

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN ALAT PERAGA STRUKTUR
BALOK MENERUS (*CONTINUOUS BEAM*)
SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN VISUAL
PADA MATA KULIAH STATIKA
(*DESIGN OF CONTINUOUS BEAM STRUCTURE
PROPS AS A VISUAL LEARNING MEDIA IN
STATICS COURSE*)**

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



Muhamad Maulana Yusup Arifzi

20111301

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

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN ALAT PERAGA STRUKTUR BALOK MENERUS (*CONTINUOUS BEAM*) SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN VISUAL PADA MATA KULIAH STATIKA (*DESIGN OF CONTINUOUS BEAM STRUCTURE PROPS AS A VISUAL LEARNING MEDIA IN STATICS COURSE*)

Disusun oleh

Muhamad Maulana Yusup Arifzi
20111301

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

Diuji pada tanggal 28 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

 6.9.24

Astriaana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIP: 165111301

Penguji I

 06/09
'24

Jafar, S.T., M.T., MURP.
NIP: 185111301

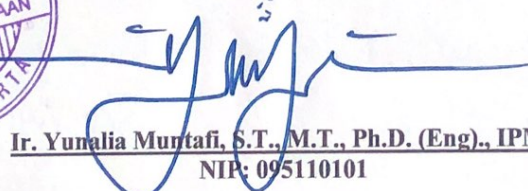
Penguji II

 9/9 2024

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIP: 185111304



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. 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 sumbernya 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 perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan



Muhamad Maulana Yusup Arifzi

(20511301)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Asslamu'alaikum warahmatullah wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, Puji dan syukur atas kehadiran Allah Subhnahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan rezeki-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ Rancang Bangun Alat Peraga Struktur Balok Menerus (*Continuous Beam*) Sebagai Media Pembelajaran Visual Pada Mata Kuliah Statika” dengan penuh kebahagiaan. Salawat serta salam selalu dihaturkan sebagai rasa cinta dan penghormatan kepada Nabi Besar kita, Rasulullah Muhammad *Shalallahu Alaihi Wassalam*, yang membawa cahaya terang bagi kehidupan umat manusia. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknsik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Selama proses penyusunan Tugas Akhir penulis menyadari bahwa banyak rintangan yang dihadapi. Akan tetapi penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, kritik, saran, dan dorongan semangat dari dari berbagai pihak. Sehingga dengan hati yang tulus, penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (M.Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat, dan dorongan semangat selama penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT memberikan kesehatan selalu kepada beliau, supaya beliau diberi kesempatan dan kekuatan untuk membagikan ilmu yang luar biasa kepada banyak orang.
3. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP. dan Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan.

4. Seluruh Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang sudah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh studi.
5. Bapak Fakhurrozi M Yusuf dan Ibu Dini Rahmawati, kedua orang tua penulis yang sudah mendidik dan membesarkan penulis sampai pada tahap saat ini dengan penuh kasih sayang. Terima kasih atas segala pengorbanan yang tak hingga baik material maupun spiritual, semoga Allah SWT memberikan kesehatan dan kebahagiaan selalu.
6. Teman-teman kontrakan tujuh hokage yang sudah banyak membantu dalam proses pembuatan alat peraga struktur balok menerus.
7. Teman-teman seperjuangan kuliah Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 28 Agustus 2024

Penulis,

Muhamad Maulana Yusup Arifzi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.1.1 Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana Pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik (Studi Kasus SMKN 26 Jakarta).	4
2.1.2 Pengaruh Beban pada Gaya Geser di Alat Peraga Struktur Balok	5
2.1.3 Pembuatan Alat Sederhana Penunjang Kuliah Mekanika Teknik dalam Menentukan Reaksi Tumpuan	6
2.1.4 Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur	7

2.2 Perbandingan Penelitian Saat ini dengan Penelitian yang Sudah Dijalankan	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Alat Peraga	12
3.2 Beban pada Struktur Bangunan	12
3.2.1 Beban Mati (Dead Load)	12
3.2.2 Beban Hidup (Live Load)	13
3.2.3 Beban Angin	13
3.2.4 Beban Gempa	13
3.3 Jenis - Jenis Tumpuan	13
3.3.1 Tumpuan Sendi	13
3.3.2 Tumpuan Rol	14
3.3.3 Tumpuan Jepit	14
3.4 Perjanjian Tanda Berkenaan dengan Gaya	15
3.5 Momen Gaya	15
3.6 Persamaan Keseimbangan Statika	16
3.7 Statis Tertentu	17
3.8 Reaksi Tumpuan	17
3.9 Struktur Balok Sederhana	18
3.10 Struktur Balok Gerber	20
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	23
4.1 Umum	23
4.2 Lokasi Penelitian	23
4.3 Material Pengembangan Alat Peraga	23
4.4 Tahap Penelitian	28
4.5 Diagram Alir Tahapan Penelitian	32
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	34
5.1 Pemodelan Alat Peraga	34
5.2 Pembuatan Alat Peraga	37
5.2.1 Balok utama	37
5.2.2 Sendi internal dalam pada balok utama	37

5.2.3 Balok anak	38
5.2.4 Penggantung beban	38
5.2.5 Tumpuan	39
5.2.6 Meja alat peraga	39
5.2.7 Perakitan alat peraga	40
5.2.8 Kalibrasi alat peraga	40
5.3 Pengujian Alat Peraga	41
5.3.1 Struktur Balok Menerus dengan Dua Balok Anak (gerber)	41
5.3.2 Struktur Balok Menerus dengan Satu Kantilever	47
5.3.3 Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	52
5.4 Perbandingan Hasil Pengujian Alat Peraga dengan Perhitungan Teoritis	55
5.4.1 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak	56
5.4.2 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus dengan Kantilever	62
5.4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Satu Balok Anak	69
5.5 Analisa Lanjutan Perbandingan Hasil Pengujian Alat Peraga	74
5.5.1 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak	74
5.5.2 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Kantilever	76
5.5.3 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Satu Balok Anak	77
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	79
6.1 Kesimpulan	79
6.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Saat Ini Dengan Penelitian Yang Sudah Dijalankan	9
Tabel 4.1	Rekapitulasi Pengujian Reaksi Tumpuan Balok Gerber	31
Tabel 5.1	Rekapitulasi Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus	43
Tabel 5.2	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoritis Struktur Balok Menerus	46
Tabel 5.3	Rekapitulasi Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus dengan Kantilever	48
Tabel 5.4	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoritis Struktur Balok Menerus dengan Kantilever	51
Tabel 5.5	Rekapitulasi Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	53
Tabel 5.6	Rekapitulasi Perhitungan Teori Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	55
Tabel 5.7	Nilai <i>Error</i> Sendi Internal Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak	56
Tabel 5.8	Nilai <i>Error</i> Reaksi Tumpuan Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak	59
Tabel 5.9	Nilai <i>Error</i> Sendi Internal Struktur Balok Menerus Kantilever	63
Tabel 5.10	Nilai <i>Error</i> Reaksi Tumpuan Struktur Balok Menerus Kantilever	66
Tabel 5.11	Nilai <i>Error</i> Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Satu Balok Anak	71
Tabel 5.12	Nilai <i>Error</i> Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Dua Balok Anak	75
Tabel 5.13	Nilai <i>Error</i> Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Kantilever	76
Tabel 5.14	Nilai <i>Error</i> Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Satu Balok Anak	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Hasil Alat Peraga	5
Gambar 2. 2	Alat Peraga Gaya Geser	6
Gambar 2. 3	Alat peraga keseimbangan balok	8
Gambar 3. 1	Tumpuan Sendi	14
Gambar 3. 2	Tumpuan Rol	14
Gambar 3. 3	Tumpuan Jepit	15
Gambar 3. 4	Perjanjian Tanda Arah Putaran Gaya	15
Gambar 3. 5	Momen Gaya Terhadap Suatu Titik	16
Gambar 3. 6	Perjanjian Tanda Gaya dan Momen	17
Gambar 3. 7	Perjanjian Tanda Reaksi Tumpuan	18
Gambar 3. 8	Rotasi Bebas pada Tumpuan Sendi dan Rol	19
Gambar 3. 9	Struktur Balok Sederhana	19
Gambar 3. 10	Momen Balok Gerber dan Penempatan Sendi-Sendi internal	21
Gambar 3. 11	Tahapan Penyelesaian Balok Majemuk	22
Gambar 4. 1	Besi Hollow	24
Gambar 4. 2	Meteran Tempel	24
Gambar 4. 3	Penggantung Beban	25
Gambar 4. 4	Beban Gantung Bercelah	25
Gambar 4. 5	Timbangan Digital	26
Gambar 4. 6	Waterpass	27
Gambar 4. 7	Gerinda	27
Gambar 4. 8	Las Listrik	28
Gambar 4. 9	Ilustrasi Struktur Balok Menerus	28
Gambar 4. 10	Rancangan Alat Peraga Struktur Balok Menerus	29
Gambar 4. 11	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 5. 1	Pemodelan 3D Rancangan Alat Peraga	34
Gambar 5. 2	Rancangan Ukuran Balok Utama dan Balok Anak	35
Gambar 5. 3	Rancangan Sendi Internal Menggunakan Strip Pelat	35

Gambar 5. 4	Meja Alat Peraga Dudukan Balok Utama	36
Gambar 5. 5	Meja Alat Peraga Dudukan Balok Anak	36
Gambar 5. 6	Hasil Pembuatan Balok Utama	37
Gambar 5. 7	Sendi Internal Balok Utama	38
Gambar 5. 8	Hasil Pemotongan Balok Anak	38
Gambar 5. 9	Penggantung Beban	39
Gambar 5. 10	Ragum Sebagai Tumpuan	39
Gambar 5. 11	Mejar Alat Peraga	40
Gambar 5. 12	Instalasi Alat Peraga	40
Gambar 5. 13	Kalibrasi Alat Peraga Dengan Waterpass	41
Gambar 5. 14	Struktur Balok Menerus dengan Dua Balok Anak	42
Gambar 5. 15	Ilustrasi Struktur Balok Menerus dengan Satu Kantilever	47
Gambar 5. 16	Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	52
Gambar 5. 17	Grafik Perbandingan S1 Balok Menerus dengan Dua Balok Anak	57
Gambar 5. 18	Grafik Perbandingan S2 Balok Menerus dengan Dua Balok Anak	57
Gambar 5. 19	Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan A Balok Menerus dengan Dua Balok Anak	60
Gambar 5. 20	Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan B Balok Menerus dengan Dua Balok Anak	60
Gambar 5. 21	Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan C Balok Menerus dengan Dua Balok Anak	61
Gambar 5. 22	Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan D Balok Menerus dengan Dua Balok Anak	62
Gambar 5. 23	Grafik Perbandingan S1 Balok Menerus dengan Kantilever	63
Gambar 5. 24	Grafik Perbandingan S2 Balok Menerus dengan Kantilever	64
Gambar 5. 25	Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan A Balok Menerus dengan Kantilever	67
Gambar 5. 26	Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan B Balok Menerus dengan Kantilever	67

Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan C Balok Menerus dengan Kantilever	68
Gambar 5. 28 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan D Balok Menerus dengan Kantilever	69
Gambar 5. 29 Grafik Perbandingan S Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	72
Gambar 5. 30 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan A Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	72
Gambar 5. 31 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan B Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	73
Gambar 5. 32 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan C Balok Menerus dengan Satu Balok Anak	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Standar Operasional Prosedur	84
Lampiran 2 Langkah Pengujian Alat Peraga	89

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ΣMA	= Jumlah momem di titik A (kg-cm)
ΣMB	= Jumlah momem di titik B (kg-cm)
ΣMC	= Jumlah momem di titik C (kg-cm)
ΣMD	= Jumlah momem di titik D (kg-cm)
ΣFy	= Jumlah Gaya Vertikal (kg)
P1	= Beban 1 (kg)
P2	= Beban 2 (kg)
P3	= Beban 3 (kg)
P4	= Beban 4 (kg)
X1	= Lengan beban 1 terhadap perletakan (cm)
X2	= Lengan beban 2 terhadap perletakan (cm)
X3	= Lengan beban 3 terhadap perletakan (cm)
X4	= Lengan beban 4 terhadap perletakan (cm)
S1	= Reaksi perletakan sendi internal 1 (kg)
S2	= Reaksi perletakan sendi internal 2 (kg)
RAV	= Reaksi perletakan tumpuan A (kg)
RBV	= Reaksi perletakan tumpuan B (kg)
RCV	= Reaksi perletakan tumpuan C (kg)
RDV	= Reaksi perletakan tumpuan D (kg)

ABSTRAK

Proses pembelajaran statika khususnya pada materi struktur balok menerus (gerber). mahasiswa Teknik sipil masih banyak terbatas pada penggunaan media pembelajaran visual berupa gambar. Hal ini menjadikan mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep pembelajaran statika. Di sisi lain, pemahaman konsep statika sangat diperlukan bagi mahasiswa Teknik sipil dikarenakan konsep tersebut merupakan ilmu dasar. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan rancang bangun alat peraga struktur balok menerus (gerber) yang diharapkan dapat menambah pemahaman mahasiswa akan konsep struktur tersebut.

Bahan yang digunakan alat peraga yaitu besi *hollow* berukuran 40x60 cm dengan tebal 2 mm sebagai balok utama dan balok anak. Balok utama memiliki Panjang 250 cm dengan rangkaian sendi internal di setiap ujung balok. Balok anak memiliki Panjang 125 cm. Kemudian timbangan digital digunakan pada tumpuan balok untuk membaca reaksi tumpuan. Model struktur pada tahap pengujian alat peraga yaitu struktur balok menerus dengan dua balok anak, struktur balok menerus dengan kantilever, dan struktur balok menerus dengan satu balok anak.

Hasil pengujian alat peraga kemudian dibandingkan dengan perhitungan teoritis sebagai bentuk validasi dengan batas angka toleransi $\pm 0,1$ kg. Dari pengujian struktur balok menerus dengan dua balok anak didapatkan seluruh hasil nilai *error* reaksi tumpuan yang masih masuk dalam angka toleransi yaitu $\pm 0,1$ kg. Pada pengujian struktur balok menerus dengan kantilever didapatkan sebagian besar nilai *error* reaksi tumpuan masih masuk dalam angka toleransi yaitu $\pm 0,1$ kg. Namun, terdapat nilai *error* yang melebihi batas angka toleransi yaitu pada reaksi tumpuan B dengan nilai *error* sebesar 0,137 kg dan 0,480 kg. Pada pengujian struktur balok menerus dengan satu balok anak didapatkan hasil nilai *error* reaksi tumpuan secara keseluruhan masih masuk dalam angka toleransi yaitu $\pm 0,1$ kg.

Kata kunci: Balok Menerus, Reaksi Tumpuan, Nilai *Error*

ABSTRACT

The learning process of statics, particularly on the topic of continuous beam structures (Gerber), for Civil Engineering students is still largely limited to the use of visual learning media in the form of images. This causes students to have difficulty understanding the concepts of statics. On the other hand, understanding statics concepts is crucial for Civil Engineering students because these concepts are fundamental knowledge. Therefore, this study aims to design and develop a teaching aid for continuous beam structures (Gerber) that is expected to enhance students' understanding of these structural concepts.

The teaching aid is made from hollow iron with dimensions of 40x60 cm and a thickness of 2 mm, used for the main and secondary beams. The main beam has a length of 250 cm with internal joint assemblies at each end, while the secondary beam is 125 cm long. Digital scales are used on the beam supports to measure the support reactions. The structural models tested with the teaching aid include a continuous beam structure with two secondary beams, a continuous beam structure with a cantilever, and a continuous beam structure with one secondary beam.

The results of the teaching aid tests are then compared with theoretical calculations for validation, with a tolerance limit of ± 0.1 kg. In testing the continuous beam structure with two secondary beams, all measured reaction errors were within the tolerance limit of ± 0.1 kg. In testing the continuous beam structure with a cantilever, most of the reaction errors were within the tolerance limit of ± 0.1 kg. However, some reaction errors exceeded the tolerance limit, specifically at support B with errors of 0.137 kg and 0.480 kg. In testing the continuous beam structure with one secondary beam, the overall reaction errors remained within the tolerance limit of ± 0.1 kg.

Keywords: Continuous Beam, Support Reactions, Error Value

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mata kuliah statika merupakan salah satu mata kuliah dasar yang dipelajari oleh mahasiswa Program Studi Teknik Sipil. Materi dari statika sendiri mempelajari perilaku struktur terhadap beban yang bekerja padanya. Perilaku struktur tersebut mencakup keseimbangan gaya, uraian gaya, reaksi dan gaya internal yang ada pada struktur.

Salah satu topik dari materi statika yaitu mengenai perilaku struktur balok menerus (*continous beam*). Balok menerus menjadi suatu batang yang ditumpu oleh tiga atau lebih tumpuan (Frick, 1978). Dalam proses pengajaran topik tersebut, penggunaan rumus perhitungan dan gambar di papan tulis merupakan media pembelajaran visual yang digunakan oleh pengajar maupun mahasiswa. Media pembelajaran visual berupa gambar terkadang membutuhkan waktu bagi pengajar untuk menggambar terlebih dahulu di papan tulis sebelum memberikan penjelasan. Hal ini dinilai kurang efisien dikarenakan adanya waktu yang digunakan untuk menunggu hingga gambar selesai. Selain itu masih terdapat beberapa mahasiswa yang masih belum paham walaupun sudah divisualisasikan dengan gambar di papan tulis. Tentunya kondisi tersebut dinilai kurang efektif dan efisien.

Penggunaan media pembelajaran visual tidak terbatas pada penggunaan rumus perhitungan dan gambar. Terdapat media pembelajaran visual berupa alat peraga. Alat peraga adalah media pembelajaran yang digunakan secara visual untuk membantu proses penyampaian materi. Alat peraga yang dipakai dalam proses belajar-mengajar dalam garis besarnya memiliki manfaat menambahkan kegiatan belajar para siswa, menghemat waktu belajar, memberikan alasan yang

wajar untuk belajar, sebab dapat membangkitkan minat perhatian dan aktivitas para siswa (Nomleni dan Manu, 2018).

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti bertujuan untuk membuat media pembelajaran visual yang lebih interaktif, efisien dan efektif. Media pembelajaran tersebut berupa alat peraga struktur balok menerus (*continuous beam*) yang dapat memvisualisasikan gaya atau beban yang bekerja pada struktur tersebut. Selain itu alat tersebut dapat menunjukkan angka reaksi yang timbul dari tumpuan akibat beban yang bekerja pada struktur balok menerus. Dalam penggunaannya mahasiswa dapat membandingkan hasil perhitungan rumus dengan angka hasil dari eksperimen menggunakan alat peraga tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjabaran latar belakang, diperoleh rumusan permasalahan yakni sebagai berikut.

1. Bagaimana cara membuat alat peraga struktur balok menerus (*continous beam*) sebagai media pembelajaran visual?
2. Bagaimana perbandingan antara hasil eksperimen alat peraga struktur balok menerus (*continous beam*) dengan perhitungan manual?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah, peneitian ini memiliki tujuan yang dapat dicapai yaitu sebagai berikut.

1. Menghasilkan alat peraga struktur balok menerus yang tepat agar dapat memberikan media pembelajaran yang efektif dan efisien.
2. Mengetahui akurasi hasil reaksi tumpuan dari eksperimen alat peraga struktur balok menerus jika dibandingkan dengan hasil perhitungan manual.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa alat peraga tepat guna sebagai media pembelajaran yang efektif dan efisien dalam proses pengajaran mata kuliah statika khususnya topik sturktur balok menerus (*continous beam*).

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan batasan sebagai berikut.

1. Alat peraga yang dibuat sebagai media pembelajaran kelas untuk mata kuliah Statika khususnya topik balok menerus (*continous beam*).
2. Alat peraga terbuat dari material besi balok *hollow* dengan total panjang maksimal 5 meter.
3. Beban yang digunakan dengan batasan beban seberat 5 kilogram atau setara 50 Newton.
4. Jenis beban yang digunakan dalam pengujian yaitu beban titik.
5. Penggunaan timbangan *digital* untuk menunjukkan reaksi tumpuan yang dihasilkan pada alat peraga struktur balok menerus.
6. Nilai yang dihasilkan alat peraga dibandingkan dengan hasil perhitungan manual.
7. Angka toleransi nilai *error* atau perbandingan antara perhitungan teori dengan pengujian alat peraga yaitu $\pm 0,1$ kg.
8. Pembacaan angka toleransi yaitu dengan mencari selisih reaksi yang dihasilkan antara alat peraga dan perhitungan teori.
9. Pengujian alat peraga struktur balok menerus dilakukan dengan model struktur balok menerus dua balok anak, struktur balok menerus kantilever, dan struktur balok menerus satu balok anak.
10. Pada pembuatan alat peraga, nilai modulus elastisitas dan inersia balok diabaikan dengan tujuan menyederhanakan analisis yang dilakukan sehingga alat peraga dapat berfokus pada reaksi tumpuan yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan memiliki hubungan dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Penelitian berupa pengembangan media pembelajaran alat peraga yang ditujukan untuk siswa maupun mahasiswa antara lain sebagai berikut.

2.1.1 Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana Pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik (Studi Kasus SMKN 26 Jakarta).

Mahir dkk. (2023) melakukan penelitian pengembangan media pembelajaran alat peraga reaksi perletakan sederhana di SMK Negeri 26 Jakarta. Latar belakang dilakukan penelitian ini adalah mata pelajaran Mekanika Teknik yang dianggap sebagai mata pelajaran dasar bagi siswa SMKN 26 Jakarta program kompetensi Konstruksi Gedung, Sanitasi, dan Perawatan (KGSP). Pada mata pelajaran tersebut terdapat materi reaksi perletakan yang berisikan tentang konsep sebuah struktur bangunan mencapai titik seimbangnya. Namun, dalam memahami kondisi keseimbangan hanya berdasarkan angka hasil perhitungan reaksi perletakan seringkali siswa kesulitan dalam memahaminya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran berupa alat peraga reaksi perletakan sederhana pada mata pelajaran Mekanika Teknik di Sekolah Menengah Kejuruan.

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian pengembangan model *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation (ADDIE)*. Alat peraga yang telah melewati proses pengembangan dilakukan *Trial and Error*. Kemudian hasil *Trial and Error* alat peraga dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan rumus $\sum M = 0$ untuk mencari reaksi perletakan yang searah vertikal, lalu menggunakan rumus $\sum V = 0$ sebagai rumus kontrol. Hasil alat peraga dapat dilihat pada Gambar 2.1.

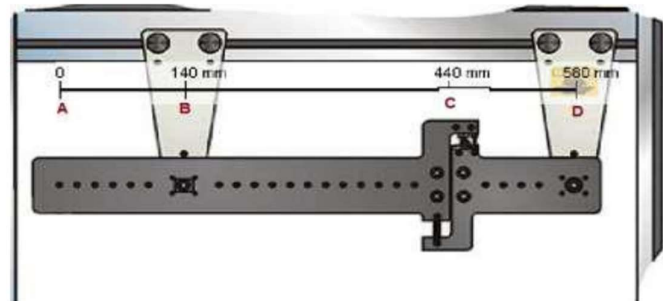


Gambar 2. 1 Hasil Alat Peraga
(Sumber: Mahir dkk., 2017)

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil ujicoba alat secara mandiri menunjukkan bahwa alat peraga yang telah dibuat dapat menunjukkan hasil reaksi perletakan yang sesuai dengan hasil perhitungan menggunakan rumus. Terdapat perbandingan antara perhitungan menggunakan rumus dengan penggunaan alat peraga yaitu -1% sampai 1%. Namun perbedaan angka tersebut dapat ditolerir karena terjadi diakibatkan perbedaan tingkat pembulatan angka pada timbangan dan perhitungan.

2.1.2 Pengaruh Beban pada Gaya Geser di Alat Peraga Struktur Balok

Siron dkk. (2017) melakukan penelitian pengembangan alat peraga untuk memvisualisasikan gaya geser yang bekerja pada struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati bagaimana gaya geser berubah seiring dengan peningkatan beban titik pada balok. Kemudian penelitian ini juga bertujuan untuk mengeksplorasi variasi gaya geser pada posisi pemotongan balok dengan berbagai kondisi beban. Pada penelitian ini, metode yang digunakan yaitu pengujian pertama berfokus pada peningkatan beban titik, sementara pengujian kedua memusatkan perhatian pada gaya geser pada posisi pemotongan balok. Alat peraga yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Alat Peraga Gaya Geser

(Sumber: Siron dkk., 2017)

Hasil pengujian pertama menunjukkan bahwa gaya geser berbanding lurus dengan peningkatan beban pada balok. Meskipun demikian, adanya sedikit perbedaan hasil antara hasil pengujian dengan perhitungan teoritis. Pada pengujian kedua, hanya ada sedikit perbedaan hasil antara pengujian dengan perhitungan teoritis. Temuan ini merupakan validasi prinsip-prinsip dasar dalam mekanika struktur.

2.1.3 Pembuatan Alat Sederhana Penunjang Kuliah Mekanika Teknik dalam Menentukan Reaksi Tumpuan

Ridha (2019) melakukan penelitian tentang proses perancangan dan pembuatan alat uji yang dapat digunakan untuk menghitung reaksi tumpuan akibat beban terpusat. Variasi beban yang digunakan yaitu 202 gram, 702 gram, dan 1287 gram. Alat ini dirancang untuk memberikan kemudahan dalam pembacaan reaksi tumpuan serta memungkinkan pembebanan pada titik yang berbeda. Alat uji tersebut menggunakan dua buah timbangan digital yang juga berfungsi sebagai tumpuan. Timbangan tersebut juga berfungsi sebagai alat pembacaan reaksi tumpuan yang dihasilkan. Nilai pada timbangan secara langsung menampilkan reaksi tumpuan yang dihasilkan oleh pembebanan. Bahan yang digunakan sebagai struktur balok yaitu besi aluminium *hollow* sepanjang 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.

Pada pengujian yang dilakukan, alat uji tersebut mampu menunjukkan jumlah reaksi tumpuan yang setara dengan berat beban. Kesesuaian antara berat beban dan reaksi tumpuan merupakan ketepatan alat uji untuk dapat memvisualisasikan kondisi seimbang statik pada struktur.

2.1.4 Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur

Satrijo dan Fitrianto (2017) melakukan penelitian pada pemahaman mahasiswa yang mempelajari mekanika statika struktur jika menggunakan alat peraga sederhana. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh ketidakmampuan mahasiswa memahami konsep yang abstrak dari mata kuliah mekanika statika struktur. Keberhasilan mahasiswa dalam memahami konsep yang diajarkan tidak lebih dari 25%.

Tujuan dari penelitian tersebut yaitu menghasilkan alat bantu peraga visual yang dapat mempermudah pemahaman mahasiswa terhadap materi yang disampaikan. Selain itu mahasiswa diharapkan dapat lebih antusias dan bersemangat dalam mengikuti perkuliahan mekanika statika struktur untuk bahasan keseimbangan. Mahasiswa yang menggunakan alat peraga diharapkan mampu meningkatkan prestasi belajar dibandingkan dengan mahasiswa yang tidak menggunakan alat peraga.

Metode penelitian yang digunakan yaitu pengumpulan data, literatur, perancangan alat peraga, simulasi, analisis hasil simulasi dan pembahasan. Perancangan alat peraga menggunakan material sederhana diantaranya papan, dial gauge, pembebanan dengan besi, balok besi, dan tali seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Selain itu digunakan metode penelitian eksperimental (*One Group Pre Test Post Test Design*) dengan tiga kali replikasi. Dari hasil perhitungan uji-t, hasil rata-rata post-test mahasiswa diperoleh thitung untuk kelompok kontrol-eksperimen 1 sebesar 8,54, Kelompok kontrol-eksperimen 2 sebesar 3,13, Kelompok kontrol eksperimen 3 sebesar 9,64. Sedangkan dari t_{tabel} dengan taraf signifikansi 5% didapatkan masing-masing kelompok sebesar 1,98; 1,98; 1,98. Dari hasil uji-t menunjukkan bahwa t_{hitung} lebih besar dari t_{tabel} . Hasil tersebut

menunjukkan bahwa prestasi belajar mahasiswa yang menggunakan alat peraga sederhana (kelas eksperimen) lebih baik dibandingkan kelas kontrol yang tidak menggunakan alat peraga sederhana statika.



Gambar 2. 3 Alat peraga keseimbangan balok

(sumber: Satrijo dan Fitrianto, 2017)

Hasil dari penelitian tersebut yaitu terdapat peningkatan nilai dari mahasiswa sebelum menggunakan alat peraga dan sesudah menggunakan alat peraga. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengajaran mata kuliah mekanika statika struktur akan lebih mudah dipahami oleh mahasiswa jika menggunakan alat peraga. Penggunaan alat peraga sederhana erat kaitannya terhadap tahapan berfikir sebab melalui alat peraga, konsep abstrak dapat divisualisasikan sehingga hal rumit dapat disederhanakan.

2.2 Perbandingan Penelitian Saat ini dengan Penelitian yang Sudah Dijalankan

Adapun perbandingan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Saat Ini Dengan Penelitian Yang Sudah Dijalankan

Peneliti	Satrijo dkk.	Siron dkk.	Ridha	Mahir dkk.	Penelitian Sekarang
Tahun	2017	2017	2019	2023	2024
Judul	Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur	Pengaruh Beban pada Gaya Geser di Alat Peraga Struktur Balok	Pembuatan Alat Sederhana penunjang Kuliah Mekanika Teknik Dalam Menentukan Reaksi Tumpuan	Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana Pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik (Studi Kasus SMKN 26 Jakarta).	Pengembangan Alat peraga sistem balok menerus (<i>continuous beam</i>) sebagai media pembelajaran visual
Metode Penelitian	1. Langkah perancangan diantaranya pengumpulan data, perancangan alat peraga, pembuatan alat peraga, simulasi,	1. Pengamatan perubahan gaya geser dengan variasi beban titik pada balok.	1. Perancangan alat uji untuk menghitung reaksi tumpuan akibat pembebananan terpusat. 2. Pembuatan alat uji	Pengembangan menggunakan metode Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation (ADDIE).	1. Perencanaan alat peraga menggunakan software 3D. 2. Pemilihan material yang tepat.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Saat Ini Dengan Penelitian Yang Sudah Dijalankan

Peneliti	Satrijo dkk.	Siron dkk.	Ridha	Mahir dkk.	Penelitian Sekarang
Tahun	2017	2017	2019	2023	2024
Metode Penelitian	<p>analisis hasil simulasi dan pembahasan.</p> <p>2. Perancangan alat baru dengan papan, kabel suspensi, balok besi dan beban terbuat dari besi.</p> <p>3. Dilakukan <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> terhadap mahasiswa dalam penggunaan alat peraga.</p>	<p>2. Eksplorasi terhadap variasi gaya geser pada posisi pemotongan balok dengan berbagai kondisi beban.</p> <p>3. Pengamatan terhadap respon struktur terhadap beban.</p>	<p>untuk menghitung reaksi tumpuan sederhana akibat pembebanan terpusat</p>	<p>2. Perancangan alat baru menggunakan material rangka kayu jati belanda setebal 10 mm dan triplek 9 mm.</p> <p>3. Validasi hasil eksperimen alat peraga dengan perhitungan manual untuk mencari reaksi tumpuan.</p> <p>4. Pelaksanaan <i>pretest</i> dan <i>posttest</i></p>	<p>3. Perakitan alat peraga berupa perakitan besi struktur balok gerber, rangkaian besi tumpuan, dan perletakkan timbangan digital.</p> <p>4. Kalibrasi alat dengan waterpass.</p> <p>5. Pengujian alat peraga.</p> <p>6. Cek presentase <i>error</i> dari hasil pengujian.</p> <p>7. Pembuatan SOP</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Saat Ini Dengan Penelitian Yang Sudah Dijalankan

Peneliti	Satrijo dkk.	Siron dkk.	Ridha	Mahir dkk.	Penelitian Sekarang
Tahun	2017	2017	2019	2023	2024
Hasil Penelitian	Dari penelitian yang dilakukan menghasilkan alat peraga statika yang menggunakan beberapa material seperti dudukan peraga, kabel suspensi, besi sebagai beban dan lainnya. Alat peraga tersebut dapat digunakan dalam mata kuliah Mekanika Statika Struktur.	Pada pengujian pertama, gaya geser berbanding lurus dengan peningkatan beban yang dilakukan. Namun terdapat adanya sedikit perbedaan antara hasil eksperimen dengan perhitungan teoritis. Pada pengujian kedua ditemukannya sedikit perbedaan antara hasil eksperimen dan perhitungan teoritis.	Jumlah reaksi tumpuan setara dengan beban yang diterima dan disalurkan terhadap tumpuan. Kesesuaian antara berat beban dan reaksi tumpuan merupakan hasil validasi alat uji dalam merepresentasikan kondisi seimbang statik pada struktur.	Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa alat peraga memvisualisasikan konsep reaksi perletakan dengan akurasi 99% sesuai dengan konsep perhitungan. Diperkuat dengan hasil validasi materi dan validasi media yang menyimpulkan bahwa alat peraga sangat layak digunakan.	Pembuatan alat peraga menggunakan besi balok <i>hollow</i> dengan strip pelat sebagai sendi internal. Struktur terdiri dari satu buah balok utama dengan sendi internal di kedua ujungnya dan dua buah balok anak. Terdapat timbangan digital sebagai pengukur reaksi tumpuan yang dihasilkan. Hasil pengujian alat peraga masuk ke dalam batas nilai <i>error</i> $\pm 0,1$ kg.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Alat Peraga

Dalam penyampaian materi dan konsep, media pembelajaran merupakan salah satu penunjang dalam proses pembelajaran. Media pembelajaran berupa alat dan bahan yang terdapat di laboratorium merupakan satu kesatuan yang biasa disebut alat peraga. Alat peraga merupakan media pembelajaran yang mengandung atau membawakan ciri-ciri dari konsep yang dipelajari (Sukayati, 2009). Alat peraga dapat membantu peserta didik menangkap arti konsep yang disampaikan. Melalui alat peraga, peserta didik akan lebih mengerti konsep melalui pengalaman yang didapatkan berupa melihat, meraba dan memanipulasi objek. Hal tersebut akan membantu kegiatan pembelajaran menjadi lebih efektif dan efisien dalam mempelajari konsep yang disampaikan.

3.2 Beban pada Struktur Bangunan

Beban merupakan gaya-gaya yang bekerja pada suatu struktur yang dapat menimbulkan tegangan, deformasi, dan perpindahan yang dapat menimbulkan permasalahan struktur dan kerusakan pada bangunan. Sifat beban dapat terbagi menjadi beban statik dan beban dinamik. Beban statik adalah beban yang intensitas, arah, dan tempat kedudukannya tetap. Sedangkan beban dinamik adalah beban yang intensitasnya dapat berubah-ubah sesuai waktu. Macam-macam beban yang umumnya sering dijumpai pada suatu struktur bangunan yaitu beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa.

3.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati (*dead load*) merupakan beban yang memiliki intensitas dan tempat yang tetap serta tidak bergerak. Beban ini berasal dari berat sendiri struktur bangunan. Beban mati pada struktur bangunan dapat berupa berat-berat kolom, balok, atap, dinding, jendela, pemipaan dan kelistrikan.

3.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (*live load*) pada struktur bangunan adalah beban yang dapat bergerak atau berpindah tempat. Beban hidup dapat disebabkan oleh berat objek yang ditempatkan secara temporer pada struktur bangunan, gaya-gaya alami dan juga kendaraan-kendaraan bergerak. Umumnya beban ini disesuaikan dengan penggunaan struktur untuk suatu keperluan tertentu, misalnya sebagai kantor, bangunan sekolah, rumah sakit dan sebagainya.

3.2.3 Beban Angin

Setiawan. (2015) menyebutkan bahwa beban angin merupakan beban yang diakibatkan oleh tiupan angin, sehingga menimbulkan tekanan positif (*pressure*) dan tekanan negatif (*suction*) pada arah tegak lurus bidang yang ditinjau. Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (1983), beban akibat tiupan angin harus diambil minimum 25 kg/m^2 luasan bidang yang terkena angin dan bahkan untuk bangunan sampai 5 km dari tepi laut beban akibat tekanan angin tersebut minimum 40 kg/m^2 . Perilaku struktur terhadap efek yang ditimbulkan oleh angin bergantung pada kerapatan dan kecepatan udara, sudut datang angin, bentuk dan kekakuan struktur, dan kekerasan permukaannya.

3.2.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah akibat gempa bumi (Setiawan, 2015). Gempa bumi yang terjadi mengakibatkan tanah menjadi bergetar atau bergerak secara horizontal maupun vertikal. Pembebanan akibat gempa merupakan hasil distorsi struktur yang disebabkan oleh erakan tanah dan tahanan lateral struktur.

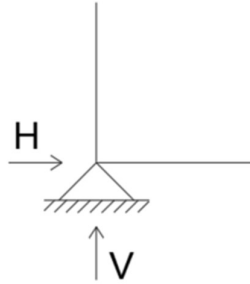
3.3 Jenis - Jenis Tumpuan

Beban ataupun gaya yang bekerja pada struktur bangunan pada akhirnya akan dipikul oleh tumpuan. Terdapat beberapa jenis tumpuan yang akan sering dijumpai dalam proses analisis struktur. Masing-masing tumpuan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda.

3.3.1 Tumpuan Sendi

Jenis tumpuan ini hanya dapat berotasi, namun tidak dapat bertranslasi dalam arah vertikal maupun horizontal (Setiawan, 2015). Tumpuan sendi

memiliki reaksi tumpuan baik arah horizontal maupun vertikal. Tumpuan jenis sendi tidak dapat menahan ataupun meneruskan momen. Proyeksi tumpuan jenis sendi dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Tumpuan Sendi

3.3.2 Tumpuan Rol

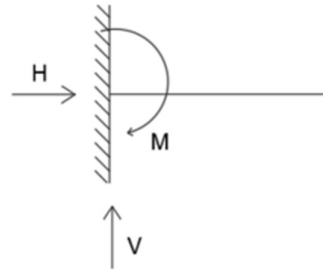
Jenis tumpuan ini bebas berotasi dan bertranslasi sepanjang permukaan rol ini berada (Setiawan, 2015). Tumpuan rol hanya mampu menyalurkan gaya vertikal yang memiliki arah tegak lurus terhadap bidang permukaan. Tumpuan jenis rol tidak dapat menahan ataupun meneruskan momen. Proyeksi tumpuan jenis rol dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Tumpuan Rol

3.3.3 Tumpuan Jepit

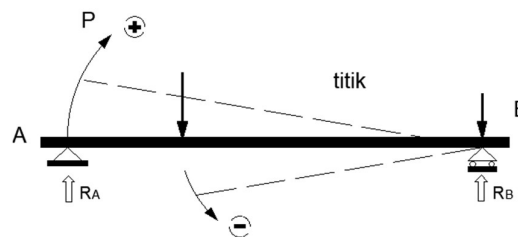
Tumpuan jepit merupakan jenis tumpuan yang dapat menahan gaya arah vertikal dan horizontal serta dapat memikul momen. Menurut Setiawan (2015) tumpuan jenis ini tidak mengalami rotasi dan translasi, sehingga sering disebut tumpuan kaku (*rigid*). Gambar 3.3 sebagai berikut memperlihatkan tumpuan jenis jepit yang biasa digunakan dalam analisis struktur.



Gambar 3. 3 Tumpuan Jepit

3.4 Perjanjian Tanda Berkenaan dengan Gaya

Pada umumnya arah gaya dikaitkan dengan arah gaya gravitasi. Gaya yang ditimbulkan oleh percepatan gravitasi diberi tanda positif apabila arahnya ke bawah dan bertanda negatif apabila arahnya ke atas (Pawirodikromo, 2020). Sedangkan arah putaran gaya akan terjadi apabila gaya yang bekerja relatif terhadap titik referensi tertentu. Putaran gaya diberi tanda positif jika arah putarannya searah jarum jam, dan tanda negatif jika arah putarannya berlawanan arah jarum jam. Pemodelan gaya beserta arah putaran gaya dapat dilihat pada gambar 3.4 sebagai berikut.



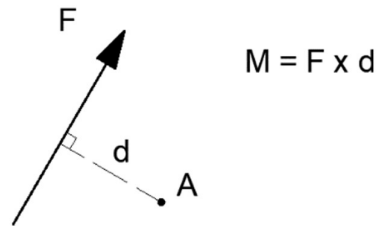
Gambar 3. 4 Perjanjian Tanda Arah Putaran Gaya

(Sumber : Pawiradikromo, 2020)

3.5 Momen Gaya

Momen akan terjadi akibat suatu gaya dan mengakibatkan rotasi pada elemen dimana momen tersebut bekerja. Secara definisi, momen merupakan produk hasil kali gaya (F) dengan jarak tegak lurus (d) dari garis kerja gaya terhadap pusat rotasi. Karena momen mengakibatkan rotasi, maka rotasi dapat searah dengan jalannya jarum jam dan dapat juga berlawanan dengan arah putaran jarum jam

(Prawirodikromo, 2020). Momen gaya terhadap suatu titik dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3. 5 Momen Gaya Terhadap Suatu Titik

(Sumber : Setiawan, 2015)

3.6 Persamaan Keseimbangan Statika

Suatu struktur harus dalam keadaan setimbang agar dapat menerapkan prinsip-prinsip statika. Suatu struktur dapat dikatakan dalam keadaan setimbang jika jumlah gaya-gaya aksi dan reaksi sama dengan nol. Selain itu jumlah momen-momen gaya terhadap suatu titik harus sama dengan nol. Pernyataan secara matematis persamaan keseimbangan struktur dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\sum F_x = 0 \quad (3.1)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (3.2)$$

$$\sum M = 0 \quad (3.3)$$

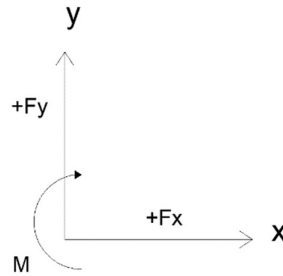
dengan :

F_x = Gaya horizontal,

F_y = Gaya vertikal

M = Momen

Dalam analisis struktur terdapat perjanjian tanda sebagai dasar dalam melakukan analisis. Setiawan,. (2015) menyatakan gaya dalam arah horizontal bernilai positif jika searah dengan sumbu x positif, sedangkan gaya arah vertikal bernilai positif apabila searah dengan sumbu y positif, kemudian momen gaya bernilai positif apabila berputar searah jarum jam. Gambar 3.6 sebagai berikut menunjukkan perjanjian tanda dalam analisis struktur.



Gambar 3. 6 Perjanjian Tanda Gaya dan Momen
(Sumber : Setiawan, 2015)

3.7 Statis Tertentu

Setiawan. (2015) dalam bukunya menyatakan bahwa suatu sistem struktur dikategorikan sebagai sistem statis tertentu apabila semua gaya dalam dan reaksi pada tumpuan-tumpuannya dapat dihitung dengan persamaan kesetimbangan yang ada (Persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3). Pada suatu aturan umum, suatu struktur dapat diidentifikasi baik sebagai struktur statis tertentu ataupun sebagai struktur statis tidak tentu dengan menggambarkan diagram benda-bebas dari seluruh anggota bagian, atau bagian tertentu dari bagian anggota bagiannya, dan kemudian membandingkan jumlah total komponen momen dan gaya yang tak diketahui dengan jumlah total persamaan kesetimbangan yang tersedia (Hibbeler, 1997). Maka suatu struktur dapat dikategorikan sebagai struktur statis tertentu apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut.

$$r = 3n \quad (3.4)$$

dengan :

r = jumlah reaksi tumpuan (buah), dan

n = bagian batang (buah)

3.8 Reaksi Tumpuan

Tumpuan merupakan suatu penopang dalam sebuah struktur. Suatu tumpuan akan menimbulkan suatu reaksi jika suatu struktur dibebankan oleh gaya. Sebagaimana dinyatakan dalam hukum Newton, jika terdapat aksi yang bekerja pada suatu benda maka akan timbul reaksi yang besarnya sama namun berlawanan arahnya. Sebagaimana yang disajikan pada Gambar 3.7 sebagai berikut, reaksi dukungan diberi tanda positif apabila arahnya keatas dan diberi tanda negatif

apabila arahnya ke bawah walaupun keduanya belum tentu se-garis kerja (Prawidikromo, 2020). Dalam analisis struktur statis tertentu, reaksi tumpuan dari sebuah struktur dapat diselesaikan dengan persamaan kesetimbangan yang ada (Persamaan 3.3).



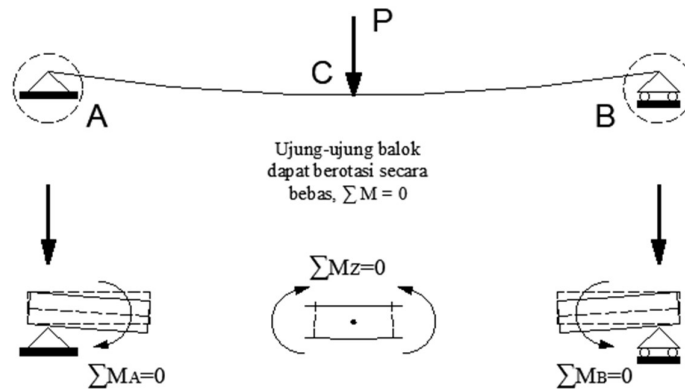
Gambar 3. 7 Perjanjian Tanda Reaksi Tumpuan

(Sumber : Pawiradikromo, 2020)

3.9 Struktur Balok Sederhana

Struktur balok sederhana adalah sebuah konstruksi balok yang terdiri satu bentang dengan tumpuan sendi di salah satu ujungnya dan tumpuan rol pada sisi yang lainnya. Tumpuan sendi digunakan dengan tujuan agar tumpuan mampu menahan gaya dalam arah horizontal dan vertikal serta mencegah balok bergeser dari tempatnya. Sedangkan tumpuan rol dimaksudkan agar balok dapat bergerak bebas dalam arah memanjang dari balok. Apabila salah satu tumpuannya bukanlah tumpuan rol atau keduanya tumpuan sendi, maka balok tersebut akan menerima tegangan yang sangat tinggi. Sebaliknya, jika kedua tumpuan merupakan tumpuan rol maka balok akan terlepas dari tumpuannya.

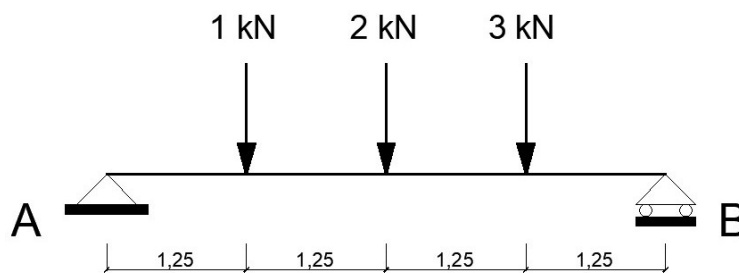
Struktur balok sederhana dibebani dengan gaya P , maka balok akan melentur seperti pada Gambar 3.8 berikut. Pada balok tersebut akan menghasilkan reaksi horizontal (RH_A) dan reaksi vertikal (RV_A) tumpuan sendi serta reaksi vertikal (RV_B) pada tumpuan rol. Perilaku struktur balok sederhana pada hakekatnya adalah struktur balok statik tertentu yaitu balok yang penyelesaian masalahnya masih dapat dilakukan dengan hanya menggunakan 3 persamaan keseimbangan statika (Pawiradikromo, 2020). Sehingga pada kedua tumpuan balok tersebut berlaku persamaan $\sum M_A = 0$ dan $\sum M_B = 0$.



Gambar 3. 8 Rotasi Bebas pada Tumpuan Sendi dan Rol

(Sumber : Pawiradikromo, 2020)

Berikut merupakan contoh perhitungan reaksi tumpuan pada balok sederhana. Sebuah struktur balok sederhana pada Gambar 3.9 berikut, dibebani oleh beban terpusat P1, P2, dan P3. Balok tersebut ditumpu oleh tumpuan sendi dan rol pada ujungnya. Pada pembahasan sebelumnya dikatakan bahwa balok tersebut merupakan struktur statis tertentu. Maka dapat digunakan persamaan $\sum M = 0$ untuk mencari angka reaksi tumpuan pada masing-masing ujung balok tersebut.



Gambar 3. 9 Struktur Balok Sederhana

Penyelesaian:

Mencari reaksi tumpuan di titik A

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{A_H} = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_{A_V} \cdot 5 + R_{A_H} \cdot 0 - P_1 \cdot 3,75 - P_2 \cdot 2,5 - P_3 \cdot 1,25 = 0$$

$$R_{A_V} \cdot 5 + 0 - 1 \cdot 3,75 - 2 \cdot 2,5 - 3 \cdot 1,25 = 0$$

$$R_{A_V} \cdot 5 = 12,5$$

$$R_{Av} = \frac{12,5}{5}$$

$$R_{Av} = 2,5 \text{ KN}$$

Mencari reaksi tumpuan di titik B

$$\sum M_A = 0$$

$$-R_{Bv} \cdot 5 + P_1 \cdot 1,25 - P_2 \cdot 2,5 - P_3 \cdot 3,75 = 0$$

$$-R_{Bv} \cdot 5 + 1 \cdot 1,25 - 2 \cdot 2,5 - 3 \cdot 3,75 = 0$$

$$R_{Bv} \cdot 5 = 17,5$$

$$R_{Bv} = \frac{17,5}{5}$$

$$R_{Bv} = 3,5 \text{ KN}$$

Kontrol Kesetimbangan :

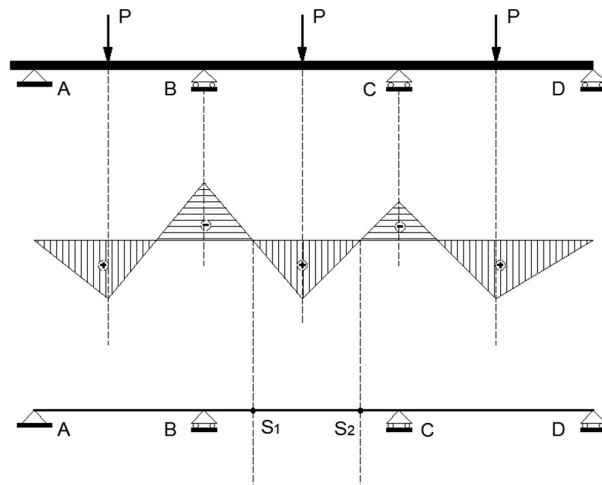
$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Av} + R_{Bv} - P_1 - P_2 - P_3 = 0$$

$$2,5 + 3,5 - 1 - 2 - 3 = 0 \text{ (Terpenuhi)}$$

3.10 Struktur Balok Gerber

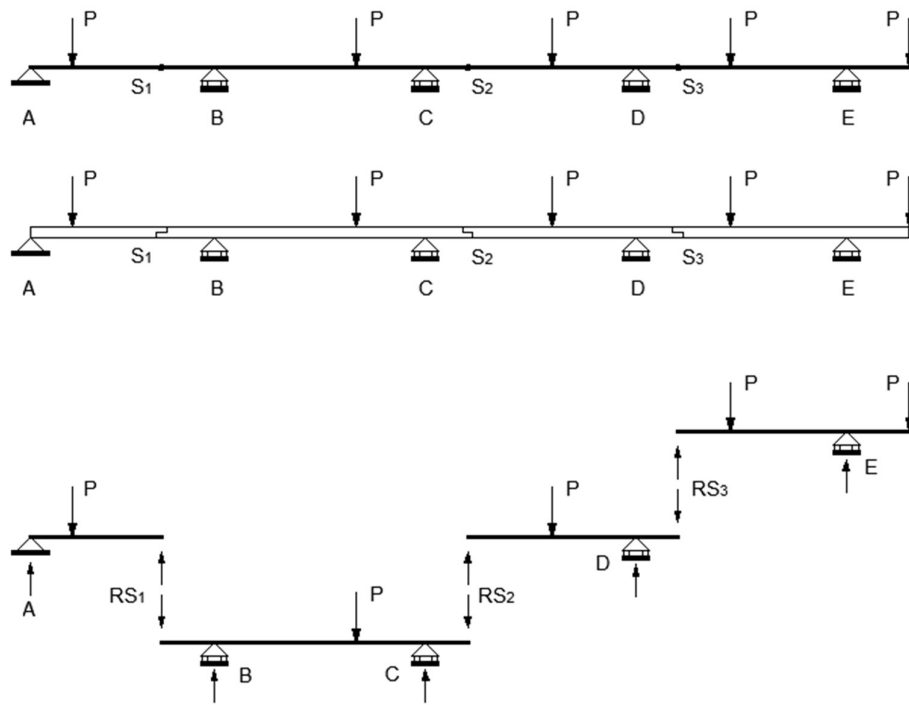
Struktur balok gerber diperkenalkan oleh Gottfried Heinrich Gerber pada tahun 1866. Gerber memperkenalkan sistem struktur balok menerus berupa jembatan sistem kantilever. Pada awalnya struktur balok sederhana dengan beberapa tumpuan merupakan struktur statis tak tentu. Namun, Gerber mereplikasi struktur statis tak tentu menjadi struktur statis tertentu. Fokus Gerber salah satunya adalah tertuju pada tempat-tempat yang nilai momen lenturnya adalah sama dengan nol. Replikasi balok sederhana dengan beberapa tumpuan yang merupakan struktur statis tak tentu kemudian dirubah menjadi struktur statis tertentu dapat dilihat pada Gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3. 10 Momen Balok Gerber dan Penempatan Sendi-Sendi

(Sumber : Pawiradikromo, 2020)

Jika diperhatikan pada gambar tersebut, sendi internal S_1 dan S_2 dipasang di tempat-tempat yang nilai momennya sama dengan nol. Dengan adanya sendi-sendi internal tersebut, maka dapat dikatakan terjadi perubahan pola struktur yaitu terbentuknya struktur kantilever B- S_1 dan C- S_2 . Sehingga struktur tersebut yang dahulunya merupakan struktur balok menerus kemudian ditransformasi menjadi 3 bentangan balok sederhana yaitu bentang A-B, bentang S_1 dan S_2 , dan bentang C-D. Struktur tersebut dapat dikatakan struktur balok majemuk statis tertentu yang penyelesaiannya dapat dilakukan hanya dengan menggunakan 3 persamaan keseimbangan statika (Pawiradikromo, 2020). Perlu diketahui bahwa sendi-sendi internal yang dipasang pada balok merupakan tumpuan yang dapat menimbulkan reaksi vertikal maupun horizontal. Reaksi tersebut merupakan reaksi sementara yang kemudian diteruskan pada tumpuan yang sebenarnya. Transfer reaksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.11 sebagai berikut.



Gambar 3. 11 Tahapan Penyelesaian Balok Majemuk

(Sumber : Pawiradikromo, 2020)

Gambar struktur balok gerber diatas merupakan representasi visual urutan penyelesaian balok gerber agar dapat dilakukan dengan mudah. Berikut urutan penyelesaian balok gerber sesuai gambar diatas.

1. Menghitung reaksi balok S_3 –E dan diperoleh nilai RS_3 dan RE .
2. Menghitung reaksi balok RS_2 -D yang dibebani oleh RS_3 , karena sendi internal S_3 hanya berfungsi sebagai dukungan sementara. Dari perhitungan ini didapatkan RS_2 dan RD .
3. Menghitung reaksi balok A- S_1 dan diperoleh RS_1 dan RA .
4. Menghitung reaksi balok B-C yang dibebani oleh RS_1 dan RS_2 karena sendi internal S_1 dan S_2 sifatnya berupa dukungan sementara.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Pengembangan alat peraga struktur balok menerus merupakan sebuah alat yang dirancang guna membantu proses pembelajaran mahasiswa pada mata kuliah Statika khususnya topik balok menerus atau balok gerber. Alat tersebut akan menunjukkan hasil reaksi tumpuan yang diakibatkan oleh beban yang diterima oleh struktur. Beban tersebut dapat diasumsikan sebagai gaya atau beban titik dengan jarak antara beban dengan tumpuan dapat berubah. Sehingga reaksi tumpuan yang dihasilkan dapat berubah sesuai jarak gaya yang dibebankan.

4.2 Lokasi Penelitian

Pengembangan alat peraga struktur balok menerus atau balok gerber dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

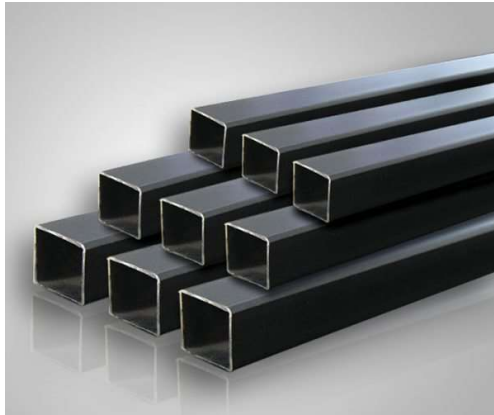
4.3 Material Pengembangan Alat Peraga

Dalam pengembangan *prototype* alat peraga diperlukan beberapa material juga alat pendukung lainnya. Material yang digunakan merupakan bahan yang perlu dipilih dengan baik agar dapat menunjang durabilitas alat peraga. Selain itu alat pendukung digunakan dalam merangkai *prototype* agar dapat menghasilkan alat peraga yang kokoh. Berikut merupakan material dan alat pendukung dalam menunjang pengembangan alat peraga.

1. Besi *Hollow*

Besi *hollow* merupakan representasi dari struktur balok gerber dan akan dibebani oleh beban gantung sebagai gaya yang bekerja pada struktur tersebut. Besi *hollow* yang akan digunakan yaitu besi *hollow* dengan ukuran 30 x 30 mm dan memiliki ketebalan 1,5 mm. Besi tersebut akan dibuat menjadi satu buah batang balok sepanjang 1000 mm dan dua buah balok sepanjang 500 mm. Besi *hollow* tersebut digunakan agar didapatkan struktur yang kokoh

untuk menahan beban gantung yang bekerja. Besi tersebut akan dilapisi cat agar tidak mudah berkarat. Selain itu di setiap ujung balok akan dilubangi kedua sisi sampingnya sebagai tempat rangkaian tumpuan. Besi *hollow* yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Besi Hollow

2. Meteran Tempel

Meteran tempel akan diaplikasikan terhadap besi hollow yang menjadi struktur balok gerber. Meteran tempel digunakan untuk mempermudah mahasiswa dalam menentukan jarak beban terhadap tumpuan. Meteran tempel yang akan digunakan memiliki dua unit satuan yaitu inchi dan mm. Sehingga terdapat variasi satuan jarak yang digunakan dalam pengaplikasian alat peraga. Meteran tempel yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4. 2 Meteran Tempel

3. Penggantung Beban

Penggantung beban digunakan sebagai tempat menggantung beban gantung bercelah. Penggantung tersebut akan digantungkan ke besi hollow. Selain itu penggantung digunakan agar beban dapat dipindahkan dengan mudah. Pemilihan penggantung beban yang terbuat dari besi dimaksudkan agar kuat serta dapat menahan beban. Penggantung beban yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4. 3 Penggantung Beban

4. Beban Gantung Bercelah

Pada struktur balok gerber akan digunakan beban gantung bercelah sebagai representasi dari gaya yang bekerja pada struktur balok. Beban tersebut dapat diatur sesuai beban yang diinginkan. Selain itu beban yang digunakan memiliki satuan beban yang didekati dengan satuan newton. Beban gantung tersebut akan dikaitkan ke magnet yang menempel pada besi *hollow* serta jaraknya dapat diatur sesuai percobaan yang akan dilakukan. Beban gantung bercelah dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Beban Gantung Bercelah

5. Timbangan digital

Timbangan digital merupakan alat yang digunakan untuk menampilkan besaran reaksi tumpuan yang dihasilkan. Tumpuan dari struktur balok akan diletakkan diatas timbangan tersebut. Timbangan yang akan digunakan berjumlah dua buah di masing-masing tumpuan dan satu buah akan diletakkan pada sendi internal pertemuan balok menerus. Masing-masing timbangan tersebut dapat mengukur beban hingga 50 kg. Adapun jenis timbangan yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4. 5 Timbangan Digital

6. *Waterpass*

Waterpass digunakan untuk mengetahui kerataan permukaan dari suatu objek. Pada pengembangan alat peraga, alat tersebut akan digunakan untuk memastikan struktur balok yang diletakkan di kedua tumpuan sudah sejajar atau lurus. Hal tersebut merupakan proses kalibrasi yang dilakukan sebelum pengujian. Dengan kalibrasi tersebut reaksi tumpuan yang akan dihasilkan akan lebih tepat. *Waterpass* yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4. 6Waterpass

7. Gerinda

Gerinda merupakan alat pendukung yang digunakan untuk memotong besi hollow. Besi hollow yang akan digunakan perlu dipotong sesuai panjang yang diinginkan. Selain itu pemotongan balok harus dilakukan dengan presisi. Gerinda yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Gerinda

8. Las listrik

Dalam merakit rangkaian besi sebagai tumpuan diperlukan alat pendukung las listrik. Rangkaian tumpuan yang terbuat dari material besi ulir dan besi siku perlu dirangkai menjadi tumpuan menggunakan las listrik. Penyambungan menggunakan las listrik dimaksudkan agar rangkaian tumpuan dapat menahan beban dengan baik. Adapun las listrik yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.8 sebagai berikut.



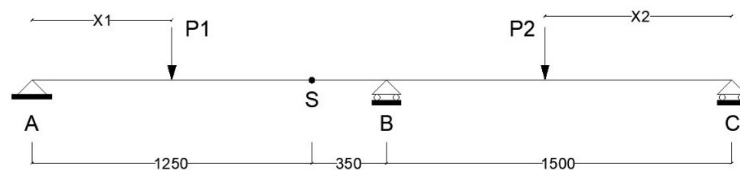
Gambar 4. 8 Las Listrik

4.4 Tahap Penelitian

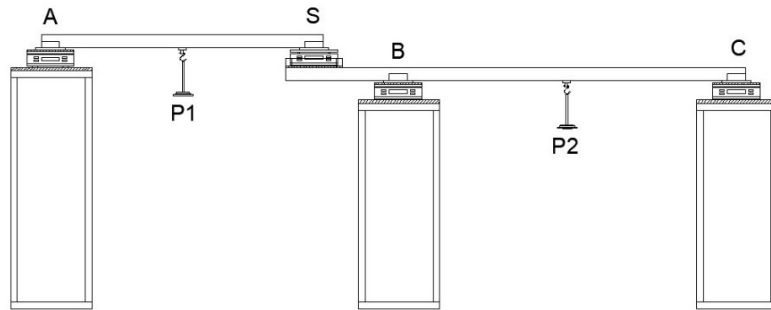
Penelitian yang dilakukan melalui pengembangan alat peraga balok menerus terdapat beberapa tahapan. Tahapan-tahapan yang dilakukan selama pelaksanaan penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan alat peraga

Tahap perencanaan dilakukan dengan merancang alat peraga menggunakan *software* 3D. Perancangan menggunakan *software* 3D disesuaikan dengan konsep dan teori dari balok menerus (balok gerber). *Software* yang akan digunakan untuk perancangan alat peraga tersebut yaitu *sketchup*. Perancangan dengan pemodelan 3D tersebut meliputi *frame* alat peraga, struktur balok, tumpuan serta alat ukur beban tumpuan. Rancangan bentuk alat peraga yang akan dimodelkan dalam bentuk 3D dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 9 Ilustrasi Struktur Balok Menerus



Gambar 4. 10 Rancangan Alat Peraga Struktur Balok Menerus

2. Persiapan material

Material dan alat pendukung perancangan dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dilakukan perakitan. Pemilihan material dilakukan dengan mempertimbangkan kualitas material dan kenyamanan bagi pengguna alat peraga. Material dan alat pendukung yang dipersiapkan meliputi timbangan digital, besi hollow, beban gantung bercelah, magnet gantungan sheep eye, meteran tempel, *waterpass*, dan gerinda.

3. Perakitan alat peraga

Urutan prioritas dalam perakitan dibuat sebelum alat peraga dirakit. Hal ini bertujuan agar meminimalisir terjadinya kesalahan dalam perakitan. Berikut urutan dalam melakukan perakitan alat peraga.

a. Pembuatan *frame* alat peraga

Bagian *frame* berfungsi sebagai tempat perletakan alat peraga. *Frame* dibuat menggunakan besi hollow juga besi siku. Pembuatan *frame* meliputi pemotongan besi hollow dan besi siku, kemudian masing-masing dari potongan tersebut disambung menggunakan las listrik. Sambungan dari rangkaian tersebut akan dilas dengan kuat sehingga dapat menahan beban dari alat peraga.

b. Perakitan besi hollow sebagai struktur balok gerber

Struktur balok gerber terdiri dari dua rangkaian besi hollow. Besi hollow dipotong menggunakan gerinda sesuai ukuran yang sudah direncanakan. Kemudian pada kedua sisi ujung besi hollow dilubangi menggunakan bor. Lubang tersebut dibuat sebagai tempat sambungan tumpuan struktur. Pada

kedua ujung balok utama, sisi atas balok akan dibuat tempat perletakan timbangan untuk mengukur reaksi tumpuan pada sendi internal balok gerber.

c. Perakitan rangkaian besi sebagai tumpuan

Rangkaian besi sebagai tumpuan dibuat menggunakan besi siku dan besi ulir yang dilas dengan las listrik. Rangkaian besi tersebut dibuat sebanyak empat buah. Kemudian akan dipasang pada kedua sisi dari masing-masing besi hollow struktur balok menerus. Pemasangan rangkaian tersebut dengan cara memasukkan besi ulir ke dalam lubang yang terdapat pada balok.

d. Peletakan timbangan digital dan tumpuan

Timbangan akan diletakkan pada permukaan frame yang telah dibuat. Timbangan yang diletakkan di atas frame sebanyak tiga buah. Kemudian satu buah timbangan akan diletakkan pada kedua sendi internal yang terdapat pada kedua sisi ujung balok utama. Setelah itu tumpuan yang telah dirakit dengan balok menerus akan diletakkan di atas timbangan.

4. Kalibrasi alat peraga

Kalibrasi alat peraga dilakukan agar dapat menghasilkan *output* yang maksimal. Kalibrasi dilakukan dengan cara mengukur keseimbangan struktur balok dengan meletakkan *waterpass* secara horizontal diatas rangkaian struktur balok menerus. Setelah didapat keseimbangan dari struktur balok tersebut, timbangan pada tumpuan dan sendi internal diatur dalam keadaan angka 0.

5. Pengujian alat peraga

Pengujian alat peraga dilakukan dengan menempelkan magnet *sheep eye* sesuai jarak yang diinginkan. Kemudian pada magnet tersebut digantungkan beban gantung bercelah. Pada struktur balok gerber peletakan beban gantung disesuaikan dengan jarak yang diinginkan. Selain itu beban gantung dapat diletakkan pada balok utama maupun balok anak. Beban gantung yang diletakkan dapat berjumlah lebih dari satu beban. Dalam mempermudah pengujian alat peraga, maka dibuat tabel perbandingan hasil pengujian

menggunakan alat peraga. Adapun tabel yang digunakan selama pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Pengujian Reaksi Tumpuan Balok Gerber

Hasil Reaksi	P₁	P₂	X₁	X₂	R_A	R_B	R_C	S
Alat Peraga								
Perhitungan								

Keterangan :

P₁ = beban gantung bercelah pada balok anak (kg)

P₂ = beban gantung bercelah pada balok utama (kg)

X₁ = jarak beban terhadap tumpuan A (mm)

X₂ = jarak beban terhadap tumpuan C (mm)

R_A = reaksi tumpuan A (kg)

R_B = reaksi tumpuan B (kg)

R_C = reaksi tumpuan C (kg)

S = reaksi tumpuan pada sendi internal (kg)

6. Cek presentase *error*

Hasil pengujian menggunakan alat peraga akan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual. Kemudian perbandingan hasil reaksi tumpuan dapat dihitung presentase *error*. Perhitungan presentase *error* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Presentase error} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (4.1)$$

dengan:

A = hasil perhitungan manual (kg)

B = hasil pengujian alat peraga (kg)

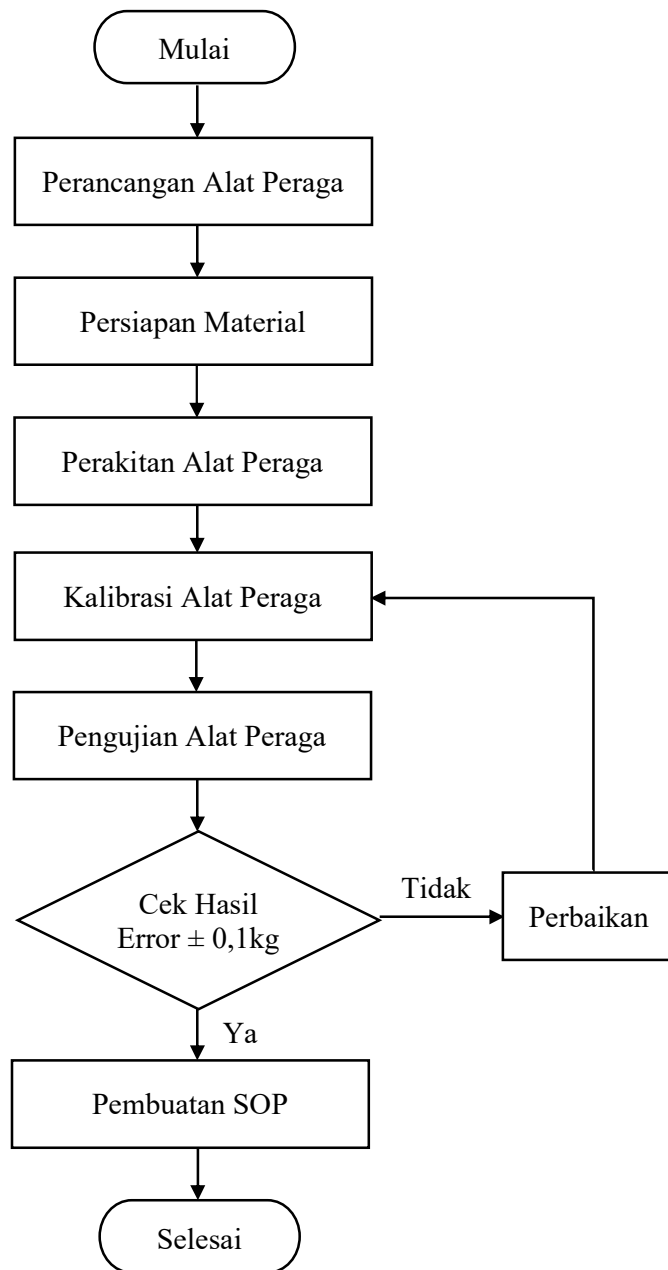
7. Pembuatan Standar Operasional Prosedur

Pembuatan SOP dilakukan agar dapat memudahkan dalam menggunakan alat peraga. Dalam SOP tersebut berisi langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam menggunakan alat peraga tersebut. Selain itu di dalam SOP terdapat

himbauan untuk menggunakan alat peraga sesuai SOP agar durabilitas alat peraga dapat terjaga.

4.5 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Diagram alir berguna sebagai acuan dalam pengembangan alat peraga struktur balok gerber. Selain itu diagram alir dimaksudkan untuk mempermudah dalam memahami skema metode penelitian. Adapun diagram alir dalam pengembangan alat peraga dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 11 Diagram Alir Penelitian

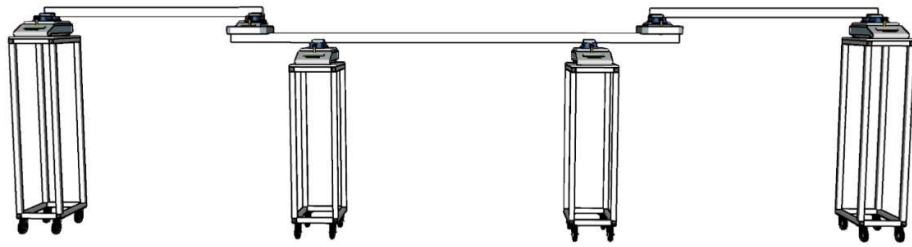
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

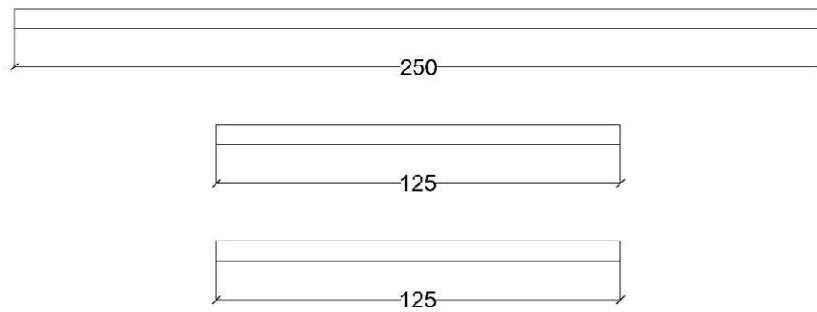
5.1 Pemodelan Alat Peraga

Struktur balok menerus merupakan struktur yang terdiri dari beberapa balok yang ditumpu oleh beberapa tumpuan. Berdasarkan teori tersebut, maka alat peraga dirancang dengan beberapa tumpuan. Selain itu terdapat beberapa bentang balok agar dapat memvisualisasikan struktur balok menerus. Alat peraga dirancang menggunakan bantuan perangkat lunak *AutoCAD* untuk penggambaran 2D dan *Sketchup* untuk pemodelan 3D. Perancangan menggunakan *AutoCAD* untuk mengetahui dimensi yang tepat untuk alat peraga. Kemudian pemodelan menggunakan *Sketchup* didapatkan bentuk visualisasi realistis dari alat peraga.

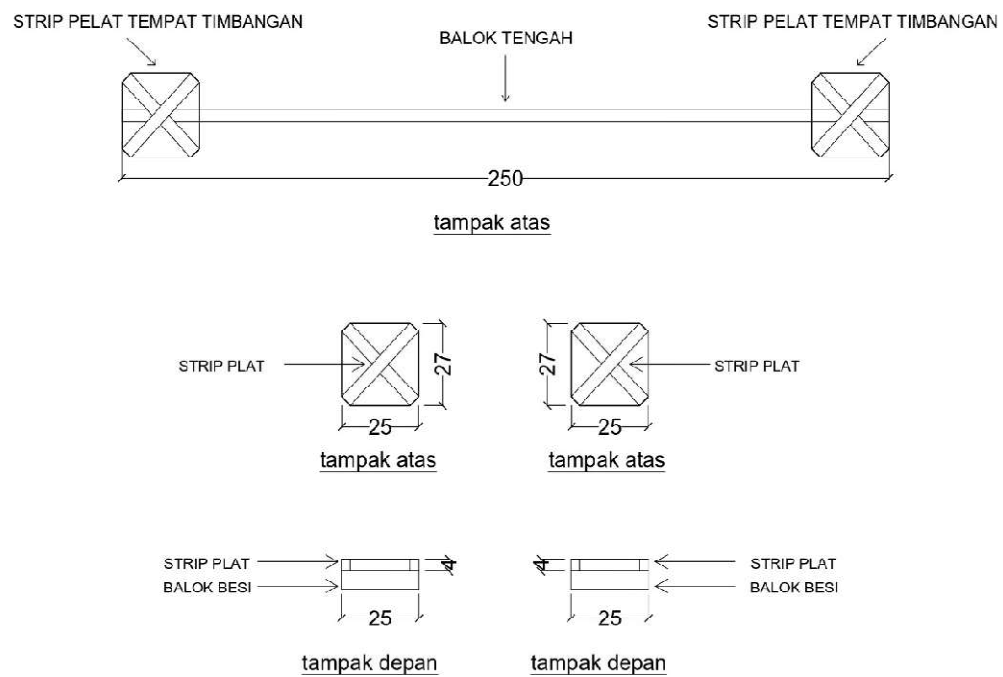
Kemudian terdapat empat buah tumpuan yang terdiri dari dua buah tumpuan sebagai perletakan balok induk dan dua buah tumpuan sebagai perletakan balok anak. Pemodelan alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



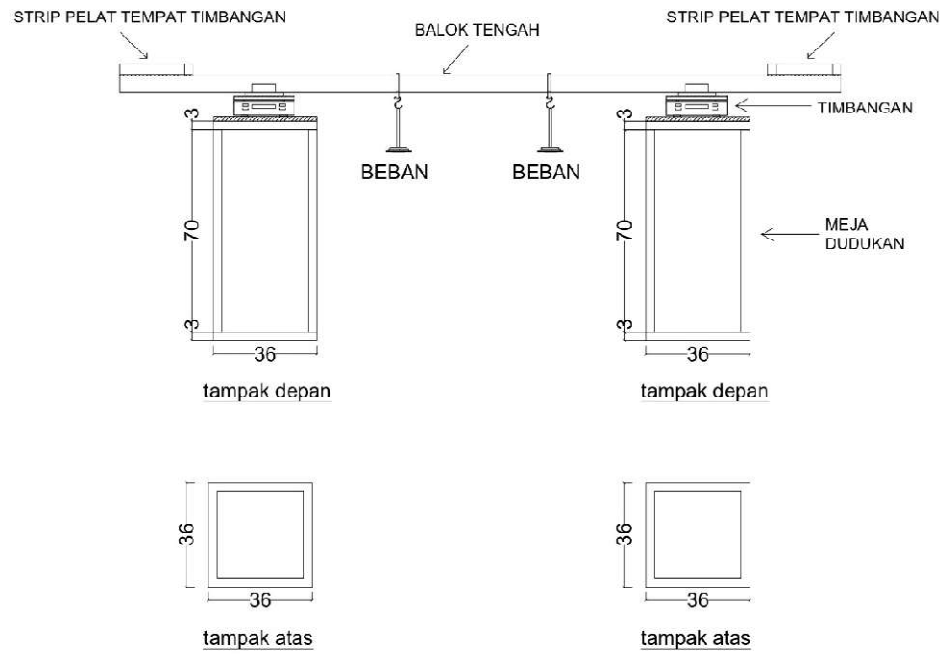
Gambar 5. 1 Pemodelan 3D Rancangan Alat Peraga



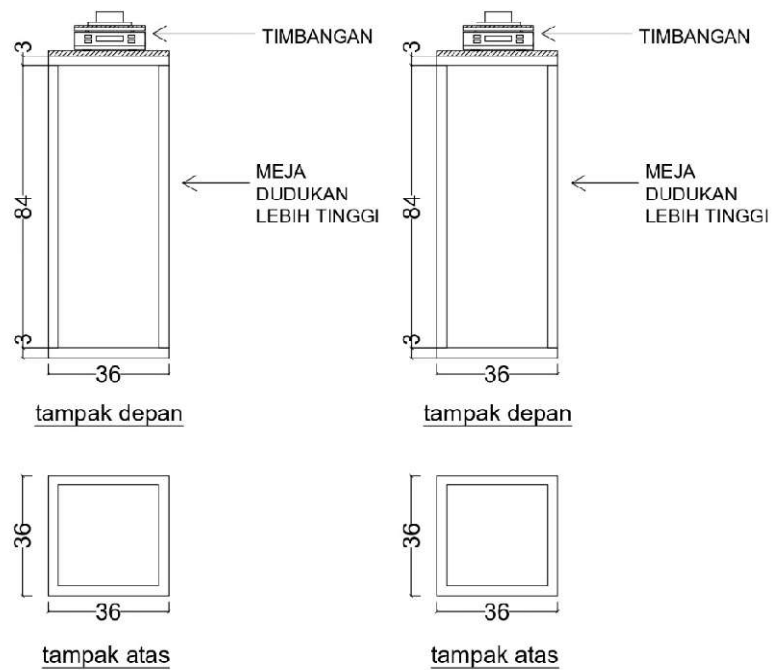
Gambar 5. 2 Rancangan Ukuran Balok Utama dan Balok Anak



Gambar 5. 3 Rancangan Sendi Internal Menggunakan Strip Pelat



Gambar 5. 4 Meja Alat Peraga Dudukan Balok Utama



Gambar 5. 5 Meja Alat Peraga Dudukan Balok Anak

5.2 Pembuatan Alat Peraga

Perakitan alat peraga disesuaikan dengan dimensi rancangan yang telah dibuat. Perakitan disesuaikan dengan masing-masing bagian alat peraga yang terdiri dari balok utama, sendi internal pada balok utama, balok anak, tumpuan dan lainnya. Berikut merupakan rincian bagian dari alat peraga struktur balok menerus (gerber).

5.2.1 Balok utama

Bahan yang digunakan untuk balok utama yaitu besi hollow ukuran 4x6 cm dengan tebal 2 mm. Balok utama dipotong sepanjang 250 cm. Kemudian pada kedua ujung sisi balok utama diletakkan sendi internal sebagai tumpuan balok anak lainnya. Sendi internal tersebut sekaligus berfungsi sebagai perletakan timbangan digital. Selain itu, pada balok utama terdapat tambahan besi sebagai penggantung beban yang bekerja pada struktur tersebut. Struktur balok utama dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 6 Hasil Pembuatan Balok Utama

5.2.2 Sendi internal dalam pada balok utama

Sendi internal pada kedua ujung balok utama berfungsi sebagai tumpuan balok anak. Sendi internal tersebut terbuat dari strip pelat besi berukuran 4 cm dengan tebal 2 mm. Strip pelat besi dipotong sesuai gambar rancangan sehingga dapat dijadikan tempat untuk menaruh timbangan digital. Kemudian strip pelat dirangkai dengan cara dilas sehingga didapatkan rangkaian sendi internal berukuran 25x27 cm. Pada sisi rangkaian sendi internal dilas beberapa strip pelat

untuk menjaga timbangan digital agar tidak mudah jatuh. Rangkaian sendi internal balok utama dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5. 7 Sendi Internal Balok Utama

5.2.3 Balok anak

Bahan yang digunakan untuk balok anak yaitu besi hollow ukuran 4x6 cm dengan tebal 2 mm. Balok anak dibuat dengan panjang 125 cm berjumlah 2 batang. Kemudian pada batang balok anak diletakkan penggantung beban yang berfungsi untuk meletakkan beban yang bekerja pada struktur. Struktur balok anak dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5. 8 Hasil Pemotongan Balok Anak

5.2.4 Penggantung beban

Penggantung beban terbuat dari besi dengan ukuran 5x8 cm. Dimensi penggantung beban dibuat lebih besar dibandingkan ukuran balok agar mudah digerakkan saat pemindahan titik beban. Kemudian pada sisi bawah dibuat *hook* untuk menggantung beban. Adapun hasil pembuatan penggantung beban dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5. 9 Penggantung Beban

5.2.5 Tumpuan

Bahan yang digunakan sebagai tumpuan balok adalah ragum. Ragum merupakan alat yang dapat digunakan untuk menjepit benda kerja. Ragum yang digunakan yaitu berukuran 13,5x15 cm. Penggunaan ragum bertujuan agar struktur balok tidak bergerak Ketika diletakkan diatas tumpuan. Ragum sebagai tumpuan balok dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5. 10 Ragum Sebagai Tumpuan

5.2.6 Meja alat peraga

Bahan yang digunakan dalam pembuatan meja alat peraga yaitu besi *hollow* ukuran 3x3 cm dengan tebal 2 mm. Meja alat peraga dibuat sejumlah 4 buah dengan rincian 2 buah sebagai perletakan balok utama dan 2 buah sebagai perletakan balok anak. Meja alat peraga untuk balok utama dibuat dengan ukuran 36x36 cm dengan tinggi 76 cm. Kemudian meja untuk perletakan balok anak berukuran 36x36 cm dengan tinggi yang lebih dibandingkan meja bakok utama yaitu 86 cm. Pada sisi atas tiap meja dilakukan penambahan papan sebagai tempat

menaruh timbangan. Selain itu di setiap kaki meja ditambahkan mur baut dengan karet agar meja tidak mudah geser. Meja alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.11 Sebagai berikut.



Gambar 5. 11 Mejar Alat Peraga

5.2.7 Perakitan alat peraga

Perakitan alat peraga dilakukan setelah semua komponen telah selesai dibuat. Perakitan dilakukan dengan membuat tinggi meja balok utama sama rata dan tinggi meja balok anak dibuat lebih tinggi. Setelah itu timbangan diletakkan diatas meja alat peraga. Kemudian ragum diletakkan diatas timbangan. Langkah terakhir yaitu balok utama dan balok anak dijepit diatas ragum tersebut. Alat peraga yang telah dirakit dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



Gambar 5. 12 Instalasi Alat Peraga

5.2.8 Kalibrasi alat peraga

Alat peraga yang telah selesai dirakit perlu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan alat bantu *waterpass*. Kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan

alat peraga sudah dalam keadaan seimbang, sehingga kesalahan hasil eksperimen dapat dihindarkan. Kalibrasi dilakukan dengan meletakkan *waterpass* diatas balok utama dan balok anak. Kemudian jika gelembung yang terdapat pada *waterpass* sudah berada di posisi tengah, maka dapat dipastikan alat peraga telah dalam keadaan seimbang. Adapun proses kalibrasi alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5. 13 Kalibrasi Alat Peraga Dengan *Waterpass*

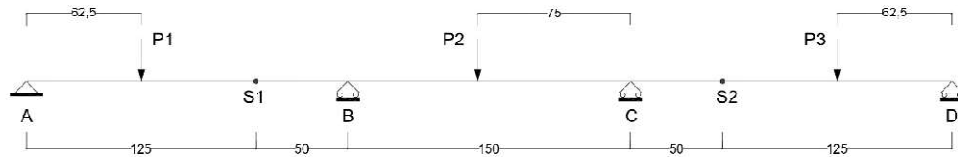
5.3 Pengujian Alat Peraga

Alat peraga struktur balok sederhana dilakukan pengujian dengan mencari reaksi tumpuan yang dihasilkan ditiap tumpuan dan sendi internal. Pada struktur balok terdapat enam reaksi tumpuan yang dapat divisualisasikan oleh timbangan digital. Reaksi tumpuan tersebut dapat dilihat pada tumpuan A, tumpuan B, tumpuan C, tumpuan D, dan sendi internal S1 serta sendi internal S2. Kemudian jenis beban yang digunakan yaitu beban titik yang bekerja pada balok utama dan balok anak. Pada pengujian yang dilakukan terdapat tiga jenis kasus balok dengan pembebanan yang berbeda.

5.3.1 Struktur Balok Menerus dengan Dua Balok Anak (gerber)

Struktur balok menerus untuk pengujian pertama memiliki satu buah balok utama dengan dua buah balok anak. Pada balok utama jarak sendi internal S1 terhadap tumpuan B yaitu 50 cm. Jarak sendi internal S2 terhadap tumpuan C balok utama yaitu 50 cm. Kemudian jarak tumpuan B dengan tumpuan C balok utama yaitu 150 cm. Pada balok anak jarak tumpuan A terhadap sendi internal S1 yaitu 125 cm. Jarak tumpuan D terhadap sendi internal S2 yaitu 125 cm.

Pengujian struktur balok menerus ini dilakukan dengan meletakkan beban P1, P2, dan P3. Beban P1 terletak pada titik tengah balok anak A – S1. Beban P2 terletak pada titik tengah balok utama. Beban P3 terletak pada titik tengah balok anak S2 – D. Adapun gambar ilustrasi struktur balok menerus pada kasus ini dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5. 14 Struktur Balok Menerus dengan Dua Balok Anak

Dari pengujian tersebut didapatkan hasil reaksi tumpuan di tiap tumpuan dan sendi internal. Hasil data pengujian disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi untuk mempermudah pembacaan. Hasil rekapitulasi pengujian struktur balok menerus kasus ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus

No	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3 (cm)	S1 (kg)	S2 (kg)	RAV (kg)	RBV (kg)	RCV (kg)	RDV (kg)
1	1	3	1	62,5	75	62,5	0,505	0,489	0,487	2,017	1,978	0,515
2	0,9	3	0,9	62,5	75	62,5	0,45	0,442	0,439	1,959	1,936	0,463
3	0,8	3	0,8	62,5	75	62,5	0,4	0,393	0,39	1,91	1,888	0,413
4	0,7	3	0,7	62,5	75	62,5	0,35	0,35	0,341	1,858	1,845	0,358
5	0,6	3	0,6	62,5	75	62,5	0,3	0,3	0,29	1,809	1,8	0,31
6	0,5	3	0,5	62,5	75	62,5	0,25	0,25	0,241	1,755	1,75	0,258
7	0,4	3	0,4	62,5	75	62,5	0,2	0,2	0,192	1,705	1,705	0,207
8	0,3	3	0,3	62,5	75	62,5	0,156	0,156	0,145	1,654	1,658	0,16
9	0,2	3	0,2	62,5	75	62,5	0,106	0,107	0,1	1,6	1,61	0,1
10	0,1	3	0,1	62,5	75	62,5	0,055	0,058	0,05	1,55	1,565	0,05

Keterangan :

P = Beban (kg)

X = Lengan beban terhadap perletakan (cm)

S = Reaksi perletakan sendi internal (kg)

RAV = Reaksi perletakan tumpuan A (kg)

RBV = Reaksi perletakan tumpuan B (kg)

RCV = Reaksi perletakan tumpuan C (kg)

RDV = Reaksi perletakan tumpuan D (kg)

1. Perhitungan teori

Pengujian alat peraga struktur balok menerus dapat dihitung secara teoritis. Perhitungan teoritis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus kesetimbangan momen Persamaan 3.3. Berikut merupakan perhitungan teoritis alat peraga struktur balok menerus dengan total beban 5 kg.

a. Total beban 5 kg

1) Tumpuan A

$$\sum MS1 = 0$$

$$(RAV \times 125) - (P1 \times 62,5) = 0$$

$$(125RAV) - (1 \times 62,5) = 0$$

$$RAV = \frac{62,5}{125}$$

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

2) Tumpuan B

$$\sum MC = 0$$

$$(RBV \times 150) - (RS1 \times 200) - (P2 \times 75) + (RS2 \times 50) = 0$$

$$(150 RBV) - (0,5 \times 200) - (3 \times 75) + (0,5 \times 50) = 0$$

$$RBV = \frac{-300}{-150}$$

$$RBV = 2 \text{ kg}$$

3) Tumpuan C

$$\sum MB = 0$$

$$(- RCV \times 150) + (RS1 \times 50) + (P2 \times 75) + (RS2 \times 200) = 0$$

$$(- 150 RCV) + (0,5 \times 50) + (3 \times 75) + (0,5 \times 200) = 0$$

$$RCV = \frac{300}{150}$$

$$RCV = 2 \text{ kg}$$

4) Tumpuan D

$$\sum MS2 = 0$$

$$(- RDV \times 125) + (P3 \times 62,5) = 0$$

$$(- 125RDV) + (1 \times 62,5) = 0$$

$$RDV = \frac{62,5}{125}$$

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

5) Sendi internal S1

$$\sum MA = 0$$

$$(- RS1 \times 125) + (P1 \times 62,5) = 0$$

$$(- 125 RS1) + (1 \times 62,5) = 0$$

$$RS1 = \frac{62,5}{125}$$

$$RS1 = 0,5 \text{ kg}$$

6) Sendi internal S2

$$\sum MD = 0$$

$$RS2 \times 125 - P1 \times 62,5 = 0$$

$$125 RS2 - 1 \times 62,5 = 0$$

$$RS2 = \frac{62,5}{125}$$

$$RS2 = 0,5 \text{ kg}$$

7) Kontrol hasil reaksi tumpuan

$$\sum P = \sum RV$$

$$P1 + P2 + P3 = RAV + RBV + RCV + RDV$$

$$1 + 3 + 1 = 0,5 + 2 + 2 + 0,5$$

$$5 \text{ kg} = 5 \text{ kg (memenuhi)}$$

Hasil rekap perhitungan teoritis untuk setiap kombinasi beban selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoritis Struktur Balok Menerus

No	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3 (cm)	S1 (kg)	S2 (kg)	RAV (kg)	RBV (kg)	RCV (kg)	RDV (kg)
1	1	3	1	62,5	75	62,5	0,5	0,5	0,50	2	2	0,5
2	0,9	3	0,9	62,5	75	62,5	0,45	0,45	0,45	1,95	1,95	0,45
3	0,8	3	0,8	62,5	75	62,5	0,4	0,4	0,4	1,9	1,9	0,4
4	0,7	3	0,7	62,5	75	62,5	0,35	0,35	0,35	1,85	1,85	0,35
5	0,6	3	0,6	62,5	75	62,5	0,3	0,3	0,3	1,8	1,8	0,3
6	0,5	3	0,5	62,5	75	62,5	0,25	0,25	0,25	1,75	1,75	0,25
7	0,4	3	0,4	62,5	75	62,5	0,2	0,2	0,2	1,7	1,7	0,2
8	0,3	3	0,3	62,5	75	62,5	0,15	0,15	0,15	1,65	1,65	0,15
9	0,2	3	0,2	62,5	75	62,5	0,1	0,100	0,1	1,6	1,6	0,1
10	0,1	3	0,1	62,5	75	62,5	0,05	0,05	0,05	1,55	1,55	0,05

Keterangan :

P = Beban (kg)

X = Lengan beban terhadap perletakan (cm)

S = Reaksi perletakan sendi internal (kg)

RAV = Reaksi perletakan tumpuan A (kg)

RBV = Reaksi perletakan tumpuan B (kg)

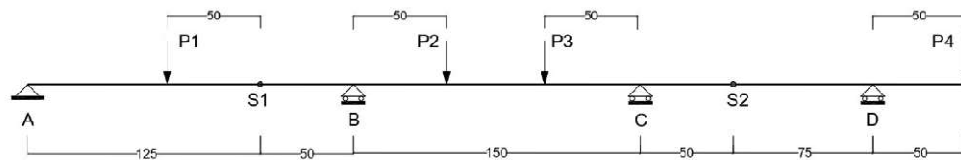
RCV = Reaksi perletakan tumpuan C (kg)

RDV = Reaksi perletakan tumpuan D (kg)

5.3.2 Struktur Balok Menerus dengan Satu Kantilever

Pada pengujian model struktur memiliki kantilever pada salah satu balok anak. Pada balok utama jarak sendi internal S1 terhadap tumpuan B yaitu 50 cm. Jarak sendi internal S2 terhadap tumpuan C balok utama yaitu 50 cm. Kemudian jarak tumpuan B dengan tumpuan C balok utama yaitu 150 cm. Pada balok anak jarak tumpuan A terhadap sendi internal S1 yaitu 125 cm. Jarak tumpuan D terhadap sendi internal S2 yaitu 125 cm.

Pengujian struktur balok menerus ini dilakukan dengan meletakkan beban P1 di ujung kantilever balok anak A – S1 yang berjarak 50 cm dari tumpuan A. Beban P2 terletak pada balok utama dengan jarak 50 cm dari tumpuan B. Beban P3 terletak pada balok anak D – S2 dengan jarak 50 cm dari sendi internal S2. Adapun gambar ilustrasi struktur balok menerus pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5. 15 Ilustrasi Struktur Balok Menerus dengan Satu Kantilever

Dari pengujian tersebut didapatkan hasil reaksi tumpuan di tiap tumpuan dan sendi internal. Hasil data pengujian disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi untuk mempermudah pembacaan. Hasil rekapitulasi pengujian struktur balok menerus kasus ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus dengan Kantilever

No	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	P4 (kg)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3 (cm)	X4 (cm)	S1 (kg)	S2 (kg)	RAV (kg)	RBV (kg)	RCV (kg)	RDV (kg)
1	1	1	1	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,89	-0,18	1,71
2	1	0,9	0,9	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,85	-0,10	1,71
3	1	0,8	0,8	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,75	-0,23	1,71
4	1	0,7	0,7	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,65	-0,33	1,71
5	1	0,6	0,6	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,55	-0,43	1,71
6	1	0,5	0,5	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,46	-0,53	1,71
7	1	0,4	0,4	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,36	-0,63	1,71
8	1	0,3	0,3	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,25	-0,74	1,71
9	1	0,2	0,2	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,16	-0,83	1,71
10	1	0,1	0,1	1	50	50	50	50	0,60	-0,70	0,40	1,60	-0,93	1,71

Keterangan :

P = Beban (kg)

X = Lengan beban terhadap perletakan (cm)

S = Reaksi perletakan sendi internal (kg)

RAV = Reaksi perletakan tumpuan A (kg)

RBV = Reaksi perletakan tumpuan B (kg)

RCV = Reaksi perletakan tumpuan C (kg)

RDV = Reaksi perletakan tumpuan D (kg)

1. Perhitungan teori

Pengujian alat peraga struktur balok menerus dengan kantilever dapat dihitung secara teoritis. Perhitungan teoritis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus kesetimbangan momen Persamaan 3.3. Berikut merupakan perhitungan teoritis alat peraga struktur balok menerus dengan kantilever pada total beban 4 kg.

$$a. \sum MS1 = 0$$

$$(RAV \times 125) - (P1 \times 50) = 0$$

$$(125RAV) - (1 \times 50) = 0$$

$$RAV = \frac{50}{125}$$

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

$$b. \sum MS2 = 0$$

$$(- RDV \times 75) + (P4 \times 125) = 0$$

$$(- 75RDV) + (1 \times 125) = 0$$

$$RDV = \frac{125}{75}$$

$$RDV = 1,67 \text{ kg}$$

$$c. \sum MA = 0$$

$$(- RS1 \times 125) + (P1 \times 75) = 0$$

$$(- 125 RS1) + (1 \times 75) = 0$$

$$RS1 = \frac{75}{125}$$

$$RS1 = 0,6 \text{ kg}$$

$$d. \sum MB = 0$$

$$(- RCV \times 150) - (RS1 \times 50) + (P2 \times 50) + (P3 \times 100) + (RS2 \times 200) = 0$$

$$(- 150 RCV) - (0,6 \times 50) + (1 \times 50) + (1 \times 100) + (0,5 \times 200) = 0$$

$$RCV = \frac{-14}{150}$$

$$RCV = - 0,093 \text{ kg}$$

$$e. \sum MC = 0$$

$$(RBV \times 150) - (RS1 \times 200) - (P2 \times 100) - (P3 \times 50) + (RS2 \times 50) = 0$$

$$(150 \text{ RBV}) - (0,6 \times 200) - (1 \times 75) + (1 \times 50) + (-0,67 \times 50) = 0$$

$$\text{RBV} = \frac{-303,5}{-15}$$

$$\text{RBV} = 2,023 \text{ kg}$$

$$\text{f. } \sum \text{MD} = 0$$

$$\text{RS2} \times 75 + \text{P4} \times 50 = 0$$

$$75 \text{ RS2} - 1 \times 50 = 0$$

$$\text{RS2} = \frac{-50}{75}$$

$$\text{RS2} = -0,67 \text{ kg}$$

$$\text{g. Kontrol hasil reaksi tumpuan}$$

$$\sum \text{P} = \sum \text{RV}$$

$$\text{P1} + \text{P2} + \text{P3} + \text{P4} = \text{RAV} + \text{RBV} + \text{RCV} + \text{RDV}$$

$$1 + 1 + 1 + 1 = 0,4 + 2,023 + (-0,089) + 1,667$$

$$4 \text{ kg} = 4 \text{ kg (memenuhi)}$$

Hasil rekap perhitungan teoritis selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoritis Struktur Balok Menerus dengan Kantilever

No	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	P4 (kg)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3 (cm)	X4 (cm)	S1 (kg)	S2 (kg)	RAV (kg)	RBV (kg)	RCV (kg)	RDV (kg)
1	1	1	1	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	2,02	-0,09	1,67
2	1	0,9	0,9	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,92	-0,19	1,67
3	1	0,8	0,8	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,82	-0,29	1,67
4	1	0,7	0,7	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,72	-0,39	1,67
5	1	0,6	0,6	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,62	-0,49	1,67
6	1	0,5	0,5	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,52	-0,59	1,67
7	1	0,4	0,4	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,42	-0,69	1,67
8	1	0,3	0,3	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,32	-0,79	1,67
9	1	0,2	0,2	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,22	-0,89	1,67
10	1	0,1	0,1	1	50	50	50	50	0,60	-0,67	0,40	1,12	-0,99	1,67

Keterangan :

P = Beban (kg)

X = Lengan beban terhadap perletakan (cm)

S = Reaksi perletakan sendi internal (kg)

RAV = Reaksi perletakan tumpuan A (kg)

RBV = Reaksi perletakan tumpuan B (kg)

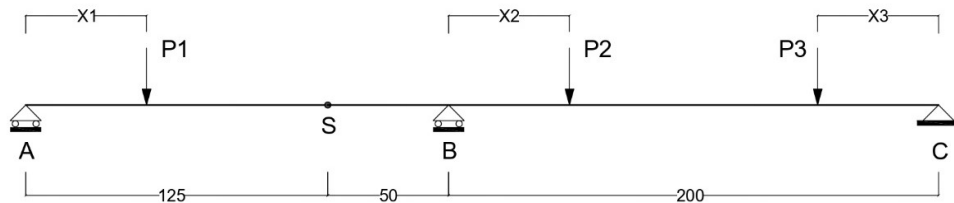
RCV = Reaksi perletakan tumpuan C (kg)

RDV = Reaksi perletakan tumpuan D (kg)

5.3.3 Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

Struktur balok menerus untuk pengujian ini memiliki satu buah balok utama dengan satu buah balok anak. Pada balok utama jarak sendi internal S terhadap tumpuan B yaitu 50 cm. Kemudian jarak tumpuan B dengan tumpuan C balok utama yaitu 200 cm. Pada balok anak jarak tumpuan A terhadap sendi internal S1 yaitu 125 cm.

Pengujian struktur balok menerus ini dilakukan dengan meletakkan beban P1, P2, dan P3. Beban P1 terletak pada titik tengah balok anak yang berjarak 50 cm dari tumpuan A. Beban P2 terletak pada balok utama yang berjarak 50 cm dari tumpuan B. Beban P3 terletak pada balok utama yang berjarak 50 cm dari tumpuan C. Adapun gambar ilustrasi struktur balok menerus pada kasus ini dapat dilihat pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5. 16 Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

Dari pengujian tersebut didapatkan hasil reaksi tumpuan di tiap tumpuan dan sendi internal. Hasil data pengujian disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi untuk mempermudah pembacaan. Hasil rekapitulasi pengujian struktur balok menerus kasus ini dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

No	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3 (cm)	S (kg)	RAV (kg)	RBV (kg)	RCV (kg)
1	1	1	1	50	50	50	0,404	0,603	1,465	0,950
2	0,9	0,9	1	50	50	50	0,370	0,565	1,340	0,932
3	0,8	0,8	1	50	50	50	0,322	0,478	1,219	0,914
4	0,7	0,7	1	50	50	50	0,283	0,419	1,100	0,900
5	0,6	0,6	1	50	50	50	0,243	0,359	0,976	0,878
6	0,5	0,5	1	50	50	50	0,204	0,300	0,850	0,861
7	0,4	0,4	1	50	50	50	0,167	0,240	0,729	0,844
8	0,3	0,3	1	50	50	50	0,127	0,181	0,607	0,825
9	0,2	0,2	1	50	50	50	0,087	0,123	0,483	0,809
10	0,1	0,1	1	50	50	50	0,050	0,064	0,361	0,788

Keterangan :

P = Beban (kg)

X = Lengan beban terhadap perletakan (cm)

S = Reaksi perletakan sendi internal (kg)

RAV = Reaksi perletakan tumpuan A (kg)

RBV = Reaksi perletakan tumpuan B (kg)

RCV = Reaksi perletakan tumpuan C (kg)

1. Perhitungan teori

Pengujian alat peraga struktur balok menerus dengan kantilever dapat dihitung secara teoritis. Perhitungan teoritis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus kesetimbangan momen Persamaan 3.3. Berikut merupakan perhitungan teoritis alat peraga struktur balok menerus dengan kantilever pada total beban 3 kg.

a. Sendi internal

$$\sum MA = 0$$

$$(- RS \times 125) + (P1 \times 50) = 0$$

$$(- 125 RS) + (1 \times 50) = 0$$

$$RS = \frac{50}{125}$$

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

b. Tumpuan A

$$\sum MS = 0$$

$$(RAV \times 125) - (P1 \times 75) = 0$$

$$(125RAV) - (1 \times 75) = 0$$

$$RAV = \frac{75}{125}$$

$$RAV = 0,6 \text{ kg}$$

c. Tumpuan B

$$\sum MC = 0$$

$$(RBV \times 200) - (RS \times 250) - (P2 \times 150) - (P3 \times 50) = 0$$

$$(200 RBV) - (0,4 \times 200) - (1 \times 75) + (1 \times 50) = 0$$

$$RBV = \frac{-300}{-200}$$

$$RBV = 1,5 \text{ kg}$$

d. Tumpuan C

$$\sum MB = 0$$

$$(- RCV \times 200) - (RS \times 250) + (P2 \times 50) + (P3 \times 150) = 0$$

$$(- 200 RCV) - (0,4 \times 50) + (1 \times 50) + (1 \times 150) = 0$$

$$RCV = \frac{180}{200}$$

$$RCV = 0,9 \text{ kg}$$

e. Kontrol hasil reaksi tumpuan

$$\sum P = \sum RV$$

$$P1 + P2 + P3 = RAV + RBV + RCV$$

$$1 + 1 + 1 = 0,6 + 1,5 + 0,9$$

$$3 \text{ kg} = 3 \text{ kg (memenuhi)}$$

Hasil rekap perhitungan teoritis selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Teori Struktur Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

No	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3 (cm)	S (kg)	RAV (kg)	RBV (kg)	RCV (kg)
1	1	1	1	50	50	50	0,400	0,600	1,500	0,900
2	0,9	0,9	1	50	50	50	0,360	0,540	1,375	0,885
3	0,8	0,8	1	50	50	50	0,320	0,480	1,250	0,870
4	0,7	0,7	1	50	50	50	0,280	0,420	1,125	0,855
5	0,6	0,6	1	50	50	50	0,240	0,360	1,000	0,840
6	0,5	0,5	1	50	50	50	0,200	0,300	0,875	0,825
7	0,4	0,4	1	50	50	50	0,160	0,240	0,750	0,810
8	0,3	0,3	1	50	50	50	0,120	0,180	0,625	0,795
9	0,2	0,2	1	50	50	50	0,080	0,120	0,500	0,780
10	0,1	0,1	1	50	50	50	0,040	0,060	0,375	0,765

Keterangan :

P = Beban (kg)

X = Lengan beban terhadap perletakan (cm)

S = Reaksi perletakan sendi internal (kg)

RAV = Reaksi perletakan tumpuan A (kg)

RBV = Reaksi perletakan tumpuan B (kg)

RCV = Reaksi perletakan tumpuan C (kg)

5.4 Perbandingan Hasil Pengujian Alat Peraga dengan Perhitungan Teoritis

Perbandingan antara hasil pengujian alat peraga dengan perhitungan teoritis dilakukan untuk mengetahui akurasi reaksi tumpuan yang dihasilkan oleh alat peraga struktur balok menerus. Akurasi dapat diketahui dengan menghitung nilai *error*. Batas dari nilai *error* yaitu $\pm 0,1$ kg. Alat peraga dapat dikatakan akurat jika nilai *error* adalah kurang dari 0,1 kg.

5.4.1 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak

Dalam menghitung nilai perbandingan (nilai *error*) terdapat dua bagian yaitu perbandingan nilai sendi internal dan perbandingan nilai reaksi tumpuan yang dihasilkan. Nilai *error* dihitung dengan membandingkan reaksi yang dihasilkan dari tumpuan dan sendi internal. Nilai *error* perbandingan hasil pengujian pada struktur balok menerus dua balok anak sebagai berikut.

1. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 5 kg)

$$\begin{aligned}\text{Nilai error S1} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | 0,5 - 0,505 | \\ &= 0,005 \text{ kg}\end{aligned}$$

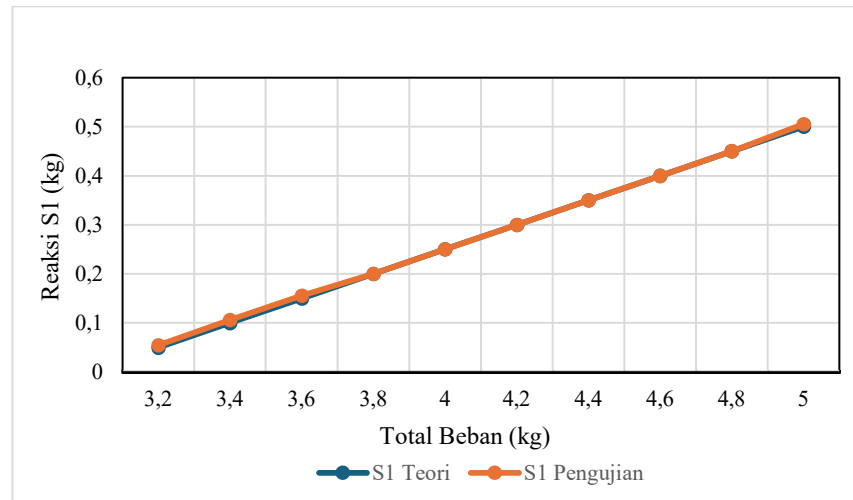
$$\begin{aligned}\text{Nilai error S2} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | 0,5 - 0,489 | \\ &= 0,0011 \text{ kg}\end{aligned}$$

Nilai *error* sendi internal S1 dan S2 dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* sendi internal dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Nilai *Error* Sendi Internal Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak

No.	Sendi internal S1				Sendi internal S2			
	Teori (kg)	Uji (kg)	Error ±0,1 (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error ±0,1 (kg)	Hasil
1	0,5	0,505	0,005	OK	0,5	0,489	0,011	OK
2	0,45	0,45	0	OK	0,45	0,442	0,008	OK
3	0,4	0,4	0	OK	0,4	0,393	0,007	OK
4	0,35	0,35	0	OK	0,35	0,35	0	OK
5	0,3	0,3	0	OK	0,3	0,3	0	OK
6	0,25	0,25	0	OK	0,25	0,25	0	OK
7	0,2	0,2	0	OK	0,2	0,2	0	OK
8	0,15	0,156	0,006	OK	0,15	0,156	0,006	OK
9	0,1	0,106	0,006	OK	0,10	0,107	0,007	OK
10	0,05	0,055	0,005	OK	0,05	0,058	0,008	OK

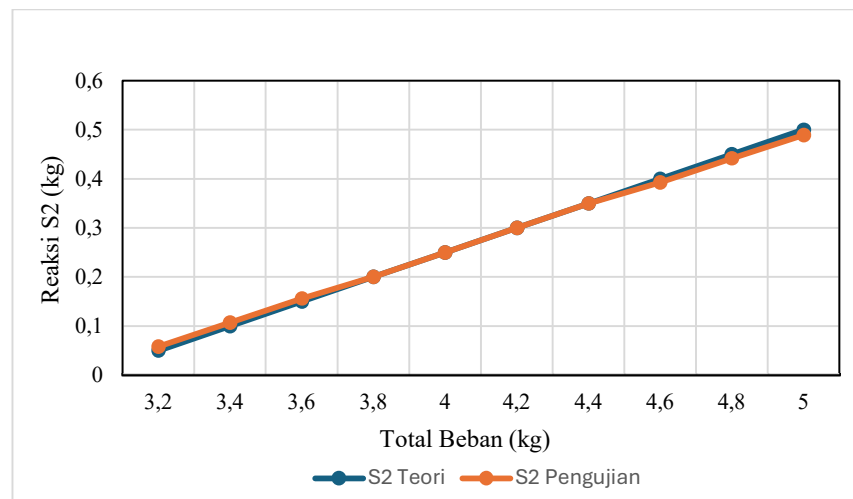
Grafik perbandingan reaksi sendi internal S1 dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Grafik Perbandingan S1 Balok Menerus dengan Dua Balok Anak

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan hasil pengujian dan nilai perhitungan teori reaksi pada sendi internal S1 struktur balok menerus dengan dua balok anak menunjukkan adanya simpangan saat total beban 3,2 kg, 3,4 kg, 3,6 kg dan 5 kg. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

Grafik perbandingan reaksi sendi internal S2 dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5. 18 Grafik Perbandingan S2 Balok Menerus dengan Dua Balok Anak

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan reaksi pada sendi internal S2 struktur balok menerus dengan dua balok anak menunjukkan adanya simpangan saat total beban 3,2 kg, 3,4 kg, 3,6 kg, 4,6 kg, 4,8 kg dan 5 kg. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

2. Nilai *error* pada reaksi tumpuan (beban total 5 kg)

$$\begin{aligned}\text{Nilai } error \text{ RAV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | 0,5 - 0,487 | \\ &= 0,013 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } error \text{ RBV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | 2 - 2,017 | \\ &= 0,017 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } error \text{ RCV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | 2 - 1,978 | \\ &= 0,022 \text{ kg}\end{aligned}$$

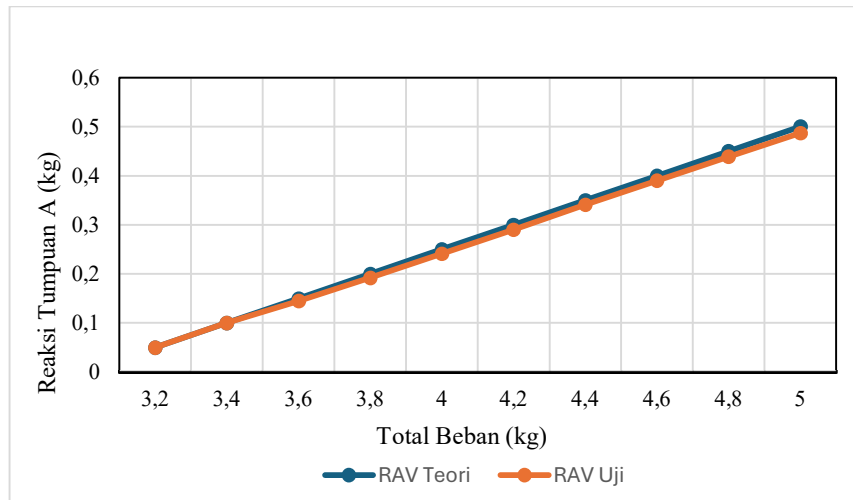
$$\begin{aligned}\text{Nilai } error \text{ RDV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | 0,5 - 0,515 | \\ &= 0,015 \text{ kg}\end{aligned}$$

Nilai *error* setiap tumpuan dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* setiap tumpuan dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5. 8 Nilai *Error* Reaksi Tumpuan Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak

No.	Reaksi Tumpuan A				Reaksi Tumpuan B				Reaksi Tumpuan C				Reaksi Tumpuan D			
	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil
1	0,50	0,487	0,013	OK	2,00	2,017	0,017	OK	2,00	1,978	0,022	OK	0,50	0,515	0,015	OK
2	0,45	0,439	0,011	OK	1,95	1,959	0,009	OK	1,95	1,936	0,014	OK	0,45	0,463	0,013	OK
3	0,40	0,39	0,01	OK	1,90	1,91	0,01	OK	1,90	1,888	0,012	OK	0,40	0,413	0,013	OK
4	0,35	0,341	0,009	OK	1,85	1,858	0,008	OK	1,85	1,845	0,005	OK	0,35	0,358	0,008	OK
5	0,30	0,29	0,01	OK	1,80	1,809	0,009	OK	1,80	1,8	0,00	OK	0,30	0,31	0,01	OK
6	0,25	0,241	0,009	OK	1,75	1,755	0,005	OK	1,75	1,75	0,00	OK	0,25	0,258	0,008	OK
7	0,20	0,192	0,008	OK	1,70	1,705	0,005	OK	1,70	1,705	0,005	OK	0,20	0,207	0,007	OK
8	0,15	0,145	0,005	OK	1,65	1,654	0,004	OK	1,65	1,658	0,008	OK	0,15	0,16	0,01	OK
9	0,10	0,1	0,00	OK	1,60	1,6	0,00	OK	1,60	1,61	0,01	OK	0,10	0,1	0,00	OK
10	0,05	0,05	0,00	OK	1,55	1,55	0,00	OK	1,55	1,565	0,015	OK	0,05	0,05	0,00	OK

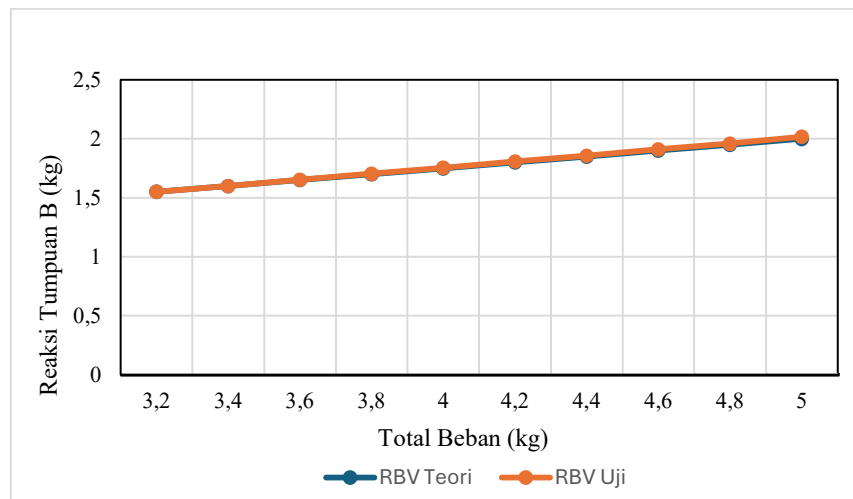
Grafik perbandingan reaksi tumpuan A dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5. 19 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan A Balok Menerus dengan Dua Balok Anak

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan hasil pengujian dan nilai perhitungan teori reaksi pada tumpuan A struktur balok menerus dengan dua balok anak menunjukkan adanya simpangan saat total beban 3,6 kg sampai 5 kg. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

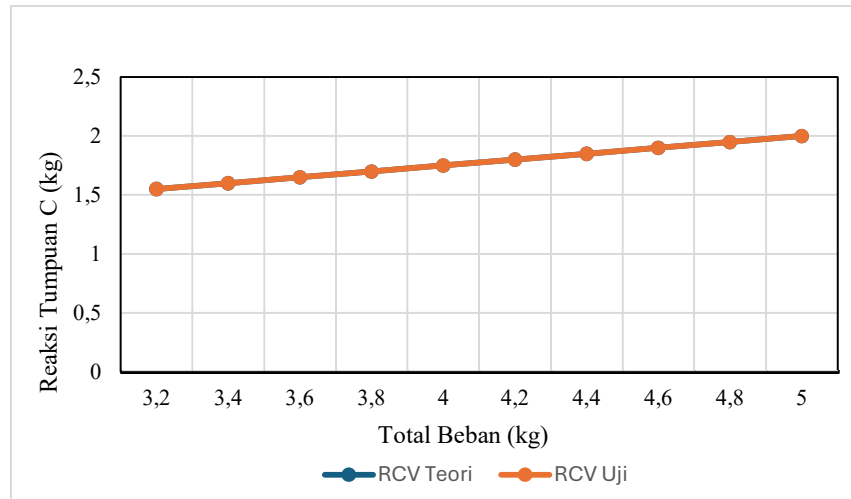
Grafik perbandingan reaksi tumpuan B dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5. 20 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan B Balok Menerus dengan Dua Balok Anak

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan pada reaksi tumpuan B struktur balok menerus dengan dua balok anak menunjukkan adanya simpangan saat total beban 5 kg. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

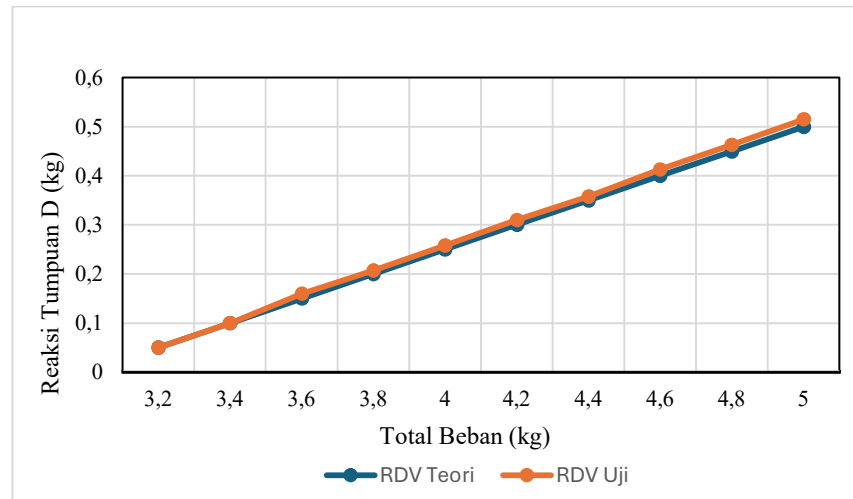
Grafik perbandingan reaksi tumpuan C dapat dilihat pada Gambar 5.21.



Gambar 5. 21 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan C Balok Menerus dengan Dua Balok Anak

Grafik di atas menunjukkan bahwa tidak ada simpangan antara hasil perhitungan teori dan pengujian. Sehingga reaksi tumpuan C dapat dikatakan menunjukkan hasil yang akurat saat dilakukan pengujian.

Grafik perbandingan reaksi tumpuan D dapat dilihat pada Gambar 5.22.



**Gambar 5. 22 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan D
Balok Menerus dengan Dua Balok Anak**

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan pada reaksi tumpuan D struktur balok menerus dengan dua balok anak menunjukkan adanya simpangan saat total beban 3,6 kg sampai dengan 5 kg. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

5.4.2 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus dengan Kantilever

Dalam menghitung nilai perbandingan (nilai *error*) terdapat dua bagian yaitu perbandingan nilai sendi internal dan perbandingan nilai reaksi tumpuan yang dihasilkan. Perhitungan nilai *error* perbandingan hasil pengujian pada struktur balok menerus dengan kantilever sebagai berikut.

1. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 4 kg)

$$\begin{aligned}\text{Nilai error S1} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | 0,6 - 0,6 | \\ &= 0,00 \text{ kg}\end{aligned}$$

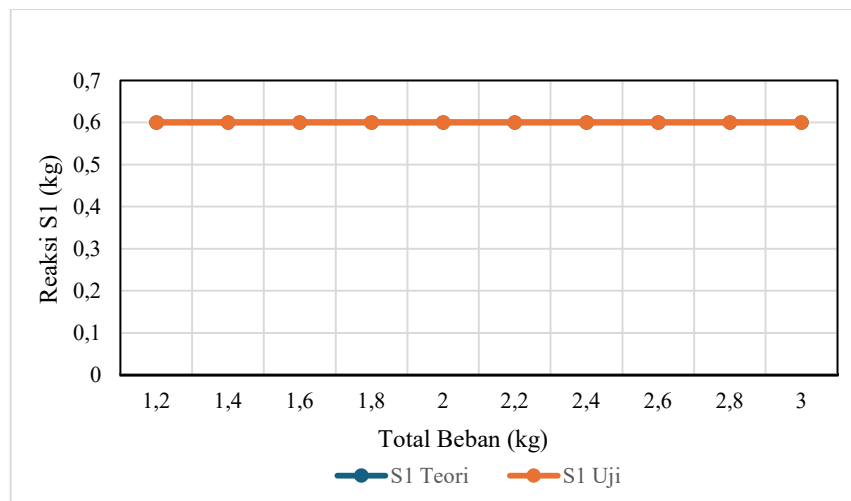
$$\begin{aligned}\text{Nilai error S2} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\ &= | -0,667 - (-0,7) | \\ &= 0,05 \text{ kg}\end{aligned}$$

Nilai *error* sendi internal S1 dan S2 dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* sendi internal dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Nilai *Error* Sendi Internal Struktur Balok Menerus Kantilever

No.	Sendi internal S1				Sendi internal S2			
	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil
1	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
2	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
3	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
4	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
5	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
6	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
7	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
8	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
9	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK
10	0,600	0,600	0,00	OK	-0,667	-0,700	0,033	OK

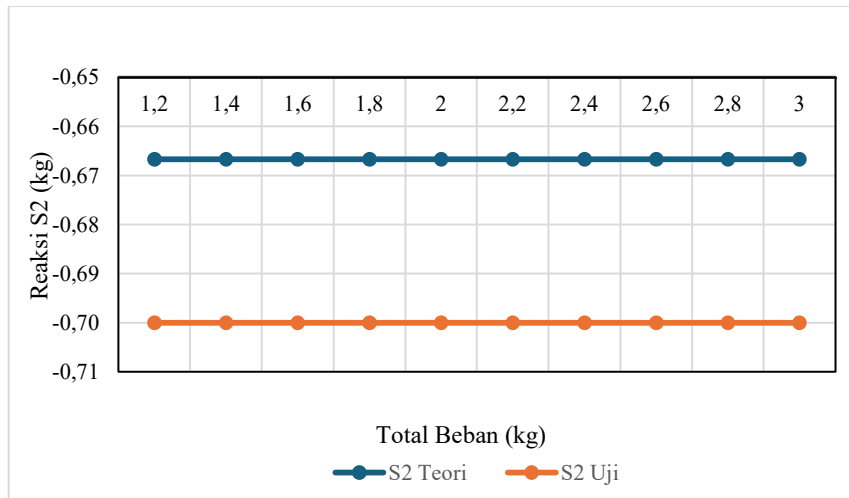
Grafik perbandingan reaksi sendi internal S1 dapat dilihat pada Gambar 5.23.

**Gambar 5. 23 Grafik Perbandingan S1 Balok Menerus dengan Kantilever**

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan hasil pengujian dan nilai perhitungan teori pada sendi internal S1 struktur balok menerus dengan kantilever menunjukkan tidak adanya simpangan. Sehingga reaksi yang

dihasilkan sendi internal S1 dapat dikatakan menunjukkan hasil yang akurat saat dilakukan pengujian.

Grafik perbandingan reaksi sendi internal S2 dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5. 24 Grafik Perbandingan S2 Balok Menerus dengan Kantilever

Grafik di atas menunjukkan reaksi yang dihasilkan pada sendi internal S2 memiliki simpangan yang cukup konstan pada variasi beban. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

2. Nilai *error* pada reaksi tumpuan (beban total 4 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error RAV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | 0,4 - 0,4 | \\
 &= 0,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error RBV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | 2,022 - 1,885 | \\
 &= 0,137 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error RCV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | -0,089 - (-0,182) | \\
 &= 0,093 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

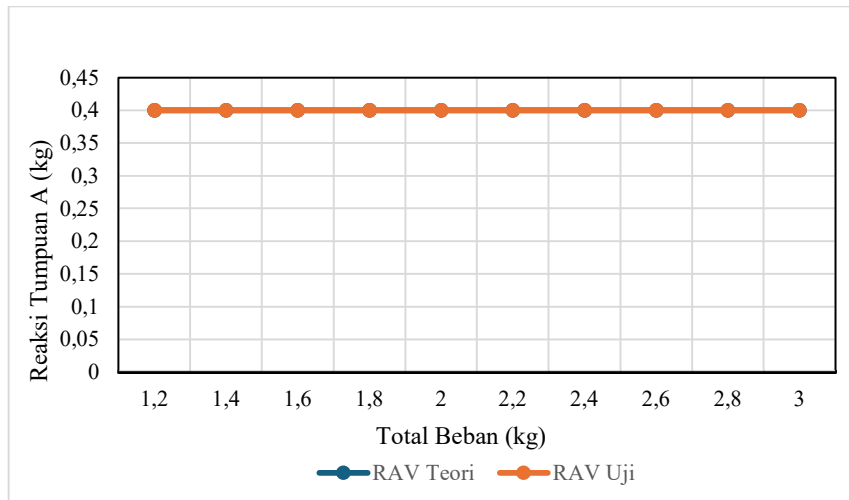
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error RDV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | 1,667 - 1,710 | \\
 &= 0,043 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Nilai *error* setiap tumpuan dihitung semua untuk setiap kombinasi beban.
Hasil rekapitulasi nilai *error* setiap tumpuan dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 10 Nilai *Error* Reaksi Tumpuan Struktur Balok Menerus Kantilever

No.	Reaksi Tumpuan A				Reaksi Tumpuan B				Reaksi Tumpuan C				Reaksi Tumpuan D			
	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil
1	0,400	0,400	0,000	OK	2,022	1,885	0,137	NOT	-0,089	-0,182	0,093	OK	1,667	1,710	0,043	OK
2	0,400	0,400	0,000	OK	1,922	1,850	0,072	OK	-0,189	-0,103	0,086	OK	1,667	1,710	0,043	OK
3	0,400	0,400	0,000	OK	1,822	1,750	0,072	OK	-0,289	-0,229	0,060	OK	1,667	1,710	0,043	OK
4	0,400	0,400	0,000	OK	1,722	1,650	0,072	OK	-0,389	-0,330	0,059	OK	1,667	1,710	0,043	OK
5	0,400	0,400	0,000	OK	1,622	1,550	0,072	OK	-0,489	-0,429	0,060	OK	1,667	1,710	0,043	OK
6	0,400	0,400	0,000	OK	1,522	1,455	0,067	OK	-0,589	-0,534	0,055	OK	1,667	1,710	0,043	OK
7	0,400	0,400	0,000	OK	1,422	1,355	0,067	OK	-0,689	-0,631	0,058	OK	1,667	1,710	0,043	OK
8	0,400	0,400	0,000	OK	1,322	1,250	0,072	OK	-0,789	-0,735	0,054	OK	1,667	1,710	0,043	OK
9	0,400	0,400	0,000	OK	1,222	1,161	0,061	OK	-0,889	-0,834	0,055	OK	1,667	1,710	0,043	OK
10	0,400	0,400	0,000	OK	1,122	1,602	0,480	NOT	-0,989	-0,933	0,056	OK	1,667	1,710	0,043	OK

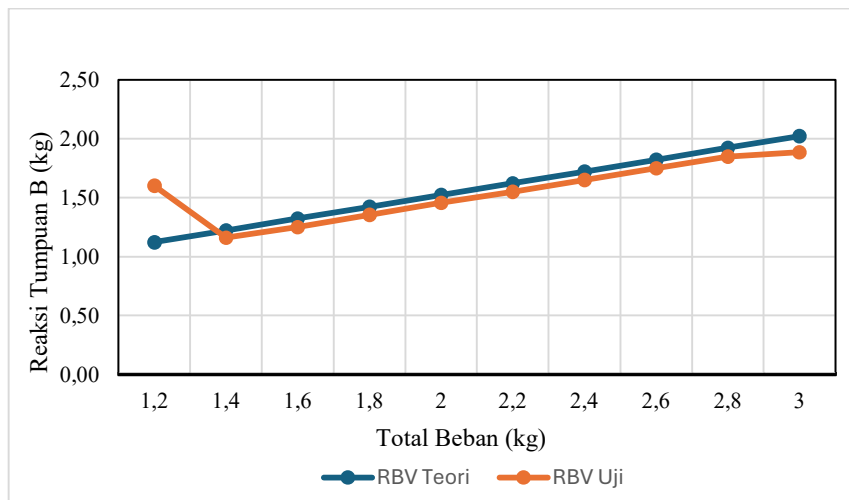
Grafik perbandingan reaksi tumpuan A dapat dilihat pada Gambar 5.25.



Gambar 5. 25 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan A Balok Menerus dengan Kantilever

Grafik di atas menunjukkan bahwa tidak ada simpangan antara hasil perhitungan teori dan pengujian. Sehingga reaksi tumpuan A dapat dikatakan menunjukkan hasil yang akurat saat dilakukan pengujian.

Grafik perbandingan reaksi tumpuan B dapat dilihat pada Gambar 5.26.

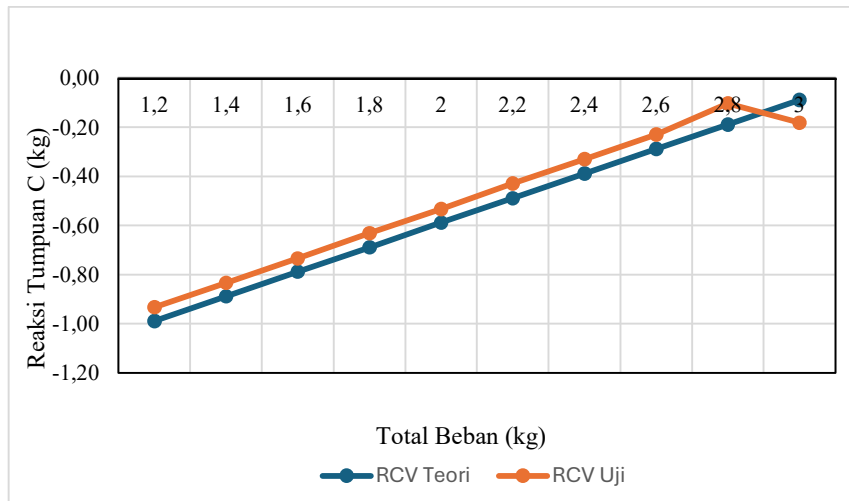


Gambar 5. 26 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan B Balok Menerus dengan Kantilever

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan pada reaksi tumpuan B menunjukkan adanya simpangan di setiap variasi beban. Simpangan yang

paling besar terletak pada titik beban minimum dan beban maksimum. Pada titik beban minimum dan beban maksimum alat peraga tidak dapat menunjukkan hasil yang akurat.

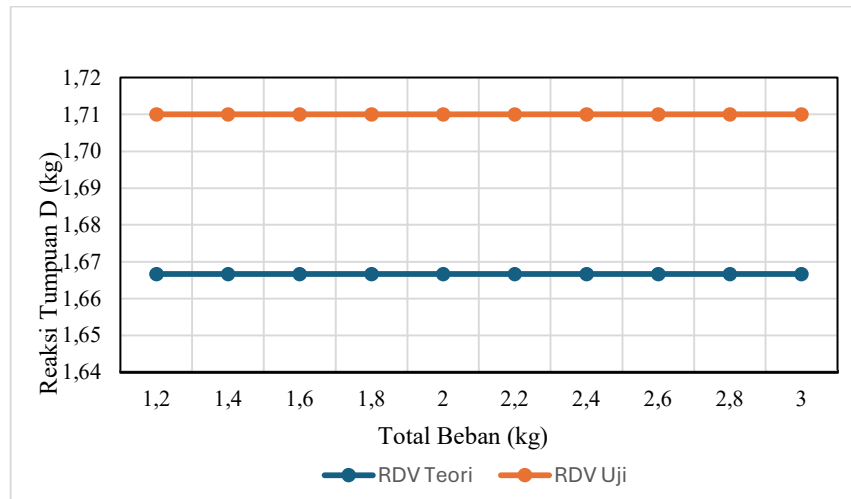
Grafik perbandingan reaksi tumpuan C dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan C Balok Menerus dengan Kantilever

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan pada reaksi tumpuan C menunjukkan adanya simpangan di setiap variasi beban. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

Grafik perbandingan reaksi tumpuan D dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5. 28 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan D Balok Menerus dengan Kantilever

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan pada reaksi tumpuan D menunjukkan adanya simpangan di setiap variasi beban. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

5.4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Satu Balok Anak

Dalam menghitung nilai perbandingan (nilai *error*) terdapat dua bagian yaitu perbandingan nilai sendi internal dan perbandingan nilai reaksi tumpuan yang dihasilkan. Perhitungan nilai *error* perbandingan hasil pengujian pada struktur balok menerus satu balok anak sebagai berikut.

1. Nilai *error* pada sendi internal (S) (beban total 3 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } error \text{ S} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | 0,4 - 0,404 | \\
 &= 0,004 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Nilai *error* sendi internal dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* sendi internal dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

2. Nilai *error* pada reaksi tumpuan (beban total 3 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } error \text{ RAV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | 0,4 - 0,4 | \\
 &= 0,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

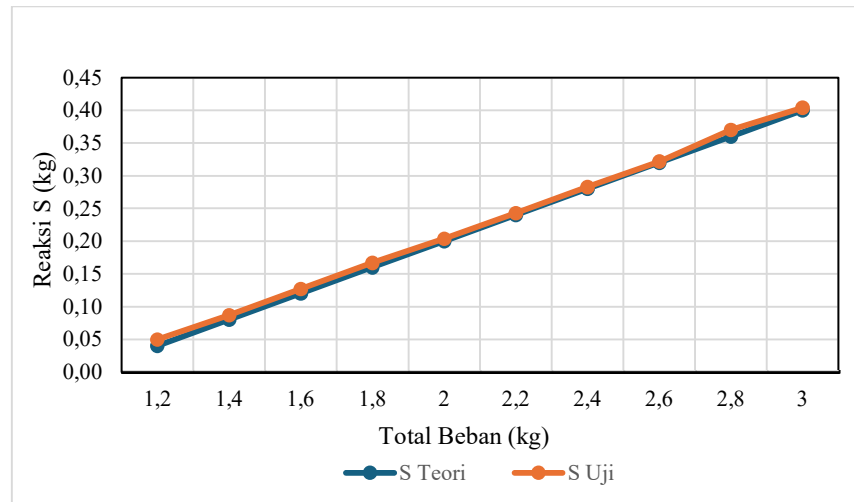
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } error \text{ RBV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | 1,5 - 1,465 | \\
 &= 0,035 \text{ kg} \\
 \text{Nilai } error \text{ RCV} &= | \text{Teori} - \text{Pengujian} | \\
 &= | 0,9 - 0,95 | \\
 &= 0,05 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Nilai *error* setiap tumpuan dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* setiap tumpuan dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Nilai *Error* Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Satu Balok Anak

No.	Sendi Internal S				Reaksi Tumpuan A				Reaksi Tumpuan B				Reaksi Tumpuan C			
	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil	Teori (kg)	Uji (kg)	Error $\pm 0,1$ (kg)	Hasil
1	0,400	0,404	0,004	OK	0,600	0,603	0,003	OK	1,500	1,465	0,035	OK	0,900	0,950	0,050	OK
2	0,360	0,370	0,010	OK	0,540	0,565	0,025	OK	1,375	1,340	0,035	OK	0,885	0,932	0,047	OK
3	0,320	0,322	0,002	OK	0,480	0,478	0,002	OK	1,250	1,219	0,031	OK	0,870	0,914	0,044	OK
4	0,280	0,283	0,003	OK	0,420	0,419	0,001	OK	1,125	1,100	0,025	OK	0,855	0,900	0,045	OK
5	0,240	0,243	0,003	OK	0,360	0,359	0,001	OK	1,000	0,976	0,024	OK	0,840	0,878	0,038	OK
6	0,200	0,204	0,004	OK	0,300	0,300	0,000	OK	0,875	0,850	0,025	OK	0,825	0,861	0,036	OK
7	0,160	0,167	0,007	OK	0,240	0,240	0,000	OK	0,750	0,729	0,021	OK	0,810	0,844	0,034	OK
8	0,120	0,127	0,007	OK	0,180	0,181	0,001	OK	0,625	0,607	0,018	OK	0,795	0,825	0,030	OK
9	0,080	0,087	0,007	OK	0,120	0,123	0,003	OK	0,500	0,483	0,017	OK	0,780	0,809	0,029	OK
10	0,040	0,050	0,010	OK	0,060	0,064	0,004	OK	0,375	0,361	0,014	OK	0,765	0,788	0,023	OK

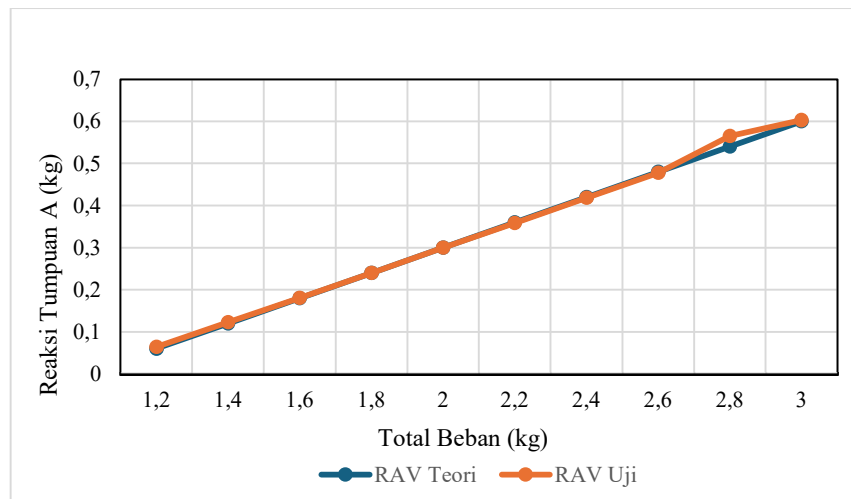
Grafik perbandingan reaksi sendi internal S dapat dilihat pada Gambar 5.29.



Gambar 5. 29 Grafik Perbandingan S Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan hasil pengujian dan nilai perhitungan teori pada sendi internal S struktur balok menerus dengan satu balok anak menunjukkan adanya simpangan di setiap variasi beban. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

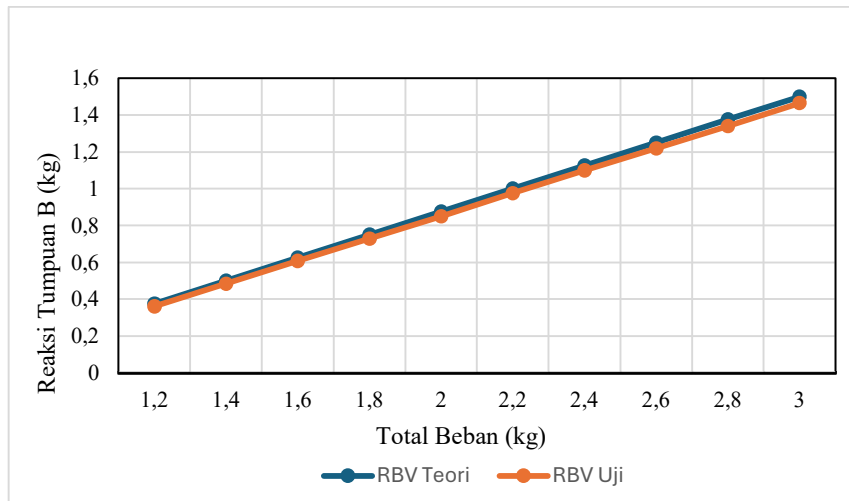
Grafik perbandingan reaksi tumpuan A dapat dilihat pada Gambar 5.30.



Gambar 5. 30 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan A Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

Grafik di atas menunjukkan bahwa terdapat simpangan antara hasil perhitungan teori dan pengujian pada total beban 2,8 kg. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

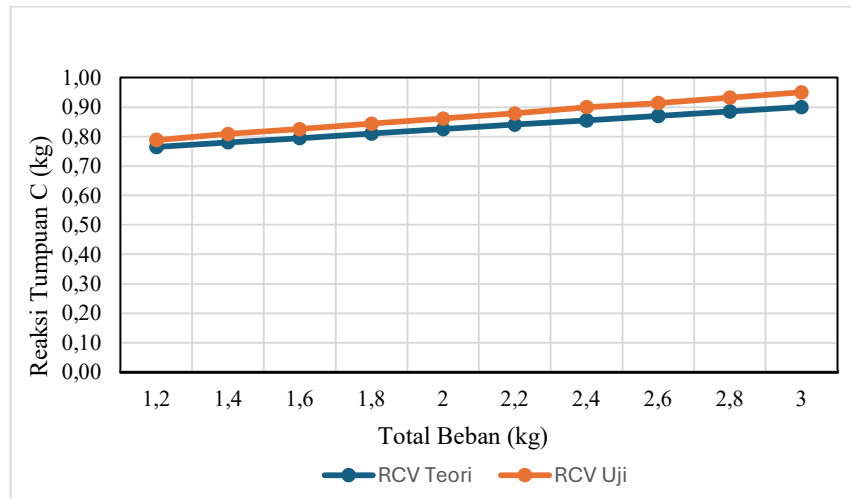
Grafik perbandingan reaksi tumpuan B dapat dilihat pada Gambar 5.31.



Gambar 5. 31 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan B Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan hasil pengujian dan nilai perhitungan teori pada tumpuan B menunjukkan adanya simpangan di setiap variasi beban. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

Grafik perbandingan reaksi tumpuan C dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5. 32 Grafik Perbandingan Reaksi Tumpuan C Balok Menerus dengan Satu Balok Anak

Berdasarkan grafik di atas, perbandingan hasil pengujian dan nilai perhitungan teori pada tumpuan C menunjukkan adanya simpangan di setiap variasi beban. Namun simpangan tersebut masih dalam batas nilai *error* yang ditetapkan.

5.5 Analisa Lanjutan Perbandingan Hasil Pengujian Alat Peraga

Hasil perbandingan antara pengujian dan perhitungan teoritis setiap reaksi kemudian dilakukan analisa lanjutan. Analisa lanjutan dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian dengan perhitungan teoritis dalam aspek keseluruhan struktur. Perbandingan yang dilakukan berfokus pada akumulasi reaksi yang dihasilkan hingga ditemukan nilai *error*.

5.5.1 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Dua Balok Anak

Dalam menghitung perbandingan hasil pengujian pada struktur balok menerus dua balok anak digunakan nilai total reaksi tumpuan yang dihasilkan ($\sum RV$). Nilai tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$\text{Nilai error } \sum RV = \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \quad (4.1)$$

Keterangan :

$\sum RV$ = total reaksi tumpuan

1. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 5 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error } \sum RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\
 &= \left| \frac{5 - 4,997}{5} \times 100\% \right| \\
 &= 0,06\%
 \end{aligned}$$

2. Nilai error pada sendi internal (beban total 4,8 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error } \sum RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\
 &= \left| \frac{4,8 - 4,797}{4,8} \times 100\% \right| \\
 &= 0,06\%
 \end{aligned}$$

3. Nilai error pada sendi internal (beban total 4,6 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error } \sum RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\
 &= \left| \frac{4,6 - 4,601}{4,6} \times 100\% \right| \\
 &= 0,02\%
 \end{aligned}$$

Nilai *error* $\sum RV$ dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* sendi internal dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5. 12 Nilai *Error* Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Dua Balok Anak

No.	$\sum P$ (kg)	Teori (kg)	Uji (kg)	Error (%)
1	5	5	4,997	0,06
2	4,8	4,8	4,797	0,06
3	4,6	4,6	4,601	0,02
4	4,4	4,4	4,402	0,05
5	4,2	4,2	4,209	0,21
6	4	4	4,004	0,10
7	3,8	3,8	3,809	0,24
8	3,6	3,6	3,617	0,47
9	3,4	3,4	3,41	0,29
10	3,2	3,2	3,215	0,47

Keterangan :

$\sum P$ = Total beban bekerja pada struktur (kg)

5.5.2 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Kantilever

Dalam menghitung perbandingan hasil pengujian pada struktur balok menerus kantilever digunakan nilai total reaksi tumpuan yang dihasilkan ($\sum RV$). Nilai tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.1.

1. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 4 kg)

$$\begin{aligned}\text{Nilai error } \sum RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengu}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\ &= \left| \frac{4 - 3,8}{4} \times 100\% \right| \\ &= 4,68\%\end{aligned}$$

2. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 3,8 kg)

$$\begin{aligned}\text{Nilai error } \sum RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\ &= \left| \frac{3,8 - 3,857}{3,8} \times 100\% \right| \\ &= 1,5\%\end{aligned}$$

3. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 3,6 kg)

$$\begin{aligned}\text{Nilai error } \sum RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\ &= \left| \frac{3,6 - 3,631}{3,6} \times 100\% \right| \\ &= 0,86\%\end{aligned}$$

Nilai *error* $\sum RV$ dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* sendi internal dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 13 Nilai Error Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Kantilever

No.	$\sum P$ (kg)	Teori (kg)	Uji (kg)	Error (%)
1	4	4,0	3,8	4,68
2	3,8	3,8	3,857	1,50
3	3,6	3,6	3,631	0,86
4	3,4	3,4	3,43	0,88

**Lanjutan Tabel 5.13 Nilai Error Reaksi Tumpuan Struktur Balok
dengan Kantilever**

No.	ΣP (kg)	Teori (kg)	Uji (kg)	Error (%)
5	3,2	3,2	3,231	0,97
6	3	3	3,031	1,03
7	2,8	2,8	2,834	1,21
8	2,6	2,6	2,625	0,96
9	2,4	2,4	2,437	1,54
10	2,2	2,2	2,779	26,32

Keterangan :

ΣP = Total beban bekerja pada struktur (kg)

5.5.3 Perbandingan Hasil Pengujian Struktur Balok Menerus Satu Balok Anak

Dalam menghitung perbandingan hasil pengujian pada struktur balok menerus satu balok anak digunakan nilai total reaksi tumpuan yang dihasilkan (ΣRV). Nilai tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.1.

1. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 3 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error } \Sigma RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\
 &= \left| \frac{3 - 3,018}{3} \times 100\% \right| \\
 &= 0,6\%
 \end{aligned}$$

2. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 2,8 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error } \Sigma RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\
 &= \left| \frac{2,8 - 2,837}{2,8} \times 100\% \right| \\
 &= 1,32\%
 \end{aligned}$$

3. Nilai *error* pada sendi internal (beban total 2,6 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai error } \Sigma RV &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengujian}}{\text{Teori}} \times 100\% \right| \\
 &= \left| \frac{2,6 - 2,611}{2,6} \times 100\% \right| \\
 &= 0,42\%
 \end{aligned}$$

Nilai *error* $\sum RV$ dihitung semua untuk setiap kombinasi beban. Hasil rekapitulasi nilai *error* sendi internal dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5. 14 Nilai *Error* Reaksi Tumpuan Struktur Balok dengan Satu Balok Anak

No.	$\sum P$ (kg)	Teori (kg)	Uji (kg)	Error (%)
1	3	3,000	3,018	0,60
2	2,8	2,8	2,837	1,32
3	2,6	2,6	2,611	0,42
4	2,4	2,4	2,419	0,79
5	2,2	2,2	2,213	0,59
6	2	2	2,011	0,55
7	1,8	1,8	1,813	0,72
8	1,6	1,6	1,613	0,81
9	1,4	1,4	1,415	1,07
10	1,2	1,200	1,213	1,08

Keterangan :

$\sum P$ = Total beban bekerja pada struktur (kg)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembuatan alat peraga struktur balok menerus (gerber), maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Alat peraga struktur balok menerus (gerber) dibuat menggunakan besi hollow. Struktur balok utama dan balok anak dibuat menggunakan besi hollow berukuran 40 x 60 mm dengan tebal 2 mm. Pada bagian balok utama terdapat rangkaian besi sebagai sendi internal. Ragum digunakan sebagai tumpuan balok yang kemudian diletakkan diatas timbangan digital. Terdapat meja alat peraga sebagai perletakan struktur balok menerus yang terbuat dari besi hollow berukuran 30x30 mm dengan tebal 2 mm. Meja alat peraga dibuat sebanyak empat buah dengan rincian dua buah untuk perletakkan balok utama dan dua buah untuk perletakkan balok anak.
2. Perbandingan hasil pengujian alat peraga dan perhitungan teori dilakukan dengan eksperimen tiga model sturktur. Model yang digunakan yaitu struktur balok menerus dengan dua balok anak, struktur balok menerus dengan kantilever, dan struktur balok menerus dengan satu balok anak. Dari eksperimen yang telah dilakukan, nilai yang dihasilkan alat peraga masih dalam batas toleransi $\pm 0,1$ kg. Namun, pada pengujian model struktur balok menerus dengan kantilever terdapat beberapa nilai yang tidak masuk dalam batas toleransi. Nilai tersebut adalah reaksi dari tumpuan yang bersinggungan dengan sendi internal. Dari hasil tersebut didapati bahwa alat peraga masih memiliki kelemahan dalam memodelkan struktur balok menerus dengan kantilever.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil pembuatan alat peraga struktur balok menerus (gerber), maka terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Penggunaan alat peraga dapat dilakukan dengan menaruh beban gantung diatas 0,5 kg dikarenakan semakin kecil beban yang bekerja pada struktur maka reaksi yang dihasilkan tidak begitu akurat.
2. Penyempurnaan alat peraga dapat dilakukan dengan menambah roda pada meja alat peraga agar mudah dalam melakukan mobilisasi alat. Selain itu dapat mengganti ragum dengan alat yang dapat merepresentasikan tumpuan sendi, rol ataupun jepit.
3. Pengembangan modul pembelajaran struktur balok menerus (gerber) yang memuat beberapa contoh kasus. Modul tersebut akan berguna bagi mahasiswa dalam memahami konsep struktur balok menerus.

DAFTAR PUSTAKA

- Boimau, I., Melli, R.N.K. dan Manuain, M.R. 2020. Rancang Bangun Alat Praktikum Viskometer Berbasis Arduino. *Wahana Fisika*. Vol.5 No.1:28-40. Soe.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1981. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Frick, H. 1978. *Mekanika Teknik 1 Statika dan Kegunaannya*. Kanisius. Semarang.
- Hibbeler, R.C. 1997. *Structural Analysis*. 3rd ed. Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- Mahir, N.N., Anisah. dan Iriani, T. 2023. Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana Pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik (Studi Kasus SMKN 26 Jakarta). *Prosiding Seminar Pendidikan Kejuruan Dan Teknik Sipil*. Vol.1. Jakarta.
- Nomleni, F.T. dan Manu, T.S.N. 2018. Pengembangan Media Audio Visual dan Alat Peraga dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Pemecahan Masalah. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*. Vol.8 No.3:219-230. Kupang.
- Pawirodikromo, W. 2020. *Analisis Struktur Statik Tertentu Metode Klasik*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Rahmani, Y., Hamdani, D. dan Risdianto, E. 2022. Pengembangan Alat Peraga Eksperimen Fisika Dasar I Pada Materi Viskositas Fluida. *Jurnal Ilmu Pembelajaran Fisika*. Bengkulu.
- Setiawan, A. 2015. *Analisis Struktur*. Erlangga. Jakarta.
- Satrijo, D. dan Fitrianto, F. 2017. Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur. *Rotasi*. Vol.19 No.2:68-71. Semarang.

Sukayati. 2009. *Pemanfaatan Alat Peraga matematika pembelajaran di SD*. Departemen Pendidikan Nasional Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Standar Operasional Prosedur

Standar Operasional Prosedur (SOP)

1. Tujuan

Memastikan alat peraga dapat digunakan dengan baik. Selain itu dengan mengikuti langkah pengujian sesuai prosedur, reaksi tumpuan yang dihasilkan alat peraga dapat akurat.

2. Ruang lingkup

SOP ini berlaku bagi mahasiswa, dosen, laboran ataupun pengguna yang menggunakan alat peraga struktur balok menerus.

3. Alat

- a. Balok utama dengan panjang 250 cm
- b. Balok anak berjumlah dua buah dengan panjang masing-masing 125 cm
- c. Ragum sebagai tumpuan
- d. Timbangan digital
- e. Penggantung beban
- f. Meja alat peraga
- g. Beban gantung
- h. *Waterpass*

4. Keselamatan kerja

- a. Pakailah alat pelindung diri (APD) seperti sarung tangan dan sepatu
- b. Pastikan tempat pengujian memiliki permukaan yang rata
- c. Gunakan beban sesuai kebutuhan dan kapasitas alat untuk mencegah kerusakan pada penggantung beban dan timbangan digital
- d. Pastikan perletakkan tumpuan balok dan timbangan berada pada titik tengah meja alat peraga untuk menghindari terjatuhnya struktur balok

5. Prosedur pengujian alat

- a. Letakkan meja alat peraga sesuai dengan jarak setiap tumpuan yang dibutuhkan saat pengujian. Pastikan meja untuk balok utama lebih rendah dibandingkan meja balok anak.
- b. Lakukan penyesuaian tinggi kaki meja jikalau tinggi meja dirasa tidak rata dengan memutar kaki meja.

- c. Letakkan timbangan digital di atas meja alat peraga.
 - d. Letakkan ragum di atas timbangan digital.
 - e. Pastikan perletakkan timbangan digital dan ragum sudah berada di titik tengah meja.
 - f. Letakkan balok utama diatas ragum, lalu letakkan timbangan digital diatas sendi internal balok utama.
 - g. Letakkan ragum diatas timbangan digital sendi internal.
 - h. Letakkan balok anak diatas ragum.
 - i. Lakukan kalibrasi alat peraga menggunakan *waterpass*. Pastikan gelembung *waterpass* sudah berada pada titik tengah untuk memastikan alat peraga sudah dalam keadaan rata. Jika alat peraga belum rata, lakukan penyesuaian pada meja alat peraga dengan memutar kaki-kaki meja hingga alat peraga sudah dalam keadaan rata.
 - j. Letakkan penggantung beban pada balok sesuai jarak yang diinginkan.
 - k. Hidupkan timbangan digital. Pastikan timbangan menunjukkan angka 0. Apabila timbangan tidak menunjukkan angka 0, klik tombol "*tare*" pada timbangan.
 - l. Lakukan pembebanan pada balok dengan menggantung beban pada penggantung beban
 - m. Lakukan pembacaan reaksi tumpuan yang dihasilkan pada sendi internal dan setiap tumpuan.
 - n. Lakukan pencatatan reaksi alat peraga pada form laporan sementara pengujian.
6. Lembar kerja analisa
- Lembar kerja analisa berupa laporan sementara pengujian dapat dilihat pada form dibawah ini.

Laporan Sementara Praktikum Struktur Balok Menerus (2024)

Balok Menerus (Gerber)

Kelompok :

Tanggal/Jam :

Anggota :

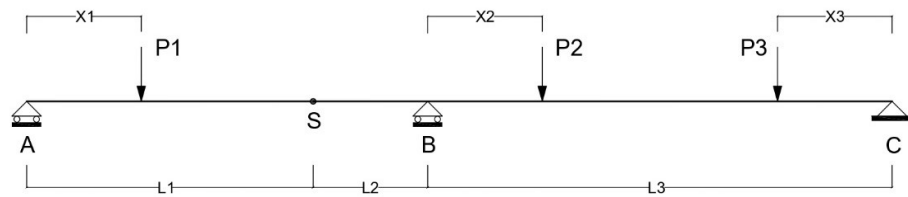
Percobaan A (balok menerus dengan satu balok anak)

Data Perletakkan:

L_1 (panjang perletakan-sendi) = (cm)

L_2 (panjang sendi-perletakan) = (cm)

L_3 (panjang balok utama) = (cm)



No.	P_1 (kg)	P_2 (kg)	P_3 (kg)	X_1 (cm)	X_2 (cm)	X_3 (cm)	S (cm)	RAV (kg)	RBV (kg)	RCV (kg)
1										
2										
3										
4										
5										

Keterangan: P = Beban yang bekerja pada struktur

X = Lengan beban terhadap tumpuan

RV = Reaksi tumpuan

Percobaan B (balok menerus dengan balok anak)

Data Perletakkan:

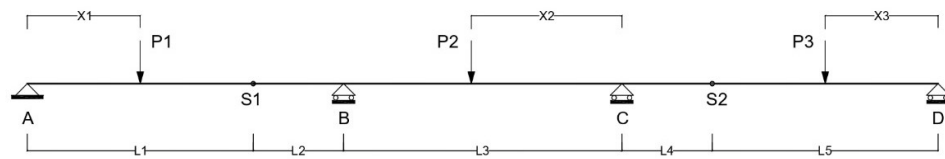
L_1 (panjang perletakan-sendir) = (cm)

L_2 (panjang sendir-perletakan) = (cm)

L_3 (panjang balok utama) = (cm)

L_4 (panjang perletakan-sendir) = (cm)

L_5 (panjang sendir-perletakan) = (cm)



No	P1	P2	P3	X1	X2	X3	S1	S2	RAV	RBV	RCV	RDV
.	(kg)	(kg)	(kg)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
1												
2												
3												
4												
5												

Keterangan: P = Beban yang bekerja pada struktur

X = Lengan beban terhadap tumpuan

RV = Reaksi tumpuan

Percobaan C (balok menerus dengan kantilever)

Data Perletakkan:

L_1 (panjang perletakan-sendi) = (cm)

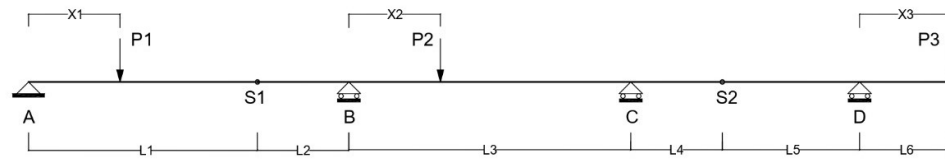
L_2 (panjang sendi-perletakan) = (cm)

L_3 (panjang balok utama) = (cm)

L_4 (panjang perletakan-sendi) = (cm)

L_5 (panjang sendi-perletakan) = (cm)

L_6 (panjang kantilever-perletakan) = (cm)



No	P1	P2	P3	X1	X2	X3	S1	S2	RAV	RBV	RCV	RDV
.	(kg)	(kg)	(kg)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
1												
2												
3												
4												
5												

Keterangan: P = Beban yang bekerja pada struktur

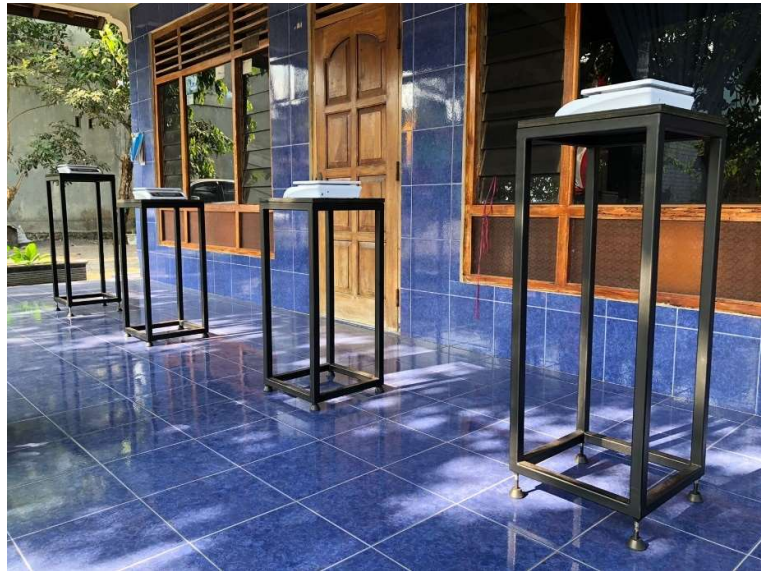
X = Lengan beban terhadap tumpuan

RV = Reaksi tumpuan

Lampiran 2 Langkah Pengujian Alat Peraga



Gambar L-2. 1 Letakkan Meja Alat Peraga Sesuai Dengan Jarak



Gambar L-2. 2 Letakkan Timbangan Di Atas Meja Alat Peraga



Gambar L-2. 3 Letakkan Ragum Di Atas Timbangan Digital



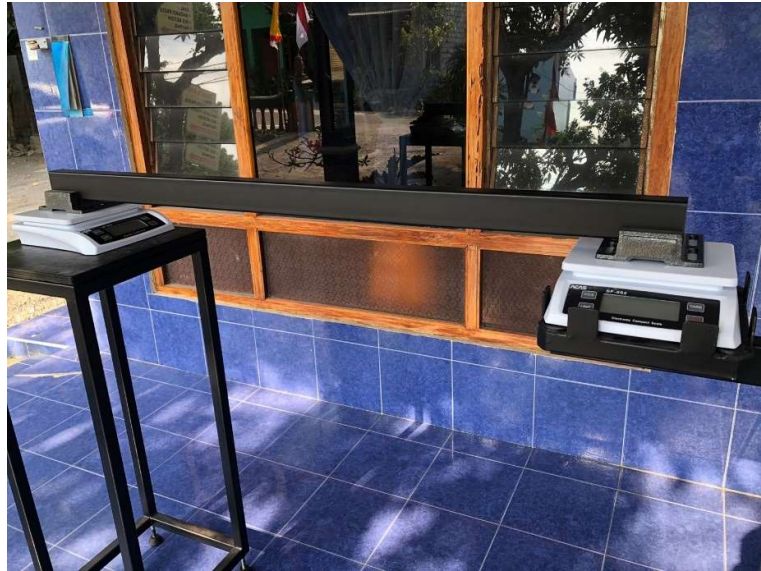
Gambar L-2. 4 Letakkan Balok Utama Di Atas Ragum



Gambar L-2. 5 Letakkan Timbangan Di Atas Sendi Internal



Gambar L-2. 6 Letakkan Ragum Di Atas Timbangan Digital



Gambar L-2. 7 Letakkan Balok Anak Di Atas Ragum



Gambar L-2. 8 Kalibrasi Alat Peraga Menggunakan *Waterpass*



Gambar L-2. 9 Letakkan Penggantung Beban Sesuai Jarak



Gambar L-2. 10 Hidupkan Timbangan, Klik Tombol “Tare” Pada Timbangan



Gambar L-2. 11 Letakkan Beban Gantung Pada Penggantung Beban



Gambar L-2. 12 Lakukan Pembacaan Reaksi Tumpuan Pada Timbangan