

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN ALAT PERAGA STATIKA
UNTUK MENGANALISIS GAYA GESER DAN
MOMEN LENTUR
(*DESIGN AND BUILD A STATIC DEMONSTRATION
TOOL TO ANALYZE SHEAR FORCE AND BENDING
MOMENT*)**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Dwi Yoga Pratama
20511189**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN ALAT PERAGA STATIKA UNTUK MENGANALISIS GAYA GESER DAN MOMEN LENTUR (*DESIGN AND BUILD A STATIC DEMONSTRATION TOOL TO ANALYZE SHEAR FORCE AND BENDING MOMENT*)

Disusun oleh

Dwi Yoga Pratama
20511189

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 16 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I



28-08-24

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.

NIP: 165111301

Penguji I



Jafar, S.T., M.T., MURP.

NIP: 185111305

Penguji II



28/8/2024

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.

NIP: 185111304

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



I. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.

NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sembernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundangundangan yang berlaku.

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan



Dwi Yoga Pratama

20511189

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT, yang dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Rancang Bangun Alat Peraga Statika untuk Menganalisis Gaya Geser dan Momen Lentur". Salawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang kita nantikan syafaatnya di hari kiamat nanti. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai tantangan. Namun, dengan bantuan, saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

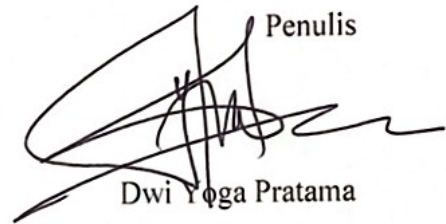
1. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak panduan, nasihat, dan dorongan selama proses penyelesaian Tugas Akhir,
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Eng. IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
3. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP. dan Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran,
4. Bapak Yadiman, ibu Karmini, dan Siti Atminah, S.Ds., kedua orang tua serta kakak penulis yang telah memberikan dukungan besar, baik secara materi maupun spiritual, yang telah menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan semangat,
5. Sindi Ana Fitri, istri penulis yang sedang mengandung buah hati, yang senantiasa memberikan bantuan, menjadi pendengar setia dalam setiap

kesulitan, serta memberikan semangat dan dorongan agar Tugas Akhir ini dapat terselesaikan,

6. Dosen Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan berbagai ilmu,
 7. Teman-teman seperjuangan kuliah Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
- Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Penulis



Dwi Yoga Pratama

20511189

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.1.1 Pengaruh Beban pada Gaya Geser di Alat Peraga Struktur Balok	4
2.1.2 Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur	6
2.1.3 Alat Peraga Sebagai Upaya Peningkatan Pemahaman Konsep Peserta didik Pada Materi Mekanika Fluida	8
2.1.4 Pembuatan Alat Sederhana penunjang Kuliah Mekanika Teknik Dalam Menentukan Reaksi Tumpuan	9

2.1.5 Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik	9
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	11
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Alat Peraga	16
3.2 Statika	17
3.3 Struktur Balok	17
3.4 Struktur Statis Tertentu	19
3.5 Gaya	20
3.6 Perletakan Tumpuan	22
3.7 Gaya Dalam	26
3.8 Gaya Geser	27
3.9 Momen Lentur	28
BAB IV METODE PENELITIAN	30
4.1 Alat dan Bahan	30
4.2 Prosedur Perakitan Alat Peraga	35
4.3 Pengambilan dan Pengolahan Data	36
4.4 Bagan Alir Penelitian	46
BAB V ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Perakitan Alat Peraga	47
5.2 <i>Constraints</i> Pada Alat	50
5.3 Pengujian Alat	54
5.4 Ketelitian Alat	56
5.5 Perbandingan Hasil Pengujian dan Hasil Analisis	57
5.5.1 Satu Beban Terpusat	57
5.5.2 Dua Beban Terpusat	69
5.5.3 Tiga Beban Terpusat	81
5.6 Pembahasan Hasil	85
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	86

6.1	Kesimpulan	86
6.2	Saran	86
	DAFTAR PUSTAKA	87
	LAMPIRAN	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Peraga	4
Gambar 2. 2 Percobaan 1 Perbandingan Beban vs. Gaya Geser	5
Gambar 2. 3 Percobaan 2 Perbandingan Beban vs. Gaya Geser	5
Gambar 2. 4 Peraga Kabel Suspensi	6
Gambar 3. 1 Alat Peraga	16
Gambar 3. 2 Balok Tumpuan Sederhana	18
Gambar 3. 3 Balok Menjulang	18
Gambar 3. 4 Balok Kantilever	18
Gambar 3. 5 Balok Kontinu	18
Gambar 3. 6 Balok Terpancang Tetap dan Tertumpu Sederhana	18
Gambar 3. 7 Balok Terpancang	19
Gambar 3. 8 Struktur Statis tertentu	19
Gambar 3. 9 Beban Terpusat	21
Gambar 3. 10 Beban Terbagi Rata Persegi Panjang	21
Gambar 3. 11 Beban Terbagi Rata Segitiga	22
Gambar 3. 12 Beban Momen	22
Gambar 3. 13 Ilustrasi Tumpuan Sendi	23
Gambar 3. 14 Ilustrasi Tumpuan Rol	23
Gambar 3. 15 Ilustrasi Tumpuan Jepit	24
Gambar 3. 16 Ilustrasi Tumpuan Pendel	24
Gambar 3. 17 Sistem Struktur	25
Gambar 3. 18 <i>Free-Body Diagram</i>	25
Gambar 3. 19 Irisan Struktur Balok	26
Gambar 3. 20 Tegangan = Resultan Gaya-gaya Dalam	26
Gambar 3. 21 Konvensi Tanda untuk Gaya-gaya Dalam	27
Gambar 3. 22 Tanda Gaya Geser	28
Gambar 3. 23 Momen Lentur yang Membengkokkan Batang	29
Gambar 4. 1 <i>T-Slot Aluminium</i>	30

Gambar 4. 2 <i>Spring Balance</i>	31
Gambar 4. 3 <i>Round Support</i>	32
Gambar 4. 4 Pengait <i>Spring Balance</i>	32
Gambar 4. 5 Beban Penggantung	33
Gambar 4. 6 Cantolan Penggantung	33
Gambar 4. 7 Meteran	33
Gambar 4. 8 <i>Water Pass</i>	34
Gambar 4. 9 Mur dan Baut	34
Gambar 4. 10 Desain Tampak Depan Alat Peraga	35
Gambar 4. 11 Desain Tampak Samping Alat Peraga	36
Gambar 4. 12 Beban di Sebelah Kiri Potongan C	37
Gambar 4. 13 Beban di Potongan C	38
Gambar 4. 14 Beban di Sebelah Kanan Potongan C	39
Gambar 4. 15 Beban di Sebelah Kiri dan Tengah Potongan C	40
Gambar 4. 16 Beban di Sebelah Kiri dan Kanan Potongan C	41
Gambar 4. 17 Beban di Sebelah Tengah dan Kanan Potongan C	42
Gambar 4. 18 Beban di Sebelah Kiri, Tengah, dan Kanan Potongan C	44
Gambar 4. 19 Lembar Kerja Penelitian Analisis Alat Peraga	45
Gambar 4. 20 Bagan Alir Penelitian	46
Gambar 5. 1 Alas Alat peraga dengan T-Slot Aluminium	47
Gambar 5. 2 Pemasangan <i>Round Support</i>	47
Gambar 5. 3 T-Slot Sebagai Balok	48
Gambar 5. 4 Penggantung Beban yang Dikaitkan Pada Balok	48
Gambar 5. 5 <i>Spring Balance</i> yang Dikaitkan Pada Balok	49
Gambar 5. 6 Pemasangan Baut Penyetop pada Balok	49
Gambar 5. 7 Hasil Perancangan Alat Peraga	50
Gambar 5. 8 Pemotongan Material	51
Gambar 5. 9 Hasil Bor Lubang Material	51
Gambar 5. 10 Hasil Pembuatan Tumpuan Sendi	51
Gambar 5. 11 Pemotongan Material	52
Gambar 5. 12 Hasil Bor Lubang Material	52

Gambar 5. 13 Bentuk Tumpuan Rol	53
Gambar 5. 14 Hasil Pembuatan Tumpuan Rol	53
Gambar 5. 15 Penyetelan Posisi Balok menggunakan <i>Water Pass</i>	54
Gambar 5. 16 Penyesuaian Letak Beban	54
Gambar 5. 17 Penempatan Beban Pada Pengait Penggantung	55
Gambar 5. 18 Pengukuran Gaya Geser	55
Gambar 5. 19 Pengukuran Momen Lentur	56
Gambar 5. 20 Pengukuran Gaya Geser dan Momen Lentur Menggunakan <i>Spring Balance</i>	56
Gambar 5. 21 Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik	57
Gambar 5. 22 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik	60
Gambar 5. 23 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik	60
Gambar 5. 24 Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik	61
Gambar 5. 25 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik	64
Gambar 5. 26 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik	64
Gambar 5. 27 Kondisi 3 Pembebanan Pembebanan 1 Titik	65
Gambar 5. 28 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 3 Pembebanan 1 Titik	68
Gambar 5. 29 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 3 Pembebanan 1 Titik	68
Gambar 5. 30 Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik	69
Gambar 5. 31 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik	72
Gambar 5. 32 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik	72
Gambar 5. 33 Kondisi 2 Pembebanan 2 Titik	73
Gambar 5. 34 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 2 Pembebanan 2 Titik	76
Gambar 5. 35 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 2 Pembebanan 2 Titik	76
Gambar 5. 36 Kondisi 3 Pembebanan 2 Titik	77
Gambar 5. 37 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 3 Pembebanan 2 Titik	80

Gambar 5. 38 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 3 Pembebanan 2 Titik	80
Gambar 5. 39 Pembebanan 3 Titik	81
Gambar 5. 40 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Pembebanan 3 Titik	84
Gambar 5. 41 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Pembebanan 3 Titik	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	12
Tabel 5. 1 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik	59
Tabel 5. 2 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik	63
Tabel 5. 3 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 3 Pembebanan 1 Titik	67
Tabel 5. 4 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik	71
Tabel 5. 5 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 2 Pembebanan 2 Titik	75
Tabel 5. 6 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 3 Pembebanan 2 Titik	79
Tabel 5. 7 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 1 Pembebanan 3 Titik	83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Tampak Depan Alat Peraga	90
Lampiran 2 Desain Tampak Samping Alat Peraga	91
Lampiran 3 Panduan SOP Penggunaan Alat Peraga	92
Lampiran 4 Tabel Perhitungan Penelitian dan Teori Gaya Geser dan Momen Lentur	99

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ΣMA	= Jumlah momen di titik A (kg-cm)
ΣMB	= Jumlah momen di titik B (kg-cm)
RA_v	= Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)
RB_v	= Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)
P_1	= Beban 1 (kg)
P_2	= Beban 2 (kg)
P_3	= Beban 3 (kg)
x_1	= Jarak titik A ke titik beban 1 (cm)
x_2	= Jarak titik A ke titik beban 2 (cm)
x_3	= Jarak titik A ke titik beban 2 (cm)

ABSTRAK

Dengan semakin kompleksnya konsep-konsep struktur dalam teknik sipil, mahasiswa sering kali menghadapi kesulitan dalam memvisualisasikan dan menerapkan konsep-konsep tersebut, khususnya dalam analisis gaya geser dan momen lentur pada struktur statis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji alat peraga statika untuk menganalisis gaya geser dan momen lentur pada struktur statis. Alat peraga dirancang agar mampu memberikan representasi visual dan analitis yang akurat sesuai dengan kondisi sebenarnya. Dengan semakin kompleksnya struktur yang harus dipahami, mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam visualisasi dan aplikasi konsep-konsep ini.

Metode penelitian melibatkan perakitan alat peraga menggunakan T-slot aluminium, *spring balance*, dan *round support*, serta pengujian dalam berbagai situasi beban dan penempatan beban. Ketelitian pengukuran yang dipilih adalah $\pm 0,01$ kg untuk gaya geser dan $\pm 0,75$ kg-cm untuk momen lentur, sesuai dengan skala ketelitian *spring balance* yang digunakan.

Dalam pengujian, kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg, 0,2 kg, dan 0,3 kg dalam tujuh kondisi yang berbeda. Simpangan ini disebabkan oleh beban yang kurang berat ataupun kesalahan pembacaan yang kurang teliti, sehingga alat mengalami sedikit kesalahan, namun masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan. Kesimpulannya, alat peraga yang dirancang menunjukkan hasil yang tepat dan sesuai dengan analisis struktur yang diharapkan. Alat ini efektif dalam memverifikasi hasil analisis struktur, sehingga memudahkan pemahaman konsep gaya geser dan momen lentur. Diharapkan, alat peraga ini dapat menjadi alat bantu yang efektif dalam pembelajaran dan penelitian di bidang teknik sipil, khususnya dalam analisis gaya geser dan momen lentur.

Kata kunci: Alat Peraga, Statika, Gaya geser, Momen lentur

ABSTRACT

With the increasing complexity of structural concepts in civil engineering, students often struggle to visualize and apply these concepts, particularly in the analysis of shear force and bending moment in static structures. This research aims to design and test a statics demonstration tool to analyze shear force and bending moment in static structures. The tool is designed to provide accurate visual and analytical representations of real-world conditions. As structures become more complex, students often have difficulty visualizing and applying these concepts.

The research methodology involves assembling the demonstration tool using T-slot aluminum, a spring balance, and round supports, and testing it under different loading situations and placements. The chosen measurement accuracy is $\pm 0,01$ kg for shear force and $\pm 0,75$ kg-cm for bending moment, based on the precision of the spring balance used.

During testing, the accuracy curve of the bending moment tool showed deviations at loads of 0,1 kg, 0,2 kg, and 0,3 kg in seven different conditions. These deviations were caused by either insufficient weight or inaccurate readings, resulting in slight errors. However, the errors remained within the specified accuracy limits. In conclusion, the designed demonstration tool produced accurate results that matched the expected structural analysis. This tool is effective in verifying structural analysis results, making it easier to understand shear force and bending moment concepts. It is hoped that this demonstration tool will become an effective aid in teaching and research in civil engineering, especially in the analysis of shear force and bending moment.

Keywords: *Apparatus, Statics, Shear force, Bending moment*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan pemahaman dan penerapan konsep-konsep struktural yang kompleks dalam bidang teknik sipil menjadi krusial dalam menghasilkan konstruksi yang kokoh dan aman. Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, tantangan yang dihadapi mahasiswa teknik sipil dalam memahami secara menyeluruh mengenai gaya geser dan momen lentur pada struktur statis semakin mendalam. Awodele dkk. (2018) menyatakan ada beberapa tantangan yang harus dihadapi dalam memberikan kurikulum yang disesuaikan dengan kebutuhan industri konstruksi saat ini.

Untuk mengatasi kompleksitas tersebut, penggunaan alat peraga berbasis *frame* telah diidentifikasi sebagai solusi yang berpotensi meningkatkan efektivitas pembelajaran. Rohadi (2003) menjelaskan alat peraga adalah alat (benda) yang digunakan untuk memperagakan fakta, konsep, prinsip, atau prosedur tertentu agar tampak lebih nyata atau konkrit. Alat peraga yang dirancang secara baik dapat menjadi instrumen yang efektif dalam membantu mahasiswa memvisualisasi dan memahami konsep-konsep tersebut. Dengan demikian, diharapkan mahasiswa dapat lebih mudah mengaplikasikan teori-teori yang diperoleh dalam situasi praktis.

Pentingnya pemahaman mendalam terhadap struktur statis tidak hanya berkaitan dengan pencapaian akademis, tetapi juga relevan dalam mendukung pengembangan keterampilan praktis mahasiswa. Xia dan Wu (2010) menyatakan pengajaran praktik sangat penting dalam membudayakan kemampuan kreatif, kemampuan pengembangan, serta kemampuan menganalisis dan menyelesaikan masalah secara mandiri guna meningkatkan kualitas komprehensif mahasiswa. Sehingga mampu merancang struktur yang tangguh dan andal di dunia nyata memerlukan pemahaman yang lebih dari sekadar teori. Oleh karena itu, keberhasilan alat peraga yang dibangun akan menjadi faktor kunci dalam

meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan kreativitas mahasiswa di bidang desain struktural.

Dengan demikian, studi perancangan ini turut serta dalam mendukung kualitas pendidikan teknik sipil dan kontribusi mahasiswa dalam pembangunan infrastruktur yang kokoh dan berkesinambungan. Dengan merinci dampak positif yang diharapkan dari penggunaan alat peraga berbasis frame, studi perancangan ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat peraga struktur statis tertentu yang dapat membantu mahasiswa teknik sipil memahami gaya geser dan momen lentur dengan lebih baik. Sehingga efek dari praktik pengajaran memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas pengajaran (Gao dkk., 2014).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan diangkat adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mendesain alat peraga struktur statis yang dapat mengekspresikan konsep-konsep gaya geser dan momen lentur dalam suatu struktur balok?
2. Bagaimana cara menguji dan memastikan bahwa hasil analisis struktur pada alat peraga yang dirancang sesuai dengan teori yang berlaku?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang akan dicapai adalah sebagai berikut.

1. Merancang alat peraga struktur statis yang dapat mengekspresikan konsep-konsep gaya geser dan momen lentur pada struktur balok.
2. Menguji dan memastikan bahwa hasil analisis struktur pada alat peraga yang dirancang sesuai dengan teori yang berlaku.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka manfaat yang akan dicapai adalah sebagai berikut.

1. Mahasiswa teknik sipil dapat mengalami peningkatan pemahaman konsep gaya geser dan momen lentur melalui penggunaan alat peraga struktur statis yang dirancang secara jelas.
2. Mahasiswa dapat merasakan integrasi yang lebih baik antara konsep teoritis dan aplikasi praktis melalui desain alat peraga yang menggabungkan kedua pendekatan tersebut.
3. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam meningkatkan akurasi hasil analisis alat peraga, memperkuat validitas penggunaannya.
4. Penelitian akan memberikan wawasan tentang potensi hambatan atau tantangan dalam implementasi alat peraga, dan menciptakan solusi untuk mengatasi kendala tersebut.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun beberapa batasan studi perancangan ini dapat meliputi:

1. Studi perancangan ini terbatas pada analisis gaya geser dan momen lentur pada jenis struktur balok sederhana.
2. Alat peraga ini untuk menganalisis struktur statis tertentu.
3. Alat peraga ini memiliki ukuran sepanjang 1 meter.
4. Kapasitas total beban maksimal 2 kilogram. Batasan ini diambil untuk menjaga keamanan selama penggunaan alat.
5. Penelitian ini hanya menggunakan beban titik vertikal. Beban merata, beban horizontal dan jenis beban lain tidak dianalisis.
6. Kekuatan *spring balance* hingga 5 kilogram.
7. Ketelitian hasil alat dibatasi hingga $\pm 0,01$ kg dan $\pm 0,75$ kg-cm.
8. Spesifikasi bahan yang dipakai Aluminium *Alloy* 6063-T5, kekuatan tarik 160 MPa, kekuatan luluh 110 MPa, kekerasan $> 8,5$ (HW) dan pemanjangan 8%.
9. Analisis gaya geser dan momen lentur hanya di titik potongan atau titik C.
10. Pembuatan alat peraga ini tidak memperhitungkan modulus elastisitas dan momen inersia material yang digunakan.

BAB II

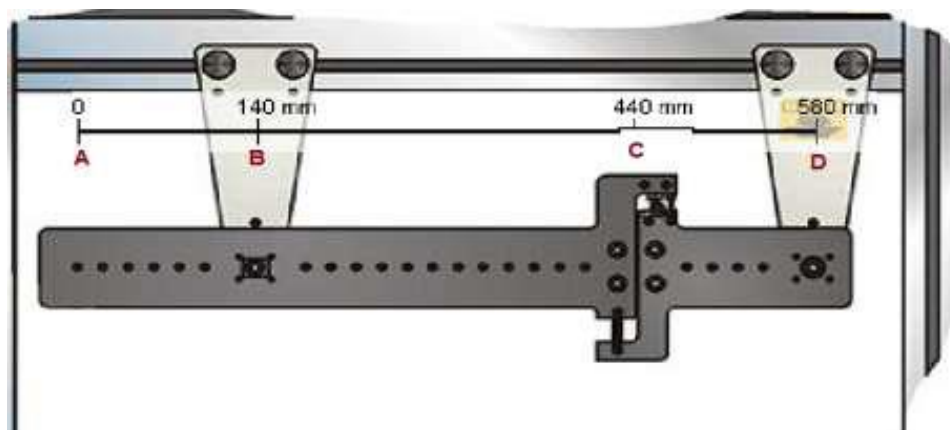
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam menjalankan studi perancangan ini, dilakukan evaluasi terhadap kajian literatur yang mencakup penelitian-penelitian terdahulu yang relevan. Diperlukan pemahaman mendalam terhadap teori-teori yang dapat diandalkan, baik dari segi sumber data maupun substansi penelitian. Tinjauan literatur ini mencakup analisis terhadap 5 penelitian sebelumnya dengan topik yang berkaitan dengan fokus studi perancangan ini.

2.1.1 Pengaruh Beban pada Gaya Geser di Alat Peraga Struktur Balok

Siron dkk. (2017) melakukan penelitian pentingnya alat peraga dalam memvisualisasikan gaya-gaya yang bekerja pada struktur, seperti gaya geser. Penggunaan alat peraga menjadi pendekatan yang sangat berarti dalam membantu pemahaman konsep-konsep mekanika struktur. Alat peraga yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.1.



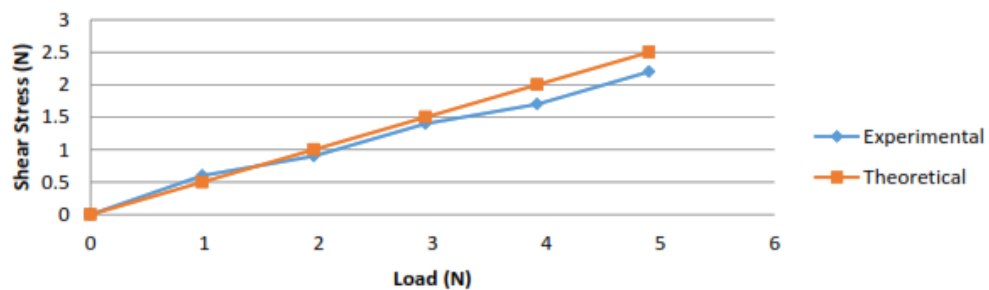
Gambar 2.1 Alat Peraga
(Sumber: Siron dkk., 2017)

Penelitian yang dilakukan bertujuan ganda. Pertama, untuk mengamati bagaimana gaya geser berubah seiring dengan peningkatan beban titik pada balok.

Kedua, untuk mengeksplorasi variasi gaya geser pada posisi pemotongan balok dengan berbagai kondisi beban.

Metode penelitian digunakan dengan dua bagian penelitian yang berbeda. Bagian pertama fokus pada peningkatan beban titik, sementara bagian kedua memusatkan perhatian pada gaya geser pada posisi pemotongan balok.

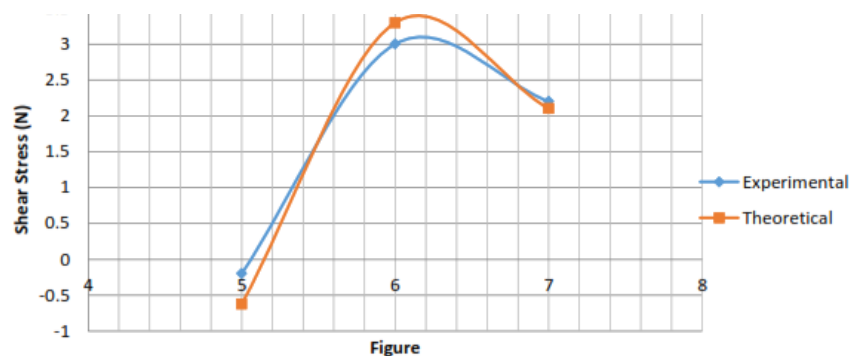
Hasil penelitian pertama menunjukkan bahwa gaya geser berbanding lurus dengan peningkatan beban pada balok. Meskipun demikian, adanya sedikit kesalahan menghasilkan perbedaan antara nilai eksperimental dan teoritis. Hasil penelitian pertama ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Percobaan 1 Perbandingan Beban vs. Gaya Geser

(Sumber: Siron dkk., 2017)

Penelitian kedua menemukan bahwa hanya ada sedikit perbedaan antara keduanya. Temuan ini memvalidasi prinsip-prinsip dasar dalam mekanika struktur dan memberikan dukungan empiris terhadap teori-teori yang ada. Pada Gambar 2.3, dapat dilihat perbandingan beban dengan gaya geser pada penelitian kedua.



Gambar 2. 3 Percobaan 2 Perbandingan Beban vs. Gaya Geser

(Sumber: Siron dkk., 2017)

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pemahaman mekanika struktur, tidak hanya secara teoritis tetapi juga dalam konteks aplikasi praktis. Implikasinya meluas ke dalam pengajaran mekanika struktur dan pengembangan strategi pembelajaran yang lebih efektif.

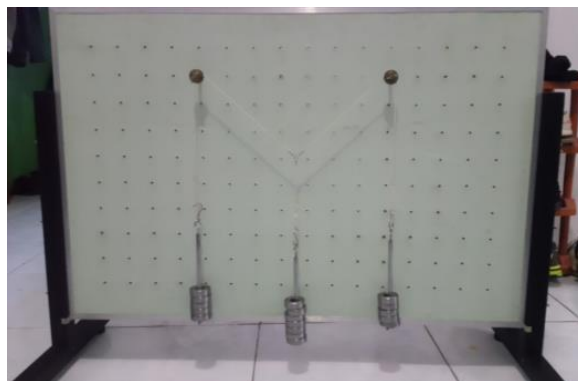
2.1.2 Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur

Satrijo dan Fitrianto (2017) melakukan penelitian perlunya benda konkret sebagai alat bantu ajar untuk memfasilitasi pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep yang kompleks. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan mendeskripsikan pengaruh penggunaan alat peraga sederhana statika sebagai media pembelajaran pada mata kuliah mekanika statika struktur. Pada Gambar 2.4, 2.5, dan 2.6 merupakan alat peraga yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2. 4 Peraga Kabel Suspensi

(Sumber: Satrijo dan Fitrianto, 2017)



Gambar 2. 5 Kesenjangan Titik

(Sumber: Satrijo dan Fitrianto, 2017)



Gambar 2. 6 Keseimbangan Balok

(Sumber: Satrijo dan Fitrianto, 2017)

Metodologi penelitian yang diterapkan adalah penelitian eksperimental dengan desain *One Group Pre Test Post Test*. *One Group Pre Test Post Test* adalah desain penelitian yang melibatkan pengumpulan data sebelum (*pre-test*) dan setelah (*post-test*) pemberian perlakuan atau intervensi kepada satu kelompok subjek atau peserta. Pembelajaran dilakukan dengan tiga kali replikasi sebagai kegiatan pengujian.

Hasil dari uji pada tingkat signifikansi 5% menunjukkan bahwa prestasi belajar kelompok mahasiswa yang menggunakan alat peraga sederhana statika lebih baik daripada kelas kontrol. Nilai rata-rata *post test* mahasiswa kelas kontrol adalah 70, sedangkan untuk kelas eksperimen 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 87; 77; dan 88. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan alat peraga sederhana statika berpengaruh positif terhadap prestasi belajar mahasiswa.

Analisis angket respons mahasiswa menunjukkan bahwa 80% siswa setuju bahwa penggunaan alat peraga sederhana statika membuat penyampaian materi lebih jelas. Sebanyak 80% mahasiswa juga menyatakan kepuasan dan antusiasme lebih tinggi dalam mengikuti pembelajaran dengan menggunakan alat peraga sederhana statika.

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan alat peraga sederhana statika secara positif memengaruhi prestasi belajar mahasiswa. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang lebih baik dan meningkatkan

kepuasan serta antusiasme mahasiswa dalam mengikuti pembelajaran mekanika statika struktur.

2.1.3 Alat Peraga Sebagai Upaya Peningkatan Pemahaman Konsep Peserta didik Pada Materi Mekanika Fluida

Menurut Prihatiningtyas dan Haryono (2019) alat peraga dapat memberikan dimensi praktis pada teori mekanika fluida, memudahkan visualisasi, dan meningkatkan daya serap materi pembelajaran. Penggunaan alat peraga dalam pembelajaran mekanika fluida menjadi suatu metode yang menarik untuk meningkatkan pemahaman konsep peserta didik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan pemahaman konsep peserta didik pada materi mekanika fluida melalui penerapan pembelajaran menggunakan alat peraga. Tujuan ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan dampak positif penggunaan alat peraga dalam meningkatkan pemahaman konsep.

Metode penelitian yang diterapkan adalah pra-eksperimental dengan desain *One Group Pretest-Posttest Design*. Pendekatan ini memungkinkan pengukuran peningkatan pemahaman konsep peserta didik sebelum dan sesudah diterapkan pembelajaran menggunakan alat peraga.

Teknik pengambilan data dilakukan melalui tes pemahaman konsep mekanika fluida, terdiri dari 10 soal *essay*. Tes ini dirancang untuk mengukur sejauh mana pemahaman peserta didik terhadap konsep-konsep mekanika fluida setelah pembelajaran menggunakan alat peraga.

Uji normalitas (*N-gain*) digunakan untuk menilai peningkatan pemahaman konsep dari hasil pembelajaran sebelum dan sesudah menerapkan alat peraga. Hasil analisis menunjukkan peningkatan pemahaman konsep sebesar 0,71 dengan kriteria tinggi, sesuai dengan temuan Prihatiningtyas dan Haryono (2019) yang menyoroti efektivitas alat peraga dalam meningkatkan hasil belajar.

Nilai peningkatan pemahaman konsep sebesar 0,71 menunjukkan bahwa alat peraga efektif dalam membantu peserta didik memahami materi mekanika fluida. Dengan adanya peningkatan pemahaman konsep, metode ini dapat dijadikan acuan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di bidang mekanika fluida.

2.1.4 Pembuatan Alat Sederhana penunjang Kuliah Mekanika Teknik Dalam Menentukan Reaksi Tumpuan

Ridha (2019) melakukan penelitian tentang proses merancang dan membuat alat uji yang dapat digunakan untuk menghitung reaksi-reaksi tumpuan akibat pembebanan terpusat. Beban yang digunakan memiliki variasi berat, yaitu 202 gram, 702 gram, dan 1287 gram. Alat ini dirancang untuk memberikan kemudahan dalam pembacaan reaksi tumpuan serta memungkinkan pembebanan pada lokasi yang berbeda.

Alat uji ini menggunakan dua buah timbangan digital yang berfungsi sebagai tumpuan. Timbangan ini tidak hanya sebagai tumpuan, tetapi juga sebagai perangkat pembaca reaksi tumpuan. *Display* timbangan secara langsung menampilkan nilai reaksi tumpuan yang dihasilkan oleh pembebanan. Untuk peletakan beban, digunakan batang alumunium *hollow* dengan panjang 100 cm. Pada batang ini, lokasi-lokasi peletakan beban ditentukan setiap 10 cm. Setiap pembebanan pada lokasi tertentu akan menghasilkan reaksi-reaksi tumpuan yang dicatat langsung oleh timbangan digital.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah berat beban yang diterapkan pada alat uji setara dengan reaksi yang diterima oleh tumpuan. Kesesuaian antara berat beban dan reaksi tumpuan menegaskan validitas alat uji dalam mensimulasikan kondisi seimbang statik pada struktur.

2.1.5 Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik

Mahir dkk. (2023) melakukan penelitian mengenai penggunaan alat peraga dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih interaktif dan memotivasi peserta didik untuk lebih aktif terlibat dalam proses pembelajaran. Pengembangan media pembelajaran menjadi suatu aspek penting dalam meningkatkan efektivitas proses belajar mengajar.

Model ADDIE (*Analyze, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*) yang diterapkan dalam penelitian ini telah menjadi metode yang umum digunakan dalam merancang dan mengembangkan media pembelajaran.

Penelitian sebelumnya oleh Mahir dkk. (2023) menunjukkan bahwa peserta didik di SMKN 26 Jakarta seringkali menghadapi tantangan dalam memahami konsep-konsep mekanika teknik. Pasifitas peserta didik terhadap mata pelajaran ini dapat mempengaruhi hasil belajar mereka.

Penggunaan alat peraga sebagai strategi yang efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep-konsep abstrak. Alat peraga dapat membantu visualisasi dan eksperimen, memberikan dimensi praktis pada teori yang diajarkan. Desain 3D alat peraga yang dipakai ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Desain 3D Alat Peraga
(Sumber: Mahir dkk., 2023)

Desain alat peraga yang dikembangkan, berupa kotak dengan dua timbangan gantung dan *railing*, merupakan inovasi yang diilhami oleh penelitian sebelumnya. Hasil alat peraga yang dirancang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Hasil Alat Peraga
(Sumber: Mahir dkk., 2023)

Uji coba terbatas di kelas XI KGSP 1 SMKN 26 Jakarta, sebagaimana dilaporkan oleh peneliti menunjukkan peningkatan hasil belajar peserta didik sebesar 44%. Evaluasi alat peraga oleh peserta didik juga menunjukkan hasil sebesar 89%, dengan kategori sangat baik. Sehingga hasil penelitian ini dapat memberikan panduan bagi pendekatan pembelajaran yang lebih dinamis dan efektif di lingkungan pendidikan teknik.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Dari beberapa penelitian diatas akan disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
Judul Penelitian	Pengaruh Beban pada Gaya Geser di Alat Peraga Struktur Balok	Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur	Alat Peraga Sebagai Upaya Peningkatan Pemahaman Konsep Peserta didik Pada Materi Mekanika Fluida	Pembuatan Alat Sederhana penunjang Kuliah Mekanika Teknik Dalam Menentukan Reaksi Tumpuan	Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik	Rancang Bangun Alat Peraga Statika untuk Menganalisis Gaya Geser dan Momen Lentur
Peneliti	Siron dkk.	Satrijo dan Fitrianto	Prihatiningtyas dan Haryono	Ridha	Mahir dkk.	Pratama
Tahun	2017	2017	2019	2019	2023	2024
Tujuan Penelitian	1. Mengamati perubahan gaya geser seiring	1. Mendeskripsikan pengaruh penggunaan	1. Mengetahui peningkatan pemahaman	1. Merancang dan membuat alat uji untuk	1. Menilai pengaruh penggunaan	1. Merancang alat peraga struktur statis yang dapat

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	<p>dengan peningkatan beban titik pada balok.</p> <p>2. Mengeksplorasi variasi gaya geser pada posisi pemotongan balok dengan berbagai kondisi beban.</p> <p>3. Memahami bagaimana struktur merespons beban sebagai tujuan</p>	<p>alat peraga sederhana statika sebagai media pembelajaran pada mata kuliah mekanika statika struktur.</p> <p>2. Mengevaluasi prestasi belajar mahasiswa yang menggunakan alat peraga sederhana statika</p>	<p>konsep peserta didik pada materi mekanika fluida melalui penerapan pembelajaran menggunakan alat peraga.</p> <p>2. Menilai dampak positif penggunaan alat peraga dalam meningkatkan pemahaman konsep mekanika fluida.</p>	<p>menghitung reaksi-reaksi tumpuan akibat pembebanan terpusat.</p>	<p>alat peraga dalam menciptakan lingkungan belajar yang lebih interaktif dan memotivasi peserta didik untuk aktif terlibat dalam proses pembelajaran mekanika teknik.</p>	<p>mengekspresikan konsep-konsep gaya geser dan momen lentur pada struktur balok.</p> <p>2. Memverifikasi hasil analisis struktur dari alat peraga yang dibuat.</p>
--	--	--	--	---	--	---

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	mendalam penelitian.	dibandingkan dengan kelas kontrol.				
Hasil penelitian	1. Pada penelitian pertama, gaya geser terbukti berbanding lurus dengan peningkatan beban pada balok, namun terdapat sedikit kesalahan yang menghasilkan perbedaan antara nilai eksperimental dan teoritis.	1. Uji signifikansi pada tingkat 5% menunjukkan bahwa prestasi belajar kelompok mahasiswa menggunakan alat peraga sederhana statika lebih baik daripada kelas kontrol.	1. Hasil peningkatan pemahaman konsep sesuai dengan temuan Prihatiningtyas dan Haryono (2019) yang menyoroti efektivitas alat peraga dalam meningkatkan hasil belajar.	1. Jumlah berat beban setara dengan reaksi yang diterima oleh tumpuan. 2. Kesesuaian antara berat beban dan reaksi tumpuan menegaskan validitas alat uji dalam mensimulasikan kondisi seimbang statik pada struktur.	1. Uji coba terbatas di kelas XI KGSP 1 SMKN 26 Jakarta menunjukkan peningkatan hasil belajar peserta didik sebesar 44%. 2. Evaluasi alat peraga oleh peserta didik menunjukkan hasil sebesar	1. Alat peraga telah dirancang dengan baik dan dapat mengekspresikan konsep-konsep gaya geser dan momen lentur pada struktur balok. 2. Hasil analisis struktur alat peraga yang dibuat diverifikasi melalui pengujian penelitian dan perhitungan teori. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan hasil analisis teoretis untuk

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

	<p>2. Penelitian kedua menemukan sedikit perbedaan antara nilai eksperimental dan teoritis, memvalidasi prinsip-prinsip dasar dalam mekanika struktur.</p>	<p>2. Nilai rata-rata <i>post test</i> mahasiswa kelas eksperimen menunjukkan peningkatan yang signifikan.</p>			<p>89%, dengan kategori sangat baik.</p>	<p>memastikan akurasi dan konsistensi antara keduanya. Hasilnya alat peraga yang dibuat dapat diandalkan.</p>
--	--	--	--	--	--	---

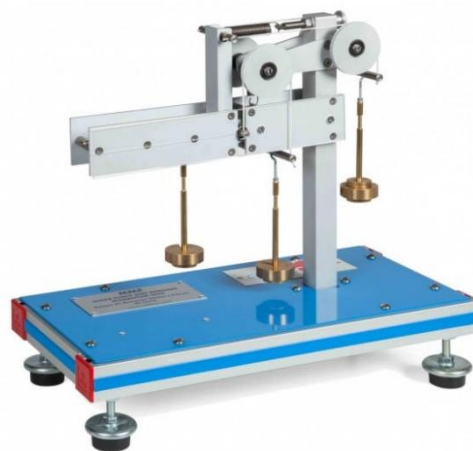
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Alat Peraga

Iswadji (2003) menyatakan alat peraga adalah seperangkat benda kongkret yang dirancang, dibuat atau disusun secara sengaja yang digunakan untuk membantu menanamkan atau mengembangkan konsep- konsep atau prinsip-prinsip dalam pembelajaran.

Fungsi utama dari alat peraga adalah untuk menurunkan keabstrakan dari konsep, agar siswa mampu menangkap arti sebenarnya konsep tersebut. Penyampaian informasi yang hanya melalui bahasa verbal memungkinkan terjadinya verbalisme, artinya siswa hanya mengetahui tentang kata tanpa memahami dan mengerti makna yang terkandung dalam kata tersebut. Selain menimbulkan verbalisme dan kesalahan persepsi, penyampaian dengan bahasa verbal menyebabkan semangat siswa untuk menangkap pesan akan semakin kurang, karena siswa kurang diajak berfikir dan menghayati pesan yang disampaikan. Melihat, meraba, dan memanipulasi objek atau alat peraga maka siswa mempunyai pengalaman-pengalaman dalam kehidupan sehari-hari tentang arti dari suatu konsep (Anas, 2014). Berikut pada Gambar 3.1 merupakan contoh alat peraga.



Gambar 3. 1 Alat Peraga

(Sumber: <https://www.edibon.com/en/shear-force-and-bending-momentum-unit>)

Dari hasil penelitian, penggunaan alat peraga secara positif memengaruhi prestasi belajar mahasiswa. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang lebih baik dan meningkatkan kepuasan serta antusiasme dalam mengikuti pembelajaran (Satrijo dan Fitrianto, 2017).

3.2 Statika

Frick (1976) menyatakan ilmu statika adalah cabang ilmu yang mempelajari semua objek yang bersifat tetap atau statis, yakni objek yang tidak bergerak atau tidak akan bergerak. Ini mencakup analisis gaya-gaya yang bekerja pada struktur statis, termasuk distribusi gaya, momen, dan efek-efek lain yang dihasilkan oleh beban-beban pada suatu objek atau struktur. Statika membantu dalam memahami dan menganalisis keadaan keseimbangan serta respons struktur terhadap beban-beban tertentu, yang penting dalam perencanaan dan desain struktur bangunan atau jembatan. Oleh karena itu, ilmu statika juga dikenal sebagai ilmu keseimbangan gaya atau secara singkat disebut ilmu keseimbangan.

Setiawan (2015) mengatakan syarat keseimbangan yaitu jumlah momen gaya terhadap suatu titik harus nol. Lalu kondisi setimbang ini juga akan terpenuhi ketika jumlah semua gaya, termasuk beban-beban kerja dan reaksi perletakan (reaksi tumpuan), bersifat nol. Di bawah ini adalah syarat kesetimbangan, yaitu:

$$1. \quad (\Sigma V=0) \quad \text{Jumlah gaya-gaya vertikal sama dengan nol} \quad (3.1)$$

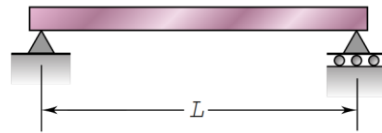
$$2. \quad (\Sigma H=0) \quad \text{Jumlah gaya-gaya horizontal, dan} \quad (3.2)$$

$$3. \quad (\Sigma M=0) \quad \text{Jumlah momen sama dengan nol.} \quad (3.3)$$

3.3 Struktur Balok

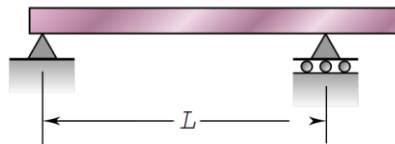
Balok merupakan suatu batang dengan bentang tertentu dan terdapat tumpuan di salah satu ujungnya atau di beberapa titik (*joint*). Astuti dkk. (2022) menyatakan struktur balok merupakan elemen struktur paling sederhana yang banyak digunakan sebagai pemikul beban. Fungsi utama dari struktur balok adalah untuk mendukung beban dan mentransfernya ke titik-titik penumpu atau tumpuan. Balok dapat berperan dalam menerima gaya geser, momen lentur, dan gaya-gaya lainnya, tergantung pada kondisi beban dan geometri struktur.

Balok dikategorikan berdasarkan metode penopangannya atau tumpuan. Beberapa jenis balok yang sering digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, dan 3.7. Jarak L di antara penumpu disebut bentangan (Beer dkk., 2009).



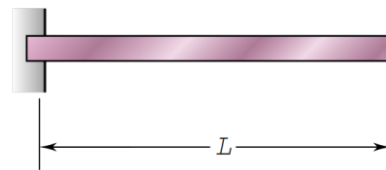
Gambar 3. 2 Balok Tumpuan Sederhana

(Sumber: Beer dkk., 2009)



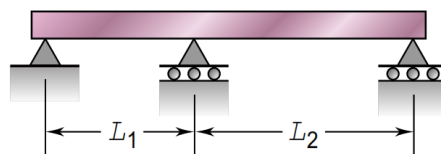
Gambar 3. 3 Balok Menjulang

(Sumber: Beer dkk., 2009)



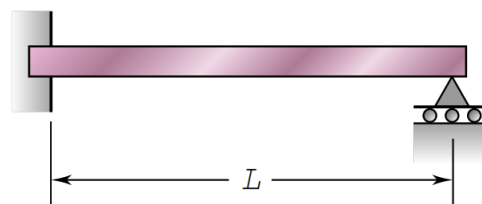
Gambar 3. 4 Balok Kantilever

(Sumber: Beer dkk., 2009)



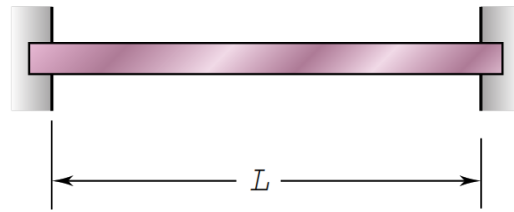
Gambar 3. 5 Balok Kontinu

(Sumber: Beer dkk., 2009)



Gambar 3. 6 Balok Terpancang Tetap dan Tertumpu Sederhana

(Sumber: Beer dkk., 2009)



Gambar 3. 7 Balok Terpancang

(Sumber: Beer dkk., 2009)

3.4 Struktur Statis Tertentu

Struktur statis tertentu adalah suatu jenis struktur yang dalam keadaan keseimbangan atau statis. Struktur statis tertentu memenuhi prinsip dasar kestabilan dan keseimbangan sehingga tidak mengalami gerakan atau rotasi akibat gaya-gaya yang bekerja padanya.

Ciri-ciri struktur statis tertentu melibatkan keadaan keseimbangan, di mana jumlah gaya dan momen yang bekerja pada struktur tersebut secara keseluruhan sama dengan nol (Setiawan, 2015). Artinya, struktur tersebut tidak mengalami percepatan translasi atau rotasi. Struktur statis tertentu umumnya dianalisis menggunakan prinsip-prinsip statika dan mekanika struktur. Ketentuan untuk menyatakan bahwa suatu struktur diklasifikasikan sebagai struktur statis tertentu, yaitu:

$$3n+i=3j \quad (3.4)$$

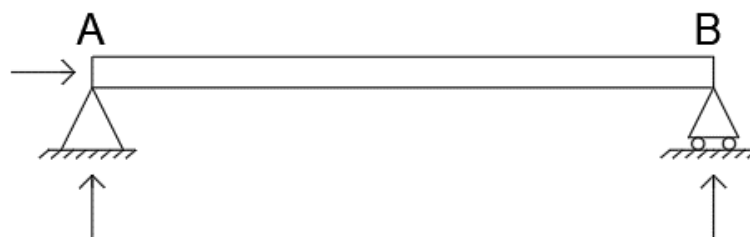
Keterangan:

n = Jumlah batang

i = Jumlah reaksi tumpuan

j = Jumlah titik kumpul (*joint*)

Contoh soal ditunjukkan pada Gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3. 8 Struktur Statis tertentu

(Sumber: Astuti dkk., 2022)

Pada gambar balok di atas mempunyai:

$$j = 2$$

$$n = 1$$

$$i = 3$$

Maka:

$$3n + i = 3j$$

$$3(1) + 3 = 3(2)$$

$$6 = 6$$

Sehingga struktur di atas adalah struktur statis tertentu. Bila lebih dari $3j$ maka dikatakan struktur statis tak tentu, namun jika kurang dari $3j$ maka dikatakan struktur tidak stabil (Gultom, 2021).

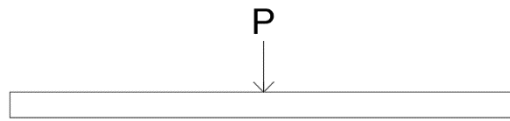
3.5 Gaya

Gaya (*force*) adalah pengaruh yang dapat menyebabkan perubahan terhadap keadaan gerak atau bentuk suatu benda. Gaya adalah suatu vektor yang memiliki besaran, arah, dan titik aplikasi. Dari Hukum Newton pertama, diketahui diperlukan gaya untuk membuat benda bergerak. Dalam sistem satuan internasional (SI), satuan besaran gaya adalah newton (N).

Dalam konteks statika, gaya dapat dijelaskan sebagai beban yang berpengaruh pada suatu struktur. Suatu struktur balok dapat menahan beban dinamis maupun statis. Pada penelitian ini membahas tentang beban statis. Contoh beban statis sebagai berikut.

1. Beban terpusat

Beban terpusat merujuk pada beban yang diterapkan pada suatu titik atau area tertentu pada suatu struktur. Beban ini memiliki lokasi yang terkonsentrasi atau terpusat pada suatu titik atau area tertentu pada elemen struktural, sehingga distribusinya terfokus pada lokasi tersebut. Beban tersebut dinotasikan dengan huruf P (Manalip dkk., 2022). Gambar 3.9 merupakan contoh beban terpusat.



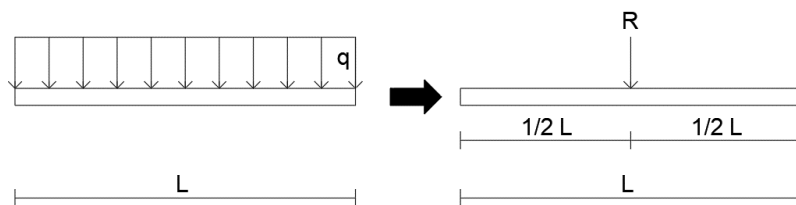
Gambar 3. 9 Beban Terpusat
(Sumber: Manalip dkk., 2022)

2. Beban terbagi rata

Tipe beban terbagi merata atau terdistribusi secara seragam di sepanjang suatu panjang atau area tertentu pada suatu struktur. Dengan kata lain, beban ini didistribusikan secara merata di seluruh panjang atau area yang terkena. Beban terbagi merata dapat diterapkan secara vertikal, horizontal, atau bahkan momen lentur, tergantung pada jenis dan arah beban yang diterapkan. Beban terbagi rata dinotasikan dengan huruf q (Manalip dkk., 2022). Ada 2 jenis beban merata, yaitu:

a. Beban terbagi merata bebrbentuk persegi panjang

Beban terbagi rata persegi panjang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Beban Terbagi Rata Persegi Panjang
(Sumber: Astuti dkk., 2022)

Rumus resultan gaya dapat ditulis sebagai berikut:

$$R = q \cdot L \quad (3.5)$$

Keterangan:

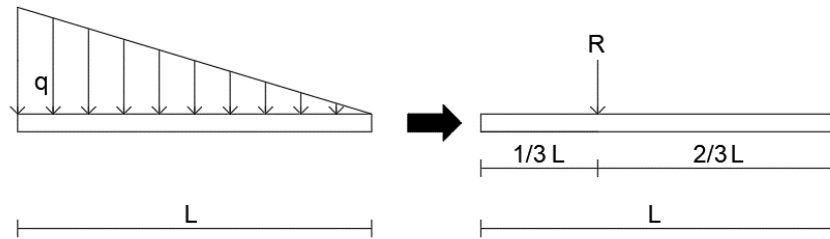
R = Resultan gaya (N)

q = Beban terbagi rata (N/mm)

L = Panjang balok (mm)

b. Beban terbagi rata berbentuk segitiga

Beban terbagi rata persegi panjang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Beban Terbagi Rata Segitiga

(Sumber: Astuti dkk., 2022)

Rumus resultan gaya dapat ditulis sebagai berikut:

$$R = \frac{1}{2} q \cdot L \quad (3.6)$$

Keterangan

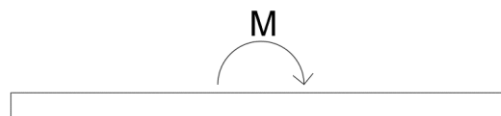
R = Resultan gaya (N)

q = Beban terbagi rata (N/mm)

L = Panjang balok (mm)

3. Beban momen

Beban momen adalah gaya yang menyebabkan suatu benda atau struktur untuk melengkung atau membungkuk. Momen lentur dihasilkan oleh gaya-gaya yang menyebabkan rotasi atau ketidakseimbangan dalam suatu struktur. Beban momen menyebabkan struktur, seperti balok atau kolom, untuk mengalami deformasi atau lentur. Gambar 3.12 di bawah ini menunjukkan beban momen.



Gambar 3. 12 Beban Momen

(Sumber: Manalip dkk., 2022)

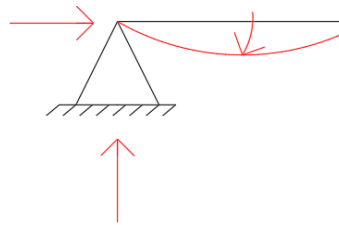
3.6 Perletakan Tumpuan

Semua struktur harus memiliki penopang atau tumpuan yang berperan dalam menanggung seluruh beban eksternal yang bekerja. Penopang atau tumpuan menghasilkan reaksi tumpuan yang merupakan gaya untuk menyeimbangkan beban eksternal. Secara umum, arah reaksi tumpuan berlawanan dengan arah resultan

beban eksternal. Beberapa jenis penopang yang diajarkan dalam mata kuliah Analisis Struktur meliputi tumpuan sendi, tumpuan rol, tumpuan jepit, dan tumpuan pendel (Manalip dkk., 2022). Berikut ini model-model perletakan tumpuan balok.

1. Tumpuan sendi

Tumpuan sendi adalah tumpuan yang dilengkapi dengan engsel. Akibat adanya beban eksternal yang bekerja pada struktur, penempatan sendi dapat mengalami rotasi. Penempatan sendi mampu menerima gaya vertikal dan gaya horizontal, tetapi tidak mampu menerima momen, sehingga reaksi akibat momen menjadi nol (Manalip dkk., 2022). Ilustrasi tumpuan sendi ditunjukkan pada Gambar 3.13 sebagai berikut.

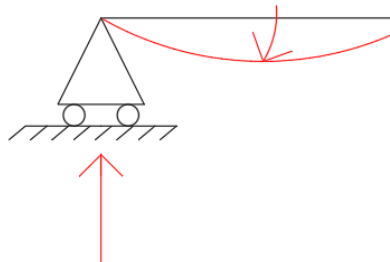


Gambar 3. 13 Ilustrasi Tumpuan Sendi

(Sumber: Manalip dkk., 2022)

2. Tumpuan rol

Penempatan rol adalah penempatan yang dilengkapi dengan engsel dan rol. Akibat beban horizontal, penempatan rol dapat bergerak searah gaya tersebut. Penempatan rol dapat mengalami rotasi sudut. Penempatan rol hanya mampu menerima gaya vertikal dan tidak mampu menerima gaya horizontal dan momen, sehingga reaksi akibat momen menjadi nol (Manalip dkk., 2022). Ilustrasi tumpuan rol ditunjukkan pada Gambar 3.14 sebagai berikut.

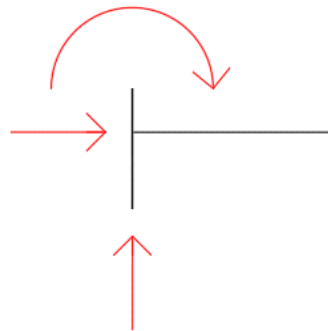


Gambar 3. 14 Ilustrasi Tumpuan Rol

(Sumber: Manalip dkk., 2022)

3. Tumpuan jepit

Tumpuan jepit adalah tumpuan yang dapat menahan reaksi dalam arah vertikal, horisontal, dan momen lentur. Penempatan jepit tidak dapat mengalami perpindahan (translasi) dan rotasi sudut, sementara di ujung bebas balok tersebut dapat mengalami translasi dan rotasi (Manalip dkk., 2022). Ilustrasi tumpuan jepit ditunjukkan pada Gambar 3.15 sebagai berikut.

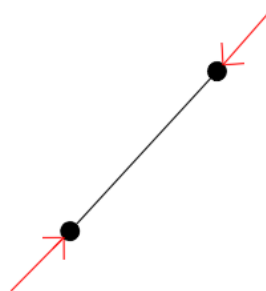


Gambar 3. 15 Ilustrasi Tumpuan Jepit

(Sumber: Manalip dkk., 2022)

4. Tumpuan pendel

Perletakan pendel adalah perletakan yang dilengkapi dengan sendi pada kedua ujungnya. Perletakan pendel hanya dapat menerima gaya searah dengan pendel dan tidak dapat menerima momen lentur (Manalip dkk., 2022). Ilustrasi tumpuan pendel ditunjukkan pada Gambar 3.16 sebagai berikut.



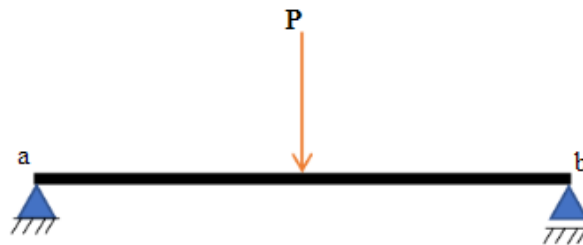
Gambar 3. 16 Ilustrasi Tumpuan Pendel

(Sumber: Manalip dkk., 2022)

Sebuah bagian dari struktur yang dipengaruhi oleh gaya eksternal akan menunjukkan respons atau reaksi terhadap aksi yang diterapkan oleh gaya tersebut. Salah satu bentuk respons yang diberikan oleh elemen struktur di ujung-ujungnya

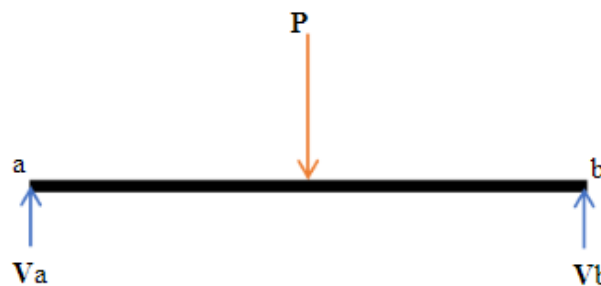
adalah reaksi yang berwujud sebagai gaya. Ujung-ujung elemen struktur tersebut dapat berupa penopang atau pembatas, atau merupakan suatu sambungan (Gultom, 2021).

Gultom (2021) mengatakan gaya reaksi tumpuan muncul sebagai respons pada sistem struktur karena adanya gaya-gaya luar yang bertujuan untuk mencegah pergerakan struktur tersebut. Gaya-gaya reaksi penempatan dapat diilustrasikan dalam *free-body diagram* pada suatu sistem struktur, seperti yang tergambar pada Gambar 3.17 dan Gambar 2.18 di bawah ini.



Gambar 3. 17 Sistem Struktur

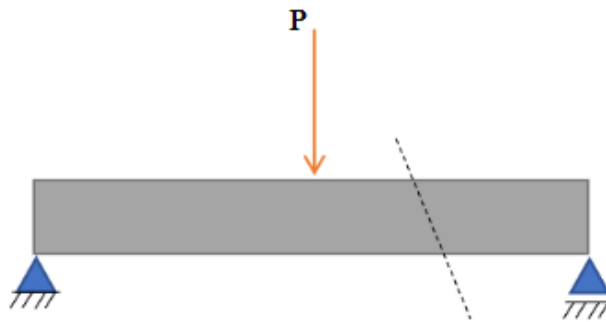
(Sumber: Gultom, 2021)



Gambar 3. 18 Free-Body Diagram

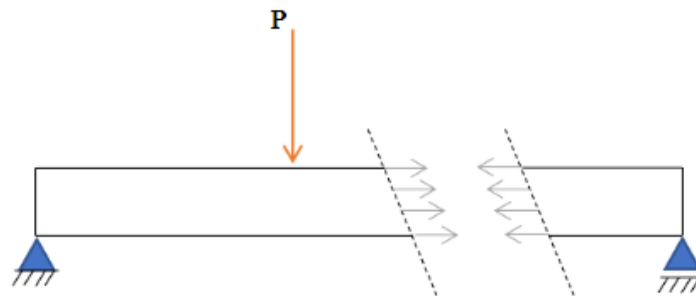
(Sumber: Gultom, 2021)

Gaya reaksi perletakan sebenarnya adalah gaya reaksi yang muncul di dalam elemen struktur. Untuk mengetahui gaya-gaya di dalamnya, bisa melakukan irisan pada penampang struktur. Dengan begitu, bisa membuat gambaran sederhana tentang gaya-gaya reaksi melalui diagram benda bebas yang muncul pada irisan tersebut. Pendekatan ini membantu memahami bagaimana elemen struktur memberikan respons terhadap beban luar yang diterapkan. Pada Gambar 3.19 dan Gambar 3.20 ilustrasi irisan struktur pada balok.



Gambar 3. 19 Irisan Struktur Balok

(Sumber: Gultom, 2021)



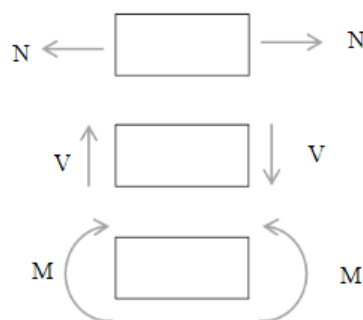
Gambar 3. 20 Tegangan = Resultan Gaya-gaya Dalam

(Sumber: Gultom, 2021)

3.7 Gaya Dalam

Hukum Newton ketiga menyatakan bahwa setiap tindakan memiliki reaksi yang sebanding dan berlawanan. Gaya yang bekerja dari luar akan menghasilkan reaksi pada struktur dan selanjutnya disalurkan ke perletakan. Ini berarti setiap gaya yang diterapkan pada suatu elemen struktur akan memiliki reaksi yang sebanding dan berlawanan dari elemen struktur lainnya. Misalnya, jika suatu bagian struktur mendapat tekanan (gaya ke dalam), maka akan ada reaksi berupa gaya tarik (ke luar) yang sebanding pada elemen struktur tersebut. Konsep ini penting untuk memahami bagaimana gaya-gaya saling berinteraksi dalam suatu struktur dan memberikan gambaran tentang keseluruhan keseimbangan dan respons struktur terhadap beban yang bekerja padanya. Dengan kata lain, gaya dalam adalah gaya yang membentuk keseimbangan dengan gaya luar (Manalip dkk., 2022).

Pada elemen struktur, terdapat berbagai jenis gaya dalam yang memainkan peran dalam respons struktur terhadap beban. Gaya dalam normal, yang bekerja tegak lurus terhadap penampang, dapat menimbulkan tarikan atau tekanan pada elemen tergantung pada konvensi tanda positif. Gaya dalam geser, yang beroperasi sejajar dengan penampang, dapat menyebabkan elemen berputar searah jarum jam. Sementara itu, gaya dalam momen menghasilkan efek menekuk pada elemen struktur, dan gaya dalam torsi menciptakan respons memuntir. Pemahaman akan konvensi tanda positif pada setiap jenis gaya dalam ini memainkan peran penting dalam analisis struktural yang akurat. Konvensi tanda untuk gaya-gaya dalam ditunjukkan pada Gambar 3.21 di bawah ini.



Gambar 3. 21 Konvensi Tanda untuk Gaya-gaya Dalam

(Sumber: Gultom, 2021)

Gultom (2021) mengatakan di balik setiap beban yang diterima oleh sebuah struktur, terdapat kompleksitas gaya-gaya dalam atau tegangan yang bekerja di setiap penampangnya. Tegangan ini merupakan hasil dari interaksi antara berbagai gaya yang diterima oleh struktur dari luar. Memahami konsep ini menjadi kunci dalam menganalisis respons struktur terhadap beban eksternal, dan oleh karena itu, dasar teori ini perlu diingat dan dipahami dengan baik untuk memastikan analisis struktural yang akurat dan efektif.

3.8 Gaya Geser

Gaya geser, atau dalam bahasa Inggris disebut *shear force*, adalah gaya yang beroperasi sejajar terhadap permukaan suatu objek atau struktur. Gaya geser ini menyebabkan satu bagian dari objek bergerak secara relatif terhadap bagian lainnya, misalnya, bagian atas dari sebuah benda bergeser terhadap bagian bawahnya. Gaya

geser adalah salah satu komponen penting dalam menganalisis respons suatu struktur terhadap beban-beban yang bekerja padanya. Gaya geser bekerja tegak lurus batang (Manalip dkk., 2022).

Gaya geser sering kali ditemukan dalam elemen-elemen struktur seperti balok, pelat, atau kolom. Misalnya, pada balok yang diberi beban tegak lurus pada arah vertikal, gaya geser akan dihasilkan di dalam balok tersebut, menyebabkan bagian atasnya bergeser relatif terhadap bagian bawahnya. Gaya geser ini berperan penting dalam menentukan bagaimana sebuah struktur menahan beban ke bawah atau gaya-gaya yang bekerja secara vertikal. Definisi gaya geser secara matematis yaitu:

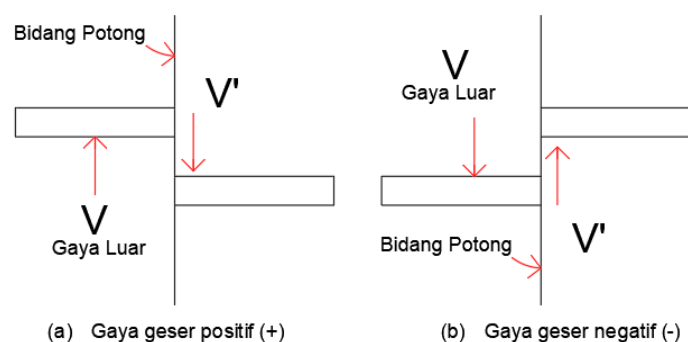
$$V = (\Sigma F_y) \quad (3.7)$$

Keterangan:

V = Gaya geser (N)

F_y = Beban vertikal (N)

Zainuri (2008) mengatakan tahanan geser V' yang ditimbulkan oleh segmen balok selalu sama, tetapi arahnya berlawanan dengan gaya geser V . Ketika menghitung V , gaya atau beban yang bekerja ke atas dianggap positif. Hukum tanda ini menghasilkan pengaruh seperti terlihat pada Gambar 3.22.



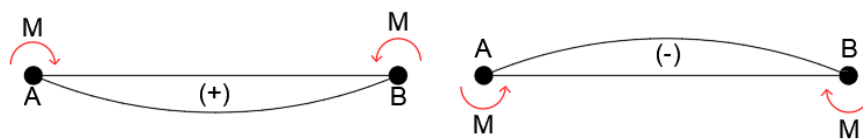
Gambar 3. 22 Tanda Gaya Geser

(Sumber: Zainuri, 2008)

3.9 Momen Lentur

Manalip dkk. (2022) menyatakan momen lentur merupakan hasil perkalian antara gaya dan jarak yang tegak lurus terhadap batang. Momen lentur memiliki nilai positif ketika sisi bagian bawah penampang mengalami tarikan dan nilai negatif ketika sisi bagian bawah penampang mengalami tekanan.

Momen lentur dapat menyebabkan struktur atau elemen struktural untuk membengkok atau melentur. Jika struktur menerima beban dari satu arah, momen lentur akan menyebabkan bagian struktur yang terjauh dari titik beban menjadi tertekuk atau melentur. Berikut ini adalah ilustrasi dimana momen lentur yang membengkokkan batang ditunjukkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Momen Lentur yang Membengkokkan Batang

(Sumber: Astuti dkk., 2022)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan alat peraga gaya geser dan momen lentur pada struktur balok adalah sebagai berikut.

1. Alat tulis

Alat tulis memiliki peran penting dalam mencatat data, menggambar sketsa kasar desain, mendokumentasikan hasil penelitian, catatan perubahan maupun modifikasi alat, analisis data, dan catatan.

2. Kertas HVS A4

Kertas HVS A4 berfungsi sebagai media untuk mencatat hasil pengukuran, observasi, atau catatan lain yang diperoleh selama kegiatan penelitian. Kertas ini juga digunakan untuk mencetak lembar kerja penelitian.

3. *T-Slot aluminium*

T-slot aluminium adalah jenis profil aluminium yang dirancang dengan saluran atau *slot* T yang membentuk pola yang menyerupai huruf "T". Keunggulan *T-slot aluminium* termasuk kemudahan perakitan, fleksibilitas, dan kemampuan untuk mengubah konfigurasi struktur dengan cepat. Dengan menggunakan baut, mur, dan aksesoris khusus, sehingga dapat mengunci elemen-elemen ke dalam slot T sesuai kebutuhan. *T-Slot aluminium* ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *T-Slot Aluminium*

4. Neraca pegas atau *spring balance*

Spring balance adalah sebuah alat pengukur gaya yang bekerja berdasarkan prinsip pegas. Alat ini umumnya terdiri dari pegas yang dipasang di dalam tabung atau kasing plastik dengan penunjuk berbentuk jarum atau angka pada bagian luar. Pada penelitian ini dibutuhkan dua buah *spring balance*. *Spring balance* ditunjukkan pada Gambar 4.2. Berikut beberapa fungsi *spring balance* dalam penelitian.

a. Menentukan keseimbangan struktur

Dengan bantuan *spring balance*, dapat memantau respons struktur terhadap beban yang diterapkan.

b. Mengukur gaya geser

Gaya geser dapat diukur ketika balok diberi beban, sehingga *spring balance* tertarik dan membaca skala yang terdapat pada alat tersebut.

c. Mengukur momen lentur

Spring balance juga digunakan untuk mengukur momen lentur yang terjadi pada struktur. Momen lentur dihasilkan oleh beban yang diterapkan pada balok, dan *spring balance* membantu mengukur reaksi atau gaya yang muncul sebagai respons terhadap momen tersebut.



Gambar 4. 2 *Spring Balance*

5. *Round support*

Round support berfungsi sebagai penopang untuk menyangga atau mendukung balok pada ujung tertentu. Fungsi ini penting dalam penelitian gaya geser dan momen lentur karena *round support* membantu menjaga balok

tetap dalam posisi yang diinginkan selama pengujian. *Round support* ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Round Support

6. Pengait *spring balance*

Pengait *spring balance* pada penelitian berfungsi sebagai tempat atau alat yang digunakan untuk menggantung atau mengaitkan *spring balance* pada balok yang akan diuji. Dengan menggunakan pengait *spring balance*, dapat mengaitkan *spring balance* pada berbagai titik balok sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pengait *spring balance* ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Pengait Spring Balance

7. Beban dan penggantung

Beban penggantung merupakan beban yang digunakan untuk memberikan beban pada balok yang diuji. Beban penggantung memiliki peran penting dalam mengaplikasikan gaya pada struktur balok, sehingga dapat diamati bagaimana struktur tersebut merespons terhadap beban yang diberikan. Pemberian beban pada berbagai titik dan variasi beban membantu dalam memahami karakteristik gaya geser dan momen lentur pada balok. Beban dan penggantung ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Beban Penggantung

8. Pengait penggantung

Pengait penggantung dalam konteks penelitian ini merujuk pada struktur atau perangkat yang digunakan untuk menggantung beban pada balok yang diuji. Pengait ini dapat berupa kait, pengait, atau suatu sistem penyangga yang memungkinkan beban penggantung dapat dihubungkan dengan balok secara stabil dan dapat diatur. Pengait penggantung ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Cantolan Penggantung

9. Meteran

Fungsi meteran adalah untuk memberikan ketelitian dalam mengukur dimensi atau jarak antar titik pada elemen-elemen dalam penelitian, sehingga memastikan bahwa pengukuran dilakukan dengan akurat dan konsisten. Meteran ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Meteran

10. *Water pass*

Water pass adalah suatu alat pengukur yang digunakan untuk memastikan bahwa suatu permukaan atau alat dalam keadaan sejajar atau horizontal. Penggunaan *water pass* diperlukan untuk memastikan bahwa balok yang diuji dalam kondisi sejajar atau horizontal sebelum dilakukan pengukuran atau uji geser dan momen lentur. Fungsi *water pass* ini membantu dalam mendapatkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan karena memastikan bahwa elemen-elemen yang digunakan dalam penelitian berada dalam posisi yang tepat sebelum proses pengujian dimulai. *Water pass* ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 *Water Pass*

11. Mur dan baut

Mur dan baut berfungsi untuk menyusun atau menghubungkan elemen-elemen penelitian, seperti *T-slot aluminium* atau bagian-bagian lainnya dari alat peraga. Fungsinya dapat mencakup pengamanan, penyatuan, atau penyambungan elemen-elemen tersebut agar membentuk suatu struktur yang kokoh dan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan penelitian. Penggunaan mur dan baut dalam penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat peraga yang digunakan dapat dirakit dengan stabil dan dapat berfungsi sebagaimana mestinya selama proses uji geser dan momen lentur. Mur dan baut ditunjukkan pada Gambar 4.9.

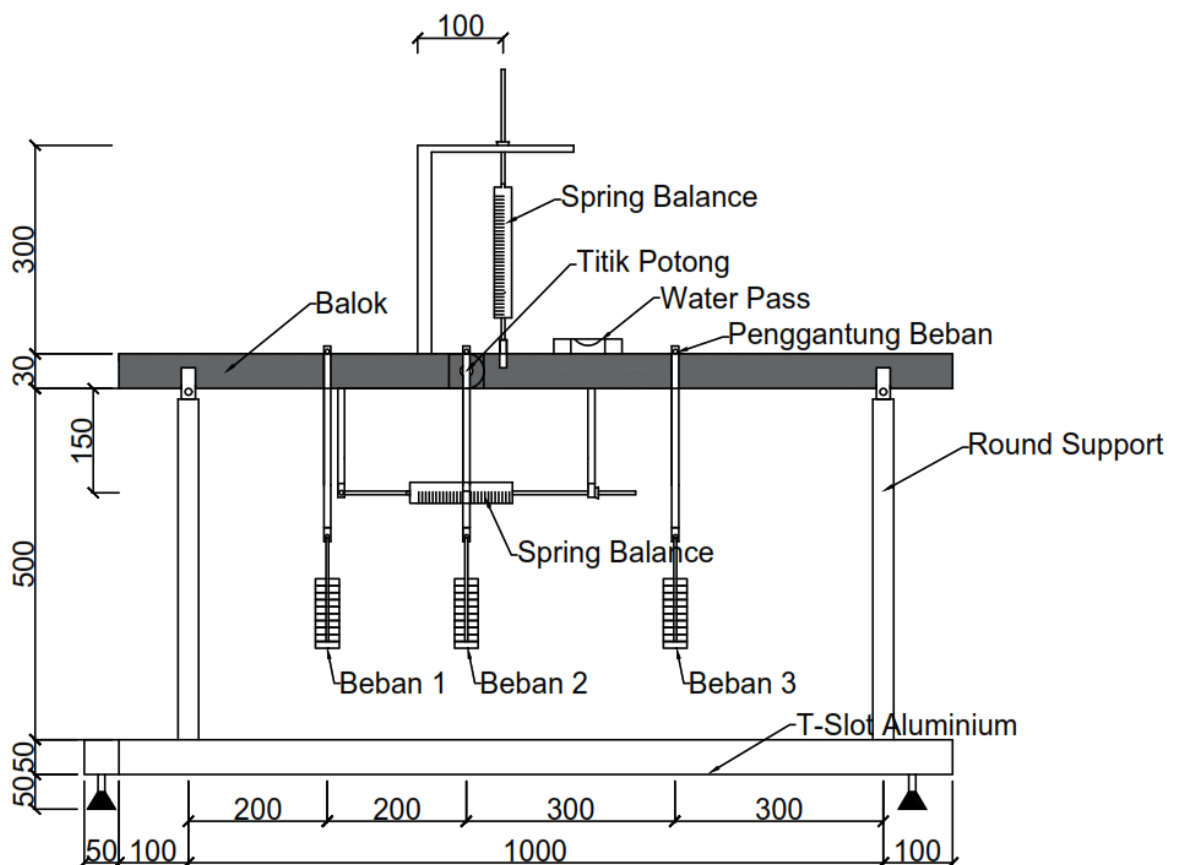


Gambar 4. 9 Mur dan Baut

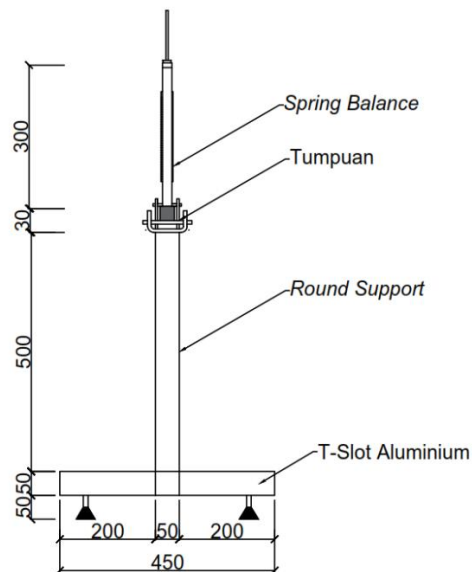
4.2 Prosedur Perakitan Alat Peraga

Prosedur penelitian untuk alat peraga gaya geser dan momen lentur dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Persiapan alat tulis
 - a. Kertas HVS disiapkan sebagai media pencatatan hasil pengukuran dan observasi.
 - b. Meteran digunakan untuk mengukur jarak dan dimensi pada alat peraga.
2. Persiapan alat peraga
 - a. Desain alat peraga dibuat di *AutoCAD* untuk memperoleh gambar teknik yang digunakan dalam merangkai alat peraga. Gambar desain ditampilkan pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar 4. 10 Desain Tampak Depan Alat Peraga



Gambar 4. 11 Desain Tampak Samping Alat Peraga

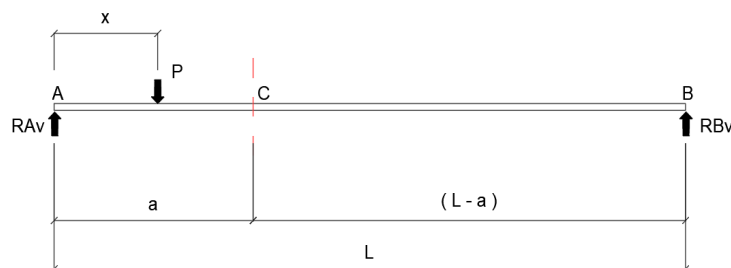
- b. Alas alat peraga dirakit menggunakan *T-Slot aluminium*.
- c. *Round support* dipasang pada ujung balok untuk menopang struktur.
- d. *T-Slot aluminium* digunakan sebagai elemen struktural utama (balok) dan dipotong menjadi dua bagian untuk menampilkan gaya geser dan momen lentur pada potongan balok tersebut.
- e. *Spring balance* dikaitkan pada balok untuk mengukur gaya geser.
- f. Pengait *spring balance* ditempatkan untuk mengaitkan *spring balance*.
- g. Pengait penggantung disediakan untuk menempatkan beban pada struktur.
- h. Pasang baut penyetop yang mudah dikencangkan dan dikendurkan di balok untuk mencegah geseran pada saat pembebanan.
- i. Pastikan semua elemen terpasang dan terkait dengan baik.

4.3 Pengambilan dan Pengolahan Data

Tahapan pengambilan dan pengolahan data sebagai berikut.

1. Penggunaan alat peraga
 - a. Posisi balok disetel menggunakan *water pass* agar sejajar dan terukur.
 - b. Jika belum sejajar, dikalibrasi dengan *spring balance* bagian bawah *disetting* sampai *water pass* sejajar.

2. Pemberian beban
 - a. Penyesuaian letak beban dilakukan dengan menggunakan meteran.
 - b. Beban ditempatkan pada pengait penggantung sesuai dengan rencana penelitian.
 - c. Berat beban yang digunakan dicatat pada setiap pengujian.
3. Pengukuran gaya geser dan momen lentur
 - a. Pastikan *spring balance* terkalibrasi dengan benar sebelum setiap pengukuran.
 - b. Putar baut di *spring balance*, disesuaikan sehingga balok sejajar dicek menggunakan *water pass*.
 - c. Baca dan catat hasil pengukuran gaya geser dan momen lentur dengan menggunakan *spring balance*. Hal ini untuk mendapatkan hasil hitungan penelitian gaya geser.
4. Perhitungan teoritis gaya geser dan momen lentur
 - a. Pemberian beban titik di sebelah kiri potongan balok (C) ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Beban di Sebelah Kiri Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma MB &= 0 \\ RAv \cdot L - P \cdot (L - x) &= 0 \\ RAv &= \frac{P(L-x)}{L} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \Sigma MA &= 0 \\ -RBv \cdot L + P \cdot x &= 0 \\ RBv &= \frac{P \cdot x}{L} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$V_C = R_{Av} - P \quad (4.3)$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$M_C = R_{Bv} (L - a) \quad (4.4)$$

Keterangan:

ΣM_A = Jumlah momen di titik A (kg-cm)

ΣM_B = Jumlah momen di titik B (kg-cm)

R_{Av} = Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)

R_{Bv} = Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)

P = Beban (kg)

x = Jarak titik A ke titik beban (cm)

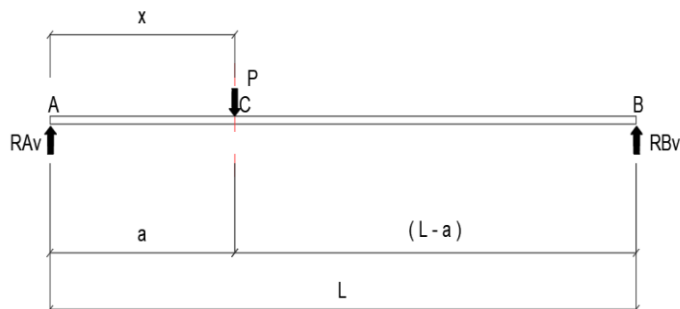
a = Jarak titik A ke titik potongan C (cm)

L = Panjang bentang dari titik A ke B (cm)

V_C = Gaya geser di titik C (kg)

M_C = Momen lentur di titik C (kg-cm)

- b. Pemberian beban titik di potongan balok (C) ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Beban di Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{Av} \cdot L - P \cdot (L - x) = 0$$

$$R_{Av} = \frac{P(L-x)}{L} \quad (4.5)$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_{Bv} \cdot L + P \cdot x = 0$$

$$RB_v = \frac{P \cdot x}{L} \quad (4.6)$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RA_v - P \quad (4.7)$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = RA_v \cdot a \quad (4.8)$$

Keterangan:

ΣMA = Jumlah momen di titik A (kg-cm)

ΣMB = Jumlah momen di titik B (kg-cm)

RA_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)

RB_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)

P = Beban (kg)

x = Jarak titik A ke titik beban (cm)

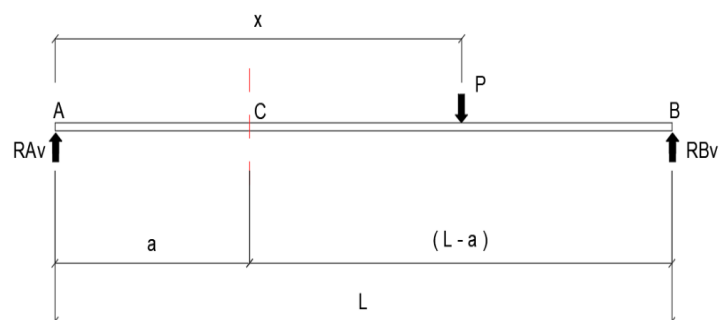
a = Jarak titik A ke titik potongan C (cm)

L = Panjang bentang dari titik A ke B (cm)

VC = Gaya geser di titik C (kg)

MC = Momen lentur di titik C (kg-cm)

- c. Pemberian beban titik di sebelah kanan potongan balok (C) ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Beban di Sebelah Kanan Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma MB = 0$$

$$RA_v \cdot L - P \cdot (L - x) = 0$$

$$RA_v = \frac{P(L-x)}{L} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned}\Sigma MA &= 0 \\ -RB_v \cdot L + P \cdot x &= 0 \\ RB_v &= \frac{P \cdot x}{L}\end{aligned}\quad (4.10)$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RA_v \quad (4.11)$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = RA_v \cdot a \quad (4.12)$$

Keterangan:

ΣMA = Jumlah momen di titik A (kg-cm)

ΣMB = Jumlah momen di titik B (kg-cm)

RA_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)

RB_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)

P = Beban (kg)

x = Jarak titik A ke titik beban (cm)

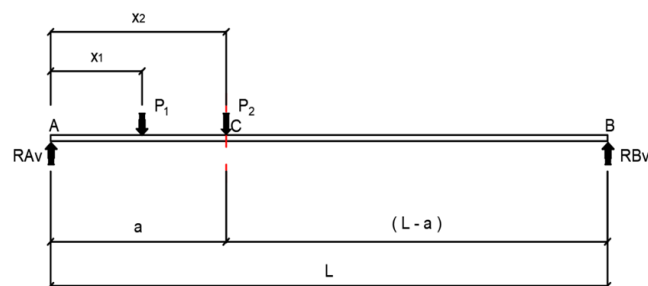
a = Jarak titik A ke titik potongan C (cm)

L = Panjang bentang dari titik A ke B (cm)

VC = Gaya geser di titik C (kg)

MC = Momen lentur di titik C (kg-cm)

- d. Pemberian beban 2 titik di sebelah kiri dan tengah pada potongan balok (C) ditunjukkan pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Beban di Sebelah Kiri dan Tengah Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma MB &= 0 \\ RA_v &= \frac{P_1 \cdot (L - x_1) + P_2 \cdot (L - x_2)}{L}\end{aligned}\quad (4.13)$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma MA &= 0 \\
 -RB_v \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 &= 0 \\
 RB_v &= \frac{P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2}{L} \quad (4.14)
 \end{aligned}$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RA_v - P_1 - P_2 \quad (4.15)$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = (RA_v \times a) - (P_1 \times (a - x_1)) \quad (4.16)$$

Keterangan:

ΣMA = Jumlah momen di titik A (kg-cm)

ΣMB = Jumlah momen di titik B (kg-cm)

RA_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)

RB_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)

P_1 = Beban 1 (kg)

P_2 = Beban 2 (kg)

x_1 = Jarak titik A ke titik beban 1 (cm)

x_2 = Jarak titik A ke titik beban 2 (cm)

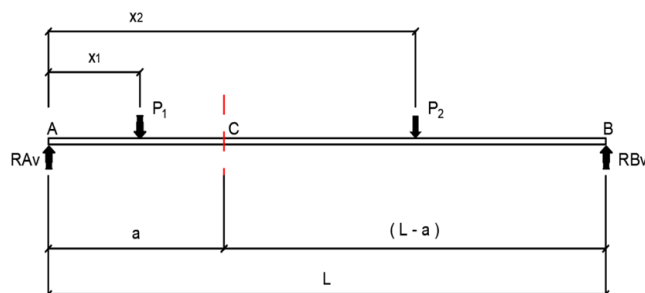
a = Jarak titik A ke titik potongan C (cm)

L = Panjang bentang dari titik A ke B (cm)

VC = Gaya geser di titik C (kg)

MC = Momen lentur di titik C (kg-cm)

- e. Pemberian beban 2 titik di sebelah kiri dan kanan pada potongan balok (C) ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Beban di Sebelah Kiri dan Kanan Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma MB = 0$$

$$RA_v \cdot L - P_1 \cdot (L - x_1) - P_2 \cdot (L - x_2) = 0$$

$$RA_v = \frac{P_1 \cdot (L - x_1) + P_2 \cdot (L - x_2)}{L} \quad (4.17)$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-RB_v \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 = 0$$

$$RB_v = \frac{P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2}{L} \quad (4.18)$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RA_v - P_1 \quad (4.19)$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = (RA_v \times a) - (P_1 \times (a - x_1)) \quad (4.20)$$

Keterangan:

ΣMA = Jumlah momen di titik A (kg-cm)

ΣMB = Jumlah momen di titik B (kg-cm)

RA_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)

RB_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)

P_1 = Beban 1 (kg)

P_2 = Beban 2 (kg)

x_1 = Jarak titik A ke titik beban 1 (cm)

x_2 = Jarak titik A ke titik beban 2 (cm)

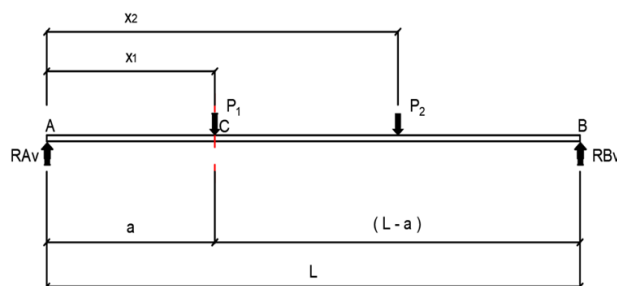
a = Jarak titik A ke titik potongan C (cm)

L = Panjang bentang dari titik A ke B (cm)

VC = Gaya geser di titik C (kg)

MC = Momen lentur di titik C (kg-cm)

- f. Pemberian beban 2 titik di sebelah tengah dan kanan pada potongan balok (C) ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Beban di Sebelah Tengah dan Kanan Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma MB &= 0 \\ RA_v \cdot L - P_1 \cdot (L - x_1) - P_2 \cdot (L - x_2) &= 0 \\ RA_v &= \frac{P_1 \cdot (L - x_1) + P_2 \cdot (L - x_2)}{L} \quad (4.21)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma MA &= 0 \\ -RB_v \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 &= 0 \\ RB_v &= \frac{P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2}{L} \quad (4.22)\end{aligned}$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RA_v - P_1 \quad (4.23)$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = RA_v \times a \quad (4.24)$$

Keterangan:

ΣMA = Jumlah momen di titik A (kg-cm)

ΣMB = Jumlah momen di titik B (kg-cm)

RA_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)

RB_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)

P_1 = Beban 1 (kg)

P_2 = Beban 2 (kg)

x_1 = Jarak titik A ke titik beban 1 (cm)

x_2 = Jarak titik A ke titik beban 2 (cm)

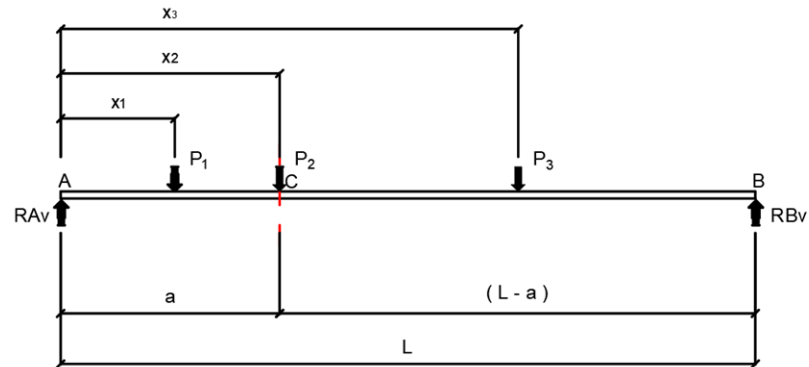
a = Jarak titik A ke titik potongan C (cm)

L = Panjang bentang dari titik A ke B (cm)

VC = Gaya geser di titik C (kg)

MC = Momen lentur di titik C (kg-cm)

- g. Pemberian beban 3 titik di sebelah kiri, tengah, dan kanan pada potongan balok (C) ditunjukkan pada gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Beban di Sebelah Kiri, Tengah, dan Kanan Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma MB &= 0 \\ RA_v &= \frac{P_1 \cdot (L - x_1) + P_2 \cdot (L - x_2) + P_3 \cdot (L - x_3)}{L} \quad (4.25) \\ \Sigma MA &= 0 \\ -RB_v \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_3 &= 0 \\ RB_v &= \frac{P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2}{L} \quad (4.26) \end{aligned}$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RA_v - P_1 - P_2 \quad (4.27)$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = (RA_v \times a) - (P_1 \times (a - x_1)) \quad (4.28)$$

Keterangan:

ΣMA = Jumlah momen di titik A (kg-cm)

ΣMB = Jumlah momen di titik B (kg-cm)

RA_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)

RB_v = Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)

P_1 = Beban 1 (kg)

P_2 = Beban 2 (kg)

P_3 = Beban 2 (kg)

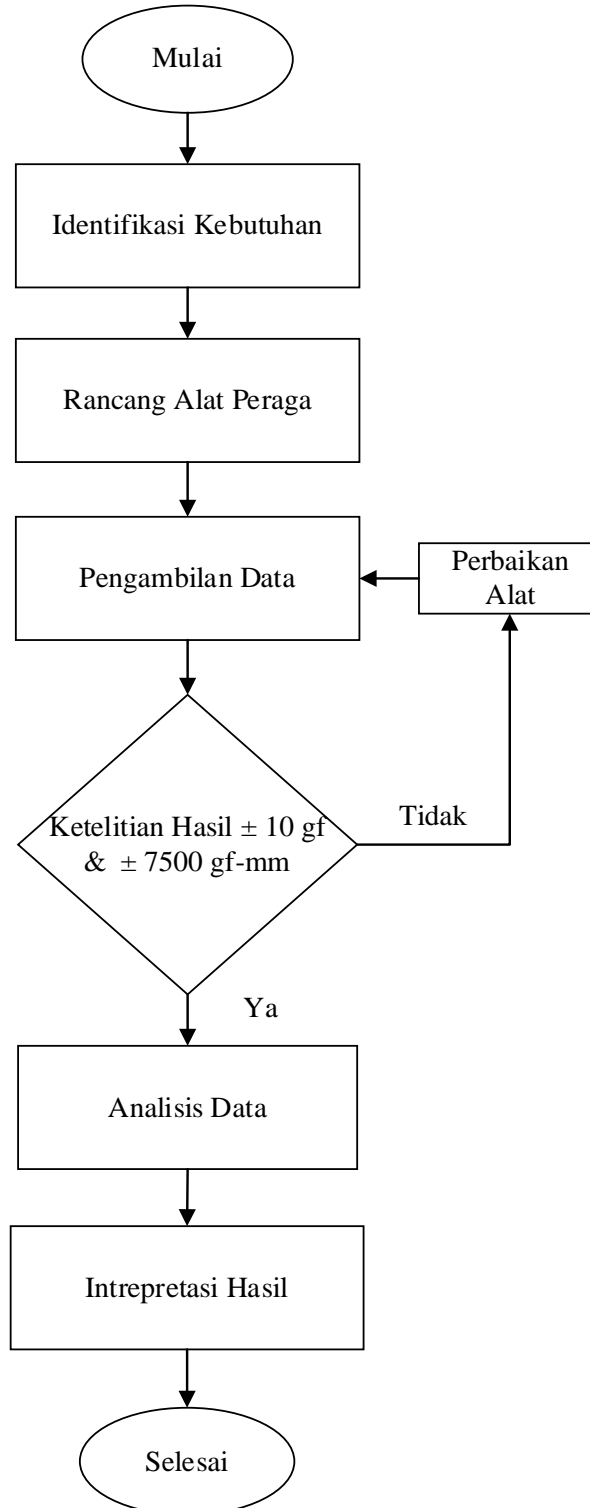
x_1 = Jarak titik A ke titik beban 1 (cm)

x_2 = Jarak titik A ke titik beban 2 (cm)

x_3 = Jarak titik A ke titik beban 2 (cm)

4.4 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian bisa dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Bagan Alir Penelitian

BAB V

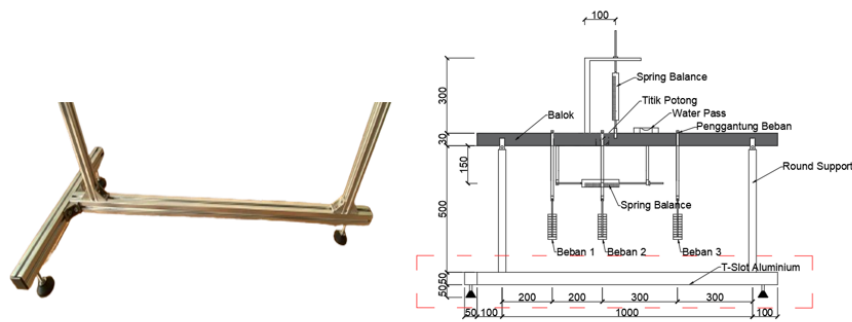
ANALISIS, HASIL, DAN PEMBAHASAN

5.1 Perakitan Alat Peraga

Perakitan alat peraga gaya geser dan momen lentur dilakukan melalui beberapa langkah sistematis sebagai berikut.

1. Merakit alas alat peraga

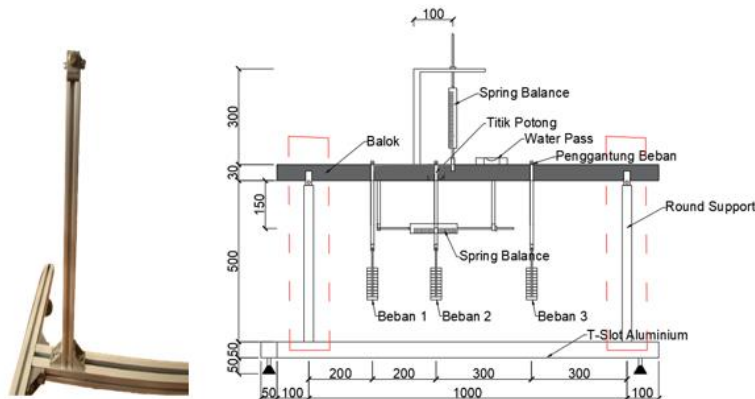
Langkah pertama adalah alas alat peraga dirakit menggunakan T-Slot aluminium. Perakitan alas alat peraga ditunjukkan pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5. 1 Alas Alat peraga dengan T-Slot Aluminium

2. Memasang *round support*

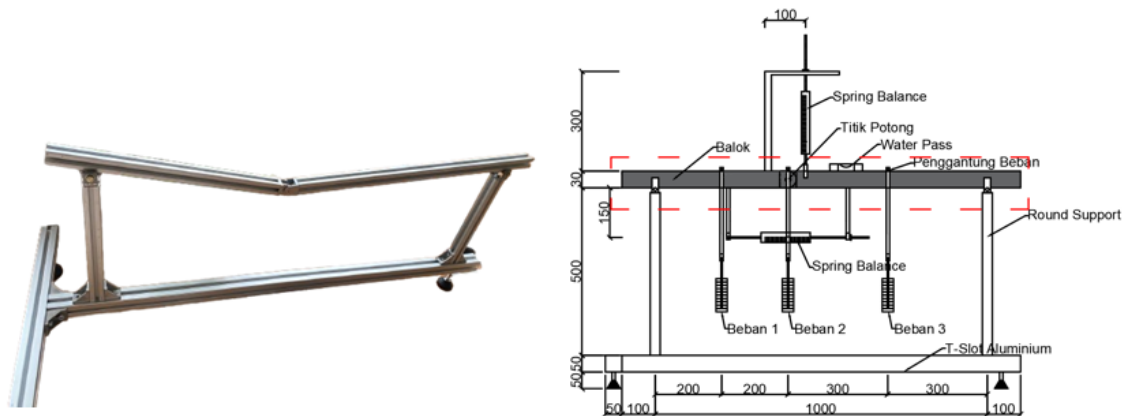
Setelah alas dirakit, *round support* dipasang pada ujung balok. Perakitan *round support* ditunjukkan pada Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5. 2 Pemasangan *Round Support*

3. Memotong dan menggunakan T-Slot aluminium

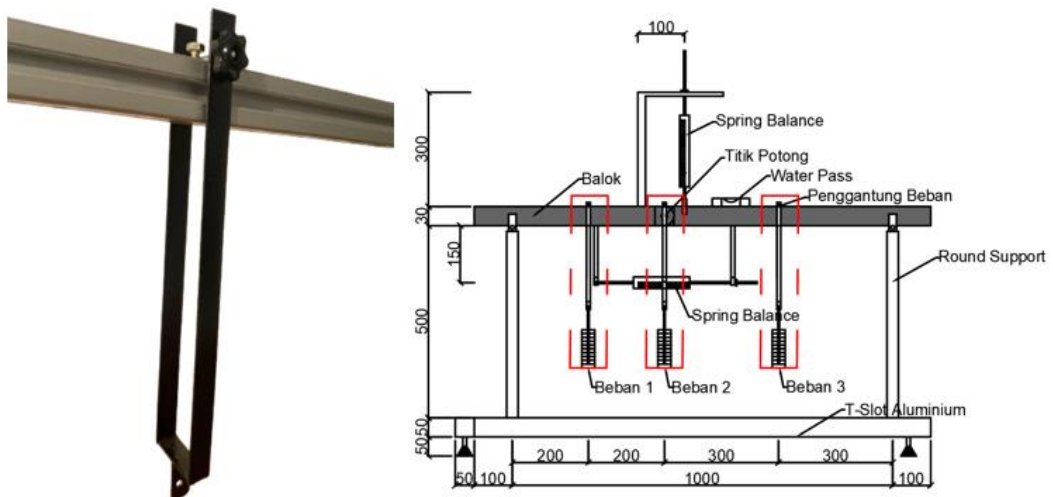
Aluminium ini dipotong menjadi dua bagian untuk menampilkan gaya geser dan momen lentur pada potongan balok tersebut. Perakitan balok ditunjukkan pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5. 3 T-Slot Sebagai Balok

4. Membuat penggantung beban

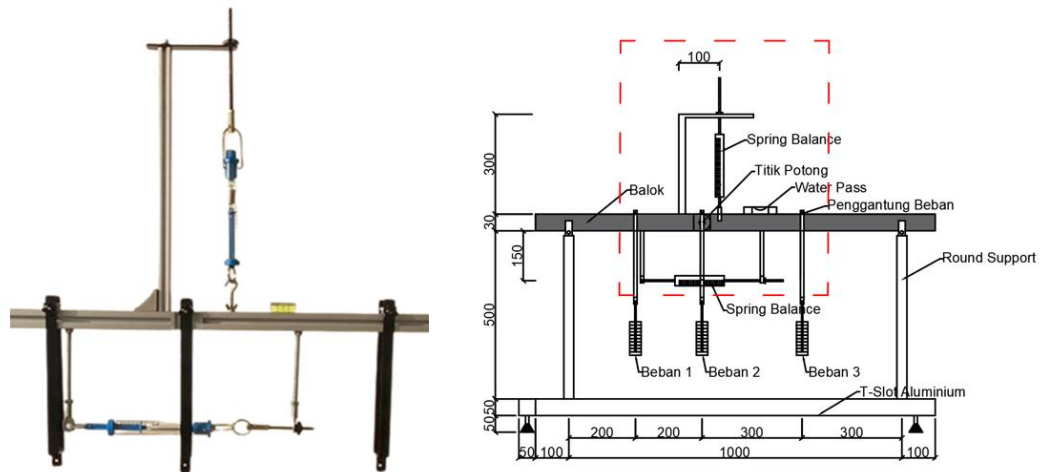
Penggantung beban dikaitkan pada balok untuk mengukur gaya geser dan momen lentur yang terjadi saat balok diberi beban. Penggantung beban ditunjukkan pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5. 4 Penggantung Beban yang Dikaitkan Pada Balok

5. Mengaitkan *spring balance* pada balok

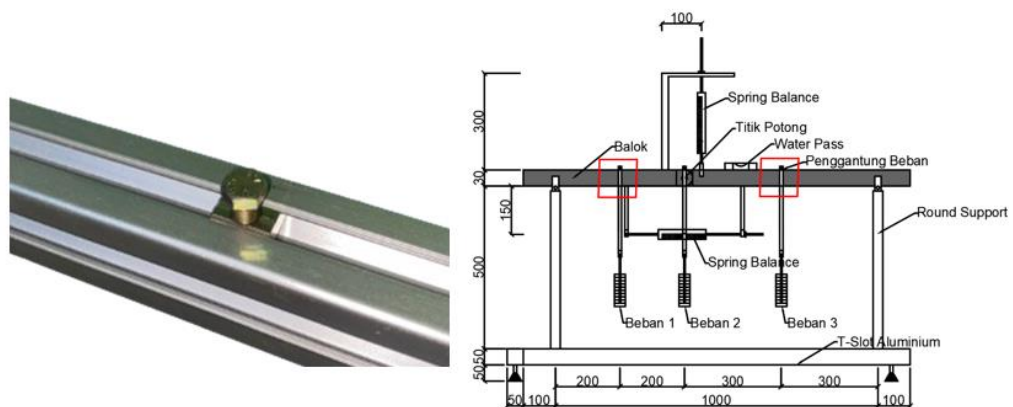
Spring balance dikaitkan pada balok untuk mengukur gaya geser dan momen lentur yang terjadi saat balok diberi beban. Perakitan kait *spring balance* ditunjukkan pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5. 5 *Spring Balance* yang Dikaitkan Pada Balok

6. Memasang baut penyetop

Baut penyetop dipasang pada balok. Baut ini mudah dikencangkan dan dikendurkan untuk mencegah geseran pada saat pembebanan. Pemasangan baut penyetop ditunjukkan pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 6 Pemasangan Baut Penyetop pada Balok

7. Memastikan semua elemen terpasang dengan baik

Dipastikan semua elemen terpasang dan terkait dengan baik. Setiap komponen harus diperiksa untuk memastikan kestabilan dan keamanan alat

peraga sebelum digunakan dalam pengujian. Hasil perakitan alat peraga ditunjukkan pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5. 7 Hasil Perancangan Alat Peraga

5.2 *Constraints* Pada Alat

Constraint adalah batasan atau kondisi yang diterapkan pada suatu sistem untuk mengatur gerakannya. *Constraint* menentukan bagaimana suatu elemen dalam sistem dapat bergerak atau berinteraksi dengan elemen lain. Pada struktur seperti balok, *constraint* diterapkan melalui tumpuan, sambungan, dan kondisi batas lainnya untuk memastikan stabilitas dan kinerja struktur sesuai dengan yang diinginkan. Berikut cara membuat tumpuan sendi dan rol pada penelitian ini.

1. Tumpuan sendi

Tumpuan sendi memungkinkan rotasi bebas pada balok namun mencegah perpindahan horizontal dan vertikal. Ini berarti balok dapat berputar pada titik tumpuan tanpa mengalami perpindahan lateral atau vertikal. Tahapan membuat tumpuan sendi sebagai berikut.

a. Desain dan potong komponen

Potong material sesuai dengan desain menggunakan alat pemotong. Hasil pemotongan material ditunjukkan pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5. 8 Pemotongan Material

- b. Buat lubang untuk sambungan
Bor lubang pada kedua ujung baja. Pastikan lubang sejajar dan sesuai ukuran baut yang akan digunakan. Hasil bor lubang material ditunjukkan pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5. 9 Hasil Bor Lubang Material

- c. Pasang baut dan mur
Tempatkan baut melalui lubang pada balok dan tumpuan sendi, lalu kencangkan dengan mur. Pastikan sambungan cukup kencang untuk mencegah pergerakan horizontal dan vertikal, tetapi tetap memungkinkan rotasi bebas. Hasil tumpuan sendi ditunjukkan pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5. 10 Hasil Pembuatan Tumpuan Sendi

Pada kondisi ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa tumpuan sendi hanya mengizinkan rotasi tanpa perpindahan. Dalam alat peraga ini, tumpuan sendi membantu menahan balok pada posisi yang stabil sementara tetap memungkinkan balok untuk berputar sesuai dengan beban yang diterapkan.

2. Tumpuan rol

Tumpuan rol memungkinkan perpindahan horizontal namun mencegah perpindahan vertikal. Ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa tumpuan rol hanya mengizinkan perpindahan horizontal tanpa perpindahan vertikal. Fungsi ini sangat penting dalam distribusi beban karena tumpuan rol dapat merespon terhadap perubahan posisi beban yang diterapkan pada balok. Tahapan membuat tumpuan rol sebagai berikut.

a. Desain dan potong komponen

Desain komponen tumpuan rol sesuai dengan ukuran balok. Potong material sesuai dengan desain. Hasil pemotongan material ditunjukkan pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5. 11 Pemotongan Material

b. Buat lubang untuk sambungan

Bor lubang pada baja. Pastikan lubang sesuai dengan ukuran baut yang akan digunakan. Hasil bor lubang material ditunjukkan pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



Gambar 5. 12 Hasil Bor Lubang Material

c. Pasang rol

Pasang rol pada tumpuan. Rol ini akan memungkinkan perpindahan horizontal. Hasil baut rol ditunjukkan pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5. 13 Bentuk Tumpuan Rol

d. Pasang baut dan mur

Tempatkan baut atau pin melalui lubang pada balok dan tumpuan rol, lalu mur dikencangkan. Untuk dudukan dibuat sedikit longgar agar rol atau roda dapat bergerak bebas untuk mengizinkan perpindahan horizontal. Hasil pembuatan sendi rol ditunjukkan pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5. 14 Hasil Pembuatan Tumpuan Rol

Dalam alat peraga ini, tumpuan rol memastikan bahwa balok dapat bergerak horizontal untuk menyesuaikan distribusi beban.

5.3 Pengujian Alat

Tahapan pengambilan dan pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah sebagai berikut.

1. Posisi balok

Balok disetel menggunakan *water pass* agar sejajar dan terukur. Jika belum sejajar, kalibrasi dilakukan dengan mengatur *spring balance* bagian bawah hingga *water pass* menunjukkan kesejajaran dan catat hasil *spring balance*. Kalibrasi *water pass* ditunjukkan pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5. 15 Penyetelan Posisi Balok menggunakan *Water Pass*

2. Pemberian beban

a. Penyesuaian letak beban

Penyesuaian letak beban dilakukan dengan menggunakan meteran untuk memastikan akurasi. Penyesuaian letak beban ditunjukkan pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5. 16 Penyesuaian Letak Beban

b. Penempatan beban

Beban ditempatkan pada pengait penggantung sesuai dengan rencana penelitian. Penempatan beban ditunjukkan pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



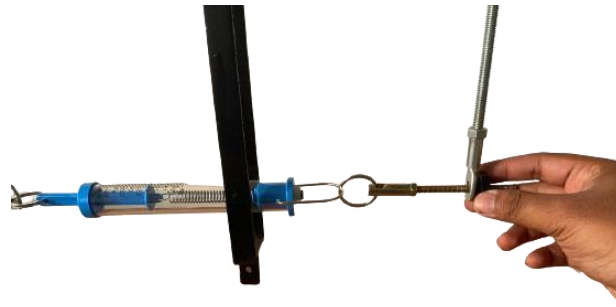
Gambar 5. 17 Penempatan Beban Pada Pengait Penggantung

- c. Pencatatan berat beban

Berat beban yang digunakan dicatat pada setiap pengujian untuk keperluan analisis.
3. Pengukuran gaya geser dan momen lentur
 - a. Untuk mengukur gaya geser, langkah pertama adalah menghitung gaya geser secara teori berdasarkan data beban yang diberikan. Setelah diperoleh nilai gaya geser teori, nilai ini diaplikasikan pada alat peraga dengan mengatur mur pada *spring balance* hingga gaya yang ditunjukkan sesuai dengan nilai teori tersebut. Untuk mengukur momen lentur, setelah gaya geser telah diatur pada alat, mur pada *spring balance* horizontal diputar hingga alat peraga mencapai kondisi seimbang. Putar mur *spring balance* ditunjukkan pada Gambar 5.18 untuk gaya geser dan Gambar 5.19 untuk momen lentur.



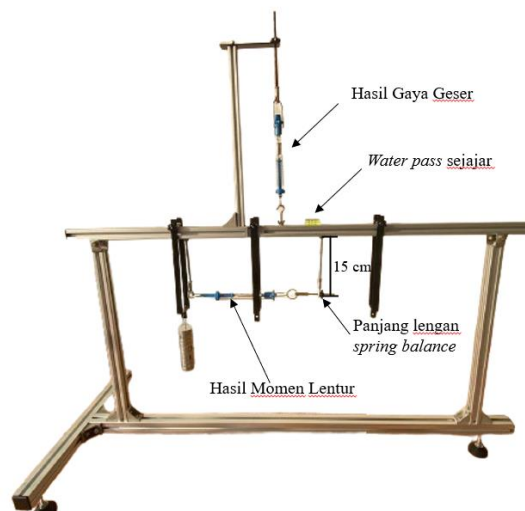
Gambar 5. 18 Pengukuran Gaya Geser



Gambar 5. 19 Pengukuran Momen Lentur

b. Pencatatan hasil

Hasil pengaturan gaya geser pada *spring balance* vertikal dan pembacaan gaya pada *spring balance* horizontal dicatat dengan cermat. Nilai yang ditunjukkan oleh *spring balance* horizontal dikalikan dengan tinggi lengan momen untuk mendapatkan nilai momen lentur yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Pencatatan hasil ditunjukkan pada Gambar 5.20 sebagai berikut.



Gambar 5. 20 Pengukuran Gaya Geser dan Momen Lentur Menggunakan *Spring Balance*

5.4 Ketelitian Alat

Ada beberapa alasan dalam pemilihan ketelitian alat sebagai berikut.

1. Gaya Geser

Ketelitian yang digunakan sebesar $\pm 0,01$ kg. Alasan pemilihan karena alat ukur *spring balance* yang digunakan untuk mengukur gaya geser memiliki

skala ketelitian sebesar 0,02 kg. Pemilihan ketelitian sebesar $\pm 0,01$ kg karena memberikan ruang kecil yang mungkin terjadi selama pengukuran. Ketelitian ini cukup akurat untuk analisis gaya geser pada balok tanpa menyebabkan kesalahan yang signifikan.

2. Momen lentur

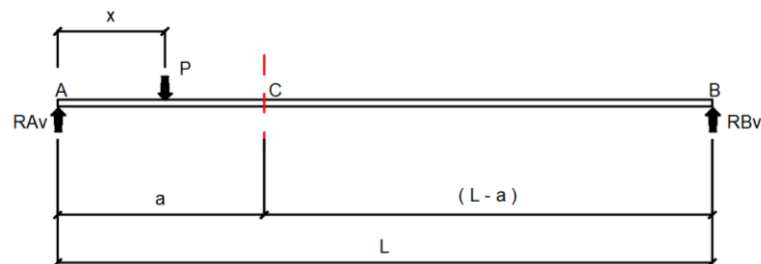
Ketelitian yang digunakan sebesar $\pm 0,75$ kg-cm. Alasan pemilihan karena *spring balance* yang digunakan untuk mengukur momen lentur memiliki skala ketelitian sebesar 0,1 kg. Momen lentur dihitung dengan mengalikan gaya dengan lengan *spring balance* yang panjangnya 15 cm. Oleh karena itu, ketelitian gaya sebesar 0,1 kg x 15 cm menghasilkan ketelitian momen lentur sebesar 0,75 kg-cm.

5.5 Perbandingan Hasil Pengujian dan Hasil Analisis

5.5.1 Satu Beban Terpusat

Dalam pembebanan satu beban terpusat dilakukan pembebanan hanya di satu titik. Analisis terhadap hasil pengukuran yang telah diperoleh dan perhitungan teoritis di berbagai kondisi sebagai berikut.

1. Pada kondisi 1 ditunjukkan pada Gambar 5.21 sebagai berikut.



Gambar 5. 21 Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik

Keterangan:

- L = 100 cm
- P = 0,5 kg
- x = 20 cm
- a = 40 cm

Perhitungan reaksi, cek kontrol reaksi, gaya geser dan momen lentur sebagai berikut:

a. Reaksi di titik A dan B

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAv \cdot L - P \cdot (L - x) = 0$$

$$RAv = \frac{0,5 (100 - 20)}{100}$$

$$RAv = 0,4 \text{ kg}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-RBv \cdot L + P \cdot x = 0$$

$$RBv = \frac{0,5 \cdot 20}{100}$$

$$RBv = 0,1 \text{ kg}$$

b. Cek kontrol reaksi

$$V = 0$$

$$RAv + RBv - P = 0$$

$$0,4 + 0,1 - 0,5 = 0$$

$$0 = 0$$

c. Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RAv - P$$

$$= 0,4 - 0,5$$

$$= -0,1 \text{ kg}$$

d. Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = RBv (L - a)$$

$$= 0,1 (100 - 40)$$

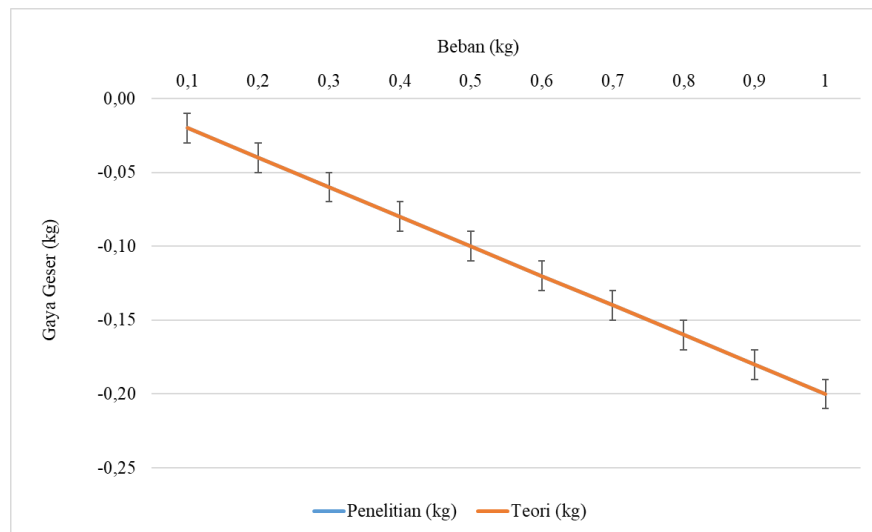
$$= 6 \text{ kg-cm}$$

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan kondisi 1 ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik

Beban (P)	Posisi Seimbang	Reaksi Tumpuan		Cek Kontrol	Gaya Geser di Titik C		Selisih Teori-Hasil	Ketelitian Alat	Momen Lentur di Titik C			Selisih Teori-Hasil	Ketelitian Alat x Lengan Spring Balance
		RA _v	RB _v		Hasil	Teori			Hasil	Hasil x15 cm	Teori		
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	$P = RA_v + RB_v$	(kg)	(kg)	(kg)	± 0,01 kg	(kg)	(kg-cm)	(kg-cm)	(kg-cm)	± 0,75 kg-cm
0,1	2	0,08	0,02	✓	-0,02	-0,02	0	✓	0,09	1,35	1,2	-0,15	✓
0,2	2	0,16	0,04	✓	-0,04	-0,04	0	✓	0,17	2,55	2,4	-0,15	✓
0,3	2	0,24	0,06	✓	-0,06	-0,06	0	✓	0,25	3,75	3,6	-0,15	✓
0,4	2	0,32	0,08	✓	-0,08	-0,08	0	✓	0,32	4,8	4,8	0	✓
0,5	2	0,40	0,10	✓	-0,10	-0,10	0	✓	0,4	6	6,0	0	✓
0,6	2	0,48	0,12	✓	-0,12	-0,12	0	✓	0,48	7,2	7,2	0	✓
0,7	2	0,56	0,14	✓	-0,14	-0,14	0	✓	0,56	8,4	8,4	0	✓
0,8	2	0,64	0,16	✓	-0,16	-0,16	0	✓	0,64	9,6	9,6	0	✓
0,9	2	0,72	0,18	✓	-0,18	-0,18	0	✓	0,72	10,8	10,8	0	✓
1	2	0,80	0,20	✓	-0,20	-0,20	0	✓	0,8	12	12,0	0	✓

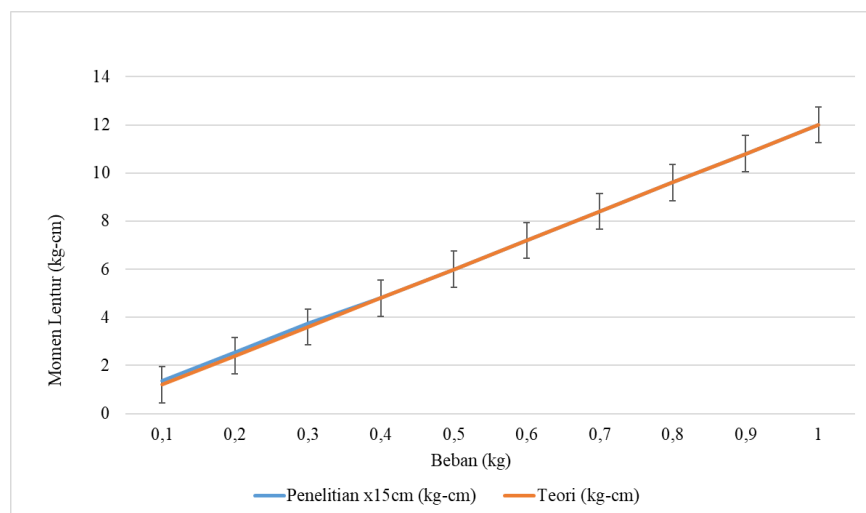
Kurva ketelitian alat untuk gaya geser ditunjukkan pada Gambar 5.22.



Gambar 5. 22 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik

Berdasarkan gambar kurva di atas, tidak ditemukan penyimpangan antara hasil studi perancangan dan perhitungan teori, sehingga ketelitian alat dianggap memenuhi kriteria yang ditetapkan.

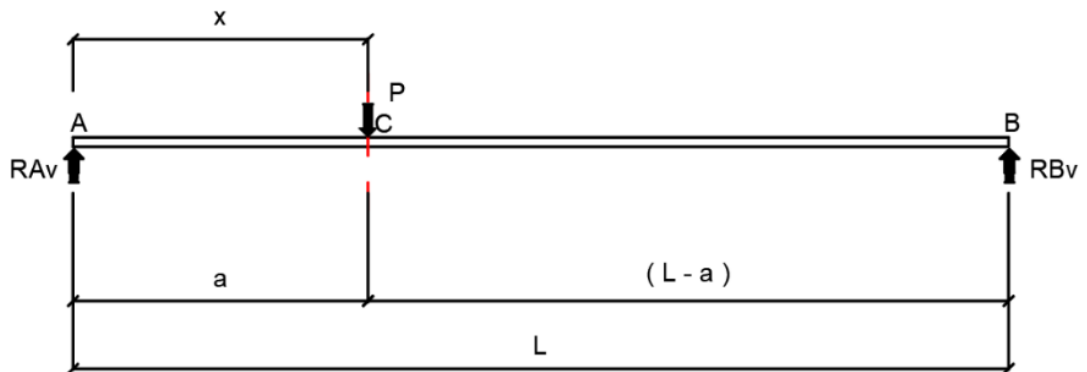
Kurva ketelitian alat momen lentur ditunjukkan pada Gambar 5.23.



Gambar 5. 23 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 1 Pembebanan 1 Titik

Kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg, 0,2 kg, dan 0,3 kg. Namun, simpangan tersebut masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan.

2. Pada kondisi 2 ditunjukkan pada Gambar 5.24 sebagai berikut.



Gambar 5. 24 Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik

Keterangan:

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$P = 0,5 \text{ kg}$$

$$x = 40 \text{ cm}$$

$$a = 40 \text{ cm}$$

Perhitungan reaksi, cek kontrol reaksi, gaya geser dan momen lentur sebagai berikut:

- a. Reaksi di titik A dan B

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAv \cdot L - P \cdot (L - x) = 0$$

$$RAv = \frac{0,5 (100 - 40)}{100}$$

$$RAv = 0,3 \text{ kg}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-RBv \cdot L + P \cdot x = 0$$

$$RBv = \frac{0,5 \cdot 40}{100}$$

$$RBv = 0,2 \text{ kg}$$

- b. Cek kontrol reaksi

$$V = 0$$

$$RAv + RBv - P = 0$$

$$0,3 + 0,2 - 0,5 = 0$$

$$0 = 0$$

c. Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$V_C = R_{Av} - P$$

$$= 0,3 - 0,5$$

$$= - 0,2 \text{ kg}$$

d. Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$M_C = R_{Bv} (L - a)$$

$$= 0,2 (100 - 40)$$

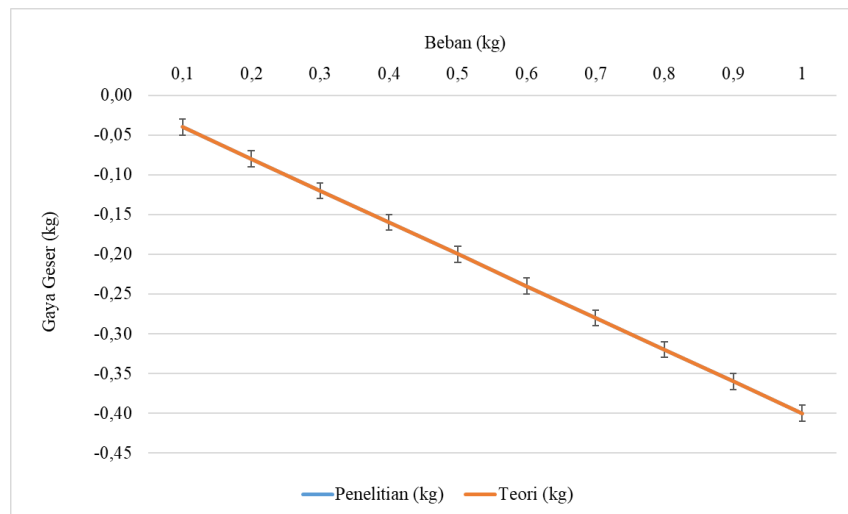
$$= 12 \text{ kg-cm}$$

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan kondisi 2 ditunjukkan pada tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik

Beban (P)	Posisi Seimbang	Reaksi Tumpuan		Cek Kontrol	Gaya Geser di Titik C		Selisih	Ketelitian Alat	Momen Lentur di Titik C			Selisih	Ketelitian Alat x Lengan Spring Balance
		RA _v	RB _v		Teori-Hasil	Hasil	Teori		Hasil	Hasil x15 cm	Teori	Teori-Hasil	
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	$P = RA_v + RB_v$	(kg)	(kg)	(kg)	± 0,01 kg	(kg)	(kg-cm)	(kg-cm)	(kg-cm)	± 0,75 kg-cm
0,1	2	0,06	0,04	✓	-0,04	-0,04	0	✓	0,17	2,55	2,4	-0,15	✓
0,2	2	0,12	0,08	✓	-0,08	-0,08	0	✓	0,33	4,95	4,8	-0,15	✓
0,3	2	0,18	0,12	✓	-0,12	-0,12	0	✓	0,5	7,5	7,2	-0,3	✓
0,4	2	0,24	0,16	✓	-0,16	-0,16	0	✓	0,65	9,75	9,6	-0,15	✓
0,5	2	0,30	0,20	✓	-0,20	-0,20	0	✓	0,8	12	12	0	✓
0,6	2	0,36	0,24	✓	-0,24	-0,24	0	✓	0,96	14,4	14,4	0	✓
0,7	2	0,42	0,28	✓	-0,28	-0,28	0	✓	1,12	16,8	16,8	0	✓
0,8	2	0,48	0,32	✓	-0,32	-0,32	0	✓	1,28	19,2	19,2	0	✓
0,9	2	0,54	0,36	✓	-0,36	-0,36	0	✓	1,44	21,6	21,6	0	✓
1	2	0,60	0,40	✓	-0,40	-0,40	0	✓	1,6	24	24	0	✓

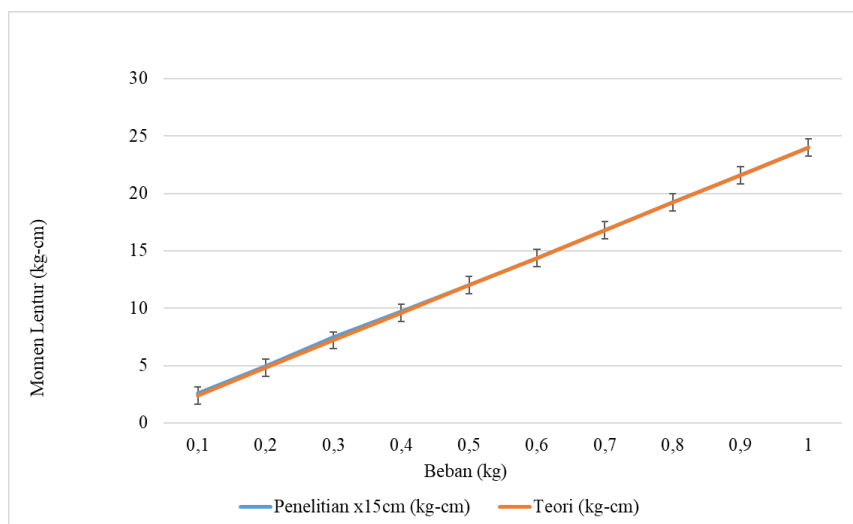
Kurva ketelitian alat untuk gaya geser ditunjukkan pada Gambar 5.25.



Gambar 5. 25 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik

Berdasarkan gambar kurva di atas, tidak ditemukan penyimpangan antara hasil studi perancangan dan perhitungan teori, sehingga ketelitian alat dianggap memenuhi kriteria yang ditetapkan.

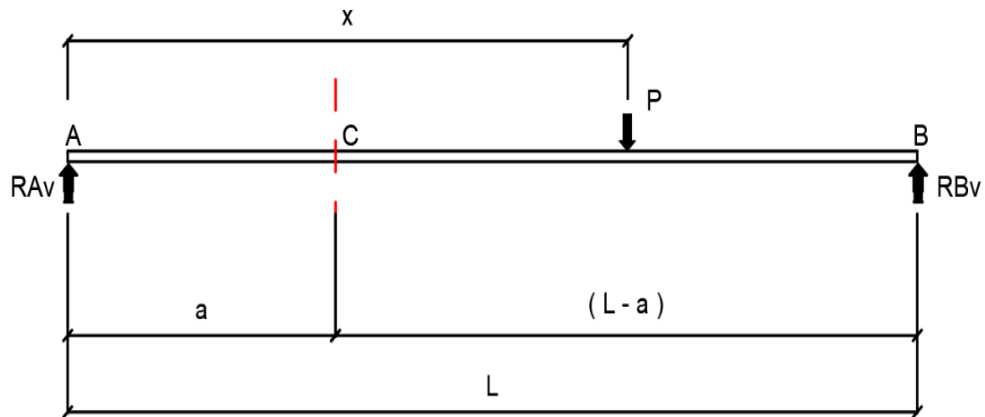
Kurva ketelitian alat momen lentur ditunjukkan pada Gambar 5.26.



Gambar 5. 26 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 2 Pembebanan 1 Titik

Kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg, 0,2 kg, 0,3 kg dan 0,4 kg. Namun, simpangan tersebut masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan.

3. Pada kondisi 3 ditunjukkan pada Gambar 5.27 sebagai berikut.



Gambar 5. 27 Kondisi 3 Pembebanan Pembebanan 1 Titik

Keterangan:

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$P = 0,5 \text{ kg}$$

$$x = 40 \text{ cm}$$

$$a = 70 \text{ cm}$$

Perhitungan reaksi, cek kontrol reaksi, gaya geser dan momen lentur sebagai berikut:

- a. Reaksi di titik A dan B

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{Av} \cdot L - P \cdot (L - x) = 0$$

$$R_{Av} = \frac{0,5 (100 - 70)}{100}$$

$$R_{Av} = 0,15 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_{Bv} \cdot L + P \cdot x = 0$$

$$R_{Bv} = \frac{0,5 \cdot 70}{100}$$

$$R_{Bv} = 0,35 \text{ gf}$$

- b. Cek kontrol reaksi

$$V = 0$$

$$R_{Av} + R_{Bv} - P = 0$$

$$0,14 + 0,35 - 0,5 = 0$$

$$0 = 0$$

- c. Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$V_C = R_{Av}$$

$$= 0,15 \text{ kg}$$

- d. Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$M_C = R_{Av} \times a$$

$$= 0,15 \times 40$$

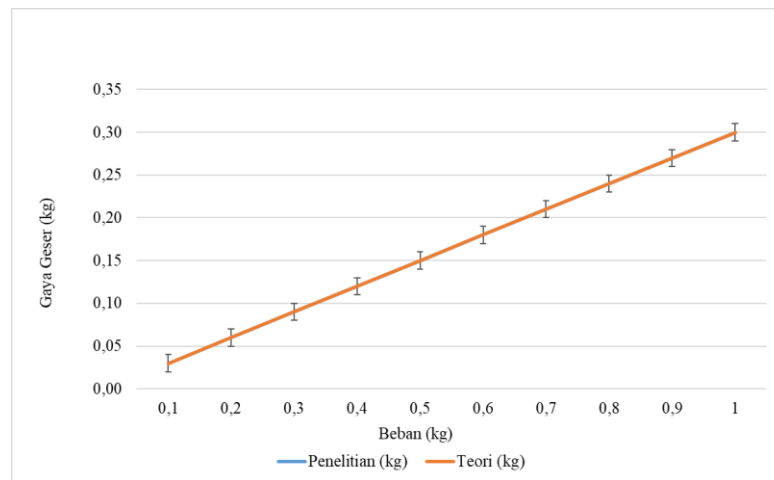
$$= 6 \text{ kg-cm}$$

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan kondisi 3 ditunjukkan pada tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 3 Pembebanan 1 Titik

Beban (P)	Posisi Seimbang	Reaksi Tumpuan		Cek Kontrol	Gaya Geser di Titik C		Selisih Teori- Hasil	Ketelitian Alat	Momen Lentur di Titik C			Selisih Teori-Hasil	Ketelitian Alat x Lengan <i>Spring Balance</i>
		RA _v	RB _v		P = RA _v + RB _v	Hasil			Teori	Hasil	Hasil x15 cm		
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	P = RA _v + RB _v	(kg)	(kg)	(kg)	± 0,01 kg	(kg)	(kg- cm)	(kg- cm)	(kg-cm)	± 0,75 kg- cm
0,1	2	0,03	0,07	✓	0,03	0,03	0	✓	0,1	1,5	1,2	-0,3	✓
0,2	2	0,06	0,14	✓	0,06	0,06	0	✓	0,17	2,55	2,4	-0,15	✓
0,3	2	0,09	0,21	✓	0,09	0,09	0	✓	0,25	3,75	3,6	-0,15	✓
0,4	2	0,12	0,28	✓	0,12	0,12	0	✓	0,32	4,8	4,8	0	✓
0,5	2	0,15	0,35	✓	0,15	0,15	0	✓	0,4	6	6	0	✓
0,6	2	0,18	0,42	✓	0,18	0,18	0	✓	0,48	7,2	7,2	0	✓
0,7	2	0,21	0,49	✓	0,21	0,21	0	✓	0,56	8,4	8,4	0	✓
0,8	2	0,24	0,56	✓	0,24	0,24	0	✓	0,64	9,6	9,6	0	✓
0,9	2	0,27	0,63	✓	0,27	0,27	0	✓	0,72	10,8	10,8	0	✓
1	2	0,30	0,70	✓	0,30	0,30	0	✓	0,8	12	12	0	✓

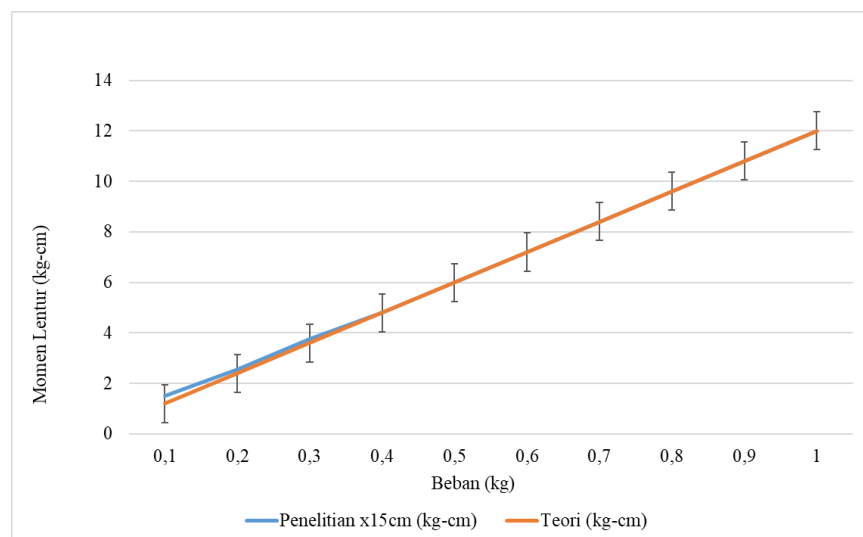
Kurva ketelitian alat untuk gaya geser ditunjukkan pada Gambar 5.28.



**Gambar 5. 28 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 3
Pembebanan 1 Titik**

Berdasarkan gambar kurva di atas, tidak ditemukan penyimpangan antara hasil studi perancangan dan perhitungan teori, sehingga ketelitian alat dianggap memenuhi kriteria yang ditetapkan.

Kurva ketelitian alat momen lentur ditunjukkan pada Gambar 5.29.



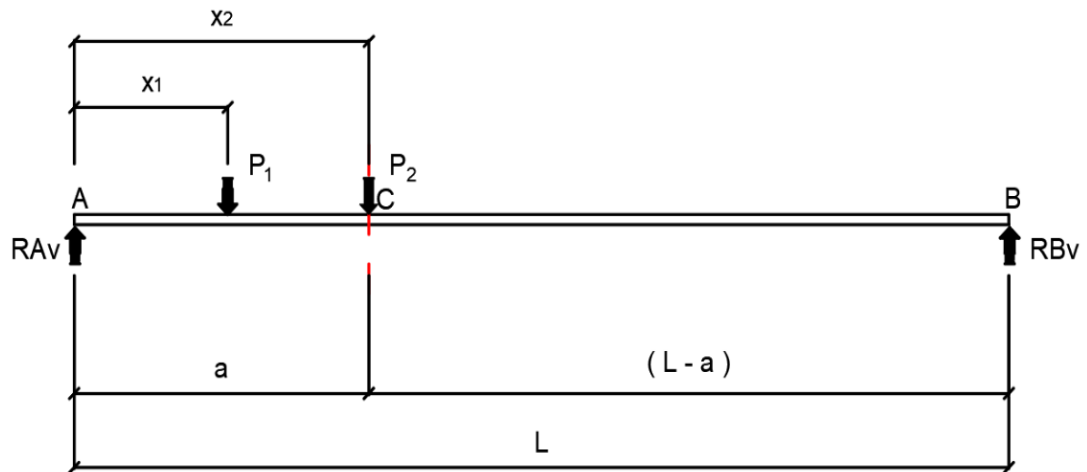
**Gambar 5. 29 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 3
Pembebanan 1 Titik**

Kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg, 0,2 kg, dan 0,3 kg. Namun, simpangan tersebut masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan.

5.5.2 Dua Beban Terpusat

Dalam pembebanan dua beban terpusat dilakukan pembebanan di dua titik. Analisis terhadap hasil pengukuran yang telah diperoleh dan perhitungan teoritis di berbagai kondisi sebagai berikut.

1. Pada kondisi 1 ditunjukkan pada Gambar 5.30 sebagai berikut.



Gambar 5. 30 Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik

Keterangan:

- L = 100 cm
 P₁ = 0,5 kg
 P₂ = 0,5 kg
 x₁ = 20 cm
 x₂ = 40 cm
 a = 40 cm

Perhitungan reaksi, cek kontrol reaksi, gaya geser dan momen lentur sebagai berikut:

- a. Reaksi di titik A dan B

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{Av} \cdot L - P_1 \cdot (L - x_1) - P_2 \cdot (L - x_2) = 0$$

$$R_{Av} = \frac{0,5 (100 - 20) + 0,5 (100 - 40)}{100}$$

$$R_{Av} = 0,7 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \Sigma MA &= 0 \\ -RB_v \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 &= 0 \\ RB_v &= \frac{0,5 \cdot 20 + 0,5 \cdot 40}{100} \\ RB_v &= 0,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Cek kontrol reaksi

$$\begin{aligned} V &= 0 \\ RA_v + RB_v - P_1 - P_2 &= 0 \\ 0,7 + 0,3 - 0,5 - 0,5 &= 0 \\ 0 &= 0 \end{aligned}$$

c. Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$\begin{aligned} VC &= RA_v - P_1 - P_2 \\ &= 0,7 - 0,5 - 0,5 \\ &= -0,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

d. Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

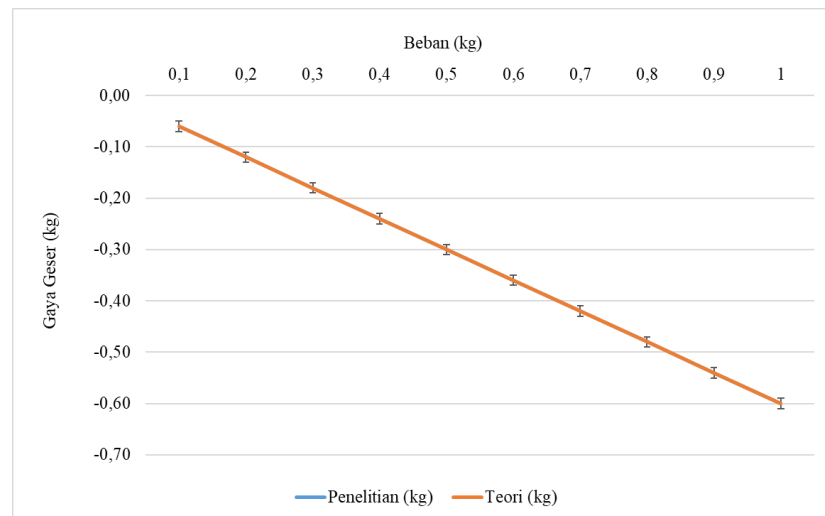
$$\begin{aligned} MC &= (RA_v \times a) - (P_1 \times (a - x_1)) \\ &= (0,7 \times 40) - (0,5 \times (40 - 20)) \\ &= 18 \text{ kg-cm} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan kondisi 1 ditunjukkan pada tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik

Beban (P ₁)	Beban (P ₂)	Posisi Seimbang	Reaksi Tumpuan		Cek Kontrol	Gaya Geser di Titik C		Selisih	Ketelitian Alat	Momen Lentur di Titik C			Selisih	Ketelitian Alat x Lengan <i>Spring Balance</i>
			RA _v	RB _v		Teori- Hasil	Hasil	Teori		Hasil	Hasil x15 cm	Teori	Teori-Hasil	
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	$P = RA_v + RB_v$	(kg)	(kg)	(kg)	± 0,01 kg	(kg)	(kg- cm)	(kg-cm)	(kg-cm)	± 0,75 kg- cm
0,1	0,1	2	0,14	0,06	✓	-0,06	-0,06	0	✓	0,25	3,75	3,6	-0,15	✓
0,2	0,2	2	0,28	0,12	✓	-0,12	-0,12	0	✓	0,49	7,35	7,2	-0,15	✓
0,3	0,3	2	0,42	0,18	✓	-0,18	-0,18	0	✓	0,72	10,8	10,8	0	✓
0,4	0,4	2	0,56	0,24	✓	-0,24	-0,24	0	✓	0,96	14,4	14,4	0	✓
0,5	0,5	2	0,70	0,30	✓	-0,30	-0,30	0	✓	1,2	18	18	0	✓
0,6	0,6	2	0,84	0,36	✓	-0,36	-0,36	0	✓	1,45	21,75	21,6	-0,15	✓
0,7	0,7	2	0,98	0,42	✓	-0,42	-0,42	0	✓	1,68	25,2	25,2	0	✓
0,8	0,8	2	1,12	0,48	✓	-0,48	-0,48	0	✓	1,92	28,8	28,8	0	✓
0,9	0,9	2	1,26	0,54	✓	-0,54	-0,54	0	✓	2,15	32,25	32,4	0,15	✓
1	1	2	1,40	0,60	✓	-0,60	-0,60	0	✓	2,4	36	36	0	✓

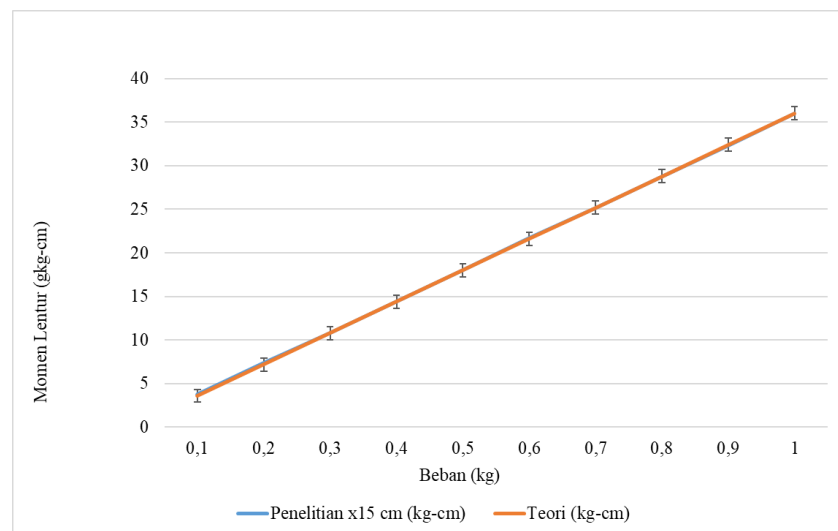
Kurva ketelitian alat untuk gaya geser ditunjukkan pada Gambar 5.31.



Gambar 5. 31 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik

Berdasarkan gambar kurva di atas, tidak ditemukan penyimpangan antara hasil studi perancangan dan perhitungan teori, sehingga ketelitian alat dianggap memenuhi kriteria yang ditetapkan.

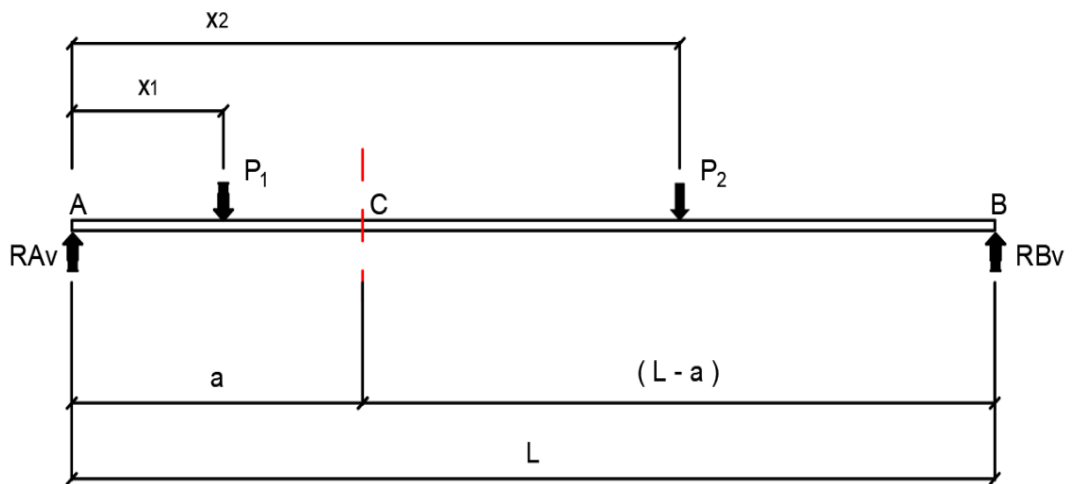
Kurva ketelitian alat momen lentur ditunjukkan pada Gambar 5.32.



Gambar 5. 32 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 1 Pembebanan 2 Titik

Kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg, 0,2 kg, 0,6 kg dan 0,9 kg. Namun, simpangan tersebut masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan.

2. Pada kondisi 2 ditunjukkan pada Gambar 5.33 sebagai berikut.



Gambar 5. 33 Kondisi 2 Pembebanan 2 Titik

Keterangan:

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$P_1 = 0,5 \text{ kg}$$

$$P_2 = 0,5 \text{ kg}$$

$$x_1 = 20 \text{ cm}$$

$$x_2 = 70 \text{ cm}$$

$$a = 40 \text{ cm}$$

Perhitungan reaksi, cek kontrol reaksi, gaya geser dan momen lentur sebagai berikut:

- a. Reaksi di titik A dan B

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{Av} \cdot L - P_1 \cdot (L - x_1) - P_2 \cdot (L - x_2) = 0$$

$$R_{Av} = \frac{0,5 \cdot (100 - 20) + 0,5 \cdot (100 - 70)}{100}$$

$$R_{Av} = 0,55 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_{Bv} \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 = 0$$

$$R_{Bv} = \frac{0,5 \cdot 20 + 0,5 \cdot 70}{100}$$

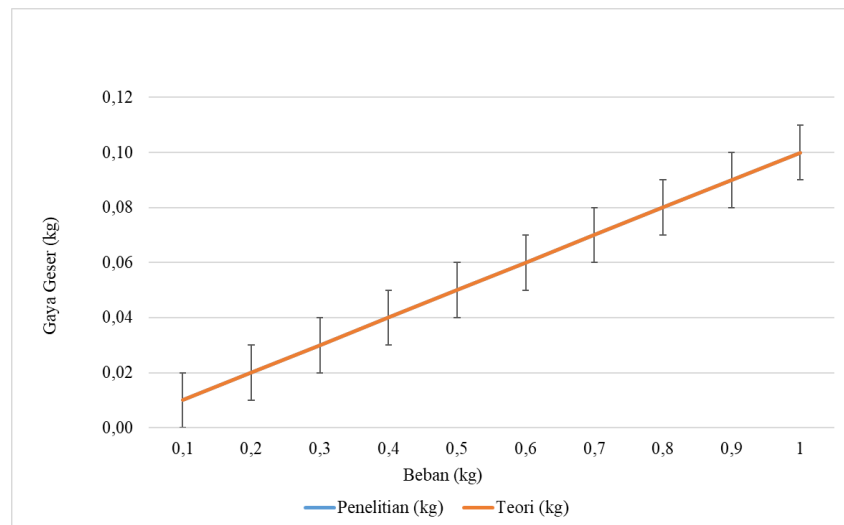
$$\begin{aligned}
 RB_v &= 0,45 \text{ kg} \\
 \text{b. Cek kontrol reaksi} \\
 V &= 0 \\
 RA_v + RB_v - P_1 - P_2 &= 0 \\
 0,55 + 0,45 - 0,5 - 0,5 &= 0 \\
 0 &= 0 \\
 \text{c. Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:} \\
 VC &= RA_v - P_1 \\
 &= 0,55 - 0,5 \\
 &= 0,05 \text{ kg} \\
 \text{d. Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:} \\
 MC &= (RA_v \times a) - (P_1 \times (a - x_1)) \\
 &= (0,55 \times 40) - (0,5 \times (40 - 20)) \\
 &= 12 \text{ kg-cm}
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan kondisi 2 ditunjukkan pada tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 2 Pembebanan 2 Titik

Beban (P ₁)	Beban (P ₂)	Posisi Seimbang	Reaksi Tumpuan		Cek Kontrol	Gaya Geser di Titik C		Selisih	Ketelitian Alat	Momen Lentur di Titik C			Selisih	Ketelitian Alat x Lengan <i>Spring Balance</i>
			RA _v	RB _v		Hasil	Teori	Teori- Hasil		Hasil	Hasil x15 cm	Teori	Teori-Hasil	
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	$P = RA_v + RB_v$	(kg)	(kg)	(kg)	± 0,01 kg	(kg)	(kg- cm)	(kg-cm)	(kg-cm)	± 0,75 kg- cm
0,1	0,1	2	0,11	0,09	✓	0,01	0,01	0	✓	0,17	2,55	2,4	-0,15	✓
0,2	0,2	2	0,22	0,18	✓	0,02	0,02	0	✓	0,33	4,95	4,8	-0,15	✓
0,3	0,3	2	0,33	0,27	✓	0,03	0,03	0	✓	0,49	7,35	7,2	-0,15	✓
0,4	0,4	2	0,44	0,36	✓	0,04	0,04	0	✓	0,64	9,6	9,6	0	✓
0,5	0,5	2	0,55	0,45	✓	0,05	0,05	0	✓	0,8	12	12	0	✓
0,6	0,6	2	0,66	0,54	✓	0,06	0,06	0	✓	0,96	14,4	14,4	0	✓
0,7	0,7	2	0,77	0,63	✓	0,07	0,07	0	✓	1,12	16,8	16,8	0	✓
0,8	0,8	2	0,88	0,72	✓	0,08	0,08	0	✓	1,28	19,2	19,2	0	✓
0,9	0,9	2	0,99	0,81	✓	0,09	0,09	0	✓	1,44	21,6	21,6	0	✓
1	1	2	1,10	0,90	✓	0,10	0,10	0	✓	1,6	24	24	0	✓

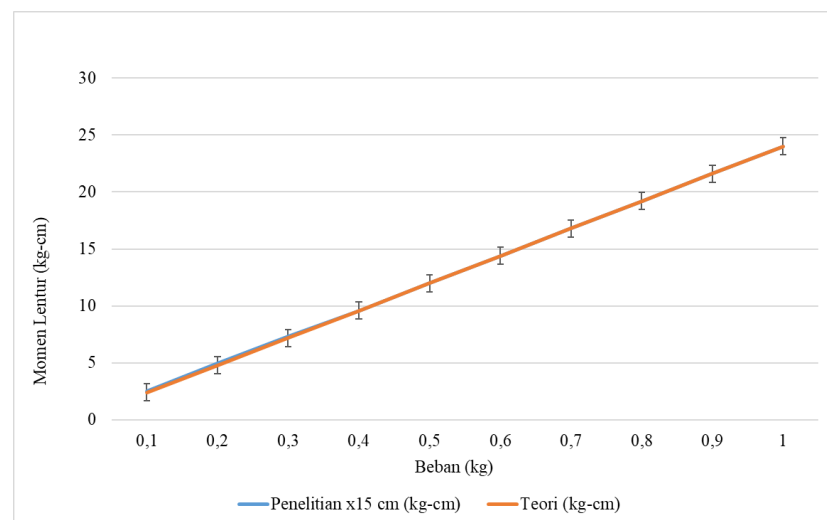
Kurva ketelitian alat untuk gaya geser ditunjukkan pada Gambar 5.34.



**Gambar 5. 34 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 2
Pembebanan 2 Titik**

Berdasarkan gambar kurva di atas, tidak ditemukan penyimpangan antara hasil studi perancangan dan perhitungan teori, sehingga ketelitian alat dianggap memenuhi kriteria yang ditetapkan.

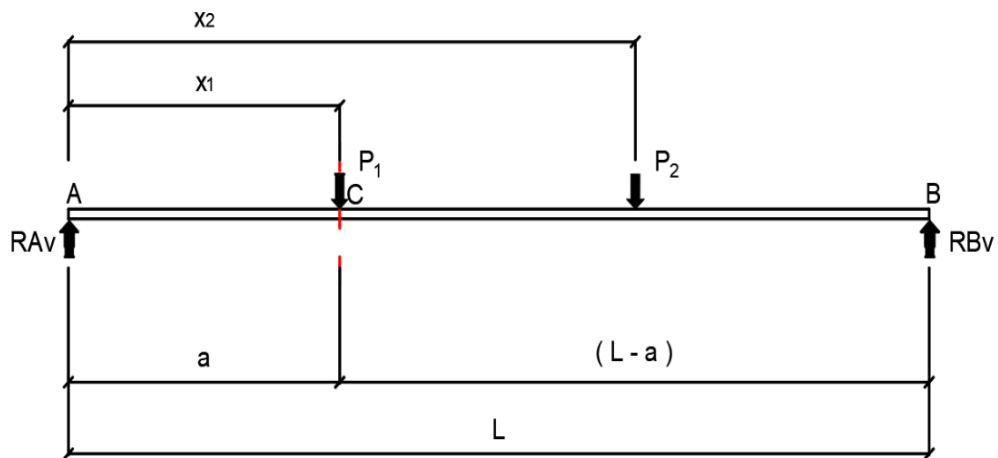
Kurva ketelitian alat momen lentur ditunjukkan pada Gambar 5.35.



**Gambar 5. 35 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 2
Pembebanan 2 Titik**

Kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg, 0,2 kg dan 0,3 kg. Namun, simpangan tersebut masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan.

3. Pada kondisi 3 ditunjukkan pada Gambar 5.36 sebagai berikut.



Gambar 5. 36 Kondisi 3 Pembebanan 2 Titik

Keterangan:

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$P_1 = 0,5 \text{ kg}$$

$$P_2 = 0,5 \text{ kg}$$

$$x_1 = 40 \text{ cm}$$

$$x_2 = 70 \text{ cm}$$

$$a = 40 \text{ cm}$$

Perhitungan reaksi, cek kontrol reaksi, gaya geser dan momen lentur sebagai berikut:

- a. Reaksi di titik A dan B

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{Av} \cdot L - P_1 \cdot (L - x_1) - P_2 \cdot (L - x_2) = 0$$

$$R_{Av} = \frac{0,5 \cdot (100 - 40) + 0,5 \cdot (100 - 70)}{100}$$

$$R_{Av} = 0,45 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_{Bv} \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 = 0$$

$$R_{Bv} = \frac{0,5 \cdot 40 + 0,5 \cdot 70}{100}$$

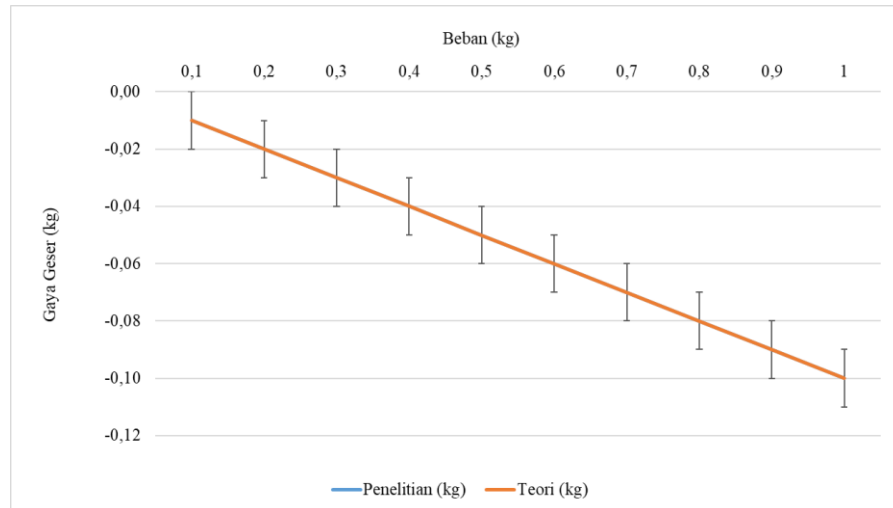
$$\begin{aligned}
 RB_v &= 0,55 \text{ kg} \\
 \text{b. Cek kontrol reaksi} \\
 V &= 0 \\
 RA_v + RB_v - P_1 - P_2 &= 0 \\
 0,45 + 0,55 - 0,5 - 0,5 &= 0 \\
 0 &= 0 \\
 \text{c. Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:} \\
 VC &= RA_v - P_1 \\
 &= 0,45 - 0,5 \\
 &= -0,05 \text{ kg} \\
 \text{d. Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:} \\
 MC &= RA_v \times a \\
 &= 0,45 \times 40 \\
 &= 18 \text{ kg-cm}
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan kondisi 3 ditunjukkan pada tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 3 Pembebanan 2 Titik

Beban (P ₁)	Beban (P ₂)	Posisi Seimbang	Reaksi Tumpuan		Cek Kontrol	Gaya Geser di Titik C		Selisih	Ketelitian Alat	Momen Lentur di Titik C			Selisih	Ketelitian Alat x Lengan <i>Spring Balance</i>
			RA _v	RB _v		Hasil	Teori	Teori- Hasil		Hasil	Hasil x15 cm	Teori	Teori-Hasil	
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	$P = RA_v + RB_v$	(kg)	(kg)	(kg)	± 0,01 kg	(kg)	(kg- cm)	(kg-cm)	(kg-cm)	± 0,75 kg- cm
0,1	0,1	2	0,09	0,11	✓	-0,01	-0,01	0	✓	0,25	3,75	3,6	-0,15	✓
0,2	0,2	2	0,18	0,22	✓	-0,02	-0,02	0	✓	0,49	7,35	7,2	-0,15	✓
0,3	0,3	2	0,27	0,33	✓	-0,03	-0,03	0	✓	0,73	10,95	10,8	-0,15	✓
0,4	0,4	2	0,36	0,44	✓	-0,04	-0,04	0	✓	0,96	14,4	14,4	0	✓
0,5	0,5	2	0,45	0,55	✓	-0,05	-0,05	0	✓	1,2	18	18	0	✓
0,6	0,6	2	0,54	0,66	✓	-0,06	-0,06	0	✓	1,44	21,6	21,6	0	✓
0,7	0,7	2	0,63	0,77	✓	-0,07	-0,07	0	✓	1,68	25,2	25,2	0	✓
0,8	0,8	2	0,72	0,88	✓	-0,08	-0,08	0	✓	1,92	28,8	28,8	0	✓
0,9	0,9	2	0,81	0,99	✓	-0,09	-0,09	0	✓	2,16	32,4	32,4	0	✓
1	1	2	0,90	1,10	✓	-0,10	-0,10	0	✓	2,4	36	36	0	✓

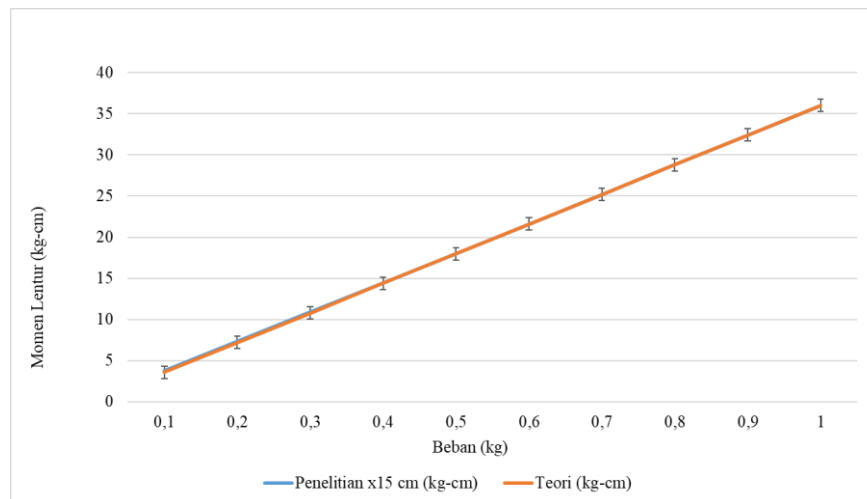
Kurva ketelitian alat untuk gaya geser ditunjukkan pada Gambar 5.37.



**Gambar 5. 37 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Kondisi 3
Pembebanan 2 Titik**

Berdasarkan gambar kurva di atas, tidak ditemukan penyimpangan antara hasil studi perancangan dan perhitungan teori, sehingga ketelitian alat dianggap memenuhi kriteria yang ditetapkan.

Kurva ketelitian alat momen lentur ditunjukkan pada Gambar 5.38.

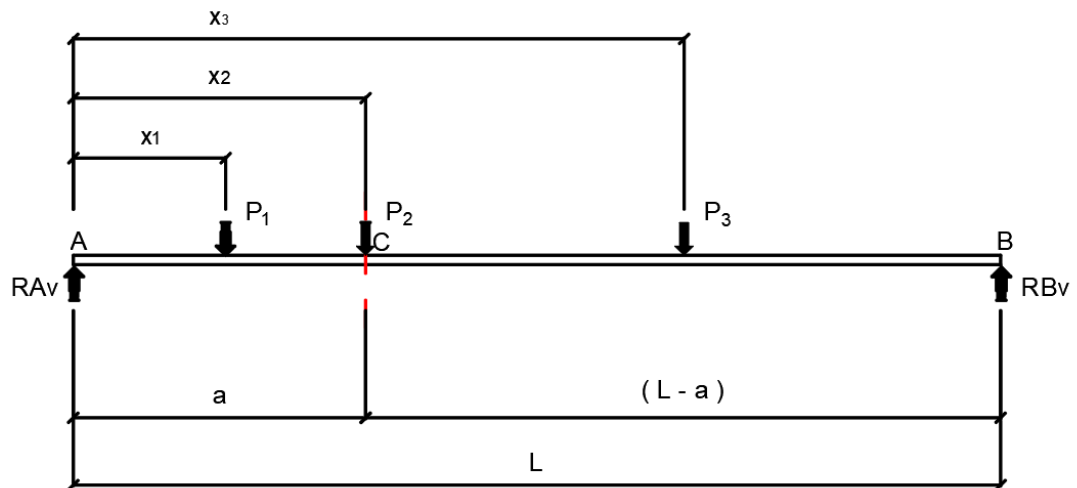


**Gambar 5. 38 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Kondisi 3
Pembebanan 2 Titik**

Kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg, 0,2 kg dan 0,3 kg. Namun, simpangan tersebut masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan.

5.5.3 Tiga Beban Terpusat

Pada kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 5.39 sebagai berikut.



Gambar 5. 39 Pembebanan 3 Titik

Keterangan:

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$P_1 = 0,5 \text{ kg}$$

$$P_2 = 0,5 \text{ kg}$$

$$P_3 = 0,5 \text{ kg}$$

$$x_1 = 20 \text{ cm}$$

$$x_2 = 40 \text{ cm}$$

$$x_3 = 70 \text{ cm}$$

$$a = 40 \text{ cm}$$

Perhitungan reaksi, cek kontrol reaksi, gaya geser dan momen lentur sebagai berikut:

a. Reaksi di titik A dan B

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{Av} \cdot L - P_1 \cdot (L - x_1) - P_2 \cdot (L - x_2) - P_3 \cdot (L - x_3) = 0$$

$$R_{Av} = \frac{0,5 \cdot 80 + 0,5 \cdot 60 + 0,5 \cdot 30}{100}$$

$$R_{Av} = 0,85 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\Sigma MA &= 0 \\ -RB_v \cdot L + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 &= 0 \\ RB_v &= \frac{0,5 \cdot 20 + 0,5 \cdot 40 + 0,5 \cdot 70}{100} \\ RB_v &= 0,65 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Cek kontrol reaksi

$$\begin{aligned}V &= 0 \\ RA_v + RB_v - P_1 - P_2 - P_3 &= 0 \\ 0,85 + 0,65 - 0,5 - 0,5 - 0,5 &= 0 \\ 0 &= 0\end{aligned}$$

c. Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$\begin{aligned}VC &= RA_v - P_1 - P_2 \\ &= 0,85 - 0,5 - 0,5 \\ &= -0,15 \text{ kg}\end{aligned}$$

d. Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

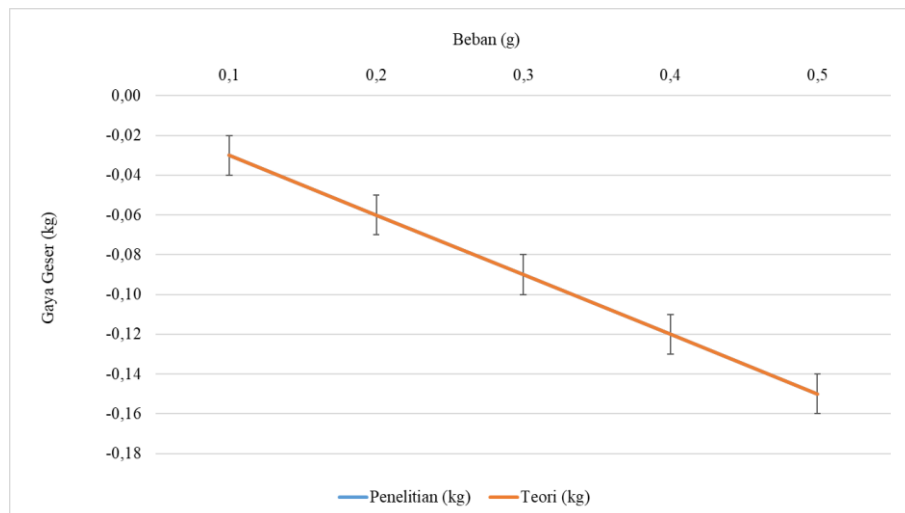
$$\begin{aligned}MC &= (RA_v \times a) - (P_1 \times (a - x_1)) \\ &= (0,85 \times 40) - (0,5 \times (40 - 20)) \\ &= 24 \text{ kg-cm}\end{aligned}$$

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Tabel Hasil Analisis Perhitungan Teoritis dan Penelitian Kondisi 1 Pembebanan 3 Titik

Beban (P ₁)	Beban (P ₂)	Beban (P ₃)	Posisi Seimbang	Reaksi Tumpuan		Cek Kontrol	Gaya Geser di Titik C		Selisih	Ketelitian Alat	Momen Lentur di Titik C			Selisih	Ketelitian Alat x Lengan <i>Spring Balance</i>
				RA _v	RB _v		Teori- Hasil	Hasil	Teori		Hasil	Hasil x15cm	Teori	Teori- Hasil	
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	$P = RA_v + RB_v$	(kg)	(kg)	(kg)	± 0,01 kg	(kg)	(kg-cm)	(kg-cm)	(kg-cm)	± 0,75 kg-cm
0,1	0,1	0,1	2	0,17	0,13	✓	-0,03	-0,03	0	✓	0,33	4,95	4,8	-0,15	✓
0,2	0,2	0,2	2	0,34	0,26	✓	-0,06	-0,06	0	✓	0,65	9,75	9,6	-0,15	✓
0,3	0,3	0,3	2	0,51	0,39	✓	-0,09	-0,09	0	✓	0,96	14,4	14,4	0	✓
0,4	0,4	0,4	2	0,68	0,52	✓	-0,12	-0,12	0	✓	1,28	19,2	19,2	0	✓
0,5	0,5	0,5	2	0,85	0,65	✓	-0,15	-0,15	0	✓	1,6	24	24	0	✓

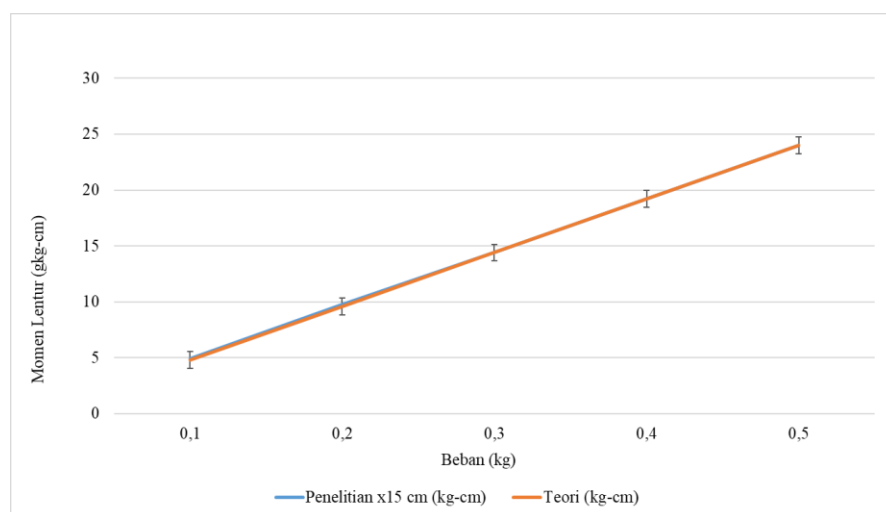
Kurva ketelitian alat untuk gaya geser ditunjukkan pada Gambar 5.40.



Gambar 5. 40 Kurva Ketelitian Alat Gaya Geser Pembebanan 3 Titik

Berdasarkan gambar kurva di atas, tidak ditemukan penyimpangan antara hasil studi perancangan dan perhitungan teori, sehingga ketelitian alat dianggap memenuhi kriteria yang ditetapkan.

Kurva ketelitian alat momen lentur ditunjukkan pada Gambar 5.41.



Gambar 5. 41 Kurva Ketelitian Alat Momen Lentur Pembebanan 3 Titik

Kurva ketelitian alat momen lentur menunjukkan adanya simpangan pada beban 0,1 kg dan 0,2 kg. Namun, simpangan tersebut masih berada dalam batas ketelitian yang ditetapkan.

5.6 Pembahasan Hasil

Dari hasil studi perancangan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa temuan penting yang dapat dibahas lebih lanjut.

1. Gaya geser

Berdasarkan hasil studi perancangan, ditemukan bahwa gaya geser berbanding lurus dengan beban yang diterapkan. Hal ini berarti, semakin besar beban yang diberikan, semakin meningkat gaya geser yang terukur pada balok. Sebagai contoh, pada kondisi 1 pembebanan 1 titik, ketika beban sebesar 0,5 kg, gaya geser yang terukur adalah -0,1 kg. Namun, ketika beban dinaikkan menjadi 1 kg, gaya geser menurun menjadi -0,2 kg. Hubungan ini menunjukkan bahwa ada pengaruh langsung antara penambahan beban dan peningkatan gaya geser.

2. Momen lentur

Hasil studi perancangan ini juga menunjukkan bahwa momen lentur meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diterapkan. Hal ini dapat dijelaskan dengan prinsip dasar mekanika bahwa momen lentur pada suatu titik dalam balok adalah hasil kali antara gaya yang bekerja dan jaraknya dari titik tersebut. Sebagai contoh, pada kondisi 1 pembebanan 1 titik terpusat dengan beban 0,5 kg, momen lentur yang terukur adalah 6 kg-cm. Ketika beban dinaikkan menjadi 1 kg, momen lentur meningkat menjadi 12 kg-cm. Kenaikan momen lentur ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa momen lentur akan bertambah seiring dengan peningkatan beban dan jarak.

3. Alat peraga yang dirancang telah diuji dengan berbagai variasi beban dan posisi penempatan beban untuk mengevaluasi kemampuannya dalam merepresentasikan gaya geser dan momen lentur pada struktur balok. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data penelitian konsisten dengan perhitungan teoritis, dengan kesalahan pengukuran tetap dalam batas toleransi yang ditetapkan, yaitu $\pm 0,01$ kg untuk gaya geser dan $\pm 0,75$ kg-cm untuk momen lentur. Ini mengindikasikan bahwa alat peraga efektif dalam memverifikasi hasil analisis struktur dan dapat digunakan sebagai alat bantu yang akurat dalam pendidikan dan penelitian teknik sipil.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian rancang bangun alat peraga statika untuk menganalisis gaya geser dan momen lentur, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Alat peraga telah dirancang dengan baik dan dapat mengekspresikan konsep-konsep gaya geser dan momen lentur pada struktur balok.
2. Alat peraga yang dirancang telah diuji dan hasil analisis strukturnya telah diverifikasi, menunjukkan kesesuaian dengan teori yang berlaku

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diperoleh beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut.

1. Menggunakan neraca pegas atau *spring balance* jenis digital agar pembacaan hasil pengukuran lebih akurat dan meminimalisir kesalahan baca manual.
2. Melakukan kalibrasi alat ukur dengan mengatur *spring balance* agar balok selalu sejajar, yang dicek secara berkala menggunakan *water pass* untuk memastikan hasil pengukuran yang konsisten dan mengurangi kemungkinan kesalahan pengukuran.
3. Memastikan bahwa beban tetap diam dan tidak bergerak selama proses pengukuran berlangsung untuk menjaga akurasi hasil pengukuran.
4. Menambah variasi beban yang digunakan dalam pengujian, misalnya dengan menggunakan beban merata, untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih komprehensif.
5. Penelitian lebih lanjut dapat menggunakan analisis struktur statis tak tentu agar dapat menganalisis lebih banyak jenis balok dan tumpuan.

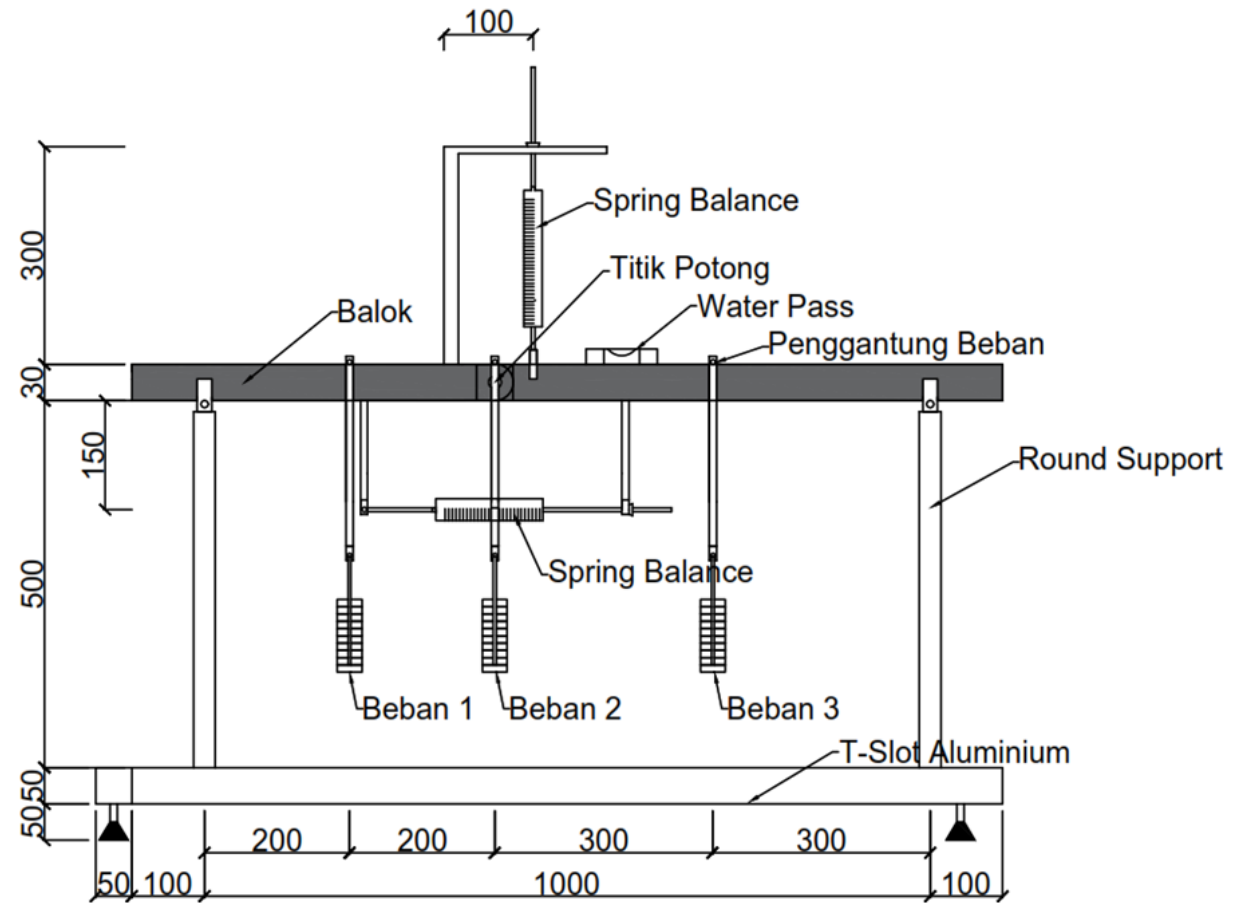
DAFTAR PUSTAKA

- Anas, M. (2014). *Alat Peraga dan Media Pembelajaran*. <https://books.google.co.id/books?id=nSgaCgAAQBAJ>
- Astuti, P., Nugroho, G., Zaki, A., Fadillawaty, Pujiyanto, A., Fanny, M., & Faizah, R. (2022). *Modul Praktikum Statika*.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Dewolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2009). Mechanics of Materials, Fifth Edition. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., Mi, 5–24.
- Frick, H. (1976). Statistika dan kegunaannya. *Mekanika Teknik 1*, 1–249.
- Gultom, H. (2021). *Statika, Mekban & Anstruk*.
- Iswadji, D. (2003). *Pengembangan Media / Alat Peraga Pembelajaran Matematika di SLTP*. Yogyakarta : UNY.
- Mahir, N. N., Anisah, & Iriani, T. (2023). Prosiding Seminar Pendidikan Kejuruan dan Teknik Sipil (E-Journal) Volume 1, Agustus 2023. *Teknik, Fakultas Jakarta, Universitas Negeri*, 1, 95–103.
- Manalip, H., Kumaat, E. J., & Windah, R. S. (2022). *STATIKA*.
- Prihatiningtyas, S., & Haryono, H. E. (2019). Alat Peraga Sebagai Upaya Peningkatan Pemahaman Konsep Peserta didik Pada Materi Mekanika Fluida. *SEJ (Science Education Journal)*, 3(2), 131–138. <https://doi.org/10.21070/sej.v3i2.3095>
- Ridha, M. (2019). *Pembuatan Alat Sederhana Penunjang Kuliah Mekanika Teknik Dalam Menentukan Reaksi Tumpuan*. Universitas Syiah Kuala.
- Rohadi, A. (2003). *Media Pembelajaran . Departemen Pendidikan Nasional*.
- Satrijo, D., & Fitrianto, F. (2017). Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur. *Rotasi*, 19(2), 68. <https://doi.org/10.14710/rotasi.19.2.68-71>
- Setiawan, A. (2015). *Analisis Struktur*. Penerbit Erlangga.
- Siron, N., Nadzrie, M., & Ahmad, B. (2017). *Shear Force in a Beam*. 1(1), 250–257.
- Sun, J., Zou, J., & Gao, L. (2014). Research of Practice Teaching System for Training Civil Engineer. *Proceedings of the 3rd International Conference on Science and Social Research*, 1(1), 288–291. <https://doi.org/10.2991/icssr-14.2014.71>

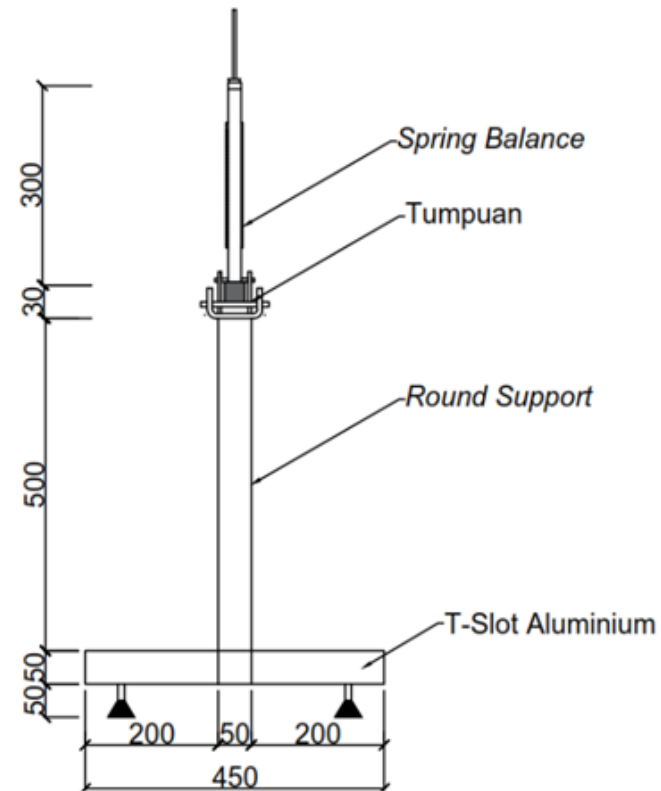
- Xia, J., & Wu, J. (2010). Study on Practice Teaching Excellence Civil Engineer Training. *Journal of Zhejiang Institute Technology*, 387–391.
- Zainuri, M. (2008). *Kekuatan Bahan*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Tampak Depan Alat Peraga



Gambar L-1.1 Desain Tampak Depan Alat Peraga

Lampiran 2 Desain Tampak Samping Alat Peraga**Gambar L-2.1 Desain Tampak Samping Alat Peraga**

Lampiran 3 Panduan SOP Penggunaan Alat Peraga

Standar Operasional Prosedur (SOP) Penggunaan Alat Peraga untuk Analisis Gaya Geser dan Momen Lentur

1. Tujuan

Menetapkan prosedur penggunaan alat peraga untuk menganalisis gaya geser dan momen lentur pada struktur balok, memastikan hasil yang akurat dan konsisten sesuai dengan teori yang berlaku.

2. Ruang lingkup

SOP ini berlaku bagi semua pengguna alat peraga statika yang bertujuan untuk mengukur gaya geser dan momen lentur pada struktur balok dalam lingkungan laboratorium.

3. Keselamatan kerja

a. Pemeriksaan alat

Cek kondisi alat dan *spring balance* sebelum digunakan untuk memastikan tidak ada kerusakan.

b. Penempatan beban

Gunakan kedua tangan saat memasang beban, dan pastikan beban tidak melebihi kapasitas alat. Kapasitas beban maksimal 2 kilogram.

c. Penggunaan *Spring balance*

Jangan melebihi kapasitas maksimal untuk mencegah kerusakan dan cedera.

d. Area kerja

Jaga area kerja tetap bersih.

e. APD

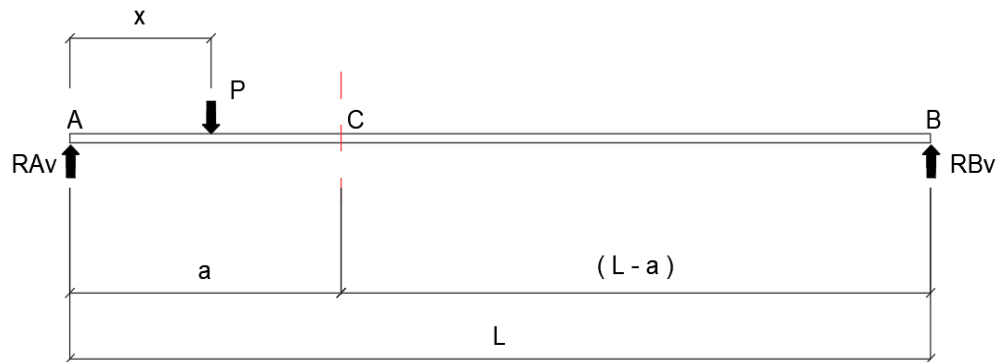
Gunakan alat pelindung diri seperti sarung tangan.

f. Penyimpanan

Simpan alat dengan aman setelah digunakan.

4. Teori

Pemberian beban titik di sebelah kiri potongan balok (C) ditunjukkan pada Gambar L-3.1.



Gambar L-3.1 Beban di Sebelah Kiri Potongan C

Perhitungan teori tentang reaksi tumpuan sebagai berikut.

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAv \cdot L - P \cdot (L - x) = 0$$

$$RAv = \frac{P(L-x)}{L}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-RBv \cdot L + P \cdot x = 0$$

$$RBv = \frac{P \cdot x}{L}$$

Untuk mencari gaya geser di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$VC = RAv - P$$

Untuk mencari momen lentur di titik C pada posisi tersebut, maka:

$$MC = RBv(L - a)$$

Keterangan:

$$\Sigma MA = \text{Jumlah momen di titik A (kg-cm)}$$

$$\Sigma MB = \text{Jumlah momen di titik B (kg-cm)}$$

$$RAv = \text{Reaksi vertikal tumpuan di titik A (kg)}$$

$$RBv = \text{Reaksi vertikal tumpuan di titik B (kg)}$$

$$P = \text{Beban (kg)}$$

$$x = \text{Jarak titik A ke titik beban (cm)}$$

a	= Jarak titik A ke titik potongan C (cm)
L	= Panjang bentang dari titik A ke B (cm)
VC	= Gaya geser di titik C (kg)
MC	= Momen lentur di titik C (kg-cm)

5. Pengambilan Data

Tahapan pengambilan dan pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah sebagai berikut.

a. Posisi balok

Balok disetel menggunakan *water pass* agar sejajar dan terukur. Jika belum sejajar, kalibrasi dilakukan dengan mengatur *spring balance* bagian bawah hingga *water pass* menunjukkan kesejajaran dan catat hasil *spring balance*. Kalibrasi *water pass* ditunjukkan pada Gambar L-3.2 sebagai berikut.



Gambar L-3.2 Penyetelan Posisi Balok menggunakan *Water Pass*

b. Pemberian beban

1) Penyesuaian letak beban

Penyesuaian letak beban dilakukan dengan menggunakan meteran untuk memastikan akurasi. Penyesuaian letak beban ditunjukkan pada Gambar L-3.3 sebagai berikut.



Gambar L-3.3 Penyesuaian Letak Beban

2) Penempatan beban

Beban ditempatkan pada pengait penggantung sesuai dengan rencana penelitian. Penempatan beban ditunjukkan pada Gambar L-3.4 sebagai berikut.



Gambar L-3.4 Penempatan Beban Pada Pengait Penggantung

3) Pencatatan berat beban

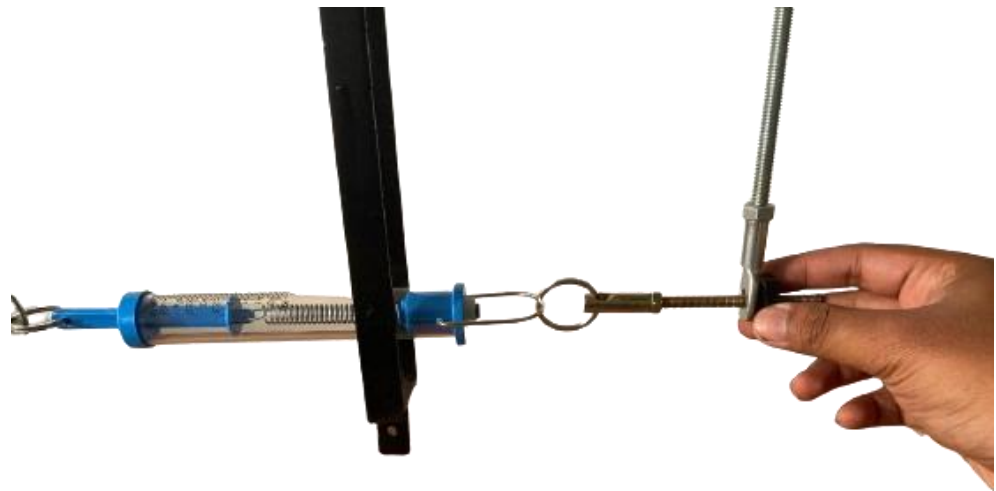
Berat beban yang digunakan dicatat pada setiap pengujian untuk keperluan analisis.

c. Pengukuran gaya geser dan momen lentur

- 1) Untuk mengukur gaya geser, langkah pertama adalah menghitung gaya geser secara teori berdasarkan data beban yang diberikan. Setelah diperoleh nilai gaya geser teori, nilai ini diaplikasikan pada alat peraga dengan mengatur mur pada *spring balance* hingga gaya yang ditunjukkan sesuai dengan nilai teori tersebut. Untuk mengukur momen lentur, setelah gaya geser telah diatur pada alat, mur pada *spring balance horizontal* diputar hingga alat peraga mencapai kondisi. Putar mur *spring balance* ditunjukkan pada Gambar L-3.5 untuk gaya geser dan Gambar L-3.6 untuk momen lentur.



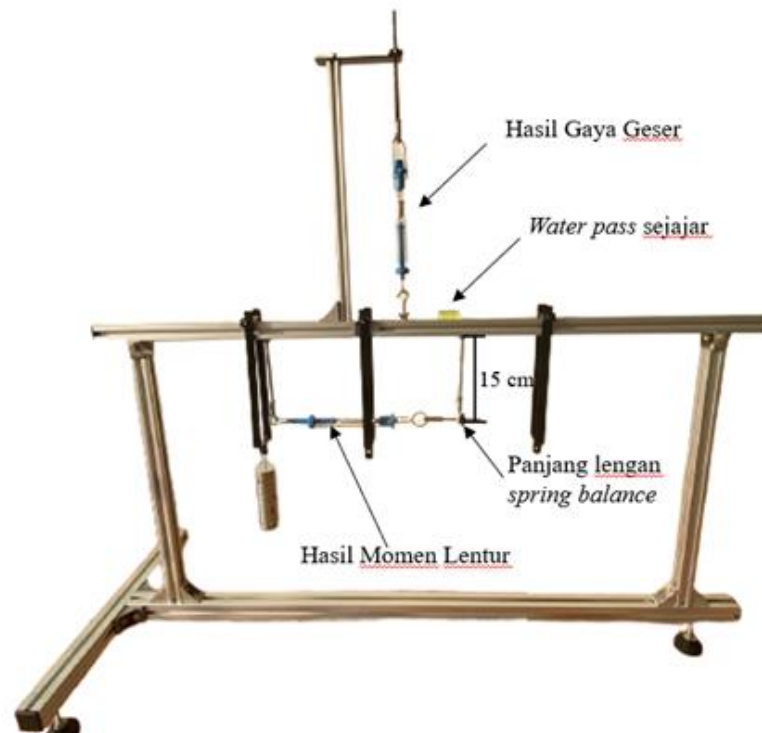
Gambar L-3.5 Pengukuran Gaya Geser



Gambar L-3.6 Pengukuran Momen Lentur

2) Pencatatan hasil

Hasil pengaturan gaya geser pada *spring balance* vertikal dan pembacaan gaya pada *spring balance* horizontal dicatat dengan cermat. Nilai yang ditunjukkan oleh *spring balance* horizontal dikalikan dengan tinggi lengan momen untuk mendapatkan nilai momen lentur yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Pencatatan hasil ditunjukkan pada Gambar L-3.7 sebagai berikut.



Gambar L-3.7 Pengukuran Gaya Geser dan Momen Lentur Menggunakan *Spring Balance*

6. Ketelitian Alat

Ada beberapa alasan dalam pemilihan ketelitian alat sebagai berikut.

a. Gaya Geser

Ketelitian yang digunakan sebesar $\pm 0,01$ kg. Alasan pemilihan karena alat ukur *spring balance* yang digunakan untuk mengukur gaya geser memiliki skala ketelitian sebesar 0,02 kg. Pemilihan ketelitian sebesar $\pm 0,01$ kg karena memberikan ruang kecil yang mungkin terjadi selama pengukuran. Ketelitian ini cukup akurat untuk analisis gaya geser pada balok tanpa menyebabkan kesalahan yang signifikan.

b. Momen lentur

Ketelitian yang digunakan sebesar $\pm 0,75$ kg-cm. Alasan pemilihan karena *spring balance* yang digunakan untuk mengukur momen lentur memiliki skala ketelitian sebesar 0,1 kg. Momen lentur dihitung dengan mengalikan gaya dengan lengan *spring balance* yang panjangnya 15 cm.

Oleh karena itu, ketelitian gaya sebesar 0,1 kg x 15 cm menghasilkan ketelitian momen lentur sebesar 0,75 kg-cm.

7. Verifikasi dan pencatatan
 - a. Ulangi langkah pengambilan data dengan variasi beban dan posisi yang berbeda.
 - b. Bandingkan hasil pengukuran dengan nilai teoritis untuk verifikasi.
 - c. Dokumentasikan semua data yang diperoleh selama pengujian dan lakukan analisis terhadap hasil yang telah dicatat.
 - d. Tabel penelitian dan perhitungan teori ditunjukkan di lampiran 4.

