37		-8,88	240,31	
17,5		0,4	1,4		-9,27	240,7	
17,43		0,42	1,42		-9,44	240,87	
17,55		0,45	1,45		-10,89	242,32	
17,61		0,45	1,45		-11,47	242,9	
17,72		0,45	1,45		-11,47	242,9	
17,82		0,47	1,47		-12,05	243,48	
17,94		0,49	1,49		-12,64	244,07	
18,02		0,51	1,51		-13,18	244,61	
18,12		0,52	1,52		-14	245,43	
18,22		0,52	1,52		-15,73	247,16	
18,3		0,54	1,54		-16,23	247,66	
18,41		0,55	1,55		-17,45	248,88	



1.2 Benda Uji M-100 B

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0,13	-0,28	-0,24	0,04	52,61	51,61	1	
0,23		-0,24	0,04		50,51	2,1	
0,34		-0,24	0,04		49,46	3,15	
0,44		-0,24	0,04		48,86	3,75	
0,51		-0,24	0,04		48,86	3,75	
0,69		-0,23	0,05		46,44	6,17	
0,74		-0,23	0,05		45,51	7,1	
0,82		-0,23	0,05		44,71	7,9	
0,9		-0,23	0,05		43,95	8,66	
1		-0,22	0,06		42,04	10,57	
1,11		-0,22	0,06		41,11	11,5	
1,21		-0,22	0,06		40,54	12,07	
1,35		-0,21	0,07		37,91	14,7	
1,44		-0,21	0,07		36,55	16,06	
1,52		-0,21	0,07		35,29	17,32	
1,6		-0,21	0,07		34,16	18,45	
1,71		-0,2	0,08		33,05	19,56	
1,81		-0,2	0,08		32,16	20,45	
2,04		-0,19	0,09		28,45	24,16	
2,12		-0,19	0,09		25,16	27,45	
2,21		-0,19	0,09		23,66	28,95	
2,31		-0,18	0,1		23,69	28,92	
2,44		-0,18	0,1		22,64	29,97	
2,51		-0,17	0,11		22,23	30,38	
2,68		-0,17	0,11		20,65	31,96	
2,77		-0,16	0,12		18,03	34,58	
2,81		-0,16	0,12		18,03	34,58	
2,91		-0,16	0,12		15,97	36,64	
3,03		-0,15	0,13		14,04	38,57	
3,13		-0,15	0,13		13,71	38,9	
3,21		-0,15	0,13		12,44	40,17	
3,33		-0,14	0,14		10,58	42,03	
3,43		-0,14	0,14		9,63	42,98	
3,5		-0,14	0,14		8,63	43,98	
3,68		-0,13	0,15		6,74	45,87	
3,71		-0,13	0,15		5,03	47,58	
3,81		-0,12	0,16		4,54	48,07	
3,93		-0,11	0,17		1,93	50,68	
4,05		-0,11	0,17		0,87	51,74	
4,12		-0,11	0,17		0,03	52,58	



Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
4,21		-0,1	0,18		-0,81	53,42	
4,32		-0,1	0,18		-2,65	55,26	
4,45		-0,09	0,19		-3,65	56,26	
4,59		-0,08	0,2		-5,17	57,78	
4,69		-0,07	0,21		-9,16	61,77	
4,79		-0,07	0,21		-9,18	61,79	
4,92		-0,06	0,22		-9,19	61,8	
5,02		-0,06	0,22		-10,42	63,03	
5,11		-0,06	0,22		-11,67	64,28	
5,2		-0,05	0,23		-12,83	65,44	
5,33		-0,04	0,24		-14,42	67,03	
5,41		-0,02	0,26		-17,89	70,5	
5,54		-0,01	0,27		-17,93	70,54	
5,62		-0,01	0,27		-17,95	70,56	
5,71		0,01	0,29		-19,44	72,05	
5,82		0,01	0,29		-20,9	73,51	
5,92		0,03	0,31		-22,18	74,79	
6,01		0,05	0,33		-23,32	75,93	
6,13		0,11	0,39		-29,59	82,2	
6,22		0,11	0,39		-29,59	82,2	
6,35		0,11	0,39		-29,6	82,21	
6,43		0,12	0,4		-30,78	83,39	
6,52		0,15	0,43		-33,53	86,14	
6,64		0,15	0,43		-34,72	87,33	
6,72		0,15	0,43		-35,69	88,3	
6,82		0,18	0,46		-40,34	92,95	
6,98		0,19	0,47		-41,25	93,86	
7,12		0,2	0,48		-41,35	93,96	
7,01		0,2	0,48		-42,5	95,11	Mengatur ulang LVDT Horizontal
5,99		0,24	0,52	53,32			
6,01		0,24	0,52		52,84	95,59	
6,12		0,24	0,52		50,26	98,17	
6,22		0,24	0,52		50,26	98,17	
6,34		0,24	0,52		49,45	98,98	
6,45		0,25	0,53		49,45	98,98	
6,58		0,25	0,53		48,86	99,57	
6,69		0,25	0,53		48,86	99,57	
6,81		0,27	0,55		46,3	102,13	
6,93		0,27	0,55		45,46	102,97	
7,04		0,27	0,55		44,72	103,71	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
7,15		0,28	0,56	44,66	103,77		
7,29		0,29	0,57	41,63	106,8		
7,42		0,3	0,58	39,64	108,79		
7,52		0,31	0,59	38,47	109,96		
7,66		0,33	0,61	35,42	113,01		
7,77		0,34	0,62	33,53	114,9		
7,88		0,35	0,63	32,6	115,83		
7,99		0,36	0,64	30,64	117,79		
8,08		0,37	0,65	28,33	120,1		
7,9		0,4	0,68	27,84	120,59		
7,8		0,4	0,68	27,24	121,19		
7,94		0,41	0,69	25,28	123,15		
8,06		0,42	0,7	24,5	123,93		
8,15		0,42	0,7	23,67	124,76		
8,26		0,45	0,73	20,81	127,62		
8,38		0,47	0,75	19,71	128,72		
8,52		0,48	0,76	18,07	130,36		
8,69		0,52	0,8	13,94	134,49		
8,8		0,52	0,8	13,17	135,26		
8,92		0,55	0,83	10,99	137,44		
9,05		0,57	0,85	8,43	140		
9,15		0,59	0,87	7,11	141,32		
9,06		0,6	0,88	6,17	142,26		
9,18		0,63	0,91	3,99	144,44		
9,31		0,63	0,91	3,13	145,3		
9,46		0,64	0,92	2,23	146,2		
9,62		0,68	0,96	-1,65	150,08		
9,74		0,7	0,98	-2,32	150,75		
9,85		0,71	0,99	-3,51	151,94		
9,72		0,72	1	-3,64	152,07		
9,85		0,75	1,03	-6,45	154,88		
9,98		0,77	1,05	-7,43	155,86		
10,09		0,77	1,05	-8,48	156,91		
10,2		0,79	1,07	-10,29	158,72		
10,31		0,83	1,11	-12,17	160,6		
10,41		0,83	1,11	-13,47	161,9		
10,3		0,84	1,12	-13,65	162,08		
10,45		0,84	1,12	-15,4	163,83		
10,6		0,86	1,14	-17,21	165,64		
10,71		0,88	1,16	-18,93	167,36		
10,86		0,92	1,2	-21,87	170,3		

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
10,93		0,94	1,22		-23,21	171,64	
10,81		0,94	1,22		-23,34	171,77	
10,71		0,95	1,23		-23,46	171,89	
10,62		0,95	1,23		-23,9	172,33	
10,78		0,97	1,25		-25,99	174,42	
10,94		0,99	1,27		-27,03	175,46	
11,06		0,99	1,27		-27,7	176,13	
11,15		1,02	1,3		-30,22	178,65	
11,26		1,04	1,32		-32,14	180,57	
11,38		1,06	1,34		-33,14	181,57	
11,28		1,09	1,37		-34,51	182,94	
11,21		1,11	1,39		-35,76	184,19	
11,33		1,13	1,41		-36,64	185,07	
11,52		1,15	1,43		-37,67	186,1	
11,67		1,17	1,45		-39,75	188,18	
11,77		1,17	1,45		-40,61	189,04	
11,88		1,21	1,49		-42,5	190,93	
11,96		1,22	1,5		-42,9	191,33	
11,85		1,22	1,5		-42,99	191,42	
11,73		1,23	1,51		-43,05	191,48	
11,62		1,24	1,52		-43,09	191,52	
11,5		1,26	1,54		-43,17	191,6	Mengatur ulang LVDT Horizontal
10,55		1,33	1,61	47,22			
10,74		1,33	1,61		45,89	192,93	
10,86		1,33	1,61		45,89	192,93	
10,01		1,34	1,62		45,89	192,93	
11,16		1,34	1,62		45,1	193,72	
11,31		1,34	1,62		45,1	193,72	
11,46		1,35	1,63		44,53	194,29	
11,56		1,35	1,63		44,04	194,78	
11,66		1,37	1,65		43,53	195,29	
11,77		1,38	1,66		41,78	197,04	
11,88		1,39	1,67		41,12	197,7	
11,99		1,4	1,68		39,64	199,18	
12,11		1,42	1,7		38,41	200,41	
12		1,43	1,71		37,97	200,85	
11,12		1,45	1,73		35,52	203,3	
11,23		1,45	1,73		34,96	203,86	
12,38		1,5	1,78		33,1	205,72	
12,49		1,52	1,8		31,66	207,16	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
12,6		1,58	1,86	29,19	209,63		
12,7		1,6	1,88	28,01	210,81		
12,6		1,62	1,9	27,79	211,03		
11,52		1,65	1,93	27,67	211,15		
11,63		1,69	1,97	26,3	212,52		
12,81		1,71	1,99	25,68	213,14		
12,91		1,73	2,01	25,29	213,53		
13,02		1,84	2,12	23,7	215,12		
13,14		1,91	2,19	22,38	216,44		
13,24		1,98	2,26	22,38	216,44		
13,33		2,32	2,6	20,86	217,96		
13,22		2,42	2,7	19,55	219,27		
13,36		2,54	2,82	18,42	220,4		
13,47		2,6	2,88	17,52	221,3		
13,34		2,63	2,91	17,34	221,48		
13,48		2,69	2,97	16,08	222,74		
13,65		2,71	2,99	15,59	223,23		
13,77		2,73	3,01	15,1	223,72		
13,89		2,75	3,03	14,58	224,24		
14		2,79	3,07	13,56	225,26		
14,1		2,81	3,09	12,94	225,88		
14,21		2,83	3,11	12,21	226,61		
14,35		2,85	3,13	11,5	227,32		
14,47		2,87	3,15	10,92	227,9		
14,59		2,89	3,17	10,92	227,9		
14,69		2,93	3,21	9,45	229,37		
14,79		2,95	3,23	8,98	229,84		
14,93		2,97	3,25	8,05	230,77		
15,04		3,01	3,29	7,24	231,58		
14,13		3,04	3,32	6,67	232,15		
15,02		3,05	3,33	6,51	232,31		
15,15		3,09	3,37	5,63	233,19		
15,38		3,11	3,39	4,97	233,85		
15,51		3,13	3,41	4,37	234,45		
15,62		3,15	3,43	3,9	234,92		
15,72		3,21	3,49	2,67	236,15		
15,83		3,23	3,51	2,15	236,67		
15,95		3,27	3,55	1,25	237,57		
16,05		3,33	3,61	0,43	238,39		
16,15		3,37	3,65	-0,66	239,48		
16,27		3,46	3,74	-2,28	241,1		

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
16,4		3,48	3,76	-3,31	242,13		
16,28		3,5	3,78	-3,45	242,27		
16,18		3,53	3,81	-3,69	242,51		
16,28		3,53	3,81	-4,12	242,94		
16,43		3,55	3,83	-4,65	243,47		
16,57		3,57	3,85	-5,89	244,71		
16,67		3,59	3,87	-5,89	244,71		
16,78		3,61	3,89	-6,72	245,54		
16,93		3,61	3,89	-7,53	246,35		
17,06		3,63	3,91	-8,19	247,01		
17,16		3,67	3,95	-8,79	247,61		
17,27		3,69	3,97	-10,07	248,89		
17,37		3,73	4,01	-10,88	249,7		
17,47		3,77	4,05	-11,75	250,57		
17,37		3,81	4,09	-12,3	251,12		
17,48		3,86	4,14	-12,91	251,73		
17,63		3,88	4,16	-13,7	252,52		
17,81		3,9	4,18	-14,43	253,25		
17,93		3,9	4,18	-14,43	253,25		
18,03		3,92	4,2	-15,01	253,83		
18,15		3,94	4,22	-15,54	254,36		
18,26		3,98	4,26	-16,45	255,27		
18,37		4,02	4,3	-17,29	256,11		
18,48		4,04	4,32	-17,82	256,64		
18,59		4,06	4,34	-18,73	257,55		
18,69		4,08	4,36	-19,14	257,96		
18,8		4,13	4,41	-20,69	259,51		
18,7		4,16	4,44	-21	259,82		
18,58		4,17	4,45	-21,03	259,85		
18,48		4,19	4,47	-21,05	259,87		



1.3 Benda Uji M-T-0 A

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0	0,07		0	53,85		0	
0,5		0,14	0,07		53,24	0,61	
1		0,14	0,07		53,22	0,63	
1,5		0,14	0,07		53,22	0,63	
2		0,14	0,07		53,22	0,63	
2,5		0,14	0,07		53,22	0,63	
3		0,14	0,07		52,82	1,03	
3,5		0,14	0,07		52,82	1,03	
4		0,14	0,07		52,82	1,03	
4,5		0,14	0,07		52,82	1,03	
5		0,14	0,07		52,5	1,35	
5,5		0,14	0,07		52,5	1,35	
6		0,14	0,07		52,36	1,49	
6,5		0,14	0,07		52,36	1,49	
7		0,16	0,09		51,97	1,88	
7,5		0,16	0,09		51,93	1,92	
8		0,16	0,09		51,73	2,12	
8,5		0,16	0,09		51,5	2,35	
9		0,16	0,09		51,3	2,55	
9,5		0,16	0,09		51,15	2,7	
10		0,17	0,1		50,95	2,9	
10,5		0,17	0,1		50,89	2,96	
11		0,17	0,1		50,67	3,18	
11,5		0,18	0,11		50,52	3,33	
12		0,18	0,11		50,27	3,58	
12,5		0,18	0,11		50,17	3,68	
13		0,18	0,11		49,87	3,98	
13,5		0,19	0,12		49,7	4,15	
14		0,19	0,12		49,58	4,27	
14,5		0,19	0,12		49,22	4,63	
15		0,19	0,12		48,55	5,3	
15,5		0,19	0,12		48,24	5,61	
16		0,19	0,12		48,1	5,75	
16,5		0,19	0,12		47,95	5,9	
17		0,2	0,13		47,82	6,03	
17,5		0,2	0,13		47,57	6,28	
18		0,21	0,14		47,29	6,56	
18,5		0,21	0,14		47,23	6,62	
19		0,21	0,14		46,95	6,9	
19,5		0,22	0,15		46,88	6,97	
20		0,22	0,15		46,73	7,12	
20,5		0,22	0,15		46,02	7,83	



Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
21		0,22	0,15		45,84	8,01	
21,5		0,24	0,17		44,6	9,25	
22		0,24	0,17		44,08	9,77	
22,5		0,24	0,17		43,87	9,98	
23		0,25	0,18		43,57	10,28	
23		0,27	0,2		43,19	10,66	
22,5		0,29	0,22	54,15		10,66	Mengatur ulang LVDT Horizontal
23		0,3	0,23		54,08	10,73	
23,5		0,3	0,23		54,04	10,77	
24		0,3	0,23		53,92	10,89	
23,5		0,3	0,23		53,99	10,82	
24		0,31	0,24		53,92	10,89	
24,5		0,31	0,24		53,86	10,95	
25		0,31	0,24		53,74	11,07	
25,5		0,31	0,24		53,52	11,29	
26		0,31	0,24		53,45	11,36	
26,5		0,32	0,25		53,24	11,57	
27		0,33	0,26		52,89	11,92	
27,5		0,33	0,26		52,74	12,07	
28		0,33	0,26		52,59	12,22	
28,5		0,34	0,27		52,53	12,28	
29		0,34	0,27		52,02	12,79	
29,5		0,35	0,28		51,91	12,9	
30		0,36	0,29		51,4	13,41	
30,5		0,36	0,29		51,12	13,69	
31		0,38	0,31		50,56	14,25	
31,5		0,4	0,33		50,05	14,76	
32		0,4	0,33		49,66	15,15	
32,5		0,4	0,33		49,25	15,56	
33		0,41	0,34		48,96	15,85	
33,5		0,43	0,36		48,59	16,22	
34		0,44	0,37		48,25	16,56	
34,5		0,44	0,37		47,99	16,82	
35		0,45	0,38		47,87	16,94	
35,5		0,45	0,38		47,62	17,19	
36		0,47	0,4		47,06	17,75	
36,5		0,47	0,4		46,9	17,91	
37		0,47	0,4		46,82	17,99	
37,5		0,49	0,42		46,25	18,56	
38		0,49	0,42		46,17	18,64	
38,5		0,5	0,43		45,69	19,12	
39		0,51	0,44		45,19	19,62	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
39,5		0,51	0,44		45,07	19,74	
37,5		0,55	0,48		43,78	21,03	
38		0,56	0,49		43,72	21,09	
38,5		0,56	0,49		43,68	21,13	
39		0,56	0,49		43,6	21,21	
39,5		0,56	0,49		43,51	21,3	
40		0,56	0,49		43,47	21,34	
40,5		0,58	0,51		43,3	21,51	
41		0,58	0,51		43,23	21,58	
41,5		0,58	0,51		43,04	21,77	
42		0,59	0,52		42,71	22,1	
40		0,65	0,58		41,47	23,34	
41		0,65	0,58		41,3	23,51	
41,5		0,66	0,59		41,19	23,62	
42		0,66	0,59		41,15	23,66	
42,5		0,67	0,6		41,06	23,75	
43		0,68	0,61		40,92	23,89	
43,5		0,69	0,62		40,75	24,06	
44		0,7	0,63		40,53	24,28	
44,5		0,7	0,63		40,47	24,34	
45		0,72	0,65		40,17	24,64	
45,5		0,74	0,67		39,54	25,27	
46		0,76	0,69		38,79	26,02	
46,5		0,77	0,7		38,21	26,6	
47		0,8	0,73		36,52	28,29	
47,5		0,8	0,73		36,36	28,45	
44		0,84	0,77		34,97	29,84	
44,5		0,84	0,77		34,85	29,96	
45		0,84	0,77		34,8	30,01	
45,5		0,84	0,77		34,79	30,02	
46		0,85	0,78		34,78	30,03	
46,5		0,85	0,78		34,7	30,11	
47		0,85	0,78		34,66	30,15	
47,5		0,85	0,78		33,56	31,25	
48		0,86	0,79		33,45	31,36	
48		0,87	0,8		33,29	31,52	
48,5		0,88	0,81		32,99	31,82	
49,5		0,89	0,82		32,71	32,1	
50		0,9	0,83		32,45	32,36	
50,5		0,9	0,83		32,36	32,45	
51		0,91	0,84		31,92	32,89	
51,5		0,92	0,85		31,33	33,48	
48		0,92	0,85		30,41	34,4	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
49		0,92	0,85		30,3	34,51	
49,5		0,92	0,85		30,27	34,54	
50		0,92	0,85		30,23	34,58	
50,5		0,92	0,85		30,17	34,64	
51		0,92	0,85		30,11	34,7	
51,5		0,92	0,85		30	34,81	
52		0,92	0,85		29,99	34,82	
52,5		0,92	0,85		29,53	35,28	
53		0,92	0,85		29,06	35,75	
53,5		0,92	0,85		28,8	36,01	
54		0,92	0,85		28,48	36,33	
53,5		0,92	0,85		28,07	36,74	
54		0,92	0,85		27,39	37,42	
54,5		0,92	0,85		27,2	37,61	
55,5		0,92	0,85		26,67	38,14	
54,5		0,92	0,85		26,47	38,34	
55		0,92	0,85		26,03	38,78	
55,5		0,92	0,85		25,9	38,91	
56		0,92	0,85		25,8	39,01	
56,5		0,92	0,85		25,68	39,13	
57		0,92	0,85		25,5	39,31	
57,5		0,92	0,85		24,15	40,66	
57		0,92	0,85		23,65	41,16	
56		0,92	0,85		23,59	41,22	
55,5		0,92	0,85		23,55	41,26	
54,5	-0,13		0,85		23,38	41,43	Mengatur ulang LVDT Vertikal
53,5		-0,13	0,85		23,26	41,55	
52,5		-0,13	0,85		23,14	41,67	
55		-0,13	0,85		22,83	41,98	
55,5		-0,13	0,85		22,57	42,24	
56,5		-0,13	0,85		22,52	42,29	
56		-0,13	0,85		22,47	42,34	
55,5		-0,13	0,85		22,49	42,32	
56		-0,12	0,86		22,51	42,3	
55,5		-0,12	0,86		22,53	42,28	
56		-0,12	0,86		22,51	42,3	
55,5		-0,12	0,86		22,49	42,32	
56		-0,1	0,88		21,59	43,22	
55		-0,1	0,88		21,56	43,25	
54,5		-0,1	0,88		21,46	43,35	
55		-0,1	0,88	54,21		43,35	Mengatur ulang LVDT Horizontal

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
54,5		-0,1	0,88		54,21	43,35	
55		-0,1	0,88		54,21	43,35	
55,5		-0,1	0,88		54,21	43,35	
55		-0,1	0,88		54,21	43,35	
54,5		-0,1	0,88		54,21	43,35	
55		-0,09	0,89		54,21	43,35	
54,5		-0,09	0,89		54,21	43,35	
55		-0,09	0,89		54,21	43,35	
54,5		-0,09	0,89		54,21	43,35	
55		-0,08	0,9		54,21	43,35	
54,5		-0,07	0,91		54,21	43,35	
55		-0,07	0,91		54,21	43,35	
54		-0,07	0,91		54,19	43,37	
55		-0,07	0,91		53,83	43,73	
55,5		-0,07	0,91		53,48	44,08	
56,5		-0,06	0,92		53,15	44,41	
57		-0,05	0,93		52,55	45,01	
57,5		-0,04	0,94		52,1	45,46	
58		-0,03	0,95		50,6	46,96	
56		-0,03	0,95		50,37	47,19	
55		-0,03	0,95		50,25	47,31	
56		-0,03	0,95		49,8	47,76	
56,5		-0,01	0,97		48,42	49,14	
57		0	0,98		47,66	49,9	
54		-0,02	0,96		46,38	51,18	
47,5		-0,02	0,96		46,09	51,47	
46,5		-0,02	0,96		45,96	51,6	
47		-0,02	0,96		45,26	52,3	
48		-0,02	0,96		44,76	52,8	
48,5		-0,02	0,96		43,99	53,57	
49		-0,01	0,97		43,36	54,2	
49,5		0	0,98		42,45	55,11	
49		0	0,98		41,38	56,18	
48		0	0,98		41,31	56,25	
48,5		0,01	0,99		41,1	56,46	
49,5		0,01	0,99		40,34	57,22	
50		0,03	1,01		38,9	58,66	
50,5		0,05	1,03		37,71	59,85	
51		0,06	1,04		36,79	60,77	
51,5		0,06	1,04		36,5	61,06	
51		0,07	1,05		36,02	61,54	
51,5		0,08	1,06		35,57	61,99	
50,5		0,1	1,08		34,5	63,06	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
50		0,1	1,08		34,31	63,25	
50,5		0,1	1,08		33,86	63,7	
51		0,1	1,08		33,26	64,3	
51,5		0,12	1,1		31,89	65,67	
51		0,14	1,12		28,77	68,79	
50,5		0,14	1,12		28,18	69,38	
50		0,14	1,12		27,89	69,67	
49,5		0,14	1,12		27,47	70,09	
49		0,14	1,12		27,47	70,09	
48,5		0,14	1,12		27,3	70,26	
48		0,14	1,12		27,25	70,31	
47,5		0,14	1,12		27,23	70,33	
47		0,14	1,12		26,9	70,66	
46,5		0,14	1,12		26,82	70,74	
48,5		0,14	1,12		26,82	70,74	
47		0,14	1,12		26,81	70,75	
46,5		0,14	1,12		26,81	70,75	
46		0,14	1,12		25,06	72,5	
45,5		0,15	1,13		24,42	73,14	
46		0,15	1,13		23,6	73,96	
45		0,15	1,13		22,9	74,66	
44		0,15	1,13		21,57	75,99	
44,5		0,15	1,13		20,25	77,31	
36		0,15	1,13		20,03	77,53	
36		0,15	1,13		20	77,56	
35,5		0,15	1,13		19,98	77,58	
35		0,15	1,13		19,86	77,7	
36		0,15	1,13		19,46	78,1	
37		0,15	1,13		19,06	78,5	
37,5		0,15	1,13		18,66	78,9	
38		0,15	1,13		18,48	79,08	
38,5		0,16	1,14		18,3	79,26	
39		0,16	1,14		18,02	79,54	
39,5		0,16	1,14		17,9	79,66	
40		0,16	1,14		17,47	80,09	
40,5		0,17	1,15		16,77	80,79	
41		0,18	1,16		15,86	81,7	
41,5		0,19	1,17		13,59	83,97	
41		0,2	1,18		13,1	84,46	
40,5		0,2	1,18		12,99	84,57	
40		0,2	1,18		12,82	84,74	
40,5		0,21	1,19		10,98	86,58	
40		0,21	1,19		10,8	86,76	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
39,5		0,21	1,19		10,61	86,95	
39		0,22	1,2		10,13	87,43	
38,5		0,22	1,2		9,07	88,49	
38		0,22	1,2		8,27	89,29	
37,5		0,22	1,2		8,15	89,41	
37		0,22	1,2		8,01	89,55	
36,5		0,22	1,2		7,1	90,46	
36		0,22	1,2		7,08	90,48	
35,5		0,22	1,2		6,5	91,06	
35		0,22	1,2		6,39	91,17	
34,5		0,22	1,2		6,39	91,17	
34		0,22	1,2		5,98	91,58	
33,5		0,22	1,2		5,98	91,58	
33		0,22	1,2		5,98	91,58	
32,5		0,22	1,2		5,98	91,58	
32		0,2	1,18		5,7	91,86	
31,5		0,2	1,18		5,52	92,04	
31		0,2	1,18		5,44	92,12	
30,5		0,2	1,18		5,3	92,26	
30		0,2	1,18		5,12	92,44	
29,5		0,2	1,18		4,55	93,01	
29		0,2	1,18		3,99	93,57	
28,5		0,2	1,18		3,6	93,96	
27		0,18	1,16		3,6	93,96	
26		0,18	1,16		3,58	93,98	
25		0,18	1,16		3,5	94,06	
24		0,18	1,16		3,49	94,07	
23		0,18	1,16		3,37	94,19	
22		0,18	1,16		3,28	94,28	
21,5		0,18	1,16		3,28	94,28	
21		0,18	1,16		2,58	94,98	
21		0,18	1,16		2,35	95,21	
20	-0,08		1,16	52,9		95,21	Mengatur ulang LVDT Horizontal
19,5		-0,08	1,16		52,85	95,26	
20		-0,08	1,16		52,81	95,3	
20,5		-0,08	1,16		52,48	95,63	
21		-0,08	1,16		51,42	96,69	
21,5		-0,08	1,16		51,09	97,02	
22		-0,08	1,16		50,77	97,34	
22,5		-0,08	1,16		49,59	98,52	
23,5		-0,08	1,16		48,96	99,15	
24		-0,07	1,17		46,97	101,14	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
24,5		-0,06	1,18		45,16	102,95	
25		-0,06	1,18		45,11	103	
24,5		-0,06	1,18		44,94	103,17	
25		-0,05	1,19		43,33	104,78	
25,5		-0,05	1,19		42,95	105,16	
26		-0,04	1,2		41,78	106,33	
26,5		-0,02	1,22		39,1	109,01	
27		0	1,24		36,85	111,26	
27,5		0,01	1,25		36,03	112,08	
28		0,01	1,25		34,1	114,01	
27		0,01	1,25		33,77	114,34	
26		0,01	1,25		33,45	114,66	
25		0,01	1,25		32,97	115,14	
24,5		0,01	1,25		31,7	116,41	
24	-0,01		1,24		31,51	116,6	
23,5		-0,01	1,23		31,51	116,6	
23,5		-0,01	1,23		28,94	119,17	
24		-0,01	1,23		28,54	119,57	
24,5		-0,01	1,23		27,72	120,39	
24,5		-0,01	1,23		25,21	122,9	
24,5		-0,01	1,23		23,75	124,36	
24		0	1,24		22,63	125,48	
24	-0,12		1,24		19,85	128,26	
23,5		-0,12	1,24		15,65	132,46	
22		-0,12	1,24		13,26	134,85	
21,5		-0,12	1,24		13,26	134,85	
19,5		-0,12	1,24		13,2	134,91	
7		-0,12	1,24		13,31	134,8	
7,5		-0,12	1,24	11,13		134,8	Mengatur ulang LVDT Horizontal
7,5		-0,12	1,24		10,32	135,61	
8		-0,12	1,24		9,2	136,73	
8,5		-0,12	1,24		8,78	137,15	
8		-0,12	1,24		7,74	138,19	
8,5		-0,11	1,25		5,13	140,8	
9		-0,11	1,25		0,74	145,19	
9		-0,11	1,25		-1,1	147,03	
9		-0,11	1,25		-2,62	148,55	
8		-0,11	1,25		-3,71	149,64	
7		-0,1	1,26		-4,97	150,9	
10		-0,1	1,26		-5	150,93	
9,5		-0,1	1,26		-5,17	151,1	
10		-0,1	1,26		-5,23	151,16	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
9,5		-0,1	1,26		-5,31	151,24	
9,5		-0,1	1,26		-5,54	151,47	
10		-0,1	1,26		-7,55	153,48	
10,5		-0,09	1,27		-8,67	154,6	
11		-0,09	1,27		-12,99	158,92	
11,5		-0,08	1,28		-17,71	163,64	
12		-0,07	1,29		-21,88	167,81	
12,5		-0,06	1,3		-25,06	170,99	
13		-0,05	1,31		-28	173,93	
12,5		-0,05	1,31		-28,46	174,39	
12		-0,04	1,32		-29,26	175,19	
13		-0,03	1,33		-29,89	175,82	
13,5		-0,01	1,35		-34,19	180,12	
14		0,01	1,37		-35,79	181,72	
14,5		0,06	1,42		-38,57	184,5	
14		0,07	1,43		-38,83	184,76	
13		1,22	2,58	9,25		184,76	Mengatur ulang LVDT Horizontal
13,5		1,23	2,59		8,61	185,4	
14		1,23	2,59		8,62	185,39	
14,5		1,24	2,6		7,86	186,15	
15		1,26	2,62		6,14	187,87	
15,5		1,33	2,69		2,62	191,39	
16		1,36	2,72		0,52	193,49	
16,5		1,38	2,74		-0,24	194,25	
17		1,41	2,77		-1,45	195,46	
17		1,47	2,83		-3,32	197,33	
17,5		1,5	2,86		-4,2	198,21	
18		1,51	2,87		-5,1	199,11	
18,5		1,56	2,92		-6,71	200,72	
19		1,64	3		-7,2	201,21	
19,5		1,64	3		-8,59	202,6	
20		1,76	3,12		-11,07	205,08	
19,5		1,9	3,26		-12,6	206,61	
20		1,99	3,35		-13	207,01	
20,5		1,99	3,35		-13,65	207,66	
20,5		2,29	3,65		-17,57	211,58	
21		2,35	3,71		-18,17	212,18	
20,5		2,45	3,81		-19,77	213,78	
20		2,46	3,82		-19,88	213,89	
20		2,48	3,84		-19,92	213,93	



1.4 Benda Uji M-T-0 B

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0	0,09		0	53,97		0	
0,5		0,09	0		53,82	0,15	
1		0,09	0		53,72	0,25	
1,5		0,09	0		53,58	0,39	
2		0,09	0		53,58	0,39	
2,5		0,1	0,01		53,28	0,69	
3		0,1	0,01		53,28	0,69	
3,5		0,1	0,01		53,09	0,88	
4		0,1	0,01		52,93	1,04	
4,5		0,1	0,01		52,69	1,28	
5		0,1	0,01		52,61	1,36	
5,5		0,1	0,01		52,37	1,6	
6		0,11	0,02		52,15	1,82	
6,5		0,11	0,02		52,06	1,91	
7		0,11	0,02		51,87	2,1	
7,5		0,11	0,02		51,6	2,37	
8		0,11	0,02		51,51	2,46	
9,5		0,12	0,03		51,02	2,95	
10		0,12	0,03		50,88	3,09	
10,5		0,12	0,03		50,67	3,3	
11		0,12	0,03		50,46	3,51	
11,5		0,12	0,03		50,23	3,74	
12		0,12	0,03		50,13	3,84	
12,5		0,13	0,04		49,94	4,03	
13		0,13	0,04		49,72	4,25	
13,5		0,13	0,04		49,45	4,52	
14		0,14	0,05		48,4	5,57	
14		0,14	0,05	48,99		5,57	Mengatur ulang LVDT Horizontal
15		0,14	0,05		48,79	5,77	
15,5		0,14	0,05		48,49	6,07	
16		0,14	0,05		48,28	6,28	
16,5		0,14	0,05		48,18	6,38	
17		0,14	0,05		48,1	6,46	
17,5		0,15	0,06		47,75	6,81	
18		0,15	0,06		47,75	6,81	
18,5		0,15	0,06		47,64	6,92	
19		0,15	0,06		47,26	7,3	
19,5		0,15	0,06		46,9	7,66	
20		0,15	0,06		46,79	7,77	
20,5		0,16	0,07		46,55	8,01	
21		0,16	0,07		46,12	8,44	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
21,5		0,16	0,07		45,98	8,58	
22		0,16	0,07		45,67	8,89	
22,5		0,16	0,07		44,84	9,72	
23		0,17	0,08		44,04	10,52	
23,5		0,17	0,08		43,8	10,76	
24		0,17	0,08		43,17	11,39	
24,5		0,17	0,08		42,87	11,69	
25		0,17	0,08		42,51	12,05	
25,5		0,18	0,09		41,55	13,01	
26		0,18	0,09		41,32	13,24	
25,5		0,18	0,09		40,93	13,63	
25		0,18	0,09		40,83	13,73	
24,5	0,74		0,09	53,56		13,73	Mengatur ulang LVDT Horizontal
25		0,74	0,09		53,33	13,96	
25,5		0,74	0,09		53,25	14,04	
26		0,74	0,09		53,17	14,12	
26,5		0,74	0,09		52,97	14,32	
27		0,74	0,09		52,83	14,46	
27,5		0,74	0,09		52,53	14,76	
28		0,74	0,09		52,28	15,01	
28,5		0,74	0,09		52,09	15,2	
29		0,74	0,09		51,81	15,48	
29,5		0,74	0,09		51,2	16,09	
30		0,74	0,09		50,82	16,47	
30,5		0,74	0,09		50,67	16,62	
31		0,74	0,09		50,4	16,89	
31,5		0,74	0,09		49,84	17,45	
32		0,75	0,1		49,39	17,9	
32,5		0,75	0,1		48,85	18,44	
33		0,75	0,1		48,75	18,54	
33,5		0,76	0,11		48,29	19	
34		0,77	0,12		47,71	19,58	
34,5		0,77	0,12		47,48	19,81	
35		0,77	0,12		46,78	20,51	
35,5		0,8	0,15		45,96	21,33	
35		0,81	0,16		43,73	23,56	
36		0,81	0,16		43,36	23,93	
36,5		0,82	0,17		42,57	24,72	
37		0,82	0,17		42,36	24,93	
37,5		0,82	0,17		41,8	25,49	
38		0,84	0,19		40,75	26,54	
38,5		0,85	0,2		39,76	27,53	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
38,5		0,88	0,23		38,57	28,72	
39		0,88	0,23		38,32	28,97	
39,5		0,88	0,23		38,02	29,27	
39,5		0,9	0,25		36,48	30,81	
39		0,9	0,25		36,23	31,06	
40,5		0,91	0,26		36,11	31,18	
40,5		0,91	0,26		34,99	32,3	
41		0,93	0,28		34,73	32,56	
41,5		0,94	0,29		33,59	33,7	
41,5		0,95	0,3		32,74	34,55	
42		0,96	0,31		32,37	34,92	
41		0,98	0,33		31,58	35,71	
39		1	0,35	53,41		35,71	Mengatur ulang LVDT Horizontal
39,5		1	0,35		53,29	35,83	
40,5		1	0,35		53,1	36,02	
40		1	0,35		53,98	35,14	
41,5		1,01	0,36		52,92	36,2	
42		1,01	0,36		52,53	36,59	
42,5		1,02	0,37		52,06	37,06	
43		1,03	0,38		51,58	37,54	
43,5		1,03	0,38		51,29	37,83	
44		1,03	0,38		50,89	38,23	
44,5		1,05	0,4		50,37	38,75	
45		1,09	0,44		48,9	40,22	
45,5		1,14	0,49		46,97	42,15	
46		1,14	0,49		46,45	42,67	
46,5		1,18	0,53		45,76	43,36	
47		1,23	0,58		44,38	44,74	
47,5		1,25	0,6		43,25	45,87	
47,5		1,27	0,62		42,45	46,67	
48		1,27	0,62		41,86	47,26	
48,5		1,28	0,63		41,49	47,63	
48,5		1,31	0,66		40,59	48,53	
49		1,34	0,69		39,14	49,98	
49,5		1,39	0,74		37,95	51,17	
50		1,47	0,82		36,57	52,55	
50,5		1,56	0,91		35,14	53,98	
51		1,61	0,96		34,79	54,33	
50,5		1,65	1		34,61	54,51	
49,5		1,67	1,02		34,48	54,64	
50,5		1,7	1,05		33,79	55,33	
51,5		1,73	1,08		33,63	55,49	

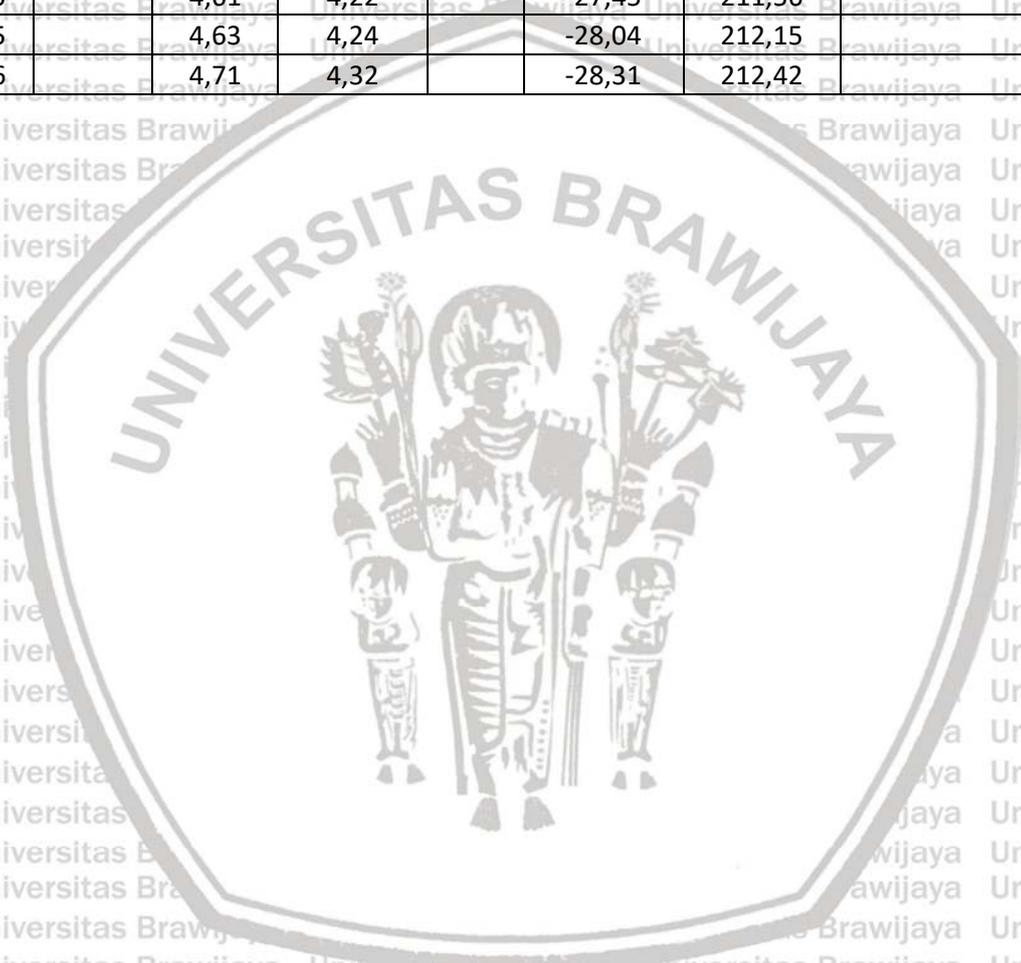
Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
52		1,76	1,11	33,23	55,89		
52,5		1,91	1,26	31,11	58,01		
52,5		2	1,35	29,26	59,86		
52		2,03	1,38	28,74	60,38		
53		2,06	1,41	28,1	61,02		
53		2,08	1,43	26,11	63,01		
48,5	1,82		1,43	26,11	63,01		Mengatur ulang LVDT Vertikal
42,5		1,82	1,43	25,97	63,15		
41,5		1,82	1,43	25,92	63,2		
40,5		1,81	1,44	25,82	63,3		
41		1,81	1,44	25,81	63,31		
40,5		1,81	1,44	25,59	63,53		
42		1,81	1,44	25,26	63,86		
43		1,81	1,44	25,01	64,11		
44		1,81	1,44	24,85	64,27		
43,5		1,81	1,44	24,76	64,36		
44		1,81	1,44	24,36	64,76		
44,5		1,81	1,44	24,25	64,87		
45		1,83	1,44	24,07	65,05		
45,5		1,83	1,44	23,86	65,26		
46		1,83	1,44	23,74	65,38		
46,5		1,84	1,45	23,44	65,68		
47		1,84	1,45	23,12	66		
47,5		1,85	1,46	22,82	66,3		
48		1,85	1,46	21,99	67,13		
48		1,9	1,51	20,73	68,39		
48		1,9	1,51	19,68	69,44		
47,5		1,92	1,53	18,59	70,53		
45,5		1,92	1,53	18,44	70,68		
43,5		1,92	1,53	18,14	70,98		
39,5		1,92	1,53	18,14	70,98		
38,5		1,92	1,53	17,91	71,21		
37,5		1,92	1,53	17,89	71,23		
37		1,92	1,53	17,83	71,29		
36,5		1,92	1,53	17,73	71,39		
36		1,92	1,53	17,69	71,43		
37		1,92	1,53	17,45	71,67		
37,5		1,92	1,53	17,29	71,83		
38		1,92	1,53	17,04	72,08		
38,5		1,92	1,53	16,87	72,25		
39		1,93	1,54	16,62	72,5		
40		1,93	1,54	16,35	72,77		

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
40,5		1,94	1,55		16,22	72,9	
41		1,95	1,56		15,67	73,45	
41,5		1,95	1,56		15,4	73,72	
42		1,97	1,58		14,85	74,27	
42		1,99	1,6		12,98	76,14	
42,5		1,99	1,6		12,45	76,67	
43		2	1,61		12,31	76,81	
43		2,03	1,64		11,06	78,06	
43,5		2,03	1,64		10,76	78,36	
42		2,04	1,65		10,44	78,68	
41,5		2,04	1,65		10,35	78,77	
41		2,04	1,65		10,3	78,82	
40,5		2,04	1,65		10,24	78,88	
41		2,05	1,66		9,57	79,55	
41,5		2,05	1,66		9,27	79,85	
41		2,05	1,66		8,21	80,91	
40,5		2,05	1,66		7,05	82,07	
40		2,12	1,73		5,95	83,17	
40		2,12	1,73		5,09	84,03	
40		2,12	1,73		4,56	84,56	
40		2,12	1,73		3,23	85,89	
40		2,2	1,81		2,44	86,68	
40,5		2,22	1,83		2,14	86,98	
41		2,36	1,97		0,59	88,53	
40,5		2,4	2,01		0,38	88,74	
40		2,52	2,13		0,32	88,8	
40		2,69	2,3		-0,43	89,55	
41		2,75	2,36		-0,66	89,78	
40,5		3,16	2,77		-2,52	91,64	
40,5		3,2	2,81		-3,75	92,87	
40,5		3,32	2,93		-4,63	93,75	
39,5		3,39	3		-5,31	94,43	
32,5		3,39	3		-5,31	94,43	
27,5		3,44	3,05		-5,31	94,43	
23		3,62	3,23		-5,45	94,57	
26		3,62	3,23		-5,55	94,67	
25,5		3,62	3,23	53,97		94,67	Mengatur ulang LVDT Horizontal
26,5		3,62	3,23		53,59	95,05	
27		3,62	3,23		53,4	95,24	
27,5		3,62	3,23		53,3	95,34	
28		3,62	3,23		53,07	95,57	
28,5		3,62	3,23		52,87	95,77	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
29		3,62	3,23		53,56	95,08	
29,5		3,62	3,23		52,46	96,18	
30		3,63	3,24		51,85	96,79	
29,5		3,64	3,25		51,73	96,91	
30		3,64	3,25		50,39	98,25	
30		3,64	3,25		48,53	100,11	
29,5		3,66	3,27		46,49	102,15	
29		3,66	3,27		45,3	103,34	
24		3,66	3,27		44,8	103,84	
23,5		3,66	3,27		44,32	104,32	
22		3,66	3,27		41,32	107,32	
21,5		3,66	3,27		41,09	107,55	
22		3,66	3,27		40,44	108,2	
22,5		3,66	3,27		40,09	108,55	
22,5		3,66	3,27		38,79	109,85	
19,5		3,66	3,27		38,52	110,12	
19,5		3,66	3,27		37,68	110,96	
19		3,66	3,27		37,41	111,23	
19,5		3,66	3,27		36,93	111,71	
20		3,66	3,27		36,15	112,49	
20,5		3,66	3,27		36,05	112,59	
21		3,66	3,27		35,75	112,89	
21,5		3,66	3,27		32,56	116,08	
20		3,66	3,27		32,08	116,56	
15		3,66	3,27		31,62	117,02	
15,5		3,66	3,27		31,24	117,4	
16		3,66	3,27		30,82	117,82	
16,5		3,66	3,27		29,06	119,58	
16		3,66	3,27		28,37	120,27	
15,5		3,66	3,27		27,33	121,31	
15		3,66	3,27		26,25	122,39	
14,5		3,66	3,27		24,65	123,99	
14		3,66	3,27		23,17	125,47	
13,5		3,66	3,27		20,94	127,7	
14,5		3,66	3,27		20,35	128,29	
14		3,66	3,27		19,26	129,38	
13,5		3,66	3,27		18,64	130	
5,5		3,66	3,27	54,11		130	Mengatur ulang LVDT Horizontal
6,5		3,66	3,27		54,08	130,03	
8		3,66	3,27		54,07	130,04	
5,5		3,66	3,27		54,06	130,05	
5,5		3,66	3,27		53,74	130,37	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
6		3,66	3,27		53,2	130,91	
6,5		3,66	3,27		51,26	132,85	
6,5		3,66	3,27		48,51	135,6	
6,5		3,66	3,27		45,82	138,29	
7		3,66	3,27		44,49	139,62	
6,5		3,66	3,27		40,99	143,12	
7		3,66	3,27		36,71	147,4	
7		3,66	3,27		33,76	150,35	
7		3,66	3,27		31,93	152,18	
7,5		3,66	3,27		30,34	153,77	
7,5		3,66	3,27		29,36	154,75	
7,5		3,66	3,27		26,27	157,84	
7,5		3,66	3,27		24,59	159,52	
7,5		3,66	3,27		21,34	162,77	
8		3,66	3,27		20,5	163,61	
7,5		3,66	3,27		20	164,11	
8		3,65	3,26		18,09	166,02	
8		3,65	3,26		15,29	168,82	
8		3,65	3,26		14,39	169,72	
8		3,65	3,26		11,21	172,9	
8,5		3,65	3,26		10,43	173,68	
8,5		3,67	3,28		7,4	176,71	
8,5		3,67	3,28		6,86	177,25	
8,5		3,67	3,28		5,93	178,18	
8,5		3,67	3,28		4,51	179,6	
8,5		3,67	3,28		3,45	180,66	
8,5		3,67	3,28		1,91	182,2	
9		3,69	3,3		1,2	182,91	
9		3,69	3,3		0,5	183,61	
9		3,69	3,3		-0,36	184,47	
9		3,69	3,3		-2,5	186,61	
9		3,71	3,32		-4,01	188,12	
9		3,71	3,32		-5,5	189,61	
9		3,71	3,32		-6,37	190,48	
9		3,71	3,32		-9,12	193,23	
9,5		3,73	3,34		-9,81	193,92	
9,5		3,73	3,34		-10,96	195,07	
10		3,73	3,34		-12,97	197,08	
10		3,75	3,36		-14,59	198,7	
10		3,79	3,4		-16,19	200,3	
10,5		3,82	3,43		-17,27	201,38	
10,5		3,84	3,45		-18,31	202,42	
10,5		3,93	3,54		-19,45	203,56	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
10,5		4,02	3,63		-21,26	205,37	
11		4,25	3,86		-22,47	206,58	
11		4,33	3,94		-23,18	207,29	
11		4,47	4,08		-25,17	209,28	
11		4,53	4,14		-26,81	210,92	
11,5		4,61	4,22		-27,45	211,56	
11,5		4,63	4,24		-28,04	212,15	
11,6		4,71	4,32		-28,31	212,42	



1.5 Benda Uji M-T-25 A

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0	-0,08	0	54,13	0			
2	-0,07	0,01	52,74	1,39			
2,5	-0,07	0,01	52,51	1,62			
3	-0,07	0,01	52,18	1,95			
3,5	-0,07	0,01	52,18	1,95			
4	-0,07	0,01	51,39	2,74			
4,5	-0,07	0,01	50,89	3,24			
5	-0,07	0,01	50,53	3,6			
5,5	-0,07	0,01	49,46	4,67			
6	-0,07	0,01	49,06	5,07			
6,5	-0,05	0,03	48,43	5,7			
7	-0,05	0,03	47,71	6,42			
7,5	-0,05	0,03	47,03	7,1			
8	-0,04	0,04	46,8	7,33			
8,5	-0,04	0,04	45,95	8,18			
9	-0,03	0,05	45,07	9,06			
9,5	-0,02	0,06	44,2	9,93			
10	-0,02	0,06	43,85	10,28			
10,5	-0,01	0,07	43,46	10,67			
11	-0,01	0,07	42,97	11,16			
11,5	0	0,08	41,92	12,21			
12	0,01	0,09	41,25	12,88			
12,5	0,01	0,09	41,25	12,88			
13	0,02	0,1	40,46	13,67			
13,5	0,03	0,11	39,49	14,64			
14	0,03	0,11	39,25	14,88			
14,5	0,04	0,12	38,31	15,82			
15	0,05	0,13	37,39	16,74			
15,5	0,07	0,15	36,45	17,68			
16	0,08	0,16	35,76	18,37			
16,5	0,09	0,17	35,6	18,53			
17	0,1	0,18	34,12	20,01			
17,5	0,1	0,18	34,12	20,01			
18	0,12	0,2	33,04	21,09			
18,5	0,12	0,2	32,67	21,46			
19	0,14	0,22	31,48	22,65			
19,5	0,15	0,23	30,41	23,72			
20	0,17	0,25	28,71	25,42			
20,5	0,17	0,25	28,5	25,63			
21	0,19	0,27	27,66	26,47			
21,5	0,19	0,27	26,65	27,48			
22	0,19	0,27	25,94	28,19			

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
22,5		0,21	0,29		24,93	29,2	
23		0,21	0,29		24,69	29,44	
23,5		0,21	0,29		23,64	30,49	
24		0,21	0,29		22,9	31,23	
24,5		0,21	0,29		22,4	31,73	
25		0,24	0,32		21,2	32,93	
25,5		0,27	0,35		19,43	34,7	
26		0,3	0,38		17,69	36,44	
26,5		0,3	0,38		17,49	36,64	
27		0,33	0,41		15,18	38,95	
27,5		0,33	0,41		14,83	39,3	
28		0,33	0,41		13,19	40,94	
28,5		0,41	0,49		11,78	42,35	
29		0,41	0,49		10,03	44,1	
29,5		0,41	0,49		8,19	45,94	
30		0,48	0,56		6,29	47,84	
30,5		0,51	0,59		4,58	49,55	
31		0,51	0,59		4,33	49,8	
31,5		0,51	0,59		3,77	50,36	
32		0,53	0,61		1,24	52,89	
32,5		0,55	0,63		-0,04	54,17	
32		0,55	0,63		-1,54	55,67	
32,5		0,59	0,67		-1,92	56,05	
33		0,59	0,67		-3,1	57,23	
33,5		0,59	0,67		-4,2	58,33	
33		0,6	0,68		-4,66	58,79	
33,5		0,61	0,69		-5,18	59,31	
34		0,61	0,69		-5,47	59,6	
34,5		0,62	0,7		-6,34	60,47	
35		0,65	0,73		-8,92	63,05	
35,5		0,66	0,74		-11,11	65,24	
36		0,7	0,78		-13,96	68,09	
35,5		0,71	0,79		-14,88	69,01	
36		0,71	0,79		-15,26	69,39	
36,5		0,71	0,79		-15,95	70,08	
37		0,72	0,8		-17	71,13	
37,5		0,73	0,81		-17,69	71,82	
38		0,8	0,88		-21,64	75,77	
38,5		0,83	0,91		-23,76	77,89	
38		0,86	0,94		-24,95	79,08	
39		0,86	0,94		-25,52	79,65	
39,5		0,87	0,95		-25,9	80,03	
39		0,89	0,97		-27,89	82,02	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
38,5		0,89	0,97		-27,97	82,1	
38		0,9	0,98		-28,06	82,19	
36,5		0,93	1,01		-28,24	82,37	
35,5		0,93	1,01	53,51		82,37	Mengatur ulang LVDT Horizontal
35		0,93	1,01		53,58	82,3	
35,5		0,93	1,01		53,56	82,32	
35		0,93	1,01		53,53	82,35	
36		0,93	1,01		53,28	82,6	
37,5		0,93	1,01		52,74	83,14	
36,5		0,93	1,01		53,04	82,84	
37,5		0,93	1,01		52,74	83,14	
38,5		0,93	1,01		52,98	82,9	
40,5		0,93	1,01		52,25	83,63	
39		0,93	1,01		52,02	83,86	
38,5		0,94	1,02		49,4	86,48	
35		0,94	1,02		49,26	86,62	
36,5		0,94	1,02		49,38	86,5	
39,5		0,94	1,02		49,16	86,72	
36,5		0,94	1,02		49,05	86,83	
35,5		0,94	1,02		48,95	86,93	
36,5		0,94	1,02		48,9	86,98	
34,5		0,94	1,02	54,24		86,98	Mengatur ulang LVDT Horizontal
34		0,95	1,03		54,24	86,98	
34,5		0,95	1,03		54,24	86,98	
35		0,95	1,03		54,23	86,99	
34		0,95	1,03		54,21	87,01	
35		0,95	1,03		53,94	87,28	
36,5		0,98	1,06		53,43	87,79	
35		0,99	1,07		53,44	87,78	
36		0,99	1,07		52,6	88,62	
38,5		0,99	1,07		52,12	89,1	
36,5		1	1,08		52,11	89,11	
36		1	1,08		52,11	89,11	
35,5		1	1,08		52,11	89,11	
32		1	1,08		51,24	89,98	
32,5		1	1,08	54,19		89,98	Mengatur ulang LVDT Horizontal
33,5		1	1,08		54,19	89,98	
39,5		1	1,08		54,18	89,99	
32,5		1	1,08		54,18	89,99	
34,5		1	1,08		54,17	90	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
32,5		1	1,08		54,17	90	
32		1	1,08		54,14	90,03	
32,5		1	1,08		54,12	90,05	
33		1	1,08		54,03	90,14	
34		1	1,08		53,57	90,6	
35		1	1,08		53,24	90,93	
38		1	1,08		52,94	91,23	
36,5		1	1,08		52,9	91,27	
32,5		1	1,08	54,3		91,27	Mengatur ulang LVDT Horizontal
32		1	1,08		54,24	91,33	
32,5		1	1,08		54,18	91,39	
33		1	1,08		54,03	91,54	
34		1	1,08		53,57	92	
35		1	1,08		53,24	92,33	
36,5		1	1,08		52,8	92,77	
36,5		1	1,08		52,63	92,94	
35		1	1,08		52,58	92,99	
34,5		1	1,08		52,49	93,08	
35		1	1,08		52,42	93,15	
35,5		1	1,08		52,3	93,27	
36		1	1,08		52,08	93,49	
37		1	1,08		51,7	93,87	
37		1	1,08		51,24	94,33	
36,5		1	1,08		50,78	94,79	
36		1	1,08		50,78	94,79	
36,5		1	1,08		50,79	94,78	
37		1	1,08		50,79	94,78	
36		1	1,08		50,43	95,14	
36,5		1	1,08		50,38	95,19	
36		1	1,08		50,37	95,2	
36,5		1	1,08		49,54	96,03	
36		1	1,08		48,95	96,62	
35,5	-0,13		1,08		48,44	97,13	Mengatur ulang LVDT Verikal
36		-0,13	1,08		48,44	97,13	
36,5		-0,13	1,08		48,4	97,17	
36		-0,13	1,08		48,43	97,14	
36,5		-0,13	1,08		48,43	97,14	
37		-0,13	1,08		48,43	97,14	
36,5		-0,13	1,08		48,43	97,14	
36		-0,13	1,08		48,43	97,14	
35,5		-0,13	1,08		48,42	97,15	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
36		-0,13	1,08		48,38	97,19	
36,5		-0,13	1,08		48,34	97,23	
36		-0,13	1,08		48,34	97,23	
36,5		-0,13	1,08		48,31	97,26	
36		-0,13	1,08		48,3	97,27	
33,5		-0,13	1,08		48,25	97,32	
34,5		-0,13	1,08		48,25	97,32	
35,5		-0,13	1,08		47,52	98,05	
36,5		-0,13	1,08		47,33	98,24	
37,5		-0,13	1,08		47,01	98,56	
38		-0,13	1,08		46,53	99,04	
39		-0,12	1,09		45,86	99,71	
38,5		-0,12	1,09		45,79	99,78	
39,5		-0,12	1,09		44,85	100,72	
40		-0,09	1,12		43,74	101,83	
40,5		-0,07	1,14		42,99	102,58	
41		-0,07	1,14		42,78	102,79	
40,5		-0,05	1,16		41,5	104,07	
41		-0,02	1,19		39,82	105,75	
40		0	1,21		38,84	106,73	
39,5		0	1,21		38,68	106,89	
35		0	1,21		37,8	107,77	
34,5		0,01	1,22		37,49	108,08	
35,5		0,01	1,22		36,92	108,65	
36,5		0,01	1,22		36,33	109,24	
37,5		0,02	1,23		35,37	110,2	
38		0,03	1,24		35	110,57	
38,5		0,05	1,26		33,62	111,95	
39		0,08	1,29		31,93	113,64	
38,5		0,08	1,29		31,85	113,72	
38		0,09	1,3		31,51	114,06	
39		0,09	1,3		31,12	114,45	
39,5		0,11	1,32		29,85	115,72	
40		0,11	1,32		28,98	116,59	
38		0,12	1,33		28,35	117,22	
37,5		0,12	1,33		28,13	117,44	
37		0,13	1,34		25,69	119,88	
38,5		0,13	1,34		24,76	120,81	
37		0,13	1,34		24,76	120,81	
36,5		0,13	1,34		24,69	120,88	
22,5	0,05		1,34		24,65	120,92	Mengatur ulang LVDT Vertikal
22		0,05	1,34		24,6	120,97	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
23		0,05	1,34		24,43	121,14	
23,5		0,05	1,34		23,62	121,95	
21		0,05	1,34		20,65	124,92	
22		0,05	1,34		19,77	125,8	
22,5		0,05	1,34		18,9	126,67	
23		0,05	1,34		17,91	127,66	
22		0,05	1,34		17,5	128,07	
12,5	-0,02		1,34	53,02		128,07	Mengatur ulang LVDT Horizontal & Vertikal
13		-0,02	1,34		53,01	128,08	
12,5		-0,02	1,34		53,01	128,08	
13		-0,02	1,34		51,93	129,16	
12,5		-0,02	1,34		53,83	127,26	
13		-0,02	1,34		54,27	126,82	
12,5		-0,02	1,34		54,26	126,83	
13		-0,02	1,34		53,54	127,55	
13,5		-0,02	1,34		52,11	128,98	
14		-0,01	1,35		50,29	130,8	
14		-0,01	1,35		47,33	133,76	
15		-0,01	1,35		38,93	142,16	
15,5		0,05	1,41		34,54	146,55	
15,5		0,09	1,45		32,78	148,31	
16		0,1	1,46		30,2	150,89	
16,5		0,11	1,47		29,6	151,49	
16		0,11	1,47		29,31	151,78	
16,5		0,13	1,49		28,29	152,8	
16		0,13	1,49		28,03	153,06	
16		0,16	1,52		25,94	155,15	
17		0,16	1,52		25,92	155,17	
16		0,16	1,52		25,91	155,18	
16,5		0,18	1,54		23,26	157,83	
17		0,2	1,56		20,65	160,44	
17,5		0,24	1,6		17,2	163,89	
18		0,24	1,6		13,88	167,21	
18,5		0,27	1,63		8,46	172,63	
18,5		0,29	1,65		7,66	173,43	
18		0,3	1,66		7,55	173,54	
18,5		0,35	1,71		5,46	175,63	
19		0,36	1,72		2,69	178,4	
19,5		0,39	1,75		-0,73	181,82	
20		0,45	1,81		-4,74	185,83	
21		0,47	1,83		-5,44	186,53	
20		0,48	1,84		-6,02	187,11	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
20		0,54	1,9		-8,54	189,63	
20,5		0,55	1,91		-9,66	190,75	
21		0,81	2,17		-18,35	199,44	
22,5		0,89	2,25		-19,28	200,37	
21,5		0,91	2,27		-19,53	200,62	
21,5		1,17	2,53		-22,2	203,29	
23		1,25	2,61		-23,22	204,31	
21		1,27	2,63		-23,53	204,62	
21,5		1,57	2,93		-27,99	209,08	
21,5		1,59	2,95		-28,18	209,27	
21		1,64	3		-28,98	210,07	
21,5		1,71	3,07		-30	211,09	
22		1,73	3,09		-30,5	211,59	
22,5		1,75	3,11		-30,68	211,77	
22		1,79	3,15		-31,4	212,49	
21,5		1,84	3,2		-31,82	212,91	
23,5		1,85	3,21		-31,84	212,93	
23		1,89	3,25		-33	214,09	
21		2,03	3,39		-33,68	214,77	
21,5		2,07	3,43		-35,82	216,91	
21,5		2,17	3,53		-37,08	218,17	
21		2,21	3,57		-37,25	218,34	
21		2,28	3,64		-38,94	220,03	



1.6 Benda Uji M-T-25 B

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0	0,04		0	52,27		0	
0,5		0,04	0		51,5	0,77	
1		0,04	0		51,5	0,77	
1,5		0,04	0		51,5	0,77	
2		0,04	0		51,28	0,99	
2,5		0,04	0		50,67	1,6	
3		0,04	0		50,31	1,96	
3,5		0,04	0		50,06	2,21	
4		0,04	0		49,72	2,55	
4,5		0,04	0		49,57	2,7	
5		0,04	0		48,55	3,72	
5,5		0,04	0		47,81	4,46	
6		0,04	0		47,28	4,99	
6,5		0,04	0		46,47	5,8	
7		0,04	0		44,74	7,53	
6,5		0,04	0		43,43	8,84	
7		0,04	0		42,68	9,59	
7,5		0,04	0		42,22	10,05	
8		0,04	0		40,76	11,51	
8,5		0,04	0		39,64	12,63	
9		0,04	0		38,44	13,83	
9,5		0,04	0		37,82	14,45	
10		0,04	0		37,51	14,76	
10,5		0,04	0		37,23	15,04	
11		0,04	0		36,19	16,08	
11,5		0,04	0		35,03	17,24	
11		0,04	0		34,42	17,85	
11,5		0,04	0		33,28	18,99	
12		0,04	0		33,06	19,21	
12,5		0,04	0		32,55	19,72	
13		0,04	0		32,24	20,03	
13,5		0,04	0		31,48	20,79	
14		0,04	0		30,36	21,91	
14,5		0,04	0		29,28	22,99	
15		0,04	0		28,4	23,87	
15,5		0,04	0		27,42	24,85	
16		0,04	0		27,15	25,12	
16,5		0,04	0		26,14	26,13	
16		0,04	0		25,74	26,53	
17		0,04	0		25,19	27,08	
17,5		0,04	0		24,56	27,71	
18		0,04	0		23,38	28,89	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
18		0,04	0		21,36	30,91	
18		0,04	0		19,55	32,72	
18,5		0,04	0		18,42	33,85	
18,5		0,04	0		16,74	35,53	
18,5		0,04	0		15,92	36,35	
19		0,04	0		14,32	37,95	
19,5		0,04	0		14,03	38,24	
20		0,04	0		13,77	38,5	
20,5		0,05	0,01		12,67	39,6	
20,5		0,05	0,01		10,92	41,35	
21		0,06	0,02		9,93	42,34	
21		0,06	0,02		8,53	43,74	
20,5		0,06	0,02		7,65	44,62	
20		0,07	0,03		7,49	44,78	
21		0,07	0,03		6,5	45,77	
21,5		0,07	0,03		5,41	46,86	
21		0,07	0,03		4,48	47,79	
21,5		0,07	0,03		3,45	48,82	
22		0,07	0,03		2,85	49,42	
22,5		0,07	0,03		2,32	49,95	
23,5		0,08	0,04		2,04	50,23	
23,5		0,08	0,04		0,07	52,2	
23,5		0,08	0,04		-0,55	52,82	
24		0,08	0,04		-2,36	54,63	
24,5		0,08	0,04		-3,92	56,19	
24		0,08	0,04		-5,08	57,35	
25		0,08	0,04		-6,44	58,71	
26		0,08	0,04		-6,54	58,81	
26,5		0,08	0,04		-6,67	58,94	
27		0,08	0,04		-6,7	58,97	
27,5		0,08	0,04		-6,97	59,24	
27,5		0,08	0,04		-8,43	60,7	
27,5		0,08	0,04		-10,14	62,41	
27		0,08	0,04		-10,42	62,69	
27,5		0,08	0,04		-11,28	63,55	
28		0,08	0,04		-11,87	64,14	
26,5		0,08	0,04		-12,75	65,02	
26,5		0,08	0,04		-14,04	66,31	
27,5		0,08	0,04		-15,04	67,31	
27		0,08	0,04		-15,37	67,64	
26,5		0,08	0,04		-15,53	67,8	
27		0,08	0,04		-17,15	69,42	
28		0,08	0,04		-17,66	69,93	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
28,5		0,08	0,04		-18,63	70,9	
27,5		0,08	0,04		-19,88	72,15	
27		0,08	0,04		-20,29	72,56	
26,5		0,08	0,04		-20,42	72,69	
25,5	-0,04		0,04		-20,46	72,73	Mengatur ulang LVDT Vertikal
26,5		-0,04	0,04		-20,75	73,02	
27		-0,04	0,04		-20,98	73,25	
27,5		-0,04	0,04		-21,15	73,42	
28,5		-0,04	0,04		-22,15	74,42	
29		-0,04	0,04		-22,38	74,65	
29,5		-0,04	0,04		-22,91	75,18	
29,5		-0,04	0,04		-25,2	77,47	
29,5		-0,04	0,04		-27,7	79,97	
29		-0,04	0,04		-28,63	80,9	
27		-0,04	0,04		-29,14	81,41	
27,5		-0,04	0,04		-29,64	81,91	
27		-0,04	0,04		-30,02	82,29	
27,5		-0,04	0,04		-30,44	82,71	
30		-0,04	0,04		-30,88	83,15	
32		-0,04	0,04		-30,92	83,19	
32,5		-0,04	0,04		-30,92	83,19	
33		-0,03	0,05		-33,34	85,61	
32,5		-0,01	0,07		-35,79	88,06	
31,5		-0,01	0,07		-35,98	88,25	
31		0	0,08		-36,13	88,4	
31,5		0	0,08		-36,21	88,48	
30,5		0	0,08		-36,25	88,52	
30		0	0,08		-36,31	88,58	
30,5		0	0,08		-36,38	88,65	
28		0,01	0,09	52,75		88,65	Mengatur ulang LVDT Horizontal
28,5		0,01	0,09		52,4	89	
29		0,01	0,09		51,85	89,55	
29,5		0,01	0,09		50,77	90,63	
30,5		0,01	0,09		50,36	91,04	
31		0,01	0,09		49,62	91,78	
31,5		0,02	0,1		48,85	92,55	
31		0,02	0,1		48,55	92,85	
32		0,03	0,11		47,81	93,59	
32		0,03	0,11		46,84	94,56	
31,5		0,04	0,12		45,68	95,72	
32		0,04	0,12		45,13	96,27	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
33		0,05	0,13		44,55	96,85	
33,5		0,05	0,13		43,6	97,8	
33		0,06	0,14		43,3	98,1	
33,5		0,07	0,15		42,38	99,02	
34		0,1	0,18		39,85	101,55	
34,5		0,11	0,19		39,17	102,23	
34		0,14	0,22		36,97	104,43	
33,5		0,15	0,23		36,15	105,25	
31,5		0,26	0,34		33,37	108,03	
30		0,27	0,35		33,31	108,09	
28		0,28	0,36		33,29	108,11	
28		0,28	0,36		33,15	108,25	
29		0,28	0,36		32,3	109,1	
29,5		0,28	0,36		31,75	109,65	
30		0,28	0,36		31,54	109,86	
31		0,28	0,36		30,67	110,73	
31,5		0,31	0,39		30,3	111,1	
31		0,32	0,4		29,94	111,46	
32		0,34	0,42		29,12	112,28	
33		0,34	0,42		28,84	112,56	
33,5		0,35	0,43		28,5	112,9	
33		0,35	0,43		26,97	114,43	
34		0,35	0,43		26,84	114,56	
34,5		0,35	0,43		26,74	114,66	
34		0,38	0,46		26,53	114,87	
33		0,38	0,46		25,74	115,66	
31,5		0,4	0,48		25,59	115,81	
29,5		0,4	0,48		25,42	115,98	
30,5		0,4	0,48		25,23	116,17	
31		0,4	0,48		24,74	116,66	
31,5		0,4	0,48		24,66	116,74	
30,5		0,4	0,48		24,57	116,83	
30		0,4	0,48		24,56	116,84	
29,5		0,41	0,49		24,52	116,88	
30,5		0,41	0,49		24,07	117,33	
28,5		0,41	0,49		23,36	118,04	
28		0,42	0,5		23,07	118,33	
28,5		0,42	0,5		22,98	118,42	
29		0,42	0,5		22,56	118,84	
29,5		0,42	0,5		22,48	118,92	
29		0,43	0,51		21,9	119,5	
28,5		0,43	0,51		21,67	119,73	
28		0,44	0,52		21,3	120,1	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
27		0,44	0,52		20,94	120,46	
27,5		0,44	0,52		20,94	120,46	
27		0,44	0,52		20,94	120,46	
27,5		0,45	0,53		20,28	121,12	
28,5		0,45	0,53		19,63	121,77	
28		0,48	0,56		18,3	123,1	
27		0,49	0,57		17,34	124,06	
26,5		0,49	0,57		15,97	125,43	
26		0,49	0,57		15,42	125,98	
25,5		0,5	0,58		13,95	127,45	
26		0,51	0,59		12,87	128,53	
25,5		0,52	0,6		11,75	129,65	
25		0,52	0,6		11,34	130,06	
25,5		0,53	0,61		9,64	131,76	
25		0,54	0,62		9,59	131,81	
24,5		0,54	0,62		8,94	132,46	
24		0,55	0,63		8,18	133,22	
23,5		0,56	0,64		7,85	133,55	
23		0,57	0,65		7,3	134,1	
24		0,58	0,66		6,79	134,61	
23,5		0,58	0,66		6,98	134,42	
22,5		0,61	0,69		4,91	136,49	
23		0,61	0,69		4,62	136,78	
22,5		0,62	0,7		3,55	137,85	
22		0,62	0,7		3,4	138	
21		0,62	0,7		3,37	138,03	
20,5		0,63	0,71		1,55	139,85	
20		0,63	0,71		1,17	140,23	
19		0,63	0,71		0,97	140,43	
17,5		0,63	0,71		0,89	140,51	
17		0,63	0,71		0,89	140,51	
16,5		0,63	0,71		0,89	140,51	
16		0,63	0,71		0,81	140,59	
16,5		0,63	0,71		0,28	141,12	
17		0,63	0,71		-1,89	143,29	
16,5		0,63	0,71		-3,5	144,9	
16		0,63	0,71		-4,51	145,91	
15		0,65	0,73		-5,4	146,8	
14		0,65	0,73		-6,44	147,84	
13,5		0,65	0,73		-6,82	148,22	
14		0,65	0,73		-7,62	149,02	
13,5		0,65	0,73		-8,35	149,75	
14		0,65	0,73		-8,53	149,93	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
14		0,65	0,73		-10,87	152,27	
14		0,65	0,73		-13,76	155,16	
15		0,65	0,73		-14,45	155,85	
15		0,65	0,73		-16,23	157,63	
15		0,65	0,73		-18,97	160,37	
14,5		0,65	0,73		-20,01	161,41	
15		0,65	0,73		-21,03	162,43	
15,5		0,65	0,73		-24,51	165,91	
14		0,65	0,73		-25,12	166,52	
14,5		0,65	0,73		-26,91	168,31	
15,5		0,65	0,73		-27,4	168,8	
16		0,67	0,75		-29,77	171,17	
16,5		0,67	0,75		-30	171,4	
16		0,7	0,78		-33,13	174,53	
15		0,72	0,8		-35,6	177	
16		0,74	0,82		-36,2	177,6	
15,5		0,86	0,94		-39,46	180,86	
16		0,94	1,02		-40,12	181,52	
16,5		0,96	1,04		-41,2	182,6	
16		0,96	1,04		-41,28	182,68	
16,5		0,98	1,06		-41,4	182,8	
16		1	1,08		-42,18	183,58	
16		1,24	1,32		-46,3	187,7	
15,5		1,27	1,35		-46,48	187,88	
15,5		1,29	1,37		-46,56	187,96	
15		1,35	1,43	36,69		187,96	Mengatur ulang LVDT Horizontal
15		1,36	1,44		35,23	189,42	
15,5		1,37	1,45		33,81	190,84	
16		1,38	1,46		31,81	192,84	
16,5		1,41	1,49		30,51	194,14	
15,5		1,74	1,82		25,03	199,62	
16,5		1,78	1,86		24,5	200,15	
16		1,82	1,9		23,61	201,04	
16		1,94	2,02		19,78	204,87	
15		1,98	2,06		18,14	206,51	
13,5		2,02	2,1		17,17	207,48	
14		2,07	2,15		15,3	209,35	
14,5		2,1	2,18		14,25	210,4	
14,5		2,17	2,25		11,94	212,71	
15		2,21	2,29		10,98	213,67	
15,5		2,31	2,39		7,85	216,8	
16		2,31	2,39		7,6	217,05	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
15,5		2,35	2,43		7,01	217,64	
16		2,4	2,48		5,2	219,45	
17		2,46	2,54		4,24	220,41	
16,5		2,59	2,67		1,91	222,74	
17		2,61	2,69		1,36	223,29	
16		2,61	2,69		-0,51	225,16	
16,5		2,62	2,7		-1	225,65	
17		2,66	2,74		-1,58	226,23	
17,5		2,7	2,78		-3,99	228,64	
16,5		2,74	2,82		-5,41	230,06	
17,5		2,75	2,83		-6,15	230,8	
17,5		2,79	2,87		-8,11	232,76	
17		2,8	2,88		-8,33	232,98	
16,5		2,82	2,9		-8,51	233,16	
16,5		2,82	2,9		-8,6	233,25	
16		2,82	2,9		-8,64	233,29	
16,5		2,82	2,9		-10,63	235,28	
17		2,82	2,9		-12,43	237,08	
16,5		2,82	2,9		-13,05	237,7	
15,5		2,82	2,9		-16,04	240,69	
16		2,82	2,9		-17,94	242,59	
16	0,02		2,9		-18,8	243,45	Mengatur ulang LVDT Vertikal
15,5		0,02	2,9		-18,82	243,47	
16		0,03	2,91		-21,57	246,22	
17		0,22	3,1		-26,58	251,23	
16,5		0,24	3,12		-27,1	251,75	
17		0,29	3,17		-28,5	253,15	
17,5		0,32	3,2		-29,93	254,58	
17		0,52	3,4		-33,98	258,63	
17,5		0,55	3,43		-34,12	258,77	
17		0,55	3,43		-34,14	258,79	
16,5		0,58	3,46		-34,24	258,89	
17		0,62	3,5		-34,35	259	

1.7 Benda Uji M-T-50 A

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0	0,11		0	42,3	0		
0,5		0,11	0	41,18	1,12		
1,5		0,11	0	40,87	1,43		
2		0,11	0	40,98	1,32		
2,5		0,11	0	39,95	2,35		
3		0,11	0	39,42	2,88		
3,5		0,11	0	38,68	3,62		
4		0,11	0	38,4	3,9		
4,5		0,11	0	37,15	5,15		
5		0,11	0	36,34	5,96		
5,5		0,11	0	32,89	9,41		Mengatur ulang LVDT Horizontal
5,5		0,12	0,01	30,94	9,41		
6		0,12	0,01	27,42	12,93		
6,5		0,12	0,01	22,09	18,26		
7		0,12	0,01	19,13	21,22		
7,5		0,12	0,01	18	22,35		
8		0,13	0,02	17,46	22,89		
8,5		0,13	0,02	16,81	23,54		
9		0,13	0,02	16,14	24,21		
9,5		0,13	0,02	14,29	26,06		
10		0,13	0,02	8,95	31,4		
10,5		0,13	0,02	6,35	34		
11		0,13	0,02	5,41	34,94		
11,5		0,13	0,02	3,3	37,05		Mengatur ulang LVDT Vertikal
12	0,52		0,02	2,43	37,92		
12,5		0,52	0,02	0,02	40,33		Mengatur ulang LVDT Horizontal
13		0,52	0,02	4,61	40,33		
13,5		0,55	0,05	2,39	42,55		
14		0,55	0,05	0,58	44,36		
14,5		0,55	0,05	-1,68	46,62		
15		0,55	0,05	-3,81	48,75		
15,5		0,55	0,05	-6,62	51,56		
16		0,57	0,07	-7,64	52,58		
16,5		0,57	0,07	-9,66	54,6		
17		0,57	0,07	-10,75	55,69		
17,5		0,57	0,07	-12,96	57,9		
18		0,58	0,08	-16,46	61,4		
18,5		0,58	0,08	-17,49	62,43		

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
19		0,59	0,09		-20,65	65,59	
19,5		0,59	0,09		-21,62	66,56	
20		0,59	0,09		-24,57	69,51	
19,5		0,59	0,09		-24,62	69,56	
20,5		0,59	0,09		-24,73	69,67	
21,5		0,59	0,09		-28,05	72,99	
22		0,59	0,09		-28,96	73,9	
21,5		0,59	0,09		-30,87	75,81	
22,5		0,59	0,09		-31,92	76,86	
23,5		0,59	0,09		-33,12	78,06	
23		0,59	0,09		-34,51	79,45	Mengatur ulang LVDT Horizontal
23,5		0,6	0,1	54,17		79,45	
24		0,6	0,1		51,37	82,25	
24,5		0,6	0,1		49,25	84,37	
25		0,6	0,1		48,84	84,78	
25,5		0,6	0,1		47,8	85,82	
26		0,6	0,1		46,44	87,18	
26,5		0,6	0,1		46,33	87,29	
27		0,6	0,1		45,54	88,08	
27,5		0,6	0,1		45,04	88,58	
28,5		0,6	0,1		43,68	89,94	
29		0,61	0,11		40,67	92,95	
26		0,61	0,11		40,3	93,32	
26,5		0,62	0,12		37,75	95,87	
27		0,62	0,12		35,26	98,36	
27,5		0,62	0,12		33,1	100,52	Mengatur ulang LVDT Vertikal
27	0,02		0,12		32,02	101,6	
27,5		0,02	0,12		31,59	102,03	
28		0,02	0,12		31,27	102,35	
28,5		0,02	0,12		30,49	103,13	
29,5		0,02	0,12		28,04	105,58	
30		0,02	0,12		27,05	106,57	
30,5		0,02	0,12		26,44	107,18	
31,5		0,02	0,12		26,04	107,58	
32		0,02	0,12		23,47	110,15	
33		0,02	0,12		22,97	110,65	
32,5		0,02	0,12		21,7	111,92	
33		0,02	0,12		21,13	112,49	
29,5		0,02	0,12		19,71	113,91	
30,5		0,02	0,12		17,8	115,82	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
31,5		0,02	0,12		15,42	118,2	
31		0,02	0,12		14,75	118,87	
31,5		0,02	0,12		14,19	119,43	
32,5		0,02	0,12		12,94	120,68	
31,5		0,02	0,12		11,78	121,84	
32,5		0,02	0,12		9,78	123,84	
29,5		0,02	0,12		9,05	124,57	
30		0,02	0,12		6,7	126,92	
29,5		0,02	0,12		6,58	127,04	
31,5		0,02	0,12		6,19	127,43	
32		0,02	0,12		6,06	127,56	
33		0,02	0,12		4,31	129,31	
32,5		0,02	0,12		3,6	130,02	
32		0,03	0,13		2,68	130,94	
32,5		0,03	0,13		1,94	131,68	
32		0,03	0,13		0,57	133,05	
32,5		0,03	0,13		-2,38	136	
32		0,03	0,13		-3,96	137,58	
30,5		0,03	0,13		-4,38	138	
31		0,05	0,15		-5,87	139,49	
31,5		0,05	0,15		-6,09	139,71	
31		0,05	0,15		-6,19	139,81	
31,5		0,05	0,15		-7,63	141,25	
31		0,05	0,15		-7,81	141,43	
31,5		0,05	0,15		-10,76	144,38	
31		0,05	0,15		-11,2	144,82	
32		0,05	0,15		-12,09	145,71	
31,5		0,05	0,15		-15,15	148,77	
32		0,05	0,15		-16,46	150,08	
31,5		0,05	0,15		-17,01	150,63	
30,5		0,05	0,15		-20,93	154,55	
31		0,05	0,15		-21,91	155,53	
29,5		0,05	0,15		-22,76	156,38	
29		0,05	0,15		-23,85	157,47	
28,5		0,05	0,15		-25,55	159,17	
24,5		0,05	0,15		-26,45	160,07	
26,5		0,05	0,15		-28,98	162,6	
27		0,05	0,15		-32,95	166,57	
27,5		0,05	0,15		-33,98	167,6	
28		0,05	0,15		-35,62	169,24	
26,5		0,05	0,15		-36,89	170,51	
25,5		0,05	0,15		-37,74	171,36	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
25		0,05	0,15		-39,07	172,69	
25,5		0,05	0,15		-40,01	173,63	
24,5		0,05	0,15		-40,24	173,86	
27		0,05	0,15		-40,92	174,54	
27,5		0,05	0,15		-41,58	175,2	
27		0,05	0,15		-41,95	175,57	
28		0,05	0,15		-45,17	178,79	Mengatur ulang LVDT Horizontal
27,5		0,08	0,18	31,31		178,79	
28,5		0,08	0,18		29,21	180,89	
28		0,08	0,18		28,88	181,22	
27,5		0,08	0,18		27,55	182,55	
27		0,08	0,18		26,36	183,74	
26,5		0,08	0,18		25,82	184,28	
27		0,08	0,18		25,36	184,74	
25,5		0,08	0,18		25,24	184,86	
26		0,09	0,19		21,94	188,16	
27		0,1	0,2		21,44	188,66	
26,5		0,12	0,22		19,82	190,28	
27,5		0,13	0,23		18,79	191,31	
27		0,15	0,25		17,77	192,33	
25,5		0,15	0,25		17,66	192,44	
24		0,17	0,27		15,81	194,29	

1.8 Benda Uji M-T-50 B

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
0	-0,17	-0,17	0	35,89	35,89	0	
1,5		-0,13	0,04		34,43	1,46	
2,5		-0,13	0,04		33,89	2	
3		-0,13	0,04		33,4	2,49	
3,5		-0,13	0,04		32,94	2,95	
4		-0,13	0,04		32,43	3,46	
4,5		-0,12	0,05		31,43	4,46	
5		-0,09	0,08		30,15	5,74	
5,5		-0,07	0,1		28,9	6,99	
6		-0,06	0,11		28,42	7,47	
6,5		-0,04	0,13		27,21	8,68	
7		-0,02	0,15		26,09	9,8	
7,5		0	0,17		24,81	11,08	
8		0,02	0,19		23,76	12,13	
8,5		0,06	0,23		23,04	12,85	
9		0,06	0,23		22,25	13,64	
9,5		0,07	0,24		22	13,89	
10		0,08	0,25		21,08	14,81	
11		0,12	0,29		20,01	15,88	
11,5		0,14	0,31		19,05	16,84	
12		0,16	0,33		18,29	17,6	
12,5		0,19	0,36		17,29	18,6	
13,5		0,21	0,38		16,62	19,27	
14		0,23	0,4		15,64	20,25	
14,5		0,25	0,42		15,13	20,76	
15		0,29	0,46		14,43	21,46	
15,5		0,3	0,47		13,65	22,24	
16		0,31	0,48		12,97	22,92	
16,5		0,33	0,5		12,14	23,75	
17		0,35	0,52		11,48	24,41	
17,5		0,35	0,52		11,41	24,48	
18		0,36	0,53		10,38	25,51	
18,5		0,39	0,56		9,77	26,12	
19		0,41	0,58		9,62	26,27	
19,5		0,46	0,63		7,97	27,92	
20		0,46	0,63		6,78	29,11	
20,5		0,48	0,65		5,13	30,76	
21		0,51	0,68		3,53	32,36	
21,5		0,53	0,7		1,69	34,2	
22		0,56	0,73		-1,06	36,95	



Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
22,5		0,62	0,79		-4,5	40,39	
23		0,66	0,83		-9,4	45,29	
23,5		0,66	0,83		-10,24	46,13	
23		0,67	0,84		-11,42	47,31	
23,5		0,67	0,84		-11,65	47,54	
24		0,71	0,88		-15,94	51,83	
23,5		0,72	0,89		-16,21	52,1	
24		0,72	0,89		-16,44	52,33	
24,5		0,76	0,93		-19,29	55,18	
25		0,81	0,98		-23,69	59,58	
25,5		0,83	1		-25,15	61,04	
25		0,83	1		-25,43	61,32	
24,5		0,84	1,01		-26,62	62,51	
24		0,84	1,01		-25,89	61,78	
24,5		0,84	1,01		-26,08	61,97	
24		0,84	1,01		-27,14	63,03	Mengatur ulang LVDT Horizontal
24		0,85	1,02	53,94	53,94	63,03	
24,5		0,85	1,02		52,98	63,99	
25,5		0,87	1,04		52,14	64,83	
26		0,92	1,09		48,24	68,73	
26,5		0,95	1,12		44,87	72,1	
27		1,03	1,2		39,19	77,78	
27,5		1,06	1,23		35,01	81,96	
27		1,07	1,24		33,37	83,6	
27,5		1,03	1,22		31,95	85,02	Mengatur ulang LVDT Vertikal
27	0,07	0,07	1,22		26,88	90,09	
27,5		0,07	1,22		26,62	90,35	
27		0,07	1,22		26,37	90,6	
26,5		0,07	1,22		26,07	90,9	
27,5		0,07	1,22		25,61	91,36	
28		0,07	1,22		22,31	94,66	
27,5		0,07	1,22		21,11	95,86	
27		0,07	1,22		20,82	96,15	
26,5		0,07	1,22		20,82	96,15	
26		0,07	1,22		20,56	96,41	
25,5		0,07	1,22		20,35	96,62	
25		0,07	1,22		19,36	97,61	
24		0,05	1,24		17,33	99,64	
23,5		0,05	1,24		17,1	99,87	
24		0,05	1,24		14,16	102,81	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
24,5		0,03	1,26		12,14	104,83	
24		0,03	1,26		10,74	106,23	
23		0,01	1,28		8,79	108,18	
22		-0,01	1,3		7,42	109,55	
21,5		-0,05	1,34		4,23	112,74	
21		-0,06	1,35		3,37	113,6	
20,5		-0,08	1,37		1,28	115,69	
18		-0,08	1,37		0,99	115,98	
17		-0,1	1,39		-0,15	117,12	
16,5		-0,1	1,39		-0,15	117,12	
16		-0,13	1,42		-2,77	119,74	
16,5		-0,13	1,42		-3,5	120,47	
17		-0,14	1,43		-6,44	123,41	
19		-0,17	1,46		-11,18	128,15	
19,5		-0,17	1,46		-11,43	128,4	
14		-0,52	1,81		-13,84	130,81	
13		-0,52	1,81		-14,28	131,25	
12		-0,53	1,82		-14,28	131,25	
12,5		-0,53	1,82		-14,46	131,43	
13		-0,53	1,82		-14,86	131,83	
13,5		-0,53	1,82		-17,65	134,62	
14		-0,53	1,82		-22,08	139,05	
14,5		-0,53	1,82		-28,24	145,21	
14		-0,53	1,82		-30,06	147,03	Mengatur ulang LVDT Horizontal
13,5		-0,54	1,83	52,08	52,08	147,03	
14		-0,54	1,83		49,75	149,36	
14,5		-0,54	1,83		46,6	152,51	
15		-0,54	1,83		38,11	161	
14,5		-0,54	1,83		35,37	163,74	
13		-0,61	1,9		32,65	166,46	
12		-0,61	1,9		32,63	166,48	
12,5		-0,61	1,9		31,89	167,22	
13		-0,61	1,9		30,1	169,01	
13,5		-0,61	1,9		27,97	171,14	
14		-0,5	2,01		15,79	183,32	
13,5		-0,5	2,01		15,4	183,71	
14		-0,5	2,01		13,19	185,92	
14,5		-0,43	2,08		7,75	191,36	
14		-0,38	2,13		6,16	192,95	
14,5		-0,26	2,25		0,9	198,21	
15		-0,16	2,35		-4,84	203,95	

Beban (Kg)	Pembacaan LVDT Vertikal (mm)		Delta Vertikal (mm)	Pembacaan LVDT Horizontal (mm)		Delta Horizontal (mm)	Keterangan
	Awal	Akhir		Awal	Akhir		
15,5		-0,13	2,38		-7,88	206,99	
16		-0,1	2,41		-10,28	209,39	
15		-0,08	2,43		-14,05	213,16	
15,5		-0,08	2,43		-15,81	214,92	
16,5		-0,02	2,49		-19,59	218,7	
16		0,06	2,53		-24,32	223,43	
17		0,08	2,55		-25,11	224,22	
16,5		0,1	2,57		-27,75	226,86	
17,5		0,16	2,63		-31,19	230,3	
18		0,32	2,79		-37,29	236,4	
16,5		0,32	2,79		-37,47	236,58	
17		0,32	2,79		-37,73	236,84	
18		0,32	2,79		-39,4	238,51	
17		0,34	2,81		-40,44	239,55	
18		0,36	2,83		-41,87	240,98	
17,5		0,4	2,87		-42,16	241,27	
18		0,4	2,87		-42,26	241,37	
17,5		0,4	2,87		-42,27	241,38	
18		0,43	2,9		-42,3	241,41	
17,5		0,45	2,92		-42,35	241,46	

## LAMPIRAN II

## HASIL ANALISIS KEKAKUAN

Kekakuan merupakan besarnya gaya yang dibutuhkan oleh suatu elemen atau komponen struktur untuk dapat menghasilkan suatu lendutan. Nilai kekakuan dapat didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$k = \frac{P}{x}$$

Keterangan;

P = Beban yang terjadi (kg)

x = Deformasi searah beban (m)

k = Kekakuan struktur (kg/m)

Nilai kekakuan dapat didekati dengan menggunakan 2 (dua) metode, yaitu kekakuan metode *tangent* dan kekakuan metode *secant*. Langkah-langkah perhitungan nilai kekakuan dengan metode *tangent* maupun *secant* adalah sebagai berikut.

a. Kekakuan metode *tangent*

1. Membuat grafik hubungan beban dan perpindahan untuk setiap benda uji.
2. Menarik garis lurus dari titik beban maksimum searah sumbu x dan sumbu y sehingga didapatkan nilai beban maksimum dan besar perpindahan yang terjadi.
3. Membuat garis linear dari titik (0,0) yang menyinggung lengkung pertama dari grafik dan dipotongkan dengan garis lurus sumbu x dari poin 2.
4. Menarik garis searah sumbu y dari titik potong pada poin 3 untuk mendapatkan nilai perpindahan yang terjadi.
5. Membagi hasil plot nilai beban maksimum dari poin 2 dengan perpindahan dari poin 4.

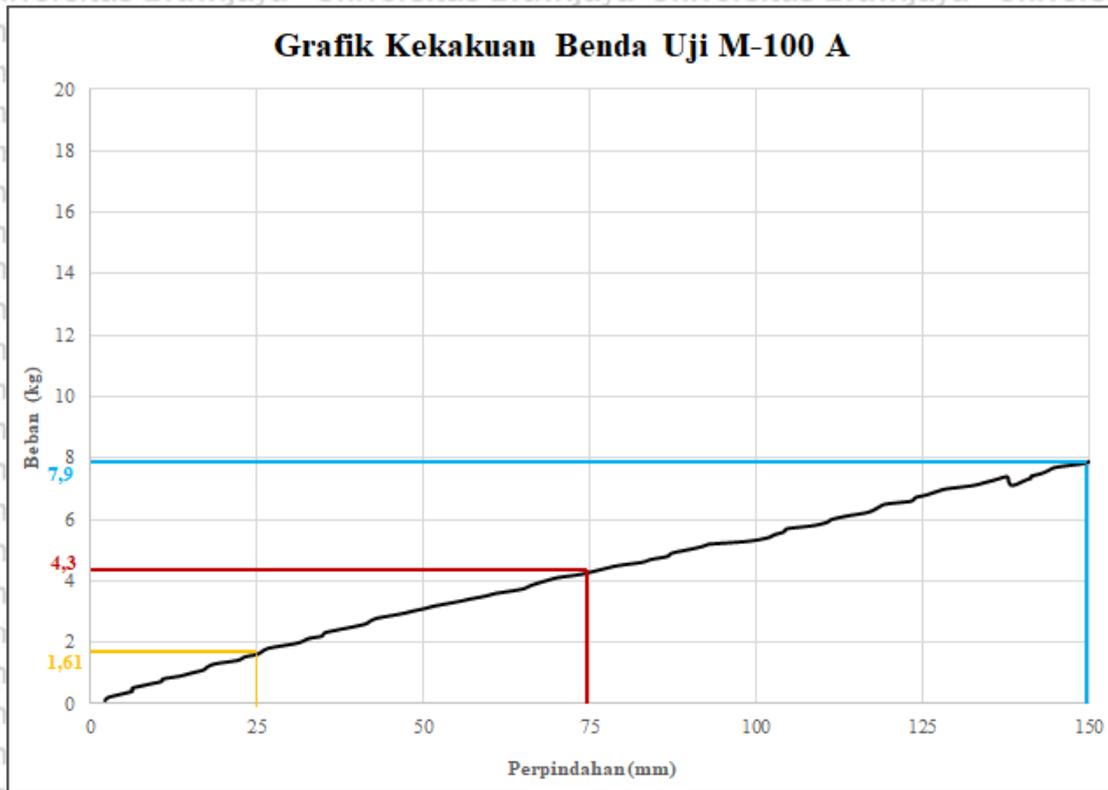
b. Kekakuan metode *secant*

1. Membuat grafik hubungan beban dan perpindahan untuk setiap benda uji.
2. Menarik garis lurus dari titik beban maksimum searah sumbu x dan sumbu y sehingga didapatkan nilai beban maksimum dan besar perpindahan yang terjadi.
3. Menarik garis lurus searah sumbu x dan sumbu y pada saat besar beban 75% dari beban maksimum.
4. Membuat garis linear dari titik (0,0) yang menyinggung titik pada poin 3 kemudian garis diperpanjang hingga memotong garis pada poin 2.

5. Menarik garis searah sumbu y dari titik potong pada poin 4 untuk mendapatkan nilai perpindahan yang terjadi.
6. Membagi hasil plot nilai beban dari poin 3 dengan perpindahan dari poin 5.

Berikut perhitungan nilai kekakuan untuk masing-masing benda uji.

### 2.9 Kekakuan Benda Uji M-100 A



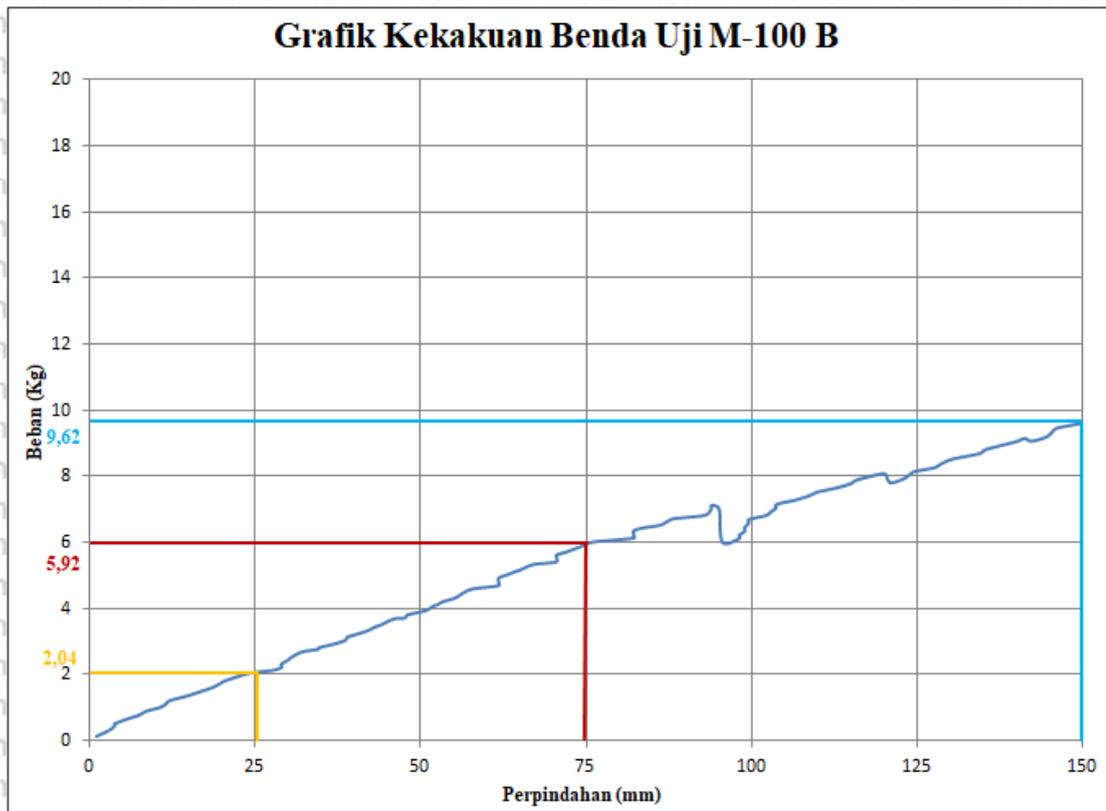
$$\text{Kekakuan pada saat } \Delta 25 \text{ mm} = \frac{P}{x} = \frac{1,61}{25} = 0,064 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Kekakuan pada saat } \Delta 75 \text{ mm} = \frac{P}{x} = \frac{4,3}{75} = 0,057 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Kekakuan pada saat } \Delta 150 \text{ mm} = \frac{P}{x} = \frac{7,9}{150} = 0,053 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Kekakuan rata-rata} = \frac{0,064+0,057+0,053}{3} = 0,058 \text{ kg/mm}$$

2.10 Kekakuan Benda Uji M-100 B



$$\text{Kekakuan pada saat } \Delta 25 \text{ mm} = \frac{P}{x} = \frac{2,04}{25} = 0,082 \text{ kg/mm}$$

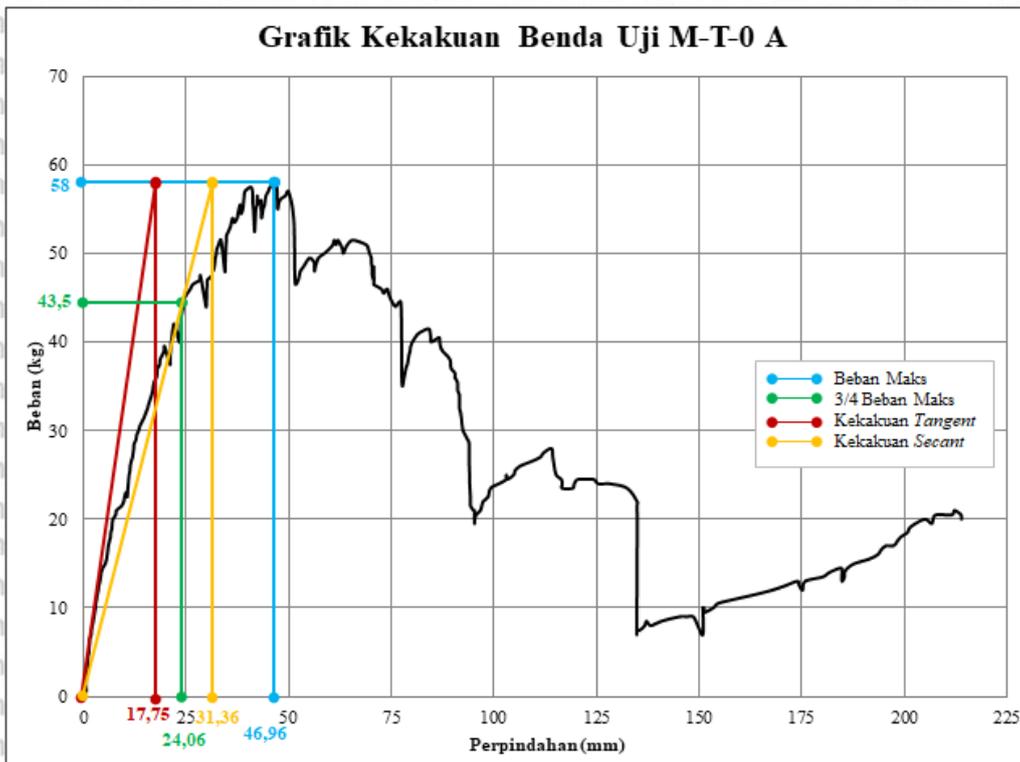
$$\text{Kekakuan pada saat } \Delta 75 \text{ mm} = \frac{P}{x} = \frac{5,92}{75} = 0,079 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Kekakuan pada saat } \Delta 150 \text{ mm} = \frac{P}{x} = \frac{9,62}{150} = 0,064 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Kekakuan rata-rata} = \frac{0,082+0,079+0,064}{3} = 0,075 \text{ kg/mm}$$



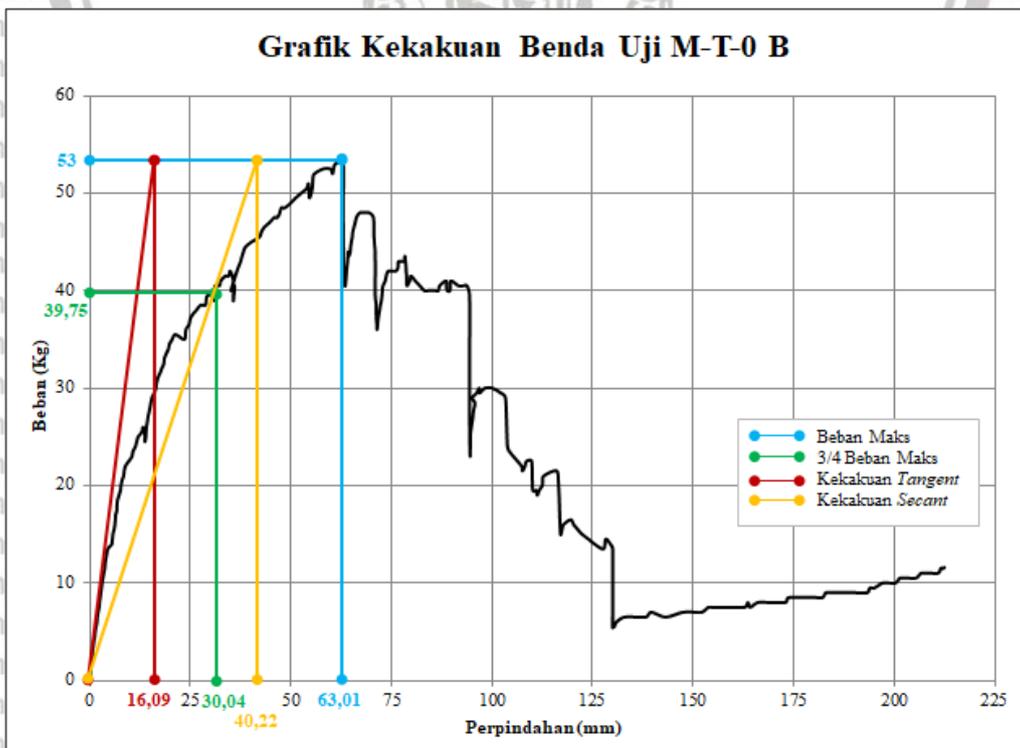
2.11 Kekakuan Benda Uji M-T-0 A



$$k_{\text{tangent}} = \frac{58}{17,75} = 3,268 \text{ kg/mm}$$

$$k_{\text{secant}} = \frac{58}{31,36} = 1,849 \text{ kg/mm}$$

2.12 Kekakuan Benda Uji M-T-0 B

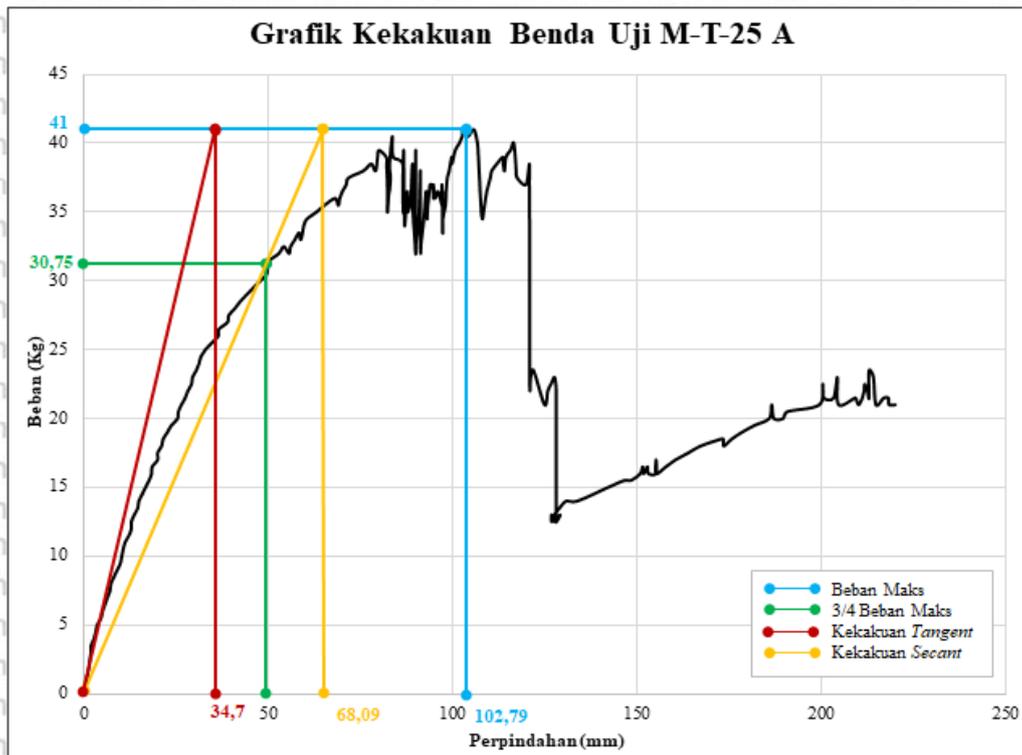


$$k_{\text{tangent}} = \frac{53}{16,09} = 3,294 \text{ kg/mm}$$

$$k_{\text{secant}} = \frac{53}{40,22} = 1,318 \text{ kg/mm}$$



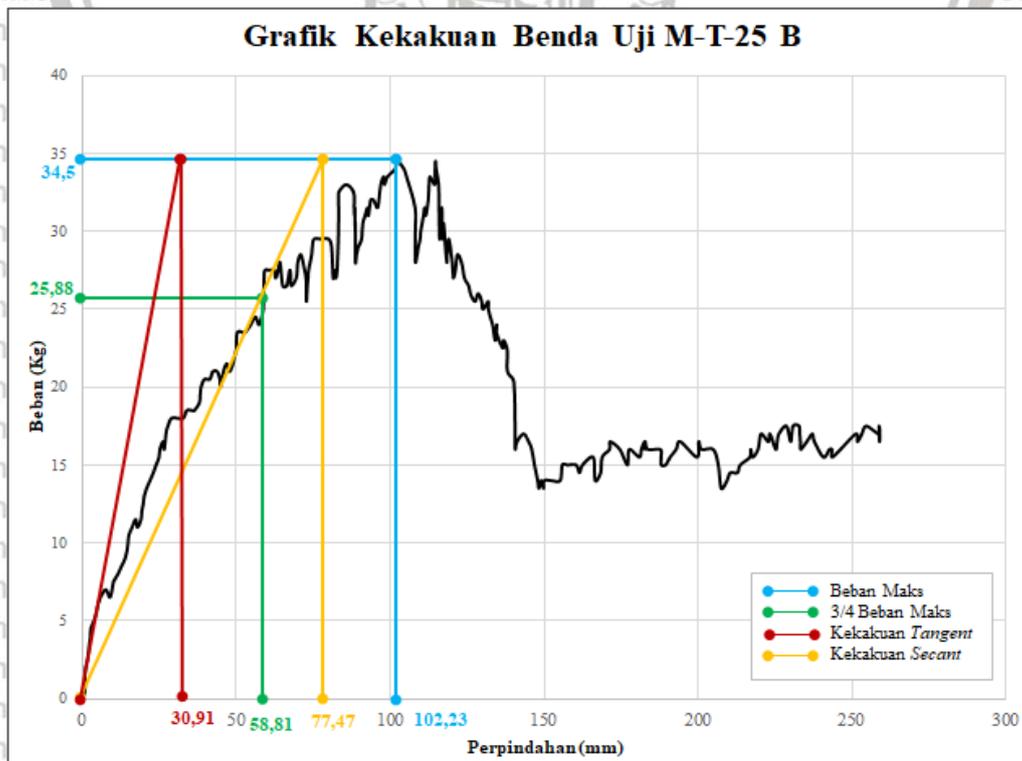
2.13 Kekakuan Benda Uji M-T-25 A



$$k_{\text{tangent}} = \frac{41}{34,7} = 1,182 \text{ kg/mm}$$

$$k_{\text{secant}} = \frac{41}{68,09} = 0,602 \text{ kg/mm}$$

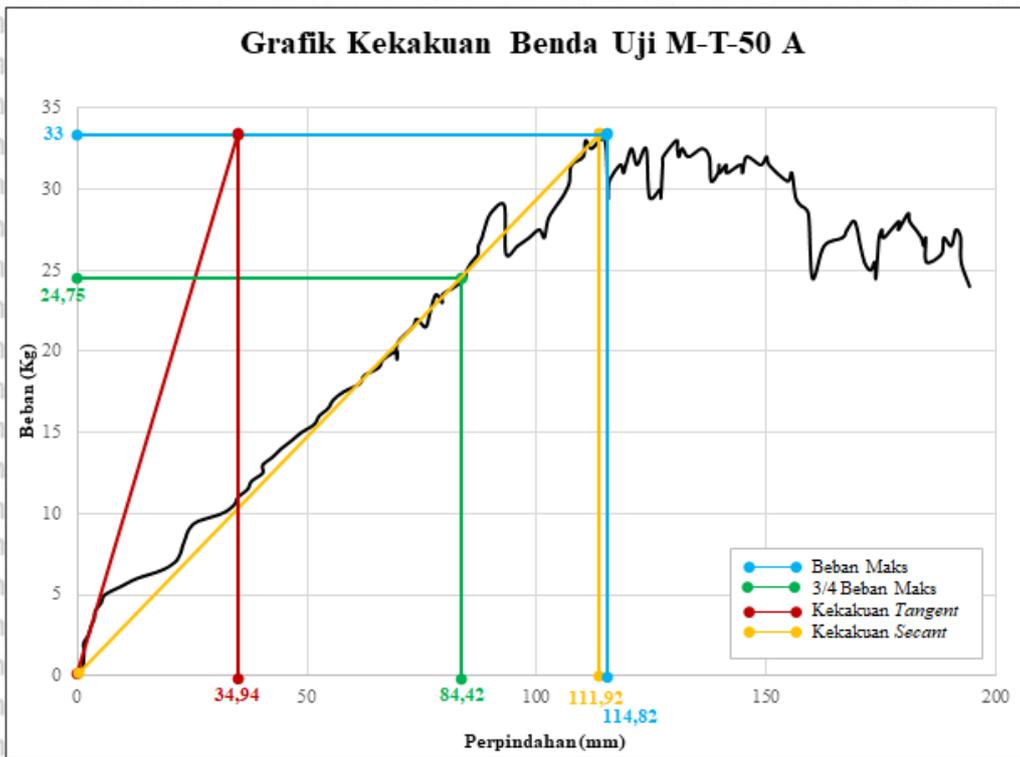
2.14 Kekakuan Benda Uji M-T-25 B



$$k_{\text{tangent}} = \frac{34,5}{30,91} = 1,116 \text{ kg/mm}$$

$$k_{\text{secant}} = \frac{34,5}{77,47} = 0,445 \text{ kg/mm}$$

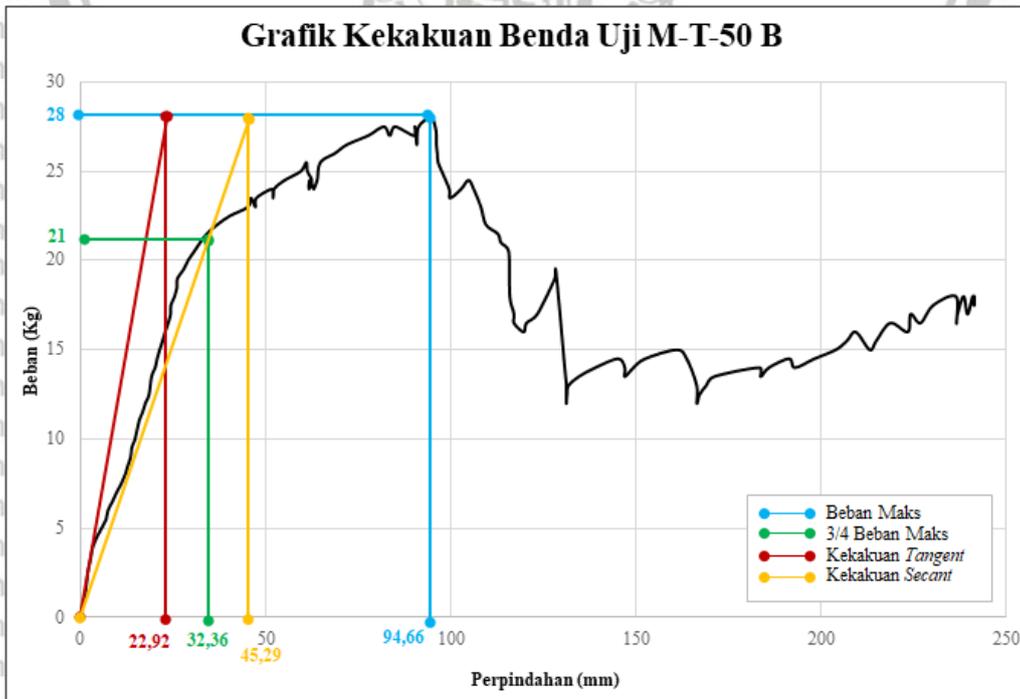
2.15 Kekakuan Benda Uji M-T-50 A



$$k_{\text{tangent}} = \frac{33}{34,94} = 0,945 \text{ kg/mm}$$

$$k_{\text{secant}} = \frac{33}{111,92} = 0,295 \text{ kg/mm}$$

2.16 Kekakuan Benda Uji M-T-50 B



$$k_{\text{tangent}} = \frac{28}{22,92} = 1,222 \text{ kg/mm}$$

$$k_{\text{secant}} = \frac{28}{45,29} = 0,618 \text{ kg/mm}$$



LAMPIRAN III

DOKUMENTASI PENELITIAN

3.1 Pembuatan Benda Uji



Pemotongan material canai dingin dan multiplek sesuai ukuran yang diinginkan.



Pembuatan pelat sambung berbentuk siku-siku berukuran 8 x 2 cm.



Merangkai benda uji dengan bantuan mal (cetakan) dilanjutkan dengan pemasangan sambungan pada tiap joinnya.



Detail sambungan pada benda uji portal.



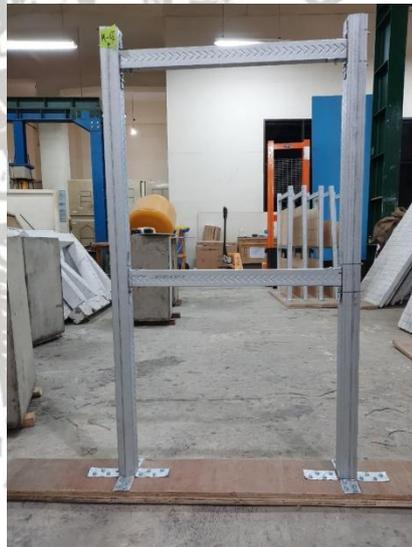
Memotong ujung kolom sepanjang 8 cm untuk dibengkokkan sehingga akan menjadi sambungan antara kolom dengan alas multiplek.

Pemasangan panel dinding pada benda uji diikuti dengan pemasangan sekrup pada sambungan kolom dan alas multiplek.

### 3.2 Benda Uji Sebelum Pengujian Monotonik



Benda uji M-100 A



Benda uji M-100 B



Benda uji M-T-0 A



Benda uji M-T-0 B



Benda uji M-T-25 A



Benda uji M-T-25 B



Benda uji M-T-50 A



Benda uji M-T-50 B

### 3.3 Pengujian Monotonik pada Portal Canai Dingin



Pengujian benda uji M-100 A



Pengujian benda uji M-100 B





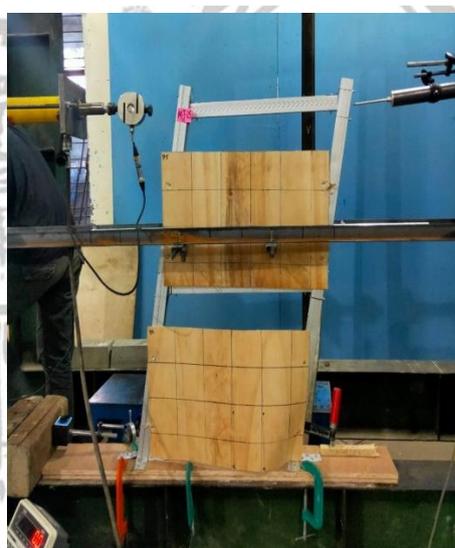
Pengujian benda uji M-T-0 A



Pengujian benda uji M-T-0 B



Pengujian benda uji M-T-25 A



Pengujian benda uji M-T-25 B



Pengujian benda uji M-T-50 A



Pengujian benda uji M-T-50 B

### 3.4 Benda Uji Setelah Pengujian Monotonik



Benda uji M-100 A



Benda uji M-100 B



Benda uji M-T-0 A



Benda uji M-T-0 B



Benda uji M-T-25 A



Benda uji M-T-25 B



Benda uji M-T-50 A



Benda uji M-T-50 B



