TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *PROTOTYPE* ALAT PERAGA STATIKA GARIS PENGARUH AKIBAT BEBAN BERJALAN (*DESIGN AND BUILD OF A STATIC PROTOTYPE FOR INFLUENCE LINE DUE TO MOVING LOADS*)

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

Bibit Santoso
20511194

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

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *PROTOTYPE* ALAT PERAGA STATIKA GARIS PENGARUH AKIBAT BEBAN BERJALAN (*DESIGN AND BUILD OF A STATIC PROTOTYPE FOR INFLUENCE LINE DUE TO MOVING LOADS*)

Disusun Oleh

Bibit Santoso
20511194

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

Diuji pada tanggal 28 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
6.9.24	04/9/2024	05/09 2024.
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng	**Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.**	**Jafar, S.T., M.T., MURP**
NIP: 165111301	**NIP: 185111304**	**NIP: 185111305**

Mengesahkan

Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

9/9/2024

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,



Bibit Santoso

20511194

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalaamiin, Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah atas segala limpahan rahmat, karunia, dan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Perancangan Dan Pembuatan Prototype Alat Peraga Statika Garis Pengaruh Akibat Beban Berjalan" dengan baik dan maksimal. Selawat dan salam selalu dicurahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang kita nantikan syafaatnya kelak di yaumul qiyamah. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, dan dorongan semangat dari berbagai pihak penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Islam Indoneisa, Yogyakarta.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membimbing, memberikan nasihat, saran dan dorongan dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesai.
3. Ibu Sujiati, Bapak Sukardi dan Wiji Rahayu, kedua orang tua serta adik penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tanpa henti selama masa studi penulis.
4. Bapak Sugeng selaku pemilik bengkel las Marwan Jaya yang telah membantu dalam penelitian penulis.
5. Muhammad Maulana Yusup Arifzi dan Dwi Yoga Pratama partner dalam penelitian ini yang selalu menjadi motivasi untuk dapat mengejar progres Tugas Akhir sampai selesai.
6. Seluruh teman teman Teknik Sipil yang sudah membantu dan memberikan dukungan terhadap saya selama proses penyusunan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saya memohon maaf dan berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya dan semua pembaca.

Yogyakarta, 28 Agustus 2024

Penulis,

Bibit Santoso

20511194

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiv
ABSTRAK xv
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 Masalah 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Tinjauan Umum 4
2.2 Kajian Penelitian Terdahulu 4
2.2.1 Alat Peraga Statika 4
2.2.2 Alat Peraga Struktur Balok Gaya Geser 6
2.2.3 Alat Peraga Konstruksi Balok Sederhana (Sendi Dan Rol) 7
2.2.4 Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana 9
2.3 Perbandingan Penelitian 10
BAB III LANDASAN TEORI 16
3.1 Alat Peraga 16
3.2 Statika 17
3.3 Jenis Beban Pada Konstruksi 18

3.4 Jenis Tumpuan 19
3.5 Persamaan Kesetimbangan 21
3.6 Garis Pengaruh 22
3.6.1 Garis Pengaruh Reaksi pada Balok Sederhana 22
3.6.2 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Balok Sederhana 25
3.6.3 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Balok Sederhana 27
3.6.4 Garis Pengaruh Reaksi pada Balok Sederhana dengan Kantilever 28
3.6.5 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Kantilever 30
3.6.6 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Kantilever 31
3.7 Beban Terpusat 33
3.8 Rangkaian Beban Terpusat 34
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 39
4.1 Umum 39
4.2 Lokasi Penelitian 39
4.3 Material dan Alat Penyusun Alat Peraga 39
4.4 Tahapan Penelitian 45
4.5 Diagram Alir Tahapan Penelitian 48
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 50
5.1 Model Perancangan 50
5.1.1 Perancangan Desain 3D Model 50
5.2 Pembuatan Alat Peraga 52
5.3 Pengujian Alat Peraga 55
5.4 Perbandingan Hasil Alat Peraga Garis Pengaruh dengan Perhitungan Teoritis 67
5.5 *Standard Operating Procedure* (SOP) Alat Peraga 78
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 90
6.1 Kesimpulan 90
6.2 Saran 90
DAFTAR PUSTAKA 91
LAMPIRAN 92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan 11
Tabel 4.1 Rekapitulasi Pengujian Garis Pengaruh Reaksi Tumpuan 47
Tabel 5.1 Rekapitulasi Garis Pengaruh Reaksi Hasil Pengujian Pada Balok Sederhana 57
Tabel 5.2 Rekapitulasi Reaksi Perhitungan Teori Pada Balok Sederhana 60
Tabel 5.3 Rekapitulasi Garis Pengaruh Reaksi Hasil Pengujian Pada Balok Sederhana dengan Kantilever 62
Tabel 5.4 Rekapitulasi Reaksi Perhitungan Teoritis Pada Balok Sederhana dengan Kantilever 66
Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Teoritis pada Balok Sederhana 68
Tabel 5.6 Perbandingan Nilai Reaksi Contoh Kasus Balok Sederhana 72
Tabel 5.7 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Teoritis Pada Balok Sederhana dengan Kantilever 74
Tabel 5.8 Perbandingan Nilai Reaksi Contoh Kasus Balok Sederhana dengan Kantilever 78
Tabel 5.9 Lembar Kerja Analisa Lanjutan pada Balok Sederhana 81
Tabel 5.10 Lembar Kerja Analisa Lanjutan Balok Sederhana dengan Kantilever pada Potongan Titik 5 86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil Alat Peraga (a) Dudukan Peraga; (b) Peraga Kabel Suspensi; (c) Keseimbangan Titik; (d) Keseimbangan Balok 5
Gambar 2.2 Percobaan 1 Perbandingan Beban dengan Gaya Geser 6
Gambar 2.3 Percobaan 2 Perbandingan Beban dengan Gaya Geser 7
Gambar 2.4 Alat Peraga Gaya Geser 7
Gambar 2.5 Hasil Alat Peraga 10
Gambar 3.1 Contoh Alat Peraga Garis Pengaruh 17
Gambar 3.2 Tumpuan Rol 19
Gambar 3.3 Tumpuan Sendi 20
Gambar 3.4 Tumpuan Jepit 20
Gambar 3.5 Perjanjian Tanda Gaya dan Momen 22
Gambar 3.6 Balok Tumpuan Sederhana dengan Beban P = 1 Satuan 23
Gambar 3.7 Garis Pengaruh Reaksi V_1 dan V_2 24
Gambar 3.8 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Titik 3 26
Gambar 3.9 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Titik 3 27
Gambar 3.10 Garis Pengaruh Reaksi pada Balok Sederhana dengan Kantilever 29
Gambar 3.11 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Kantilever 30
Gambar 3.12 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Kantilever 32
Gambar 3.13 Garis Pengaruh Reaksi V_1 Akibat Beban Terpusat 34
Gambar 3.14 Beban Berjalan Truk 500 kN 34
Gambar 3.15 Model Beban Terpusat Berangkai 35
Gambar 3.16 Balok dengan Tumpuan Sederhana 35
Gambar 3.17 Beban P_1 Berada Pada Titik 3 36
Gambar 3.18 Beban P_2 Berada Pada Titik 3 36
Gambar 3.19 Beban P_3 Berada Pada Titik 3 37
Gambar 3.20 Beban P_2 Berada Pada Titik 3 38
Gambar 3.21 Beban P_2 Bergeser Sedikit ke Arah Kiri dari Titik 3 38
Gambar 3.22 Beban P_2 Bergeser Sedikit ke Arah Kanan dari Titik 3 38

Gambar 4.1 Timbangan Digital 40
Gambar 4.2 *Hollow* 40x60x2 mm 40
Gambar 4.3 *Hollow* 30x30x2 mm 41
Gambar 4.4 Baut D12 mm 41
Gambar 4.5 *Loading Pin* 42
Gambar 4.6 Beban Gantung 42
Gambar 4.7 *Waterpass* 43
Gambar 4.8 *Adjustable* Kaki Sofa 43
Gambar 4.9 Roda Rem 44
Gambar 4.10 Gerinda 44
Gambar 4.11 Las Listrik 44
Gambar 4.12 Beban Satu Satuan 46
Gambar 4.13 Diagram Alir Penelitian 49
Gambar 5.1 Pemodelan 3D Alat Peraga Garis Pengaruh 50
Gambar 5.2 Detail Meja Alat Peraga 51
Gambar 5.3 Detail Tumpuan Alat Peraga 51
Gambar 5.4 Detail Balok dan Beban Alat Peraga 52
Gambar 5.5 Pembuatan Tumpuan Alat Peraga Garis Pengaruh 53
Gambar 5.6 Pembuatan Balok Alat Peraga Garis Pengaruh 53
Gambar 5.7 Pembuatan Meja Alat Peraga Garis Pengaruh 54
Gambar 5.8 Pembuatan Penggantung Beban 54
Gambar 5.9 Alat Peraga yang Sudah Dirakit 55
Gambar 5.10 Kalibrasi Alat Peraga 55
Gambar 5.11 Pengujian Garis Pengaruh Reaksi Pada Balok Sederhana 56
Gambar 5.12 Pembebanan Pada Bentang 0 cm 59
Gambar 5.13 Pembebanan Pada Bentang 10 cm 59
Gambar 5.14 Pembebanan Pada Bentang 20 cm 60
Gambar 5.15 Pengujian Reaksi Garis Pengaruh Pada Balok Sederhana dengan Kantilever 62
Gambar 5.16 Pembebanan Pada Titik 3 Sampai 1 64

Gambar 5.17 Pembebanan Pada Titik 1 Sampai 2 65
Gambar 5.18 Pembebanan Pada Titik 2 Sampai 4 65
Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Reaksi V_1 Pada Balok Sederhana (a) Reaksi V_1 teori; (b) Reaksi V_1 Pengujian 69
Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Reaksi V_2 Pada Balok Sederhana 70
Gambar 5.21 Grafik Garis Pengaruh Reaksi V_1 dan V_2 Pada Balok Sederhana 70
Gambar 5.22 Contoh Kasus Pembebanan Pada Balok Sederhana 71
Gambar 5.23 Pengujian pada Contoh Kasus Balok Sederhana (a) *Setting* alat pengujian; (b) Pembacaan Reaksi V_1; (c) Pembacaan Reaksi V_2 72
Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Reaksi V_1 Pada Balok Sederhana dengan Kantilever (a) Reaksi V_1 teori; (b) Reaksi V_1 Pengujian 75
Gambar 5.25 Grafik Perbandingan Reaksi V_1 Pada Balok Sederhana dengan Kantilever (a) Reaksi V_1 teori; (b) Reaksi V_1 Pengujian 75
Gambar 5.26 Grafik Garis Pengaruh Reaksi V_1 dan V_2 pada Balok Sederhana dengan Kantilever 76
Gambar 5.27 Contoh Kasus Pembebanan Pada Balok Sederhanan dengan Kantilever 77
Gambar 5.28 Pengujian pada Contoh Kasus Balok Sederhana dengan Kantilever (a) *Setting* alat pengujian; (b) Pembacaan Reaksi V_1; (c) Pembacaan Reaksi V_2 77
Gambar 5.29 Balok Sederhana 81
Gambar 5.30 Garis Pengaruh Gaya Geser Balok Sederhana pada Bentang 20 cm 82
Gambar 5.31 Garis Pengaruh Gaya Geser Balok Sederhana pada Bentang 100 cm 83
Gambar 5.32 Garis Pengaruh Momen Lentur Balok Sederhana pada Bentang 20 cm 84
Gambar 5.33 Garis Pengaruh Momen Lentur Balok Sederhana pada Bentang 100 cm 85
Gambar 5.34 Balok Sederhana dengan Kantilever 86

Gambar 5.35 Garis Pengaruh Gaya Geser Balok Sederhana dengan Kantilever pada Potongan Titik 5 87
Gambar 5.36 Garis Pengaruh Momen Lentur Balok Sederhana dengan Kantilever pada Titik 5 89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kerja Detail Engineering Drawing 93
Lampiran 2 Form Laporan Sementara Pengujian Alat Peraga Garis Pengaruh Pada Balok Sederhana 97
Lampiran 3 Form Laporan Sementara Pengujian Alat Peraga Garis Pengaruh Pada Balok Sederhana dengan Kantilever 100
Lampiran 4 Foto Pelaksanaan Pengujian Alat Peraga Garis Pengaruh Akibat Beban Berjalan 103

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ΣFH = Jumlah gaya dalam arah horizontal (kg)

ΣFV = Jumlah gaya dalam arah vertikal (kg)

ΣM = Jumlah momen gaya terhadap suatu titik (kg.cm)

V = Besar reaksi pada tumpuan yang ditinjau (kg)

V_1 = Besar reaksi V_1 (kg)

V_2 = Besar reaksi V_2 (kg)

P = Beban satu satuan (kg)

x = Jarak beban ketumpuan (cm)

L = Panjang bentang balok (cm)

Q = Gaya geser (kg)

M = Momen lentur (kg.cm)

ABSTRAK

Pemahaman mahasiswa terhadap pelajaran statika khususnya pada garis pengaruh diperlukan sebagai dasar dalam merancang bangunan sipil. Namun, konsep garis pengaruh biasanya susah dipahami oleh mahasiswa apabila hanya menggunakan teori dan gambar statis saja. Metode yang dapat digunakan untuk mempermudah mahasiswa dalam pembelajaran garis pengaruh adalah menggunakan demonstrasi alat peraga sebagai media belajar. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibuat alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan dan memvalidasi hasil pengujian dengan perhitungan teoritis.

Alat peraga garis pengaruh dibuat dari besi *hollow* 40x60x2 mm dan *hollow* 30x30x2 mm yang dirakit menjadi beberapa bagian diantaranya meja dengan dimensi 36x36x103 cm , tumpuan dengan dimensi 24x18x46,5 cm, dan balok utama mempunyai panjang 220 cm. Struktur yang dapat diperagakan oleh alat peraga adalah balok statis dengan sendi dan rol, terdapat dua model balok yang dapat diperagakan diantaranya adalah balok sederhana dan balok sederhana dengan kantilever.

Hasil pengujian reaksi V_1 dan V_2 pada model balok sederhana setelah divalidasi dengan $\Sigma V = 0$ mendapatkan selisih ketelitian pembacaan paling besar 0,005 kg untuk pembacaan presentase *error* antara hasil pengujian dan perhitungan teoritis mendapatkan hasil presentase *error* terbesar V_1 = 2% dan V_2 = 0,71% sedangkan pada model balok sederhana dengan kantilever mendapatkan selisih ketelitian pembacaan paling besar 0,004 kg untuk pembacaan presentase *error* antara hasil pengujian dan perhitungan teoritis mendapatkan hasil presentase *error* terbesar V_1 = 1,4 % dan V_2 = 2,8 %. Hasil pembacaan ketelitian alat peraga garis pengaruh menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dan masih dalam batas toleransi $\pm$ 0,05 kg.

Kata kunci : Statika, Alat Peraga, Garis Pengaruh

ABSTRACT

Students' understanding of statics lessons especially on influence line is needed as a basis for designing civil buildings. However, the concept of influence line is usually difficult to understand by students if they only use theory and static images. The method that can be used to facilitate students in learning the line of influence is to use demonstration props as learning media. Therefore, in this research, the influence line props due to moving load will be made and validate the test results with theoretical calculations.

The influence line props is made of 40x60 mm hollow iron and 30x30 mm hollow which is assembled into several parts including a table with dimensions 36x36x103 cm, a pedestal with dimensions 24x18x46.5 cm, and the main beam has a length 220 cm. The structure that can be demonstrated by the props is a static beam with joints and rollers, there are two beam models that can be demonstrated including a simple beam and a simple beam with a cantilever.

The test results of the V_1 and V_2 reactions on a simple beam model after being validated with $\Sigma V = 0$ get the biggest difference in reading accuracy of 0.005 kg for the reading of the percentage error between the test results and theoretical calculations get the biggest percentage error $V_1 = 2\%$ and $V_2 = 0.71\%$ while on a simple beam model with a cantilever get the biggest difference in reading accuracy of 0.004 kg for the reading of the percentage error between the test results and theoretical calculations get the biggest percentage error $V_1 = 1.4\%$ and $V_2 = 2.8\%$. The results of the reading of the accuracy of the influence line props show an insignificant difference and are still within the safe limit of + 0.05 kg,

***Keywords**: Statics, Props, Influence Line*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Frick (1978) statika adalah ilmu yang mempelajari tentang semua benda yang tetap atau statis dan juga dapat disebut ilmu keseimbangan gaya. Statika merupakan bagian dari ilmu mekanika teknik dimana di dalamnya terdapat konsep-konsep dasar yang berhubungan dengan keseimbangan dan garis pengaruh. Garis pengaruh memberikan gambaran tentang respon suatu struktur seperti reaksi, gaya geser, dan momen lentur yang berubah seiring dengan perpindahan beban berjalan.

Pemahaman mahasiswa mengenai statika khususnya pada garis pengaruh sangat penting sebagai dasar dalam merancang bangunan sipil. Akan tetapi, konsep ini biasanya susah dipahami oleh mahasiswa hanya dengan teori atau gambar-gambar statis saja sehingga terjadi kesenjangan pemahaman dan penguasaan mata pelajaran ini. Faktor penyebab kesulitan belajar menurut Kompri (2017) dipengaruhi dua faktor yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal dapat diatasi dengan memberikan dukungan tambahan untuk mahasiswa dengan cara memberi tutor, sesi bimbingan atau pengajaran individual. Kemudian solusi dari faktor eksternal dapat dilakukan dengan membuat strategi pembelajaran yang tepat dan optimal melalui pengelolaan kegiatan belajar yang dapat membangkitkan motivasi belajar. Maka diperlukan strategi belajar dengan cara membuat metode pembelajaran yang dapat mempermudah pemahaman mahasiswa dalam melakukan pembelajaran statika.

Metode yang dapat digunakan untuk mempermudah mahasiswa dalam pembelajaran statika adalah menggunakan demonstrasi alat peraga sebagai media belajar selama berada di dalam kelas. Menurut Mahir dkk (2023) sesuai dengan hasil penelitiannya setelah menggunakan alat peraga terjadi peningkatan hasil belajar peserta didik dari hasil rata-rata 44 menjadi 88 dan hasil penilaian alat peraga oleh peserta didik sebesar 89% dengan kategori sangat baik. Alat peraga dapat digunakan dalam pengajaran interaktif di mana mahasiswa dapat terlibat

langsung dalam penggunaan dan pemahaman konsep statika khususnya garis pengaruh. Dengan dibuatnya alat peraga, pembelajaran dapat menjadi lebih menarik bagi mahasiswa karena mereka dapat melakukan eksperimen dan observasi langsung terhadap perubahan yang terjadi pada garis pengaruh akibat beban berjalan.

Penelitian ini akan membahas mengenai pembuatan *prototype* dan standar operasional penggunaan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan dalam pembelajaran statika, kemudian hasil dari perhitungan teoritis akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada alat peraga. Hasil yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah *prototype* alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan, cara penggunaannya dan perbandingan nilai *error* antara perhitungan secara teoritis dengan alat peraga.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara menghasilkan dan menggunakan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan?
2. Bagaimana cara memvalidasi dan memastikan hasil yang diperoleh dari alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan sesuai dengan perhitungan teori?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan dan cara penggunaannya.
2. Mengetahui cara memvalidasi dan memastikan hasil yang diperoleh dari alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan sesuai dengan perhitungan teori yang digunakan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengembangkan media pembelajaran yang mudah dipahami oleh mahasiswa di dalam kelas, pengembangan alat peraga garis pengaruh berguna dalam memvisualisasikan konsep garis pengaruh akibat

beban berjalan. Alat peraga yang dibuat ini dapat menambah pemahaman mahasiswa, mempermudah eksperimen, meningkatkan kreativitas mahasiswa, dan mendukung pengembangan teknologi dalam bidang teknik sipil. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi dalam meningkatkan pemahaman, pembelajaran, dan pengembangan teknologi di bidang teknik sipil.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. *Prototype* yang dibuat adalah alat peraga untuk mengetahui garis pengaruh akibat beban berjalan.
2. Alat peraga hanya menghitung garis pengaruh reaksi akibat beban berjalan, untuk garis pengaruh gaya geser dan momen lentur dihitung dalam analisa lanjutan.
3. Beban yang digunakan adalah satu satuan yang didekati dengan satuan Newton, untuk beban yang dipakai dibatasi pada 100 Newton atau setara 10 kg.
4. Balok yang digunakan untuk garis pengaruh akibat berjalan sejajar atau rata tanpa kemiringan diukur dengan *waterpass*.
5. Alat peraga digunakan dalam pembelajaran dengan ukuran panjang maksimum 2,5 meter dan tinggi 2 meter.
6. Model balok yang dipakai adalah balok sederhana dan balok sederhana dengan kantilever.
7. Beban yang digunakan untuk mendapatkan garis pengaruh adalah beban P satu satuan, maka jenis beban yang diberikan untuk mencari garis pengaruh adalah beban titik.
8. Balok sederhana dengan kantilever maksimal dapat menahan beban maksimum 10 kg pada bentang sepanjang 60 cm.
9. Evaluasi hasil antara perhitungan secara teoritis dengan alat peraga dilakukan setelah alat peraga siap digunakan.
10. Perhitungan teoritis diesuaikan dengan teori yang digunakan.

11. Selisih pembacaan kontrol reaksi V_1 dan V_2 hasil pengujian dibatasi $\pm$ 0,05 kg
12. Pada pembuatan *prototype* ini modulus elastisitas dan inersia balok diabaikan, untuk menyederhanakan analisis yang dilakukan dan memfokuskan pada hasil visualisasi alat peraga garis pengaruh.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka adalah ringkasan yang komprehensif dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan relevan dengan penelitian yang dilakukan sekarang. Tujuan adanya tinjauan pustaka adalah untuk memberikan gambaran mengenai perbedaan rencana penelitian dengan penelitian yang sebelumnya, sehingga dapat diketahui perbedaannya dan kemudian dijadikan bahan pembahasan dan kesimpulan yang berkelanjutan. Selain itu, tinjauan terhadap penelitian terdahulu dapat dijadikan sebagai dasar acuan dalam melakukan penelitian, sehingga penelitian yang dilakukan lebih terarah dan memiliki dasar serta dapat dijadikan salah satu indikator kualitas penelitian. Dalam bab ini akan menjelaskan secara singkat beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan alat peraga untuk memberikan perbedaan dari penelitian yang dilakukan sekarang dengan penelitian yang terdahulu.

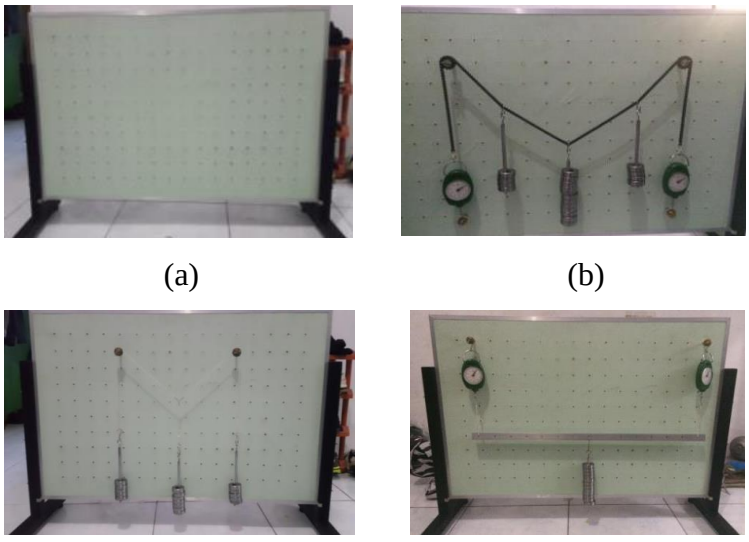
2.2 Kajian Penelitian Terdahulu

Pada sub bab kali ini, peneliti menyediakan beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya sebagai referensi untuk merancang dan membuat *prototype* serta sebagai perbandingan efektivitas pembelajaran secara konvensional di kelas dengan metode pembelajaran menggunakan alat peraga.

2.2.1 Alat Peraga Statika

Satrijo dkk. (2017) dalam penelitian "Pengaruh Penggunaan Alat Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur" menjelaskan pengaruh penggunaan alat peraga statika terhadap tingkat pemahaman mahasiswa saat pembelajaran dalam kelas pada mata kuliah mekanika statika struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penerapan media pembelajaran alat peraga dalam meningkatkan perolehan nilai mahasiswa pada mata kuliah mekanika struktur. Penelitian ini menggunakan metodologi penelitian

eksperimental (*One Group PreTest PostTest Design*) dengan pembelajaran yang dilakukan tiga kali replikasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa prestasi belajar kelompok mahasiswa yang memakai alat peraga sederhana statika pada kelas yang dijadikan sebagai percobaan lebih baik daripada kelas kontrol yang tidak memakai alat peraga sederhana statika. Dibuktikan dengan nilai *posttest* rata-rata mahasiswa kelas kontrol adalah 70 dan untuk kelas percobaan 1, 2 dan 3 berturut-turut mendapatkan nilai rata-rata sebanyak 87, 77, 88. Berdasarkan hasil angket respon mahasiswa pada pembelajaran dengan menggunakan alat peraga sederhana statika sebesar 80% siswa setuju dengan penggunaan alat peraga sederhana statika penyampaian materi lebih jelas, dan terdapat 80% mahasiswa yang menyatakan bahwa mereka lebih menyukai dan antusias untuk mengikuti pembelajaran menggunakan alat peraga sederhana statika. Maka dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penerapan media pembelajaran alat peraga sederhana statika dapat membuat pembelajaran di dalam kelas tidak pasif saja, melainkan dapat membuat suasana kelas menjadi lebih aktif dan dapat juga mempengaruhi prestasi belajar mahasiswa. Alat peraga statika yang dibuat dapat dilihat sebagai berikut.



(a) (b)

(c) (d)

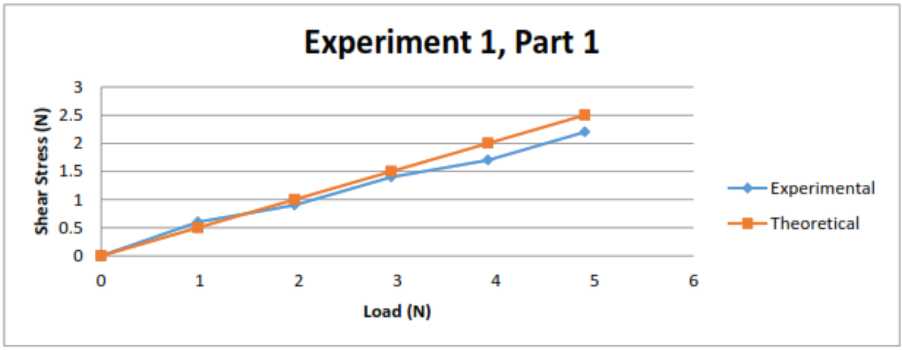
Gambar 2.1 Hasil Alat Peraga (a) Dudukan Peraga; (b) Peraga Kabel Suspensi; (c) Keseimbangan Titik; (d) Keseimbangan Balok

(Sumber : Satrijo dkk, 2017)

2.2.2 Alat Peraga Struktur Balok Gaya Geser

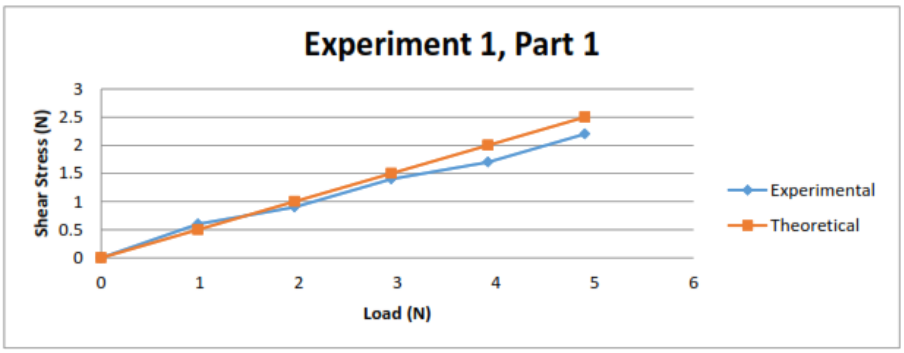
Siron dkk, (2017) dalam penelitiannya "Alat Peraga Gaya Geser pada Balok" melakukan penelitian mengenai pentingnya alat peraga sebagai sarana dalam memvisualisasikan gaya gaya yang bekerja pada suatu struktur, seperti gaya geser. Terdapat dua bagian dalam eksperimen ini. Bagian pertama mengamati bagaimana gaya geser bervariasi dengan peningkatan beban titik. Bagian kedua mengukur variasi gaya geser pada posisi potongan balok di berbagai kondisi pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya geser meningkat seiring dengan penambahan beban, yang menunjukkan hubungan linear antara beban dan gaya geser. Metode penelitian digunakan dengan dua bagian penelitian yang berbeda. Bagian pertama fokus pada peningkatan beban titik, sementara bagian kedua memusatkan perhatian pada gaya geser pada posisi pemotongan balok.

Pada bagian pertama, data menunjukkan persentase kesalahan yang kecil antara nilai eksperimental dan teoritis, meskipun ada beberapa deviasi yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti sensitivitas peralatan dan kesalahan pengukuran. Hasil grafik percobaan 1 perbandingan beban dengan gaya geser dapat dilihat pada Gambar 2.2.



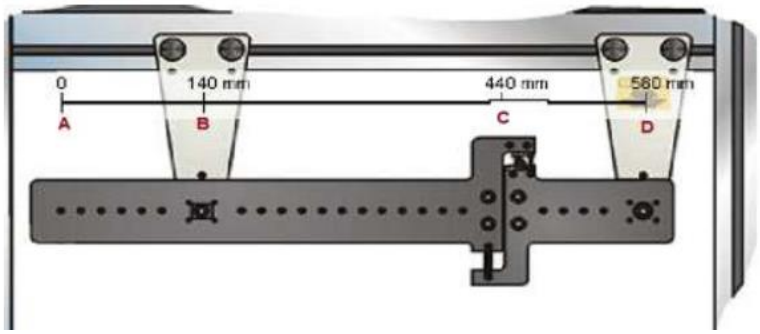
Gambar 2.2 Percobaan 1 Perbandingan Beban dengan Gaya Geser
(Sumber : Siron dkk, 2017)

Bagian kedua, hasilnya menunjukkan perbedaan kecil antara nilai eksperimental dan teoritis, yang disebabkan oleh ketidakstabilan massa saat pengukuran dan sensitivitas alat ukur. Hasil grafik percobaan 2 perbandingan beban dengan gaya geser dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Percobaan 2 Perbandingan Beban dengan Gaya Geser
(Sumber : Siron dkk, 2017)

Penelitian ini membuktikan bahwa gaya geser pada balok dapat diukur dengan akurasi tinggi menggunakan metode yang digunakan, meskipun perlu adanya pengulangan dan kalibrasi untuk mengurangi kesalahan. Kesalahan yang terjadi sebagian besar disebabkan oleh sensitivitas peralatan dan kondisi eksperimental yang tidak stabil. Alat peraga yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.4 Alat Peraga Gaya Geser
(Sumber : Siron dkk, 2017)

2.2.3 Alat Peraga Konstruksi Balok Sederhana (Sendi Dan Rol)

Purwanto (2018) dalam penelitiannya "Penerapan Media Pembelajaran Alat Peraga Dengan Pembelajaran Tandur Pada Kompetensi Dasar Menganalisis Konstruksi Balok Sederhana (Sendi Dan Rol) Pada Kelas Tkbb Di Smk Negeri 2 Bojonegoro" menerangkan berdasarkan survey yang dilakukan melalui wawancara terhadap guru mata pelajaran mekanika teknik dan pembagian angket menunjukkan bahwa mekanika teknik merupakan mata pelajaran yang sulit di pahami oleh siswa karena mata pelajaran tersebut bersifat abstrak, selain itu ketuntasan belajar siswa di bawah KKM. Cara yang digunakan untuk menangani masalah tersebut ialah

dengan membuat media ajar alat peraga dan pembelajaran TANDUR (Tumbuhkan, Alami, Namai, Demonstrasikan, Ulangi, dan Rayakan) yang mudah dipahami oleh siswa untuk meningkatkan prestasi nilai belajar siswa yang dijadikan sebagai contoh. Penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah untuk mengetahui kelayakan media pembelajaran yang sudah dibuat, mengevaluasi keterlaksanaan pembelajaran menggunakan alat peraga, hasil respon siswa terhadap media pembelajaran yang baru, dan mengetahui hasil belajar siswa melalui soal *posttest* yang diberikan. Metode penelitian ini adalah penelitian (R&D), yaitu *Research and Development*. Metode ini merupakan penelitian yang dipakai untuk membuat suatu produk, dan untuk mengetahui efektifitas produk yang telah dibuat. Terdapat beberapa tahapan yang dipakai saat penelitian ini diantaranya adalah mencari potensi dan masalah yang akan diangkat, kemudian melakukan pengumpulan data, setelah itu melakukan desain perancangan alat peraga, kemudian memvalidasi desain perancangan produk, setelah itu melakukan revisi desain perancangan produk dan terakhir melakukan pengujian produk. Untuk melakukan pengumpulan data digunakan angket, observasi, kuesioner dan tes. Penelitian ini menggunakan subjek siswa berjumlah 61, kelas X TKBB SMKN 2 Bojonegoro dan analisis yang digunakan dalam pembelajaran mekanika teknik meliputi Silabus, RPP, dan penggunaan media pembelajaran. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yang pertama adalah hasil validasi yang digunakan untuk mengetahui kualitas media pembelajaran dan minat siswa terhadap alat peraga, untuk hasil analisis didapatkan presentase sebesar 93,33% dan dikategorikan sangat baik, presentase ini menunjukkan bahwa media pembelajaran yang digunakan berperan besar dalam membuat kondisi belajar yang baru terhadap siswa, yang kedua hasil setelah dilakukan pembelajaran untuk pertemuan ke 1, 2 dan 3 diperoleh 77,65%, 79,22% dan 83,14% yang dapat dimasukkan dalam kategori baik, yang ketiga hasil dari presentase respon siswa adalah 89,31% yang dapat diartikan respon dari siswa yang mengikuti pembelajaran sangat baik, yang keempat terdapat peningkatan nilai belajar siswa setelah dilakukan pembelajaran untuk pertemuan ke 1, 2 dan 3 diperoleh 81,97 %, 88,52% dan 75,41%, dari presentase yang didapat bahwa lebih dari 75% siswa yang menggunakan media pembelajaran alat peraga

tuntas. Hasil setelah dilakukan penelitian dapat disimpulkan untuk penggunaan alat peraga dapat memberikan peningkatan pemahaman konsep dari siswa ditunjukkan dengan hasil validasi, terlaksananya pembelajaran menggunakan alat peraga, respon baik siswa terhadap pembelajaran menggunakan media alat peraga dan tercapaimya peningkatan presentase hasil belajar siswa setelah dilakukan *posttest* lebih dari 75%.

2.2.4 Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana

Mahir dkk. (2023) dalam penelitian "Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana Pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik (Studi Kasus SMKN 26 Jakarta)" penulis menjelaskan penelitian ini dilakukan pada SMKN 26 Jakarta di mana salah satu pelajaran dasar yang harus ditempuh oleh siswanya adalah mekanika teknik, namun peserta didik dalam pembelajaran seringkali ditemui pasif dan ini berefek pada hasil belajar berdasarkan penilaian harian pada materi macam-macam gaya, di mana hasil yang didapatkan yaitu 50 % dari pelajar yang berada di kelas X KGSP 1 dan 30 % dari kelas X KGSP 2 tidak memenuhi nilai minimum yang ditetapkan yaitu sebesar 80. Maka dari itu pengajar perlu menciptakan suasana pembelajaran yang aktif dan menyenangkan dapat dilakukan dengan penggunaan alat peraga sebagai pendukung sumber belajar. Penelitian ini memiliki tujuan mengembangkan media belajar untuk peserta didik dengan membuat alat peraga reaksi dengan perletakan sederhana pada mata pelajaran mekanika teknik di SMKN 26 Jakarta. Dalam penelitian ini metode yang dipakai adalah penelitian pengembangan dengan model ADDIE, tahap pengembangan metode ini yaitu *Analyze, Design, Development, Implementation,* dan *Evaluation.* Metode ini memiliki keunggulan di mana terdapat langkah yang sistematis dan saling berhubungan dengan langka sebelumnya. Alat peraga yang dikembangkan berupa kotak dengan dua buah timbangan gantung yang dipasangkan pada sebuah *railing* yang dapat dipindahkan menyesuaikan dengan jaraknya. Timbangan tersebut digantungkan balok yang diberi beban pada titik tertentu, sehingga dapat menampilkan angka kesetimbangan dari beban tersebut yang diasumsikan sebagai hasil reaksi perletakan searah gaya normal. Hasil yang diperoleh dalam pembuatan alat peraga ini adalah dapatnya dilakukan simulasi

konsep reaksi perletakan ke contoh nyata melalui alat peraga yang telah dibuat, dengan hasil keakuratan sebesar 99% seperti pada perhitungan konsep, maka dapat dikatakan alat peraga yang dikembangkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran dalam memvisualisasikan, menjelaskan, dan memberi contoh reaksi perletakan. Setelah peneliti melakukan uji coba terbatas pada kelas XI KGSP 1 SMKN 26 Jakarta, terlihat hasil peningkatan hasil belajar peserta didik dengan nilai rata-rata sebesar 88 lebih besar dibanding nilai rata-rata yang sebelumnya 44, dan hasil penilaian alat peraga oleh peserta didik sebesar 89% dengan kategori sangat baik. Adapun alat peraga yang dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 sebagai berikut.



Gambar 2.5 Hasil Alat Peraga
(Sumber : Mahir dkk, 2023)

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbandingan penelitian terdahulu disajikan dalam Tabel 2.1 yang dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	**Penelitiaan Terdahulu**				**Penelitian Sekarang**
Peneliti	**Satrijo dkk. (2017)**	**Siron dkk, (2017)**	**Purwanto (2018)**	**Mahir dkk. (2023)**	**Santoso (2024)**
Judul Penelitian	Pengaruh Penggunaan Alat Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa Pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur	Alat Peraga Gaya Geser pada Balok	Penerapan Media Pembelajaran Alat Peraga Dengan Pembelajaran Tandur Pada Kompetensi Dasar Menganalisis Konstruksi Balok Sederhana (Sendi dan Rol) Pada Kelas TKBB Di SMK Negeri 2 Bojonegoro	Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga Reaksi Perletakan Sederhana Pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik (Studi Kasus SMKN 26 Jakarta)	Perancangan Dan Pembuatan *Protype* Alat Peraga Statika Garis Pengaruh Akibat Beban Berjalan
Jenis Alat Peraga	Alat peraga statika	Alat peraga gaya geser	Alat peraga konstruksi balok sederhana (sendi dan rol)	Alat peraga reaksi perletakan sederhana	Alat peraga garis pengaruh

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	**Penelitiaan Terdahulu**				**Penelitian Sekarang**
Peneliti	**Satrijo dkk. (2017)**	**Siron dkk, (2017)**	**Purwanto (2018)**	**Mahir dkk. (2023)**	**Santoso (2024)**
Tujuan Penelitian	Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penerapan media pembelajaran alat peraga dalam meningkatkan perolehan nilai mahasiswa pada mata kuliah mekanika struktur.	Mengamati perubahan gaya geser seiring dengan peningkatan beban titik pada balok, mengeksplorasi variasi gaya geser pada posisi pemotongan balok dengan berbagai kondisi beban dan memahami bagaimana struktur merespons beban sebagai tujuan mendalam penelitian.	Penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah untuk mengetahui kelayakan media pembelajaran yang sudah dibuat, mengevaluasi keterlaksanaan pembelajaran menggunakan alat peraga, hasil respon siswa terhadap media pembelajaran yang baru, dan mengetahui hasil belajar siswa melalui soal *posttest*.	Penelitian ini memiliki tujuan mengembangkan media belajar untuk peserta didik dengan membuat alat peraga reaksi dengan perletakan sederhana pada mata pelajaran mekanika teknik di SMKN 26 Jakarta	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui cara merancang, membuat, melakukan kalibrasi, menggunakan, dan memvalidasi hasil alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	**Penelitiaan Terdahulu**				**Penelitian Sekarang**
Peneliti	**Satrijo dkk. (2017)**	**Siron dkk, (2017)**	**Purwanto (2018)**	**Mahir dkk. (2023)**	**Santoso (2024)**
Metode	Metodologi penelitian yang digunakan merupakan metode penelitian eksperimental (*One Group PreTest PostTest Design*) dengan pembelajaran yang dilakukan tiga kali replikasi.	Metode penelitian digunakan dengan dua bagian penelitian yang berbeda. Bagian pertama fokus pada peningkatan beban titik, sementara bagian kedua memusatkan perhatian pada gaya geser pada posisi pemotongan balok.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian (R&D), yaitu *Research and Development.*	Metode yang dipakai adalah penelitian pengembangan dengan model ADDIE, tahap pengembangan metode ini yaitu *Analyze, Design, Development, Implementation,* dan *Evaluation.*	Alat peraga garis pengaruh dibuat dari besi hollow 40x60x2 mm dan hollow 30x30x2 mm yang dirakit menjadi beberapa bagian diantaranya meja dengan dimensi 36x36x103 cm , tumpuan dengan dimensi 24x18x46,5 cm, dan balok utama mempunyai panjang 220 cm. Struktur yang dapat diperagakan oleh alat peraga adalah balok statis dengan sendi dan rol, terdapat dua model balok yang dapat diperagakan diantaranya adalah balok sederhana dan balok sederhana dengan kantilever.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	**Penelitiaan Terdahulu**				**Penelitian Sekarang**
Peneliti	**Satrijo dkk. (2017)**	**Siron dkk, (2017)**	**Purwanto (2018)**	**Mahir dkk. (2023)**	**Santoso (2024)**
Hasil	Berdasarkan hasil angket respon mahasiswa pada pembelajaran dengan menggunakan alat peraga sederhana statika sebesar 80% siswa setuju dengan penggunaan alat peraga sederhana statika penyampaian materi lebih jelas, dan terdapat 80% mahasiswa yang	Penelitian ini membuktikan bahwa gaya geser pada balok dapat diukur dengan akurasi tinggi menggunakan metode yang digunakan, meskipun perlu adanya pengulangan dan kalibrasi untuk mengurangi kesalahan. Kesalahan yang terjadi sebagian besar disebabkan oleh	Hasil setelah dilakukan penelitian dapat disimpulkan untuk penggunaan alat peraga dapat memberikan peningkatan pemahaman konsep dari siswa ditunjukkan dengan hasil validasi, terlaksananya pembelajaran menggunakan alat peraga, respon baik siswa terhadap pembelajaran menggunakan media alat peraga dan	Setelah peneliti melakukan uji coba terbatas pada kelas XI KGSP 1 SMKN 26 Jakarta, terlihat hasil peningkatan hasil belajar peserta didik dengan nilai rata-rata sebesar 88 lebih besar dibanding nilai rata-rata yang sebelumnya 44, dan hasil penilaian alat peraga oleh peserta didik sebesar 89% dengan kategori sangat baik.	Hasil pengujian reaksi V_1 dan V_2 pada model balok sederhana setelah divalidasi dengan $\Sigma V = 0$ selisih ketelitian pembacaan terbesar 0,005 kg untuk pembacaan presentase *error* antara hasil pengujian dan perhitungan teoritis mendapatkan hasil presentase *error* terbesar V_1 = 2% dan V_2 = 0,71% sedangkan pada model balok sederhana dengan kantilever selisih ketelitian pembacaan terbesar 0,004 kg untuk pembacaan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	**Penelitiaan Terdahulu**				**Penelitian Sekarang**
Peneliti	**Satrijo dkk. (2017)**	**Siron dkk, (2017)**	**Purwanto (2018)**	**Mahir dkk. (2023)**	**Santoso (2024)**
Hasil	menyatakan bahwa mereka lebih menyukai dan antusias untuk mengikuti pembelajaran menggunakan alat peraga sederhana statika.	sensitivitas peralatan dan kondisi eksperimental yang tidak stabil.	tercapaimya peningkatan presentase hasil belajar siswa setelah dilakukan *posttest* lebih dari 75%.		presentase *error* antara hasil pengujian dan perhitungan teoritis mendapatkan hasil presentase *error* terbesar V_1 = 1,4 % dan V_2 = 2,8 %. Hasil pembacaan ketelitian alat peraga garis pengaruh menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dan masih dalam batas toleransi + 0,05 kg.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Alat Peraga

Alat peraga adalah alat atau objek yang digunakan untuk membantu dalam proses penyampaian informasi selama pembelajaran di kelas, yang bertujuan untuk memfasilitasi proses pembelajaran dengan cara yang lebih efektif, menarik, dan interaktif. Dalam pendidikan, alat peraga bisa menjadi kunci untuk membantu siswa memahami konsep-konsep yang sulit atau abstrak dengan lebih mudah, serta untuk membuat pembelajaran menjadi lebih menarik dan berkesan.

Menurut Iswadji (2003) alat peraga adalah seperangkat benda kongkret yang dirancang, dibuat atau disusun secara sengaja yang digunakan untuk membantu menanamkan atau mengembangkan konsep-konsep prinsip pembelajaran. Sejalan dengan Ruseffendi (1994) yang memberikan definisi alat peraga, yaitu alat untuk menerangkan atau mewujudkan konsep pembelajaran.

Menurut Anas (2014) Alat peraga dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu alat peraga jadi dan alat peraga buatan sendiri. Alat peraga jadi yaitu alat peraga yang dibuat oleh suatu perusahaan yang dapat dibeli oleh sekolah, mahiswa atau pengajar dapat langsung menggunakannya. Sedangkan alat peraga buatan sendiri adalah alat peraga yang dibuat sendiri oleh mahasiswa atau pengajar. Fungsi utama dari alat peraga adalah untuk menurunkan keabstrakan dari konsep, agar siswa mampu menangkap arti sebenarnya konsep yang disampaikan.

Ada beberapa kelebihan yang didapatkan dalam penggunaan alat peraga dalam pengajaran antara lain yaitu :

1. Menumbuhkan minat belajar siswa dikarenakan pembelajaran di dalam kelas menjadi lebih menarik.
2. Memperjelas makna bahan pelajaran sehingga siswa lebih mudah dalam memahaminya.
3. Metode mengajar akan lebih bervariasi sehingga siswa tidak akan mudah bosan.

4. Membuat lebih aktif melakukan kegiatan belajar seperti mengamati, melakukan dan mendemonstrasikan dan sebagainya.

Darhim (1986) menyatakan bahwa alat peraga yang digunakan harus memiliki sifat sebagai berikut:

1. Tahan lama (terbuat dari bahan yang cukup kuat)
2. Bentuk dan warnanya menarik
3. Sederhana dan mudah dikelola (tidak rumit)
4. Ukurannya sesuai (seimbang) dengan ukuran fisik anak
5. Dapat mengkaji konsep matematis (tidak mempersulit pemahaman)
6. Sesuai dengan konsep pembelajaran
7. Dapat memperjelas konsep (tidak mempersulit pemahaman)
8. Peragaan itu supaya menjadi dasar bagi tumbuhnya konsep berpikir yang abstrak bagi siswa

Contoh alat peraga garis pengaruh tersedia dalam brosur toko Labora Teknika Saintifika, alat peraga dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah.



Gambar 3.1 Contoh Alat Peraga Garis Pengaruh
(Sumber : *https://labts.co.id/product/influence-line-apparatus/*)

3.2 Statika

Menurut Frick (1978) statika adalah ilmu yang mempelajari tentang semua benda yang tetap atau statis atau juga dapat disebut ilmu keseimbangan gaya. Dalam ilmu dinamika diterangkan semua yang bergerak, sedangkan dalam ilmu statika semua yang tidak bergerak (atau yang tidak akan bergerak). Kedua bagian itu mempunnyai dua persamaan, yaitu gaya-gaya dan pergerakan. Hanya dalam ilmu

statika ada ketentuan khusus mengenai pergerakan ini, yaitu pergerakan v = 0. lni berarti, bahwa dalam ilmu statika kita hanya bekerja dengan gaya-gaya yang tidak bergerak, dengan keadaan pergerakan sama dengan nol. lni baru terjadi, bila semua gaya yang membebani suatu benda dan gaya-gaya pada tangkai pengungkit (dengan jarak antara gaya dan benda = momen) saling menutupi, sehingga semua gaya seimbang. Statika merupakan bagian dari ilmu mekanika teknik dimana di dalamnya terdapat konsep-konsep dasar yang berhubungan dengan keseimbangan.

Menurut sorau (2015) statika adalah ilmu mekanika yang berhubungan dengan gaya yang bersifat diam (statis) dan berpindah-pindah atau bergerak (dinamis). Untuk mempelajari hal ini maka dikenal ilmu statika yang membahas semua benda yang tidak bergerak atau statis dan ilmu dinamika yang membahas mengenai semua benda yang bergerak.

3.3 Jenis Beban Pada Konstruksi

Menurut sorau (2015) beban pada konstruksi, baik untuk konstruksi batang ataupun konstruksi rangka batang dibedakan berdasarkan beban tetap, yang selalu ada atau melekat pada struktur dan beban bergerak atau berubah di mana tidak selalu ada dan dapat berubah sewaktu waktu beban yang diterima. Berikut adalah penjelasan dua beban yang sudah disebutkan.

1. Beban Tetap (Mati)

   Beban tetap atau beban mati pada suatu struktur adalah beban yang selalu ada dan melekat pada struktur, jenis beban ini adalah konsisten atau statis, yang biasanya tidak berubah dari waktu ke waktu. Beban ini merupakan beban yang timbul dari elemen-elemen konstruksi itu sendiri, tidak dipengaruhi oleh perubahan lingkungan atau aktivitas manusia di dalam atau di sekitar struktur. Contoh beban tetap adalah beban atau bobot sendiri, beban yang tetap seperti konstruksi lantai, dinding, atap dan elemen-elemen struktural lainnya yang tidak berubah secara signifikan selama masa penggunaan struktur.

2. Beban Bergerak (Hidup)

   Beban bergerak atau hidup pada suatu struktur merupakan istilah yang dipakai dalam rekayasa struktur dalam menggambarkan beban atau gaya yang

dapat berubah atau bergerak secara dinamis di sepanjang struktur. Beban ini berbeda dengan beban statis yang tetap pada posisinya. Beban hidup biasanya terdiri dari berbagai jenis beban yang disebabkan oleh aktivitas manusia atau alam. Contoh beban bergerak adalah beban lalu lintas di jalan raya, kereta api, mobil, orang berjalan di atas jembatan, angin, dan gempa bumi.

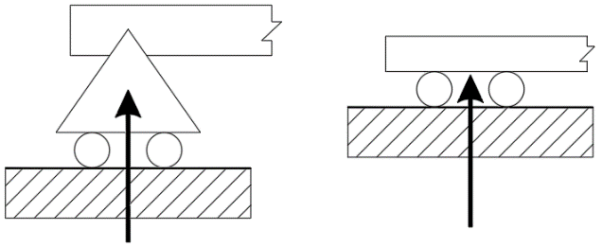
Pada penelitian alat peraga ini akan digunakan beban hidup atau beban berjalan dari barbel dan dapat digeser dengan berat maksimal 10 kg yang akan ditempatkan diatas batang atau balok aluminium.

3.4 Jenis Tumpuan

Menurut Setiawan (2015) menerangkan bahwa semua jenis beban yang bekerja pada suatu struktur akan disalurkan dan ditahan oleh tumpuan. Terdapat beberapa jenis tumpuan yang biasanya selalu ditemui saat melakukan proses analisis struktur. Untuk setiap jenis tumpuan mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Berikut adalah jenis tumpuan yang sering digunakan.

1. Tumpuan Rol

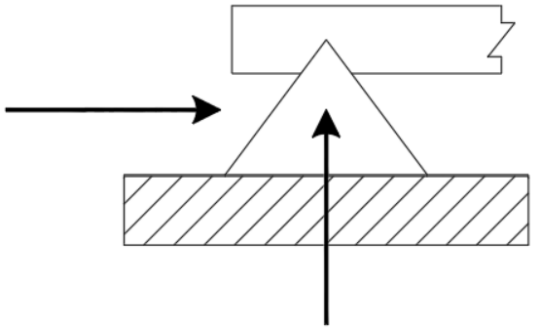
   Tumpuan jenis ini dapat bebas melakukan rotasi dan tranlasi sejauh permukaan rol berada. Tumpuan rol hanya dapat meneruskan gaya vertikal yang mempunyai arah tegak lurus kepada bidang permukaan. Biasanya dalam analisis struktur yang menggunakan jenis tumpuan ini dapat digunakan simbol seperti Gambar 3.2, di mana dalam gambar diperlihatkan juga arah reaksi yang dapat dihasilkan oleh jenis tumpuan rol.



Gambar 3.2 Tumpuan Rol
(Sumber : Setiawan, 2015)

2. Tumpuan Sendi

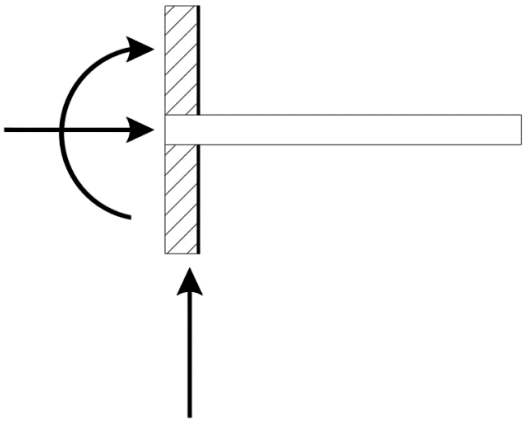
Struktur yang memiliki jenis tumpuan sendi hanya bisa berotasi, akan tetapi dapat bertlanslasi pada arah vertikal ataupun horizontal. Jenis tumpuan sendi juga dapat menghasilkan reaksi pada arah vertikal dan horizontal. Dalam Gambar 3.3 dapat dilihat notasi yang digunakan untuk tumpuan sendi, beserta dengan arah reaksi tumpuan yang timbul pada tumpuan sendi.



Gambar 3.3 Tumpuan Sendi
(Sumber : Setiawan, 2015)

3. Tumpuan Jepit

Jenis tumpuan jepit yang dipasang pada struktur dapat menahan gaya pada arah horizontal, vertikal, dan dapat juga memikul momen. Untuk tumpuan jepit tidak akan mengalami rotasi dan tranlasi, sehingga biasanya disebut tumpuan kaku. Pada Gambar 3.4 dapat dilihat model dari tumpuan jepit, kemudian terdapat arah reaksi serta momen yang terdapat pada tumpuan ini.



Gambar 3.4 Tumpuan Jepit
(Sumber : Setiawan, 2015)

3.5 Persamaan Kesetimbangan

Menurut Setiawan (2015) supaya dapat mengaplikasikan prinsip-prinsip statika dalam sistem struktur, maka struktur tersebut diwajibkan dalam keadaan setimbang. Persyaratan ini dapat dipenuhi apabila jumlah dari semua gaya, yang meliputi reaksi tumpuan dan beban-beban kerja harus sama dengan nol. Selain itu harus juga terpenuhi jumlah dari semua momen-momen gaya pada suatu titik dengan hasil sama dengan nol. Untuk menghitung persamaan kesetimbangan dapat digunakan rumus sebagai berikut.

Rumus kesetimbangan gaya dalam arah horizontal

$$\Sigma F_H = 0 \tag{3.1}$$

Rumus kesetimbangan gaya dalam arah vertikal

$$\Sigma F_V = 0 \tag{3.2}$$

Rumus kesetimbangan momen

$$\Sigma M = 0 \tag{3.3}$$

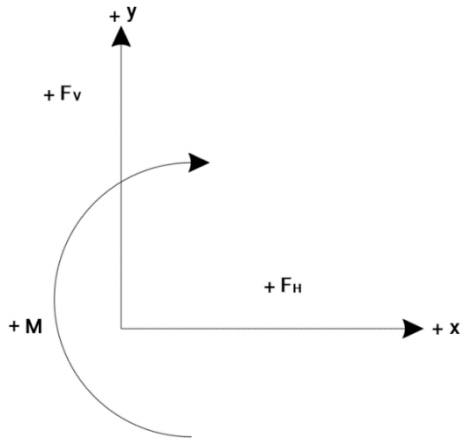
Keterangan :

ΣF_H = Jumlah gaya dalam arah horizontal (kg)

ΣF_V = Jumlah gaya dalam arah vertikal (kg)

ΣM = Jumlah momen gaya terhadap suatu titik (kg.cm)

Sebagai dasar untuk analisis struktur dibutuhkan suatu ketetapan perjanjian tanda, dimana dalam penelitian ini perjanjian tanda yang digunakan seperti pada gambar 3.2. Gaya untuk arah horizontal akan mempunyai nilai positif apabila searah sumbu x positif, sedangkan gaya yang memiliki arah vertikal akan bernilai positif apabila searah sumbu y positif. Sedangkan untuk momen gaya akan bernilai positif apabila berputar searah jarum jam. Perjanjian tanda yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3.5 Perjanjian Tanda Gaya dan Momen
(Sumber : Setiawan, 2015)

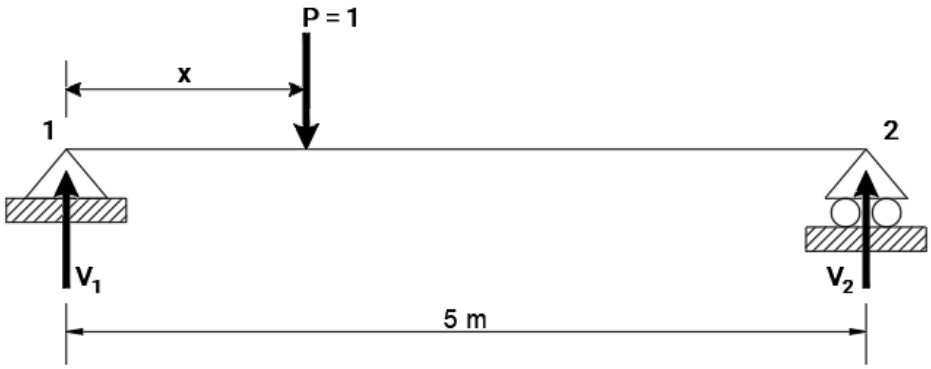
3.6 Garis Pengaruh

Analisis struktur pada balok akan mempunyai reaksi tumpuan, diagram gaya geser dan diagram momen lentur akibat adanya beban pada struktur. Analisis struktur rangka batang, dengan memakai metode yang ada, akan memberikan hasil besaran gaya batang kepada setiap elemen batang dari struktur rangka tersebut. Beban yang di tahan struktur tidak hanya beban statis atau tetap saja, melainkan terdapat beban bergerak yang harus diperhitungkan. Salah satu contoh adalah struktur jembatan yang harus dapat memikul beban yang bergerak diatasnya. Beban bergerak ini mengakibatkan respon struktur yang selalu berubah-ubah juga. Oleh karena itu perlu adanya analisis struktur yang digunakan untuk menyusun garis pengaruh akibat beban berjalan. Garis pengaruh yang dibuat dapat berupa garis pengaruh reaksi tumpuan, garis pengaruh gaya geser dan garis pengaruh momen lentur. Dengan membuat garis pengaruh maka kita dapat memvisualisasikan variasi dari reaksi, gaya geser, dan momen lentur pada suatu titik dari elemen struktur akibat adanya beban satu satuan yang bergerak atau berjalan disepanjang struktur tersebut (Setiawan, 2015). Jenis balok yang digunakan pada alat peraga garis pengaruh adalah balok sederhana dan balok sederhana dengan kantilever.

3.6.1 Garis Pengaruh Reaksi pada Balok Sederhana

Garis pengaruh reaksi tumpuan adalah garis imajiner yang digunakan untuk menentukan bagaimana gaya-gaya yang dihasilkan oleh tumpuan akan menyebar

ke struktur yang dibuat. Garis pengaruh reaksi tumpuan digunakan untuk memperkirakan bagaimana beban yang diterapkan pada struktur akan didistribusikan dan ditransfer ke tumpuan. Menurut Setiawan (2015) Garis pengaruh pada suatu struktur dilakukan dengan beranggapan terdapat beban yang bergerak yang di notasikan sebagai *P* yang memiliki besaran satu satuan. Misalkan beban satu satuan ditempatkan sejauh *x* dari ujung kiri tumpuan, setelah itu dengan memakai persamaan kesetimbangan statik, besarnya reaksi tumpuan dapat dihitung. Pada Gambar 3.6 diperlihatkan suatu balok dengan tumpuan sederhana yang memiliki beban P = 1 satuan yang bekerja pada jarak *x* meter dari tumpuan 1.



Gambar 3.6 Balok Tumpuan Sederhana dengan Beban P = 1 Satuan
(Sumber : Setiawan, 2015)

Maka dapat diasumsikan beban *P* tersebut bergerak dengan interval setiap 1 m, dan besar reaksi V_1 dapat dihitung menggunakan persamaan kesetimbangan.

Jika $x = 0$ m $: \Sigma M_2 = 0$ $V_1 \times 5 - 1 \times 5 = 0$ $\rightarrow V_1 = 1$

Jika $x = 1$ m $: \Sigma M_2 = 0$ $V_1 \times 5 - 1 \times 4 = 0$ $\rightarrow V_1 = 0{,}8$

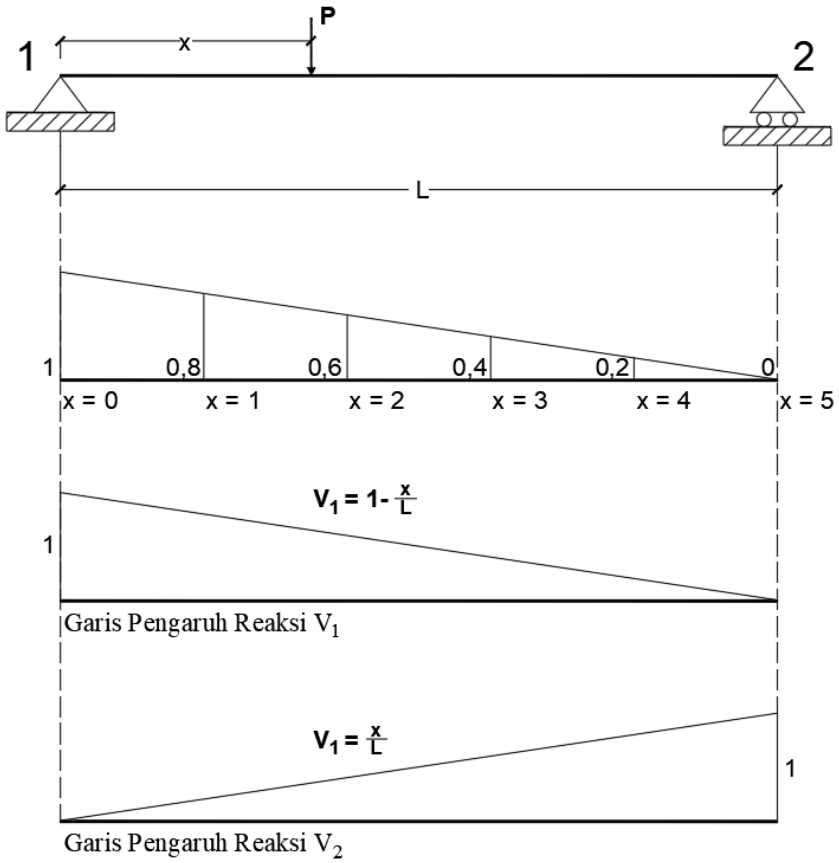
Jika $x = 2$ m $: \Sigma M_2 = 0$ $V_1 \times 5 - 1 \times 3 = 0$ $\rightarrow V_1 = 0{,}6$

Jika $x = 3$ m $: \Sigma M_2 = 0$ $V_1 \times 5 - 1 \times 2 = 0$ $\rightarrow V_1 = 0{,}4$

Jika $x = 4$ m $: \Sigma M_2 = 0$ $V_1 \times 5 - 1 \times 1 = 0$ $\rightarrow V_1 = 0{,}2$

Jika $x = 5$ m $: \Sigma M_2 = 0$ $V_1 \times 5 - 1 \times 0 = 0$ $\rightarrow V_1 = 0$

Besarnya V_1 dapat disajikan seperti pada Gambar 3.6. Untuk mendapat garis pengaruh reaksi V_1. Adapun gambar garis pengaruh reaksi V_1 dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.7 Garis Pengaruh Reaksi V_1 dan V_2
(Sumber : Setiawan, 2015)

Untuk mempermudah dan mempercepat pembuatan garis pengaruh reaksi V_1. Maka secara umum dapat diturunkan suatu persamaan se1derhana.

$$\Sigma M_2 = 0$$
$$V_1 \times \mathrm{L} - P(\mathrm{L} - x) = 0$$
$$V_1 \times \mathrm{L} = P(\mathrm{L} - x)$$
$$V_1 = P - \frac{x}{L}$$
$$V_1 = 1 - \frac{x}{L} \qquad (3.4)$$
$$V_1 = 1 - \frac{x}{5}$$

Keterangan :

V_1 = Besar reaksi V_1 (kg)

P = Beban satu satuan (kg)

x = Jarak beban ketumpuan (cm)

L = Panjang bentang balok (cm)

Gambar garis pengaruh yang sudah dibuat menjelaskan reaksi V_1 pada saat beban *P* berada pada titik 1, sehingga besar dari reaksi V_1 adalah sama dengan satu. Kemudian saat beban beban *P* berjalan ke tempat titik x = 1 m, maka didapatkan reaksi V_1 sebesar sama dengan 0,8, dan seterusnya sampai pada saat beban *P* berada di titik 2, sehingga reaksi V_1 sebesar sama dengan nol.

Jika akan dilakukan perhitungan dengan cara yang sama, maka dapat pula digambarkan garis pengaruh reaksi V_2, yang dilakukan dengan cara mengambil momen terhadap titik 1 sebagai berikut.

$$\Sigma M_1 = 0$$
$$-V_2 \times \mathrm{L} + P \times x = 0$$
$$V_2 = \frac{x}{L} \qquad (3.5)$$
$$V_2 = \frac{x}{5}$$

Keterangan :

V_2 = Besar reaksi V_2 (kg)

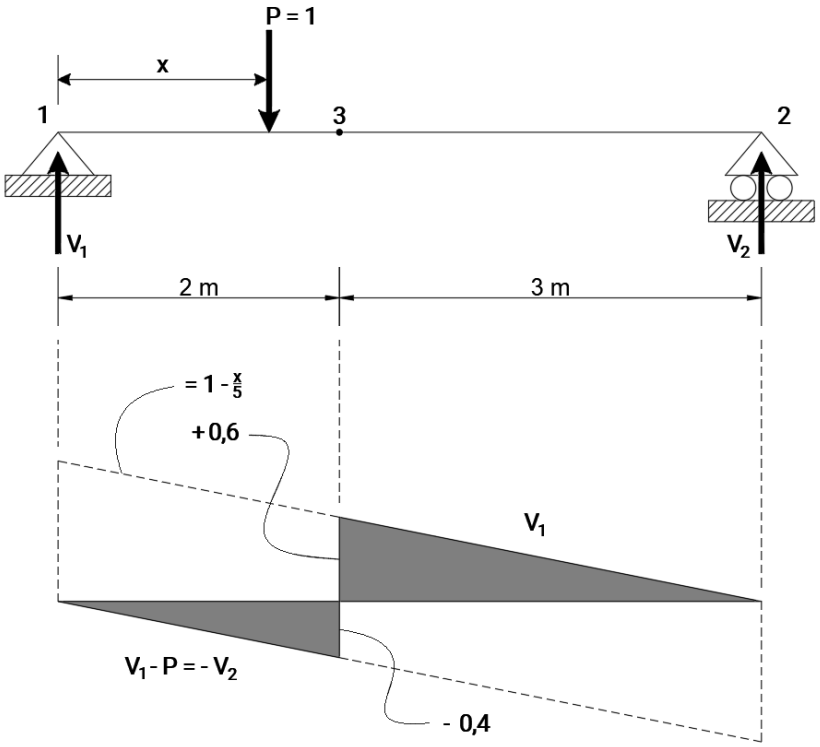
P = Beban satu satuan (kg)

x = Jarak beban ketumpuan (cm)

L = Panjang bentang balok (cm)

3.6.2 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Balok Sederhana

Garis pengaruh gaya geser digunakan untuk menentukan besarnya gaya geser terhadap suatu titik yang sudah ditentukan, yang disebabkan adanya beban bergerak *P* = 1 satuan. Balok sederhana yang berada di atas dua tumpuan yang menahan suatu beban bergerak *P* ditunjukkan pada Gambar 3.8. Kemudian akan digambar garis pengaruh gaya geser pada titik 3.



Gambar 3.8 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Titik 3
(Sumber : Setiawan, 2015)

Saat beban *P* bergerak diantara titik 1 (x = 0) dan titik 3 (x = 2), sehingga besar gaya geser pada titik 3 adalah sebagai berikut.

$$Q_3 = V_1 - P$$
$$Q_3 = (1 - \frac{x}{L}) - 1$$
$$Q_3 = -\frac{x}{L}$$
$$Q_3 = -V_2 \qquad (3.6)$$
$$Q_3 = -\frac{x}{5}$$

Persamaan ini dapat digunakan sebagai rumus pada ruas diantara titik 1 dan titik 3.

Saat beban *P* bergerak diantara titik 3 (x = 2) sampai titik 2 (x = 5), maka nilai gaya geser pada titik 3 adalah sebagai berikut.

$$Q_3 = V_1$$
$$Q_3 = 1 - \frac{x}{L} \qquad (3.7)$$

$$Q_3 = 1 - \frac{x}{5}$$

Persamaan ini dapat digunakan pada ruas diantara titik 3 dan titik 2.

Keterangan :

Q = Gaya geser (kg)

P = Beban satu satuan (kg)

V = Besar reaksi pada tumpuan yang ditinjau (kg)

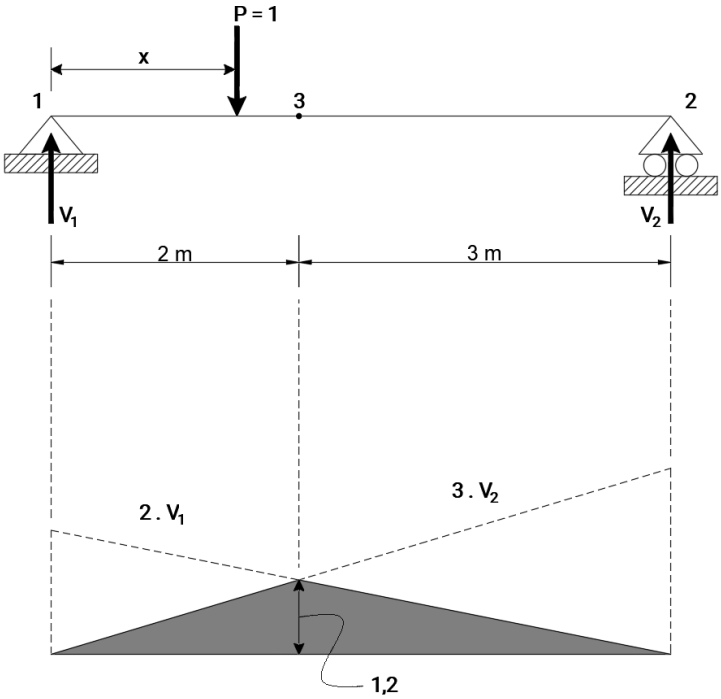
x = Jarak beban ketumpuan (cm)

L = Panjang bentang balok (cm)

Garis pengaruh gaya geser dapat dilihat pada Gambar 3.7 di bawah

3.6.3 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Balok Sederhana

Garis pengaruh momen lentur adalah garis imajiner yang digunakan untuk merepresentasikan distribusi momen lentur di sepanjang elemen struktur. Penggambaran garis pengaruh momen lentur pada titik 3 dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Titik 3

(Sumber : Setiawan, 2015)

Saat beban *P* bergerak diantara titik 1 (x = 0) dan titik 3 (x = 2),maka besar dari momen lentur pada titik 3 adalah sebagai berikut.

$$M_3 = V_1(a) - P(a - x)$$
$$M_3 = V_1(2) - P(2 - x)$$
$$M_3 = V_1(2) - 2 + x$$
$$M_3 = \left(1 - \frac{x}{5}\right)(2) - 2 + x$$
$$M_3 = \frac{3}{5}x \quad (3.8)$$

Atau dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$M_3 = 3 \times V_2 \quad (3.9)$$

Saat beban *P* bergerak diantara titik 3 (*x* = 2) dan titik 2 (*x* = 5),maka besar dari momen lentur pada titik 3 adalah sebagai berikut.

$$M_3 = V_1(2)$$
$$M_3 = \left(1 - \frac{x}{5}\right)(2)$$
$$M_3 = 2 - \frac{2}{5}x \quad (3.10)$$

Keterangan :

M = Momen lentur (kg.cm)

P = Beban satu satuan (kg)

V = Besar reaksi pada tumpuan yang ditinjau (kg)

x = Jarak beban ketumpuan yang ditinjau (cm)

L = Panjang bentang balok (cm)

3.6.4 Garis Pengaruh Reaksi pada Balok Sederhana dengan Kantilever

Garis pengaruh reaksi dukungan yang terjadi pada balok sederhana dengan tambahan kantilever hampir sama dengan garis pengaruh pada balok sederhana yang ditumpu pada kedua ujungnya (Pawirodikromo, 2020). Model struktur yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.10.

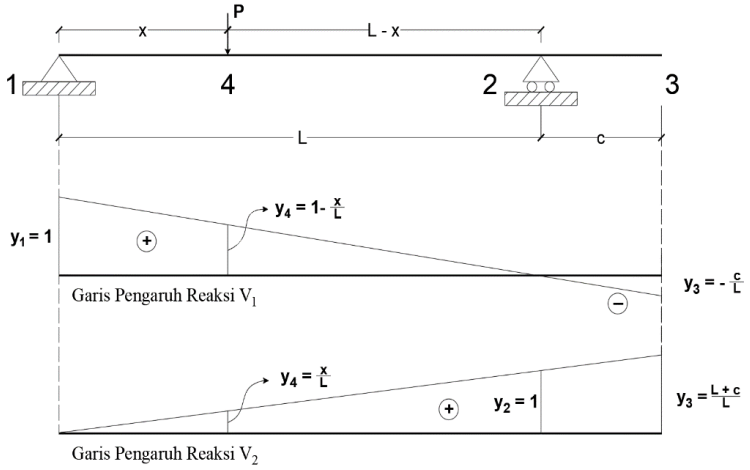
Apabila beban P = 1 ton berada di atas titik 1 dan 2, maka besar reaksi dukungan dan garis pengaruh di titik 1, V_1 adalah sebagai berikut.

$$V_1 = P \times \left(\frac{L}{L}\right) = P \quad (3.11)$$

$$V_1 = P \times y_1 \tag{3.12}$$

$$P = P \times y_1$$

$$y_1 = 1$$



Gambar 3.10 Garis Pengaruh Reaksi pada Balok Sederhana dengan Kantilever

(Sumber : Pawirodikromo, 2020)

Apabila P = 1 ton berada diatas titik 3, maka besar reaksi dukungan dan garis pengaruh dititik 1, V_1 adalah sebagai berikut.

$$V_1 = -P \times \left(\frac{c}{L}\right) \tag{3.13}$$

$$V_1 = P \times y_3 \tag{3.14}$$

$$-P \times \left(\frac{c}{L}\right) = P \times y_3$$

$$y_3 = -\left(\frac{c}{L}\right)$$

Dengan menyambungkan koefisien-koefisien pengaruh maka akan didapatkan garis pengaruh reaksi V_1 yang dapat dilihat pada Gambar 3.10. Dari gambar di atas dapat diketahui apabila beban P berada dibentang 2-3 maka ordinat garis pengaruh bertanda negatif atau koefisien pengaruhnya memiliki nilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa selama beban berada pada daerah tersebut reaksi dukungan di titik A, maka nilai reaksi V_1 akan memiliki tanda negatif atau arah reaksi akan ke bawah.

Untuk menggambar garis pengaruh V_2, cara yang dilakukan untuk mendapatkan garis pengaruhnya hampir sama dengan cara sebelumnya. Jika P = 1 ton berada pada titik 1 dan titik 2 , maka besar reaksi dan garis pengaruh dukungan

di titik 2, V_2 dapat dihitung menggunakan persamaan 3.11 dan 3.12.

Apabila P = 1 ton berada diatas titik 3, maka besar reaksi dan garis pengaruh dititik 2, V_2 adalah sebagai berikut.

$$V_2 = P \times \left(\frac{L+c}{L}\right) \quad (3.15)$$

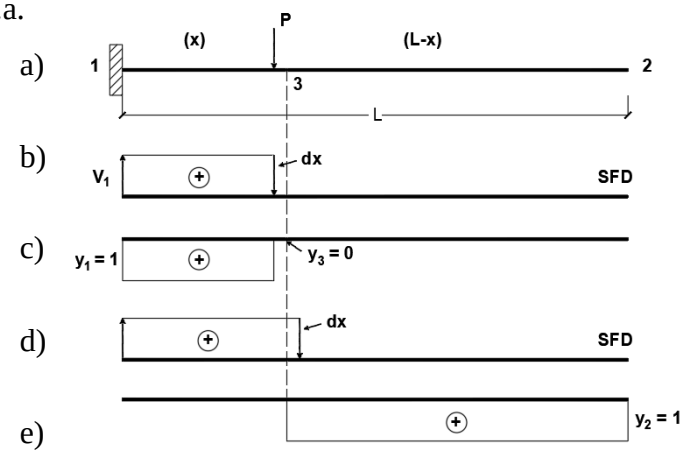
$$V_2 = P \times y_3 \quad (3.16)$$

$$y_3 = \left(\frac{L+c}{L}\right)$$

Jika ordinat koefisien-koefisien pengaruh tersebut dihubungkan maka akan membentuk garis pengaruh reaksi V_2 seperti pada Gambar 3.8. berdasarkan gambar yang telah didapatkan maka dapat diketahui bahwa selama beban P berada pada bentang 1-2-3 maka reaksi di titik 2, V_1 akan mempunyai nilai positif atau arah reaksinya akan selalu ke atas.

3.6.5 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Kantilever

Pada pembahasan gaya geser maka diperoleh suatu pengertian jika terdapat gaya geser pada titik sejauh dx sebelah kiri titik yang ditinjau dan gaya geser pada titik sejauh dx sebelah kanan titik yang akan ditinjau, dimana dx adalah relatif sangat kecil (Pawirodikromo, 2020). Untuk membahas struktur kantilever maka digambar model kantilever dengan dukungan jepit sebelah kanan seperti pada Gambar 3.11.a.



Gambar 3.11 Garis Pengaruh Gaya Geser pada Kantilever
(Sumber : Pawirodikromo, 2020)

Dari gambar tersebut akan dicari gaya geser pada titik 3 sejauh x meter dari jepit 1. Saat beban P = 1 ton telah berada pada dx meter disebelah kanan titik 3,

maka gaya geser pada titik 3 dapat dilihat pada Gambar 3.11.b. Berdasarkan gambar tersebut, gaya geser pada titik 3 akan sama dengan nol atau sebagai berikut.

$$Q_3 = P \times y \tag{3.17}$$
$$y_3 = 0$$

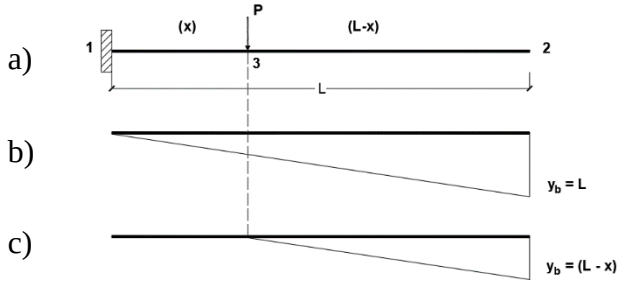
Dalam kasus ini gaya geser pada titik 3 = 0. Selanjutnya jika P = 1 ton telah berada pada dx meter disebelah kanan titik 3, maka gaya geser pada titik 3 seperti pada Gambar 3.11.d. pada posisi beban tersebut garis pengaruh gaya geser pada titik 3 adalah seperti pada Gambar 3.11.d. Dengan begitu gaya geser pada titik 3 dapat dicari menggunakan persamaan 3.17.

Untuk selanjutnya gaya geser pada titik 3 akan sama dengan P jika beban P terdapat disebelah kanan titik 3 yang ordinat garis pengaruhnya seperti pada Gambar 3.11.e.

3.6.6 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Kantilever

jika terdapat beban yang bergerak pada struktur kantilever maka gaya dalam akan mencapai maksimum pada dukungan jepit kantilever (Pawirodikromo, 2020). Maka dipakai model struktur kantilever seperti pada Gambar 3.12. Setelah itu akan dicari momen maksimum yang terdapat pada dukungan jepit 1 M_1. Maka beban titik P = 1 ton bergerak sejauh bentang kantilever. Jika P terdapat pada titik 1 maka momen pada titik 1 akan sama dengan nol.

$$M_1 = P \times y \tag{3.18}$$
$$y = 0$$
$$0 = P \times y_1$$
$$y_1 = 0$$



Gambar 3.12 Garis Pengaruh Momen Lentur pada Kantilever
(Sumber : Pawirodikromo, 2020)

Nilai $y_1 = 0$ adalah koefisien pengaruh untuk momen pada titik 1 dan dipasang seagai ordinal di bawah titik 1. Jika beban P berada pada titik 2 yaitu diujung dari kantilever maka akan didapat,

$$M_1 = P \times L = P \times y_2 \quad (3.19)$$
$$P \times L = P \times y_2$$
$$y_2 = L$$

Nilai $y_2 = L$ merupakan koefsien pengaruh momen pada titik 1 akibat terdapat beban pada titik 2, maka koefisien pengaruh y_2 akan ditempatkan di bawah titik 2. Dengan demikian garis pengaruh momen pada dukungan jepit kantilever seperti pada Gambar 3.12.b.

Apabila akan mencari momen pada titik 3 yaitu titik yang berjarak x meter dari jepit 1, dengan demikian jika beban P berada di dx meter di sebelah kiri titik 3 maka akan menghasilkan,

$$M_3 = 0 = P \times y_3$$
$$0 = P \times y_3$$
$$y_3 = 0 \quad (3.20)$$

Nilai $y_3 = 0$ ditempatkan di bawah titik 3 sebagai koefisien pengaruh momen pada titik 3. Jika beban berada di atas titik 2 maka,

$$M_3 = P(L - x) = P \times y_2 \quad (3.21)$$
$$P(L - x) = P \times y_2$$
$$y_2 = (L - x)$$

Nilai y_2 = (L-x) merupakan koefisien pengaruh momen pada titik 3 jika terdapat beban P di atas titik 2, maka nilai y_2 = (L-x) merupakan ordinat pengaruh yang ditempatkan di bawah titik 2. Dengan demikian garis pengaruh momen pada titik 3 dapat dilihat pada Gambar 3.12.c.

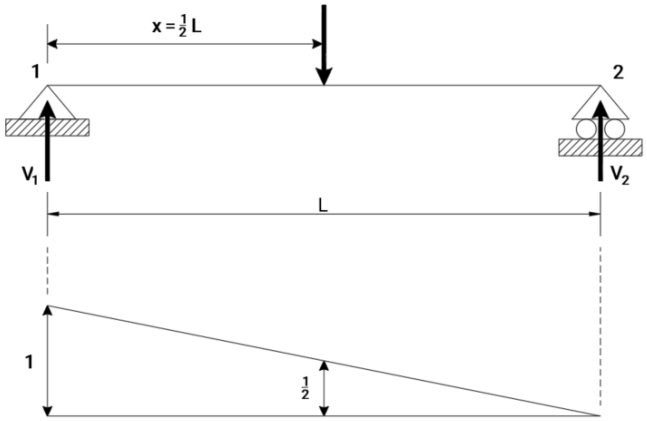
3.7 Beban Terpusat

Pada balok yang memikul plat lantai jembatan, didesain untuk dapat memikul beban berjalan seperti beban merata dan terpusat secara bersamaan. Agar dapat menghitung nilai maksimum dari reaksi, gaya geser dan momen lentur yang terjadi akibat beban tersebut, perlu dibuat gambar garis pengaruh dari balok tersebut.

1. Beban Terpusat

Penggambaran garis pengaruh, selalu didasarkan pada beban bergerak sebesar satu satuan yang tidak mempunyai dimensi. Apabila terdapat beban *P* yang bekerja sejauh *x* dari ujung kiri tumpuan, maka besar dari reaksi, gaya geser, dan momen lentur yang sesungguhnya adalah sama dengan ordinat dari garis pengaruh pada jarak *x* tersebut dikalikan dengan besaran dari beban *P*.

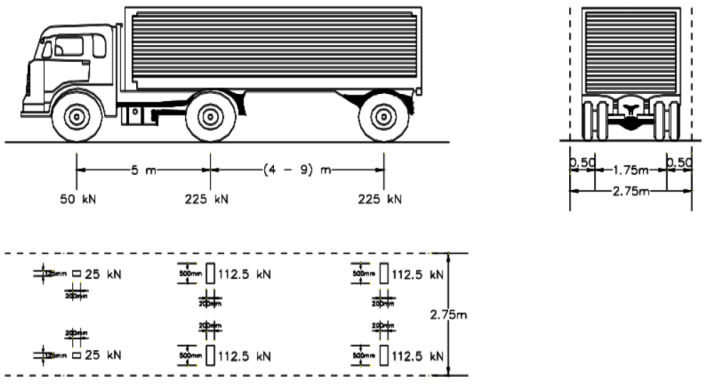
Pada Gambar 3.13 digambarkan garis pengaruh reaksi tumpuan dari V_1 dari balok yang mempunyai tumpuan sederhana. Saat beban P berada pada x = $\frac{1}{2}L$, maka besar dari V_1 adalah sama dengan *P* dikali dengan $\frac{1}{2}$ atau sama dengan $\frac{1}{2}P$. Begitu pula saat beban *P* berada sejauh *x* = 0, maka besar dari reaksi V_1 adalah sama dengan *P* dikali dengan 1 atau sama dengan besar *P*. Garis pengaruh reaksi V_1 akibat beban terpusat satu satuan dapat dilihat pada Gambar 3.13 sebagai berikut.



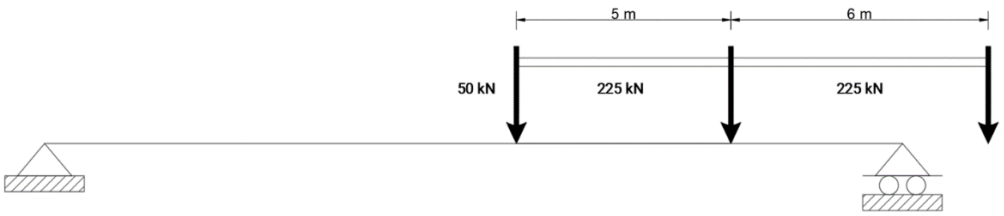
Gambar 3.13 Garis Pengaruh Reaksi V_1 Akibat Beban Terpusat
(Sumber : Setiawan, 2015)

3.8 Rangkaian Beban Terpusat

Pada suatu struktur balok yang menahan beban dari kendaraan, secara umum bebannya berasal dari berat kendaraan yang diteruskan melalui roda-roda kendaraan tersebut. Dalam pemodelan beban kendaraan tersebut biasa digambarkan menjadi suatu rangkaian beban terpusat. Pada gambar 3.14 memperlihatkan contoh pembebanan truk dengan berat 500 kN. Pada analisis struktur, beban dari roda truk tersebut dimodelkan menjadi beban terpusat berangkai. Gambar beban berangkai dapat dilihat pada gambar 3.15 sebagai berikut.



Gambar 3.14 Beban Berjalan Truk 500 kN
(Sumber : RSNI T-02-2005, Standar Pembebanan untuk Jembatan)



Gambar 3.15 Model Beban Terpusat Berangkai
(Sumber : Setiawan, 2015)

Pada rangkaian beban bergerak yang tersusun dari beberapa beban terpusat, melalui sebuah balok yang mempunyai tumpuan sederhana seperti diperlihatkan pada Gambar 3.16, beban ini akan membuat hasil gaya geser positif maksimum dititik 3 saat beban P_1 berada dititik 3 dengan syarat sebagai berikut.

$$\frac{P_1}{c_1} > \Sigma \frac{P}{L} \tag{3.22}$$

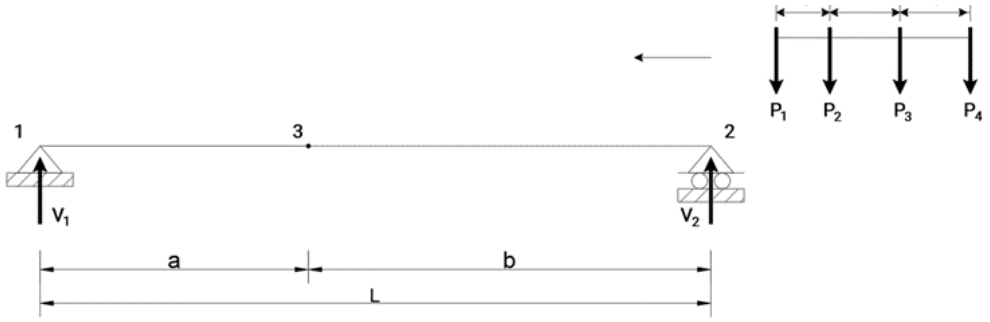
dengan :

ΣP = total beban dalam rangkaian

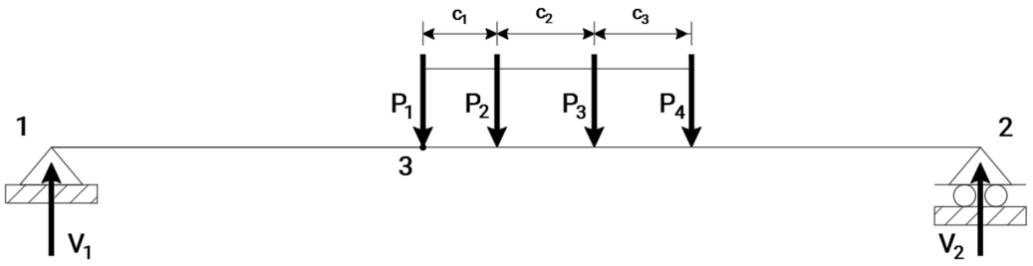
= $P_1 + P_2 + P_3 + P_4$

L = Panjang bentang balok

Adapun gaya geser maksimum yang bernilai positif saat beban P_1 berada pada titik 3 dapat dilihat pada Gambar 3.17 sebagai berikut.



Gambar 3.16 Balok dengan Tumpuan Sederhana
(Sumber : Setiawan, 2015)

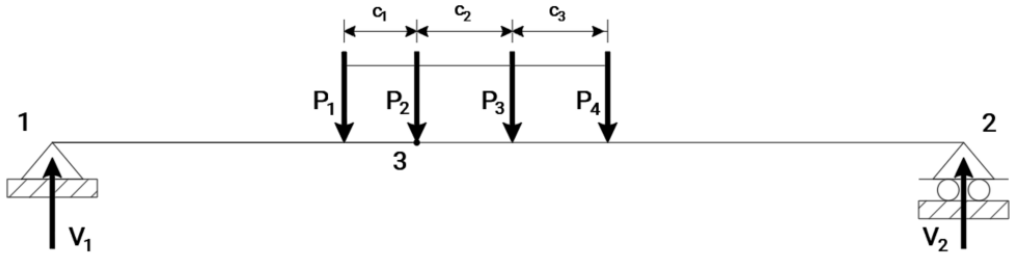


Gambar 3.17 Beban P_1 Berada Pada Titik 3
(Sumber : Setiawan, 2015)

Gaya geser maksimum yang bernilai positif pada titik 3 dapat juga terjadi saat beban P_2 berada di titik 3 dengan syarat sebagai berikut.

$$\frac{P_2}{c_2} > \Sigma \frac{P}{L} \tag{3.23}$$

Adapun gaya geser maksimum yang bernilai positif saat beban P_2 berada pada titik 3 dapat dilihat pada Gambar 3.18 sebagai berikut.

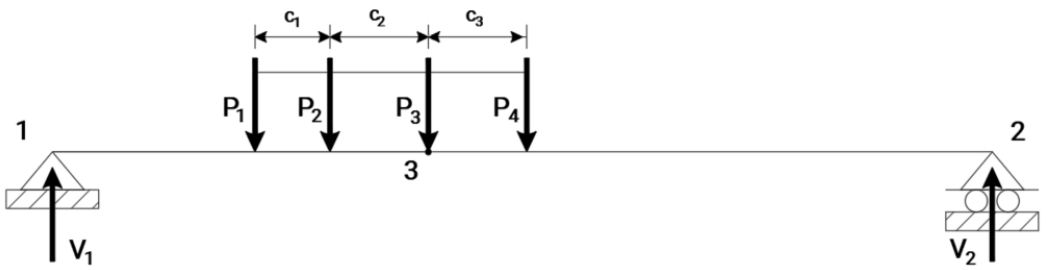


Gambar 3.18 Beban P_2 Berada Pada Titik 3
(Sumber : Setiawan, 2015)

Gaya geser maksimum yang bernilai positif pada titik 3 dapat juga terjadi saat beban P_3 berada di titik 3 dengan syarat sebagai berikut.

$$\frac{P_3}{c_3} > \Sigma \frac{P}{L} \tag{3.24}$$

Adapun gaya geser maksimum yang bernilai positif saat beban P_3 berada pada titik 3 dapat dilihat pada Gambar 3.19 sebagai berikut.



Gambar 3.19 Beban P_3 Berada Pada Titik 3
(Sumber : Setiawan, 2015)

Rangkaian beban bergerak yang dapat dilihat pada Gambar 3.14 melalui suatu balok yang mempunyai tumpuan sederhana. Saat beban P_2 berada tepat diatas titik 3, rangkaian ini akan mempunyai momen lentur maksimum pada titik 3 (Gambar 3.20) dengan syarat jika beban berjalan sedikit ke arah kiri maka intensitas beban di titik 1-3 akan menjadi lebih besar dari titik 3-2, dan jika beban berjalan sedikit ke arah kanan maka intensitas pada titik 3-2 akan menjadi lebih besar dari ruas 1-3, dari kedua pernyataan tersebut dapat dapat ditulis secara matematis sebagai berikut.

1. $\Sigma P_L/a > \Sigma P_R/b$ (3.25)

   dengan :

   $\Sigma P_L = P_1 + P_2$

   $\Sigma P_R = P_3 + P_4$

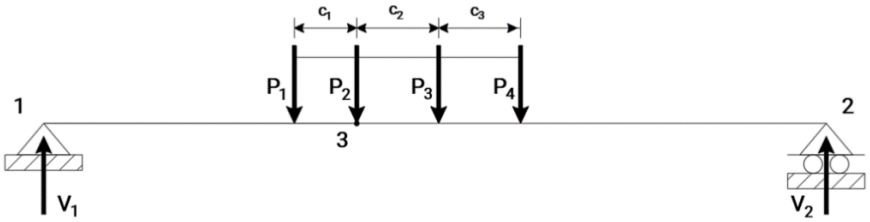
2. $\Sigma P_L/a > \Sigma P_R/b$ (3.26)

   dengan :

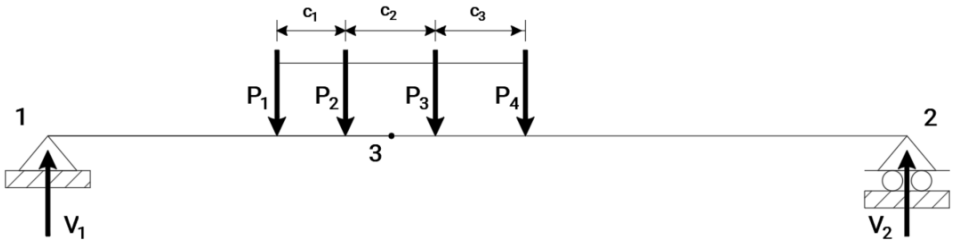
   $\Sigma P_L = P_1$

   $\Sigma P_R = P_2 + P_3 + P_4$

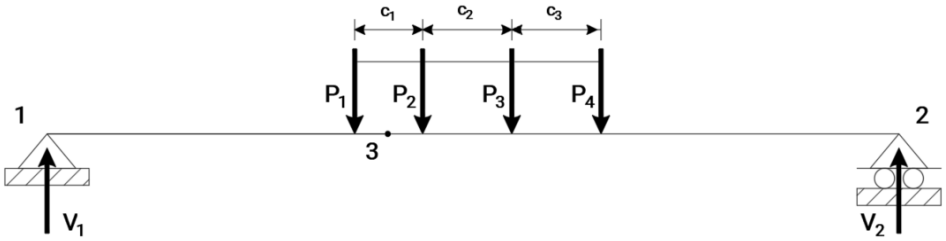
   Penggambaran dari penempatan beban ini dapat dilihat pada gambar di bawah sebagai berikut.



Gambar 3.20 Beban *P*2 Berada Pada Titik 3
(Sumber : Setiawan, 2015)



Gambar 3.21 Beban *P*2 Bergeser Sedikit ke Arah Kiri dari Titik 3
(Sumber : Setiawan, 2015)



Gambar 3.22 Beban *P*2 Bergeser Sedikit ke Arah Kanan dari Titik 3
(Sumber : Setiawan, 2015)

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Alat peraga garis pengaruh merupakan alat yang didesain untuk membantu proses pengajaran statika khususnya materi garis pengaruh selama pembelajaran yang dilakukan di dalam kelas. Garis pengaruh yang dihasilkan dapat dipakai untuk dasar perhitungan pada struktur balok yang menerima beban berjalan. Beban berjalan ini akan berubah sesuai dengan jarak yang dikehendaki, sehingga gaya dalam struktur balok dapat berubah juga.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan sebagai tempat pembuatan alat peraga garis pengaruh adalah Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

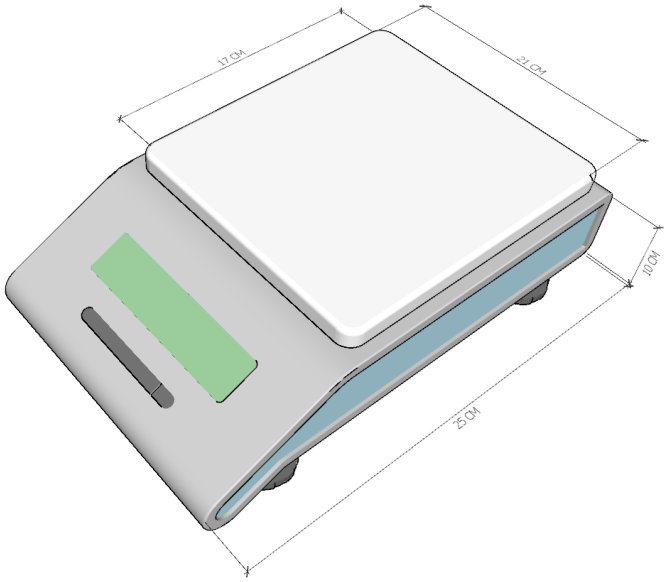
4.3 Material dan Alat Penyusun Alat Peraga

Dalam pembuatan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan dibutuhkan material dan alat pendukung untuk pembuatannya, material akan digunakan sebagai bahan penyusun sedangkan alat akan digunakan untuk mempermudah penyusunan alat peraga. Material dan alat yang digunakan selama penelitian diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Timbangan digital

   Timbangan digital merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui besar reaksi dari beban yang dipakai selama pengujian alat peraga. Timbangan digital yang digunakan memiliki skala ketelitian relatif kecil, yaitu dengan ketelitian 0,001 gram. Alat ukur ini memberikan hasil pengukuran secara digital melalui layar LCD atau LED, yang membuatnya lebih akurat dan mudah dibaca dibandingkan timbangan analog. Salah satu fitur yang dapat digunakan selama pengujian adalah fungsi tare, yang memungkinkan

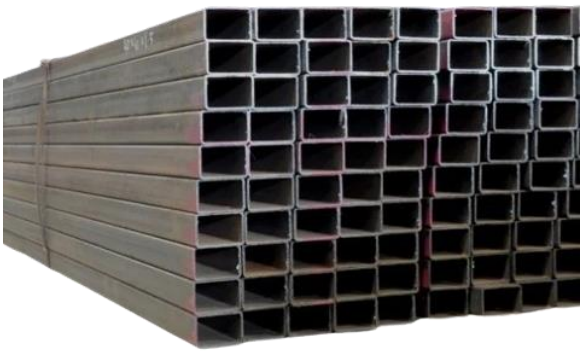
pemakai dapat mengatur ulang timbangan ke posisi nol setelah menempatkan tumpuan dan *loading pin.* Timangan digital yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Timbangan Digital

2. *Hollow* 40x60x2 mm

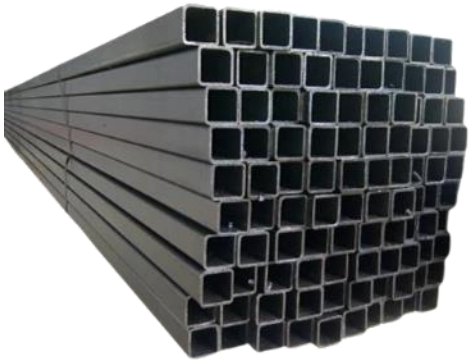
Hollow 40x60x2 mm digunakan sebagai balok untuk menaruh beban titik yang mempunyai panjang 220 cm dan dilubangi pada setiap 10 cm. Balok ini akan meneruskan beban yang diterima ke tumpuan dan akhirnya dapat dibaca melalui timbangan digital. Besi *hollow* dipilih karena mempunyai sifat yang kuat dan tahan terhadap korosi sehingga cocok digunakan dalam pembuatan alat peraga. *Hollow* 40x60x2 mm yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Hollow 40x60x2 mm

3. *Hollow* 30x30x2 mm

   Hollow 30x30x2 mm digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan meja dan tumpuan alat peraga garis pengaruh. Meja dibuat dengan alas yang rata untuk menempatkan timbangan digital di atasnya, untuk tumpuan ditempatkan di atas timbangan sebagai penyalur beban dari balok. *Hollow* 30x30x2 mm yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Hollow 30x30x2 mm

4. Baut D12 mm

   Baut dibutuhkan untuk menahan balok sekaligus meneruskan beban dari *loading pin* ke timbangan digital yang berada di bawahnya, baut ini memiliki diameter 12 mm dengan panjang 30 cm. Adapun baut yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Baut D12 mm

5. *Loading pin*

   Loading pin adalah alat yang berfungsi sebagai tempat menaruh beban yang dikaitkan dengan penggantung beban, alat ini memiliki diameter 2,5 cm dan

tinggi 25 cm. *Loading pin* yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 *Loading Pin*

6. Beban gantung

Beban gantung digunakan untuk memberikan beban satu satuan yang didekati dengan satuan Newton (N). Pada alat peraga ini akan digunakan beban dengan berat maksimal 100 N atau setara dengan 10 kg dan dapat diatur jumlah beban yang dipakai dalam *loading pin*. Beban ini akan digunakan sebagai pengganti beban bergerak yang dikaitkan di atas balok dimana beban ini akan digerakkan secara manual sesuai dengan jarak yang dikehendaki. Adapun beban gantung dapat dilihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.6 Beban Gantung

7. *Waterpass*

Alat ini digunakan untuk menentukan apakah suatu permukaan atau objek telah sejajar dengan permukaan horizontal. Saat alat diletakkan di atas permukaan yang ingin diukur, gelembung udara yang berada dalam tabung

akan bergerak ke posisi tengah atau posisi yang menunjukkan kesejajaran dengan permukaan horizontal. *Waterpass* yang digunakan adalah dari merek Deli, alat ini akan dipakai untuk mengkalibrasi balok yang digunakan pada alat peraga agar sejajar atau rata. Adapun *waterpass* dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.7 *Waterpass*

8. *Adjustable* kaki sofa

Bahan ini diperlukan untuk mengatur kerataan meja alat peraga, sehingga saat pengujian dilakukan didapatkan hasil yang maksimal. *Adjustable* ini memiliki diameter 4 cm, tinggi 8-12 cm yang dapat diatur tingginya sesuai dengan keinginan pemakai alat peraga. Adapun *adjustable* kaki sofa dapat dilihat pada Gambar 4.8 sebagai berikut.



Gambar 4.8 *Adjustable* Kaki Sofa

9. Roda rem

Mobilitas alat peraga perlu diperhatikan agar alat ini mudah dipindah, maka diperlukan roda rem yang dapat membuat alat peraga berpindah dengan mudah. Adapun roda rem yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Roda Rem

10. Gerinda

    Material aluminium yang dibeli dari toko panjangnya 6 m, maka dari itu perlu adanya gerinda untuk memotong aluminium. Aluminium yang dipotong disesuaikan dengan kebutuhan pembuatan alat peraga. Adapun gerinda dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Gerinda

11. Las listrik

    Aluminium yang sudah terpotong perlu dibentuk menjadi frame yang akan digunakan sebagai tempat balok dan dial indikator. Untuk menyambungkan setiap aluminium yang sudah dipotong diperlukan las listrik dengan elektroda sebagai bahan penyambung. Adapun las listrik dapat dilihat pada Gambar 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4.11 Las Listrik

4.4 Tahapan Penelitian

Agar penelitian dapat dilakukan secara tepat dan teratur maka dibutuhkan urutan atau tahapan dalam pelaksanaan perancangan dan pembuatan alat peraga garis pengaruh. Tahapan - tahapan yang dilakukan selama pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perancangan desain alat peraga

   Perancangan desain dilakukan dengan mencari teori dan memahami konsep dari garis pengaruh akibat beban berjalan. Perancangan konsep dilakukan dengan menentukan output yang dihasilkan dari pembuatan alat peraga ini dan perancangan desain pemodelan 3D. Perancangan desain dilakukan dengan membuat pemodelan 3D menggunakan bantuan software sketchup. Alat peraga dimodelkan dengan membuat setiap bagian atau komponen yang akan dipakai, pemodelan ini meliputi pembuatan model 3D. Pembuatan alat peraga ini ditujukan untuk mahasiswa selama pembelajaran di dalam kelas.

2. Persiapan bahan

   Persiapan bahan atau material penyusun dilakukan untuk mempermudah pembuatan alat peraga, dikarenakan saat proses pembuatannya tidak perlu menunggu bahan yang diperlukan datang satu persatu tetapi bahan sudah tersedia di tempat pembuatan alat peraga. Bahan yang perlu dipersiapkan untuk pembuatan alat peraga meliputi timbangan digital, *Hollow* 40x60x2 mm, *Hollow* 30x30x2 mm, baut 12 mm, *loading pin*, beban gantung, *adjustable* kaki sofa dan roda rem

3. Pembuatan *prototype*

   Pembuatan alat peraga dilakukan setelah semua bahan telah tersedia dan siap digunakan. Setelah itu akan dilakukan pembuatan sekaligus penyusunan alat peraga dengan tahapan sebagai berikut.

   a. Pembuatan meja alat peraga
   b. Pembuatan tumpuan
   c. Pembuatan balok
   d. Pemasangan timbangan
   e. Pemasangan beban gantung

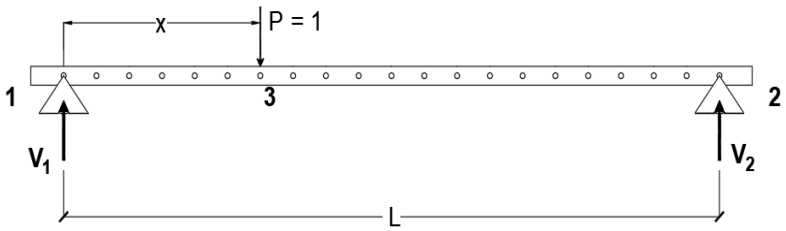
f. Pemeriksaan kerataan balok

4. Kalibrasi alat peraga

Sebelum menggunakan alat peraga maka perlu dilakukan kalibrasi untuk memaksimalkan output yang dihasilkan dari alat peraga dengan hasil error $\pm$ 0,05 kg. Kalibrasi dilakukan pada meja, tumpuan dan balok dengan menggunakan waterpass untuk cek kerataannya. Kalibrasi juga dilakukan pada timbangan digital dengan klik tombol *tare* sehingga struktur balok dalam keadaan netral atau nol pada timbangan di tumpuan dan siap dipasang beban.

5. Pengujian alat peraga

Pengujian yang dilakukan untuk alat peraga adalah pengujian garis pengaruh reaksi, untuk mendapatkan garis pengaruh gaya geser dan momen lentur dapat dilakukan pada analisa lanjutan. Hasil dari pengujian menggunakan alat peraga akan dibandingkan dengan hasil perhitungan teori dan dihitung presentase *error* yang terjadi . Untuk mendapatkan garis pengaruh dibutuhkan beban P satu satuan, maka jenis beban yang diberikan untuk mencari garis pengaruh adalah beban tunggal. Untuk beban ganda dapat digunakan dalam olah data lanjutan. Adapun beban satu satuan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.12 sebagai berikut.



Gambar 4.12 Beban Satu Satuan

Agar mempermudah pengujian alat peraga, maka dibuat tabel perbandingan antara hasil eksperimen dengan teori yang dilakukan. Adapun tabel yang digunakan selama pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Pengujian Garis Pengaruh Reaksi Tumpuan

x (cm)	Hasil Reaksi V_1				Hasil Reaksi V_2			
	V_1 Teori (kg)	V_1 Pengujian (kg)	*Error* ± 0,05	Hasil	V_2 Teori (kg)	V_2 Pengujian (kg)	*Error* ± 0,05	Hasil
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Keterangan :

V_1 = Besar reaksi pada tumpuan 1 (kg)

V_2 = Besar reaksi pada tumpuan 2 (kg)

x = lengan beban terhadap perletakan (cm)

6. Cek *error*

Setelah melakukan pengujian alat peraga dan perhitungan teori, maka dapat dihitung *error* yang terjadi pada hasil pengujian alat peraga garis pengaruh. Untuk menghitung *error* dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

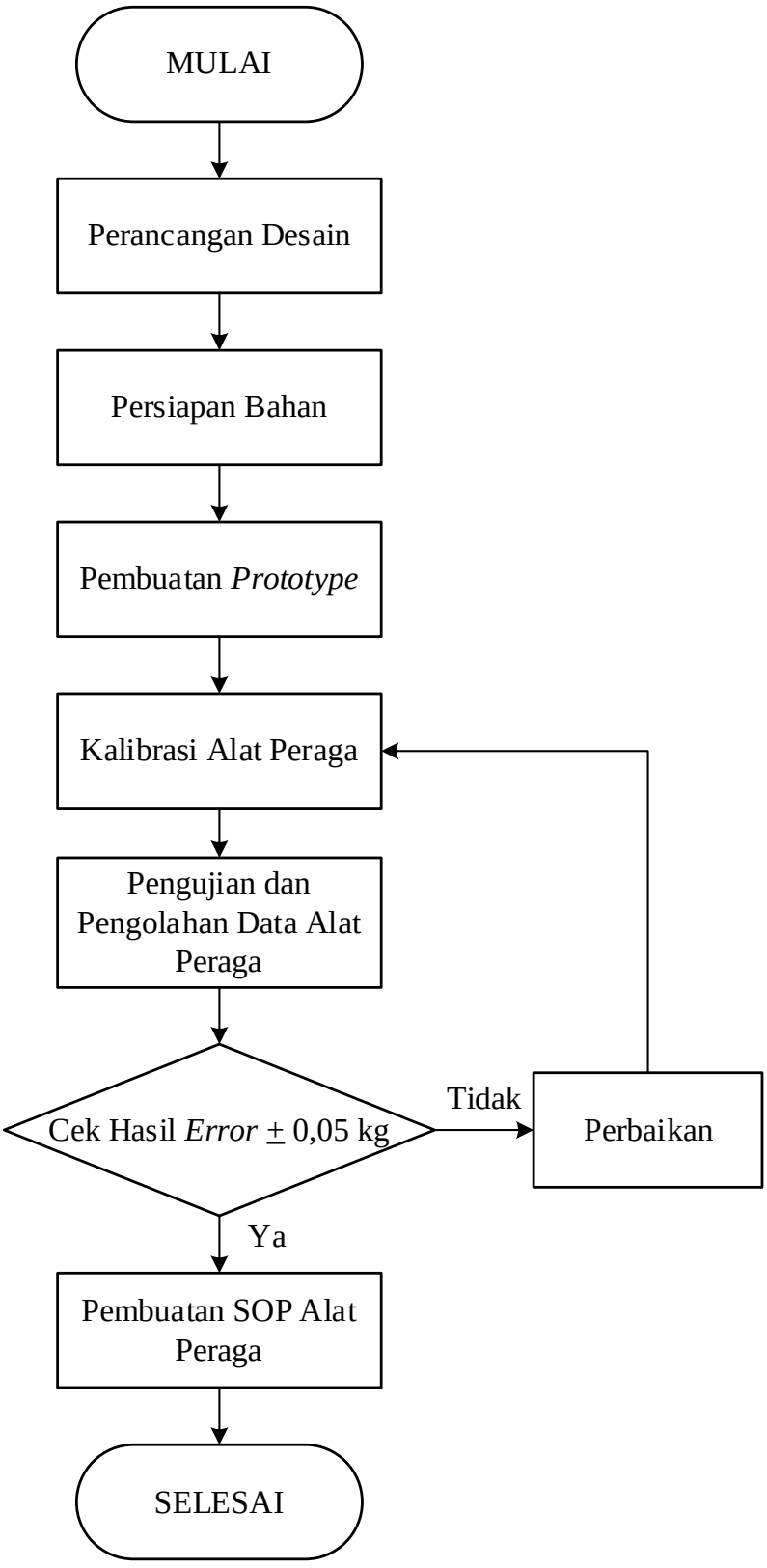
$$error = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right| \quad (4.1)$$

7. Pembuatan standar operasional prosedur (SOP) alat peraga

   Setelah pengujian alat peraga dilakukan maka dapat dilakukan pembuatan SOP dengan mendefinisikan langkah - langkah dalam penggunaan alat peraga secara rinci. Kemudian hasil dari SOP akan digunakan sebagai dasar dalam penggunaan alat peraga, dan akan dilakukan print SOP sebagai panduan dalam penggunaan alat peraga.

4.5 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Diagram alir akan digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan penelitian yang dilakukan. Pembuatan diagram alir ditujukan untuk mempermudah memahami skema metode penelitian. Adapun diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.13 sebagai berikut.



Gambar 4.13 Diagram Alir Penelitian

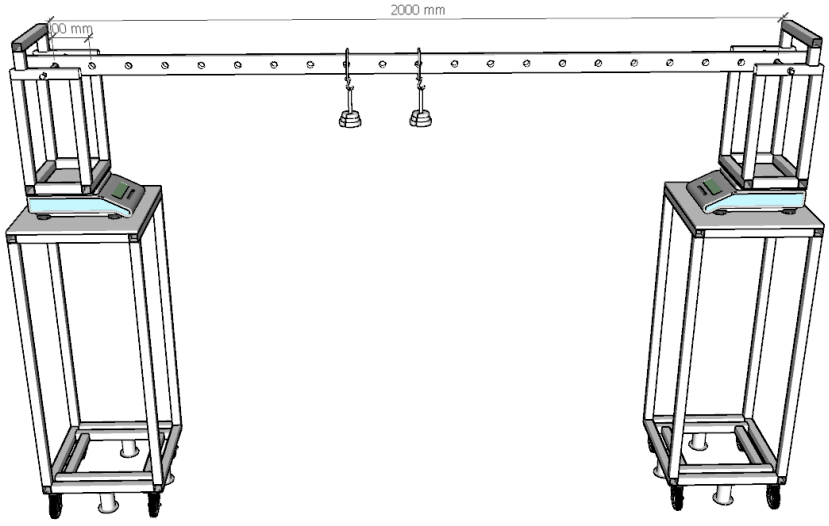
BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Model Perancangan

Penelitian ini akan menghasilkan alat peraga statika garis pengaruh akibat beban berjalan yang dapat digunakan untuk pembelajaran dalam kelas, sehingga dapat mempermudah pengajar dalam menjelaskan konsep garis pengaruh. Alat peraga didesain dan dirancang dengan memperhatikan fungsi dan kemudahan pemakaian pengguna.

5.1.1 Perancangan Desain 3D Model

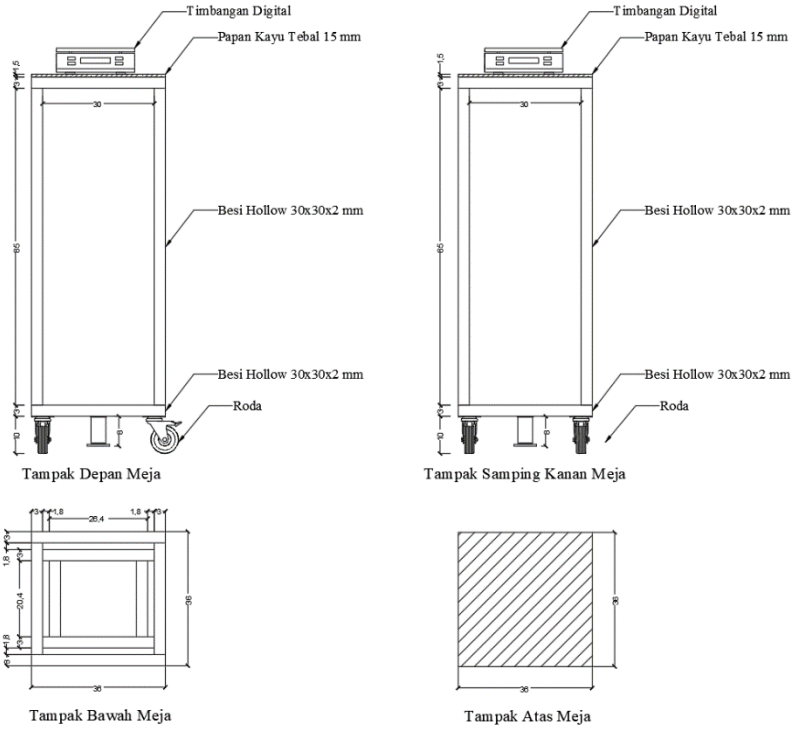
Pembuatan desain alat peraga menggunakan bantuan *software sketchup*. Pemodelan ini dilakukan untuk memudahkan proses identifikasi material yang diperlukan, model ini juga dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan gambar kerja untuk membuat alat peraga garis pengaruh. Adapun hasil pemodelan 3D dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



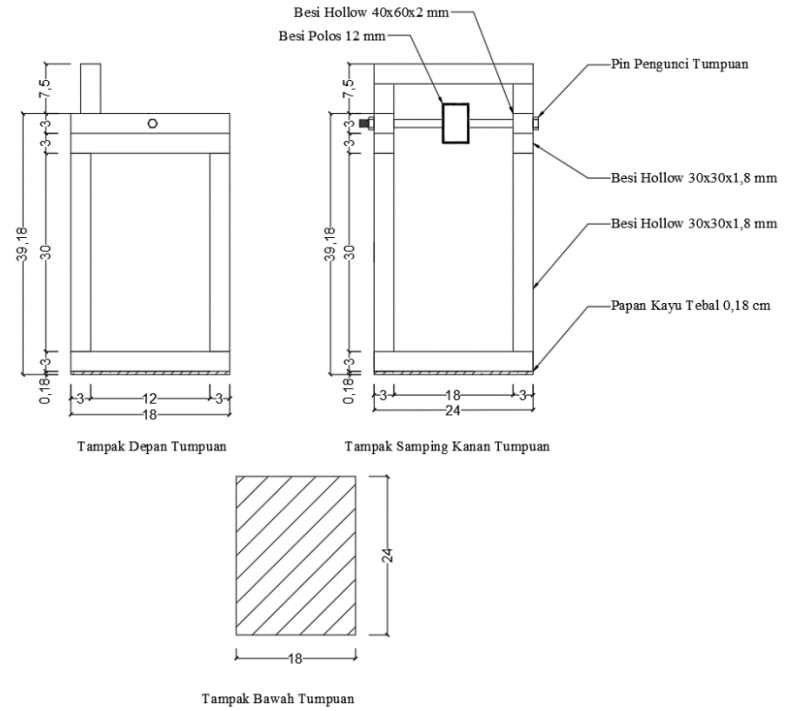
Gambar 5.1 Pemodelan 3D Alat Peraga Garis Pengaruh

Dari Gambar 5.1 dapat diketahui bentuk alat peraga yang akan dibuat. Untuk mempermudah pembuatan alat peraga maka dibuatlah gambar detail setiap

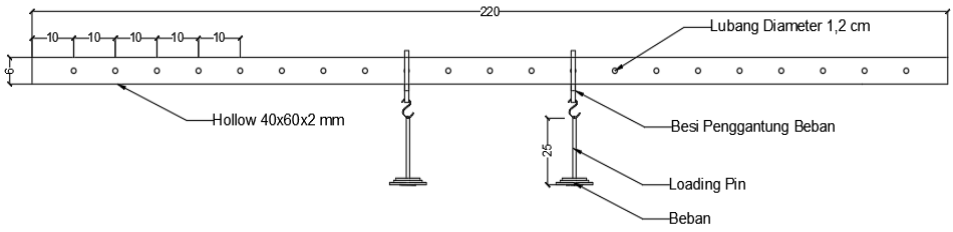
bagiannya melalui bantuan *software AutoCAD*. Detail yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.2, 5.3, dan 5.4.



Gambar 5.2 Detail Meja Alat Peraga



Gambar 5.3 Detail Tumpuan Alat Peraga



Gambar 5.4 Detail Balok dan Beban Alat Peraga

Adapun material atau bahan yang digunakan dalam pembuatan alat peraga garis pengaruh adalah sebagai berikut.

1. Timbangan digital kapasitas 40 kg
2. *Hollow* 40x60x2 mm
3. *Hollow* 30x30x2 mm
4. Baut D12 mm
5. Loading pin
6. Beban 10 kg
7. Papan Kayu

5.2 Pembuatan Alat Peraga

Proses pembuatan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan dilakukan secara mandiri dengan waktu pembuatan 14 hari. Dalam proses pembuatan alat peraga garis pengaruh ada beberapa bagian yang dibuat diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan tumpuan alat peraga

   Pembuatan tumpuan dilakukan dengan memotong besi *hollow* 30x30x2 mm sepanjang 30 cm, 21 cm dan 24 cm sebanyak 8 buah per ukuran. kemudian dihubungkan dan dirakit dengan bantuan las, setelah semua bagian terpasang maka ditempatkan baut di atasnya sebagai pin pengunci yang akan menumpu balok secara langsung. Adapun hasil pembuatan tumpuan dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 Pembuatan Tumpuan Alat Peraga Garis Pengaruh

2. Pembuatan balok alat peraga

   Pembuatan balok dilakukan dengan memotong *hollow* 40x60x2 mm sepanjang 220 cm. Dibuat lubang pada *hollow* dengan jarak antar lubang adalah 10 cm, untuk membuat lubang digunakan alat bantu bor yang memakai mata bor berdiameter 1,2 cm. Lubang ini berfungsi sebagai tempat pin pengunci yang terdapat pada tumpuan dan memungkinkan untuk menggeser tumpuan sesuai jarak pengujian yang dilakukan. Adapun balok yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5.6 Pembuatan Balok Alat Peraga Garis Pengaruh

3. Pembuatan meja alat peraga

   Meja alat peraga dibuat dengan menggunakan bahan *hollow* 30x30x2 mm, besi dipotong sepanjang 85 cm, 36 cm dan 30 cm dengan jumlah 8 buah per ukuran. Besi yang sudah dipotong digabung menggunakan las sesuai dengan detail gambar yang sudah dibuat. Untuk mendapatkan permukaan yang rata pada meja dipakai papan kayu dengan ukuran 36x36x1,8 cm. Adapun hasil pembuatan meja alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Pembuatan Meja Alat Peraga Garis Pengaruh

4. Pembuatan gantungan beban

   Gantungan beban dibuat dari besi plat dengan ukuran 6x8 cm yang dipasang pada balok. Gantungan digunakan sebagai tempat menaruh beban, dan dapat digeser sesuai dengan pengujian yang akan dilaksanakan. Adapun hasil pembuatan gantungan beban dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Pembuatan Penggantung Beban

5. Perakitan alat peraga

   Komponen alat peraga yang sudah dibuat selanjutnya mulai dirakit dengan menempatkan meja sesuai panjang balok, setelah itu timbangan, tumpuan dan balok alat peraga ditempatkan di atasnya secara berurutan. Adapun hasil perakitan alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Alat Peraga yang Sudah Dirakit

6. Kalibrasi alat peraga

Sebelum menggunakan alat peraga perlu dilakukan kalibrasi dengan cara melakukan cek kerataan pada balok dengan menggunakan *waterpass.* Alat ini diletakkan di atas balok dan kerataan balok dapat dilihat melalui gelembung pada *waterpass*, ini dilakukan untuk menghindari kesalahan hasil perhitungan yang dilakukan. Adapun proses kalibrasi alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.10 Kalibrasi Alat Peraga

5.3 Pengujian Alat Peraga

Garis pengaruh diperoleh dengan menempatkan beban titik satu satuan pada balok, maka jenis beban yang diberikan pada alat peraga adalah beban tunggal.

Pengujian dilakukan untuk memperoleh reaksi garis pengaruh akibat beban berjalan dengan membaca timbangan digital pada masing – masing tumpuan yang digunakan. Terdapat 2 model balok yang digunakan dalam pengujian ini yaitu balok sederhana dan balok sederhana dengan kantilever.

5.3.1 Pengujian Garis Pengaruh Reaksi Pada Balok Sederhana

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban satu satuan yang didekati dengan satuan kg dan dimulai dengan menempatkan beban gantung di titik 0 atau pada tumpuan 1, beban akan digeser atau dijalankan per 10 cm sampai ke ujung tumpuan 2 atau pada titik 200 cm. Timbangan digital pada tumpuan 1 dan 2 dapat dibaca per titik terlebih dahulu sebelum menggeser beban ke titik selanjutnya dan hasil dari timbangan digital di catat. Adapun gambar pengujian reaksi garis pengaruh pada balok sederhana dapat dilihat pada Gambar 5.11



Gambar 5.11 Pengujian Garis Pengaruh Reaksi Pada Balok Sederhana

Data yang didapatkan dari pengujian akan ditabelkan untuk mempermudah pembacaan hasil dari pengujian yang dilakukan. Data rekapitulasi garis pengaruh reaksi perletakan awal dari pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Garis Pengaruh Reaksi Hasil Pengujian Pada Balok Sederhana

No	P (kg)	x (cm)	V_1 Pengujian (kg)	V_2 Pengujian (kg)	Kontrol V (kg)	Cek Hasil $\pm$ 0,05 (kg)
1	1	0	1	0	0	OK
2	1	10	0,95	0,05	0	OK
3	1	20	0,9	0,1	0	OK
4	1	30	0,85	0,15	0	OK
5	1	40	0,8	0,2	0	OK
6	1	50	0,75	0,25	0	OK
7	1	60	0,7	0,3	0	OK
8	1	70	0,65	0,35	0	OK
9	1	80	0,6	0,4	0	OK
10	1	90	0,55	0,453	0,003	OK
11	1	100	0,5	0,5	0	OK
12	1	110	0,45	0,553	0,003	OK
13	1	120	0,4	0,603	0,003	OK
14	1	130	0,35	0,65	0	OK
15	1	140	0,3	0,695	0,005	OK
16	1	150	0,25	0,75	0	OK
17	1	160	0,203	0,8	0,003	OK
18	1	170	0,15	0,853	0,003	OK
19	1	180	0,1	0,9	0	OK
20	1	190	0,051	0,95	0,001	OK
21	1	200	0	1	0	OK

Dari Tabel 5.1 dapat diketahui hasil pengujian garis pengaruh reaksi pada balok sederhana menghasilkan pembacaan reaksi V_1 dan V_2 pada timbangangan yang divalidasi dengan persamaan kesetimbangan $\Sigma V = 0$ dan hasil yang didapatkan masih dalam batas aman yang disyaratkan yaitu dibawah $\pm$ 0,05 kg.

Keterangan :

P = berat beban satu satuan yang dipakai (kg)

x = lengan beban terhadap perletakan (cm)

V = Besar reaksi pada tumpuan (kg)

1. Kontrol V

Kontrol pada reaksi V_1 dan V_2 dapat dilakuan dengan cara sebagai berikut.

a. Kontrol pada bentang 0 cm

Kontrol V = V_1 + V_2 - P

= 1 + 0 - 1

= 0 kg (OK)

b. Kontrol pada bentang 10 cm

Kontrol V = V_1 + V_2 - P

= 0,95 + 0,05 - 1

= 0 kg (OK)

c. Kontrol pada bentang 20 cm

Kontrol V = V_1 + V_2 - P

= 0,9 + 0,1 - 1

= 0 kg (OK)

Hasil perhitungan dari kontrol reaksi pengujian alat peraga garis pengaruh direkap pada Tabel 5.1.

2. Perhitungan teori

Setelah didapatkan rekapitulasi reaksi alat peraga garis pengaruh hasil pengujian, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan secara teoritis menggunakan rumus kesetimbangan momen Persamaan 3.4 dan 3.5 berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan.

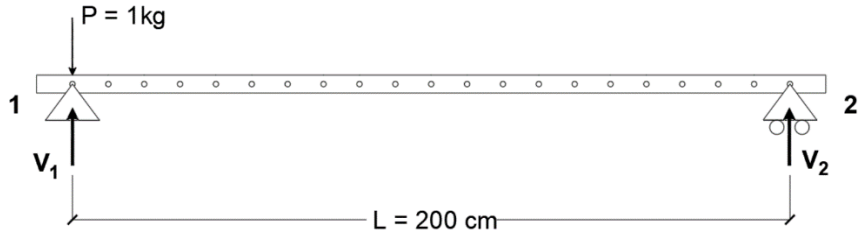
a. Beban pada bentang 0 cm

$V_1 = P - \frac{x}{L}$ $\qquad$ $V_2 = \frac{x}{L}$

$V_1 = 1 - \frac{0}{200}$ $\qquad$ $V_2 = \frac{0}{200}$

$V_1 = 1$ kg $\qquad$ $V_2 = 0$ kg

Adapun pembebanan perhitungan teoritis saat beban berada pada bentang 0 cm dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



Gambar 5.12 Pembebanan Pada Bentang 0 cm

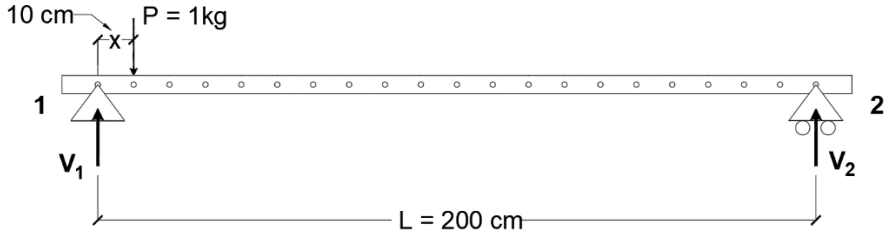
b. Beban pada bentang 10 cm

$V_1 = P - \frac{x}{L}$ $V_2 = \frac{x}{L}$

$V_1 = 1 - \frac{10}{200}$ $V_2 = \frac{10}{200}$

$V_1 = 0{,}95$ kg $V_2 = 0{,}05$ kg

Adapun pembebanan perhitungan teoritis saat beban berada pada bentang 10 cm dapat dilihat pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5.13 Pembebanan Pada Bentang 10 cm

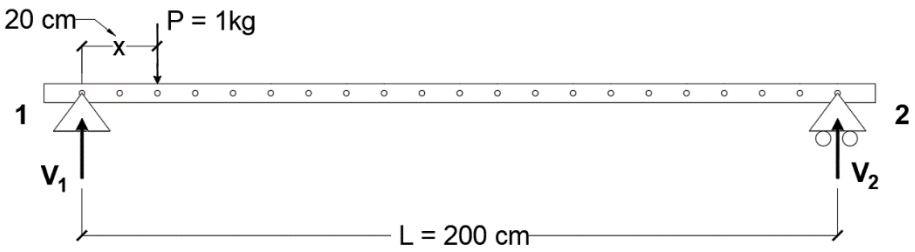
c. Beban pada bentang 20 cm

$V_1 = P - \frac{x}{L}$ $V_2 = \frac{x}{L}$

$V_1 = 1 - \frac{20}{200}$ $V_2 = \frac{20}{200}$

$V_1 = 0{,}9$ kg $V_2 = 0{,}1$ kg

Adapun pembebanan perhitungan teoritis saat beban berada pada bentang 20 cm dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.14 Pembebanan Pada Bentang 20 cm

Hasil dari perhitungan selanjutnya akan direkap dalam Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Reaksi Perhitungan Teori Pada Balok Sederhana

No	P (kg)	x (cm)	$V_{1\ teori}$ (kg)	$V_{2\ teori}$ (kg)	Kontrol V (kg)
1	1	0	1	0	0
2	1	10	0,95	0,05	0
3	1	20	0,9	0,1	0
4	1	30	0,85	0,15	0
5	1	40	0,8	0,2	0
6	1	50	0,75	0,25	0
7	1	60	0,7	0,3	0
8	1	70	0,65	0,35	0
9	1	80	0,6	0,4	0
10	1	90	0,55	0,45	0
11	1	100	0,5	0,5	0
12	1	110	0,45	0,55	0
13	1	120	0,4	0,6	0
14	1	130	0,35	0,65	0
15	1	140	0,3	0,7	0
16	1	150	0,25	0,75	0
17	1	160	0,2	0,8	0
18	1	170	0,15	0,85	0

Lanjutan Tabel 5.2 Rekapitulasi Reaksi Perhitungan Teori Pada Balok Sederhana

No	P (kg)	x (cm)	$V_{1\ teori}$ (kg)	$V_{2\ teori}$ (kg)	Kontrol V (kg)
19	1	180	0,1	0,9	0
20	1	190	0,05	0,95	0
21	1	200	0	1	0

Dari Tabel 5.2 dapat diketahui hasil perhitungan teori reaksi alat peraga garis pengaruh pada balok sederhana menghasilkan reaksi V_1 dan V_2 yang divalidasi dengan persamaan kesetimbangan $\Sigma V = 0$ dan hasil yang didapatkan dibawah $\pm$ 0,05 kg.

Keterangan :

P = berat beban satu satuan yang dipakai (kg)

x = lengan beban terhadap perletakan (cm)

V = Besar reaksi pada tumpuan (kg)

5.3.2 Pengujian Garis Pengaruh Reaksi pada Balok Sederhana dengan Kantilever

Pengujian ini dilakukan dengan mengubah balok balok sederhana yang digunakan menjadi balok sederhana dengan kantilever, pada kasus ini tumpuan 1 digeser 40 cm dan tumpuan 2 digeser 20 cm ke arah tengah bentang. Balok yang sudah di *setting* dibebani menggunakan beban gantung yang ditempatkan di *loading pin* dan akan di geser dari titik 0 sampai 200 cm. Adapun gambar pengujian reaksi garis pengaruh pada balok sederhana dengan kantilever dapat dilihat pada Gambar 5.15



Gambar 5.15 Pengujian Reaksi Garis Pengaruh Pada Balok Sederhana dengan Kantilever

Untuk mempermudah pengelompokan data yang diperoleh maka hasil pengujian akan dimasukkan ke dalam tabel. Adapun tabel yang digunakan pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Garis Pengaruh Reaksi Hasil Pengujian Pada Balok Sederhana dengan Kantilever

No	P (kg)	x (cm)	V_1 Pengujian (kg)	V_2 Pengujian (kg)	Kontrol V (kg)	Cek Hasil $\pm$ 0,05 (kg)
1	1	0	1,286	-0,282	0,004	OK
2	1	10	1,215	-0,212	0,003	OK
3	1	20	1,143	-0,143	0	OK
4	1	30	1,073	-0,073	0	OK
5	1	40	1	0	0	OK
6	1	50	0,931	0,072	0,003	OK
7	1	60	0,859	0,143	0,002	OK
8	1	70	0,789	0,213	0,002	OK
9	1	80	0,712	0,29	0,002	OK
10	1	90	0,644	0,359	0,003	OK
11	1	100	0,571	0,432	0,003	OK
12	1	110	0,5	0,5	0	OK
13	1	120	0,43	0,573	0,003	OK

Lanjutan Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pada Balok Sederhana dengan Kantilever

No	P (kg)	x (cm)	V_1 Pengujian (kg)	V_2 Pengujian (kg)	Kontrol V (kg)	Cek Hasil $\pm$ 0,05 (kg)
14	1	130	0,358	0,645	0,003	OK
15	1	140	0,286	0,717	0,003	OK
16	1	150	0,213	0,789	0,002	OK
17	1	160	0,143	0,854	0,003	OK
18	1	170	0,072	0,927	0,001	OK
19	1	180	0	1	0	OK
20	1	190	-0,072	1,074	0,002	OK
21	1	200	-0,143	1,145	0,002	OK

Dari Tabel 5.3 dapat diketahui hasil pengujian garis pengaruh reaksi pada balok sederhana dengan kantilever menghasilkan pembacaan reaksi V_1 dan V_2 pada timbangangan yang divalidasi dengan persamaan kesetimbangan $\Sigma V = 0$ dan hasil yang didapatkan masih dalam batas aman yang disyaratkan yaitu dibawah $\pm$ 0,05 kg.

Keterangan :

P = berat beban satu satuan yang dipakai (kg)

x = lengan beban terhadap perletakan (cm)

V = Besar reaksi pada tumpuan (kg)

1. Kontrol V

   Kontrol pada reaksi V_1 dan V_2 dapat dilakuan dengan cara sebagai berikut.

   a. Kontrol pada bentang 0 cm

      Kontrol V = $V_1 + V_2 - P$

      = 1,286 + (-0,282) -1

      = 0,004 kg (OK)

   b. Kontrol pada bentang 10 cm

      Kontrol V = $V_1 + V_2 - P$

= 1,215 + (-0,212) - 1

= 0,003 kg (OK)

c. Kontrol pada bentang 20 cm

Kontrol V = $V_1 + V_2$

= 1,143 + (-0,143)

= 0 kg (OK)

2. Perhitungan teori

Setelah didapatkan rekapitulasi reaksi alat peraga garis pengaruh hasil pengujian, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan secara teoritis. Apabila P = 1 kg berada diatas titik 3 dan berjalan sampai tumpuan 1, maka besar reaksi dukungan di titik 1 dan 2, V_1 dan V_2 dapat dihitung dengan Persamaan 3.13 dan 3.15 sebagai berikut.

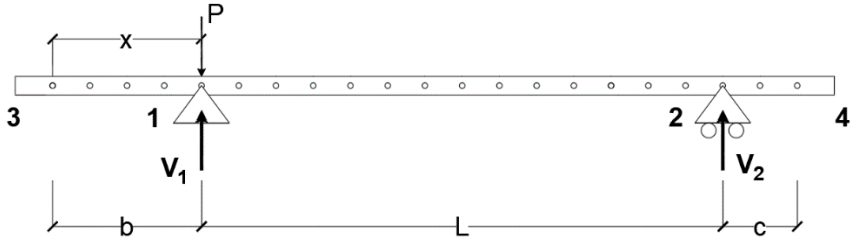
a. Beban pada titik 3 sampai 1

$V_1 = P \times \left(\frac{L+b}{L}\right)$ $\qquad$ $V_2 = -P \times \left(\frac{b}{L}\right)$

$V_1 = 1 \times \left(\frac{140+40}{140}\right)$ $\qquad$ $V_2 = -1 \times \left(\frac{40}{140}\right)$

$V_1 = 1{,}286$ kg $\qquad$ $V_2 = -0{,}286$ kg

Adapun pembebanan perhitungan teoritis saat beban berada pada titik 3 sampai 1 dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5.16 Pembebanan Pada Titik 3 Sampai 1

b. Beban pada titik 1 sampai 2

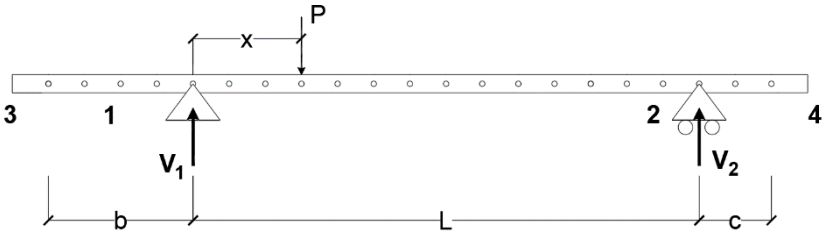
Apabila P = 1 kg berada diatas titik 1 dan berjalan sampai tumpuan 2, maka besar reaksi dukungan dititik 1 dan 2, V_1 dan V_2 dapat dihitung dengan Persamaan 3.4 dan 3.5 sebagai berikut.

$V_1 = P - \frac{x}{L}$ $\qquad$ $V_2 = \frac{x}{L}$

$V_1 = 1 - \frac{0}{140}$ $\qquad$ $V_2 = \frac{0}{140}$

$V_1 = 1$ kg $V_2 = 0$ kg

Adapun pembebanan perhitungan teoritis saat beban berada pada titik 1 sampai 2 dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



Gambar 5.17 Pembebanan Pada Titik 1 Sampai 2

c. Beban pada titik 2 sampai 4

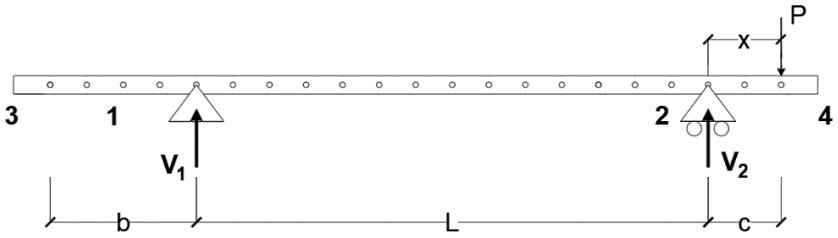
Apabila P = 1 kg berada diatas titik 2 dan berjalan sampai titik 4, maka besar reaksi dukungan dititik 2 dan 4, V_1 dan V_2 dapat dihitung dengan Persamaan 3.13 dan 3.15 sebagai berikut.

$V_1 = -P \times \left(\frac{b}{L}\right)$ $V_2 = P \times \left(\frac{L+c}{L}\right)$

$V_1 = -1 \times \left(\frac{10}{140}\right)$ $V_2 = 1 \times \left(\frac{10+140}{140}\right)$

$V_1 = -0{,}071$ kg $V_2 = 1{,}071$ kg

Adapun pembebanan perhitungan teoritis saat beban berada pada titik 2 sampai 4 dapat dilihat pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5.18 Pembebanan Pada Titik 2 Sampai 4

Hasil dari perhitungan selanjutnya akan direkap dalam Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Reaksi Perhitungan Teoritis Pada Balok Sederhana dengan Kantilever

No	P (kg)	x (cm)	$V_{1\ teori}$ (kg)	$V_{2\ teori}$ (kg)	Kontrol V (kg)
1	1	0	1,286	-0,286	0
2	1	10	1,214	-0,214	0
3	1	20	1,143	-0,143	0
4	1	30	1,071	-0,071	0
5	1	40	1	0	0
6	1	50	0,929	0,071	0
7	1	60	0,857	0,143	0
8	1	70	0,786	0,214	0
9	1	80	0,714	0,286	0
10	1	90	0,643	0,357	0
11	1	100	0,571	0,429	0
12	1	110	0,5	0,5	0
13	1	120	0,429	0,571	0
14	1	130	0,357	0,643	0
15	1	140	0,286	0,714	0
16	1	150	0,214	0,786	0
17	1	160	0,143	0,857	0
18	1	170	0,071	0,929	0
19	1	180	0	1	0
20	1	190	-0,071	1,071	0
21	1	200	-0,143	1,143	0

Dari Tabel 5.4 dapat diketahui hasil perhitungan teori reaksi alat peraga garis pengaruh pada balok sederhana menghasilkan reaksi V_1 dan V_2 kemudian divalidasi dengan persamaan kesetimbangan $\Sigma V = 0$ dan hasil yang didapatkan dibawah $\pm$ 0,05 kg.

Keterangan :

P = berat beban satu satuan yang dipakai (kg)

x = lengan beban terhadap perletakan (cm)

V = Besar reaksi pada tumpuan (kg)

5.4 Perbandingan Hasil Alat Peraga Garis Pengaruh dengan Perhitungan Teoritis

Data yang diperoleh dari pengujian alat peraga garis pengaruh akan dibandingkan dengan perhitungan teoritis untuk mengevaluasi akurasi hasil alat peraga dengan menghitung presentase *error* yang terjadi antara hasil pengujian dengan perhitungan teori . Perbandingan ini menunjukkan kinerja alat peraga garis pengaruh dalam menggambarkan garis pengaruh dan memberikan visualisasi yang membantu dalam memahami perilaku struktur di bawah beban bergerak.

5.4.1 Perbandingan Hasil *Error* pada Balok Sederhana

Hasil pengujian yang mendekati perhitungan teoritis menunjukkan bahwa model tersebut cukup akurat untuk digunakan dalam memvisualisasikan garis pengaruh. Sebaliknya, jika terdapat perbedaan signifikan, ini bisa menandakan perlunya revisi model alat peraga yang telah dibuat.

1. Perbandingan reaksi hasil pengujian dengan perhitungan teoritis

   Error yang terjadi pada alat peraga dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.1 sebagai berikut.

   a. *Error* pada bentang 0 cm

   $V_1 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$

   $V_1 = \left|\frac{1-1}{1} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{0-0}{0} \times 100\%\right|$

   $V_1 = 0\ \%$ $V_2 = \sim$

   b. *Error* pada bentang 10 cm

   $V_1 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$

   $V_1 = \left|\frac{0{,}95-0{,}95}{0{,}95} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{0{,}05-0{,}05}{0{,}05} \times 100\%\right|$

   $V_1 = 0\ \%$ $V_2 = 0\ \%$

c. *Error* pada bentang 20 cm

$V_1 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$

$V_1 = \left|\frac{0,9 - 0,9}{0,9} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{0,1 - 0,1}{0,1} \times 100\%\right|$

$V_1 = 0\ \%$ $V_2 = 0\ \%$

Hasil dari perhitungan *error* selanjutnya akan direkap dalam Tabel 5.5. Dari tabel tersebut dapat dibuat grafik perbandingan garis pengaruh antara hasil pengujian dengan perhitungan teori yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan 5.20 sebagai berikut.

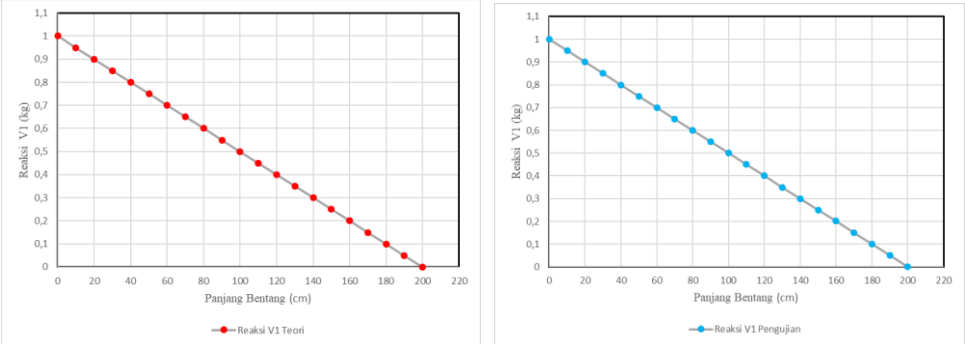
Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Teoritis pada Balok Sederhana

x (cm)	Hasil Reaksi V_1				Hasil Reaksi V_2			
	V_1 Teori (kg)	V_1 Pengujian (kg)	*Error* (%)	Hasil	V_2 Teori (kg)	V_2 Pengujian (kg)	*Error* (%)	Hasil
0	1	1	0	OK	0	0	~	OK
10	0,95	0,95	0	OK	0,05	0,05	0	OK
20	0,9	0,9	0	OK	0,1	0,1	0	OK
30	0,85	0,85	0	OK	0,15	0,15	0	OK
40	0,8	0,8	0	OK	0,2	0,2	0	OK
50	0,75	0,75	0	OK	0,25	0,25	0	OK
60	0,7	0,7	0	OK	0,3	0,3	0	OK
70	0,65	0,65	0	OK	0,35	0,35	0	OK
80	0,6	0,6	0	OK	0,4	0,4	0	OK
90	0,55	0,55	0	OK	0,45	0,453	0,67	OK
100	0,5	0,5	0	OK	0,5	0,5	0	OK
110	0,45	0,45	0	OK	0,55	0,553	0,55	OK
120	0,4	0,4	0	OK	0,6	0,603	0,50	OK
130	0,35	0,35	0	OK	0,65	0,65	0	OK

Lanjutan Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Teoritis pada Balok Sederhana

x (cm)	Hasil Reaksi V_1				Hasil Reaksi V_2			
	V_1 Teori (kg)	V_1 Pengujian (kg)	*Error* (%)	Hasil	V_2 Teori (kg)	V_2 Pengujian (kg)	*Error* (%)	Hasil
140	0,3	0,3	0	OK	0,7	0,695	0,71	OK
150	0,25	0,25	0	OK	0,75	0,75	0	OK
160	0,2	0,203	1,5	OK	0,8	0,8	0	OK
170	0,15	0,15	0	OK	0,85	0,853	0,35	OK
180	0,1	0,1	0	OK	0,9	0,9	0	OK
190	0,05	0,051	2	OK	0,95	0,95	0	OK
200	0	0	~	OK	1	1	0	OK

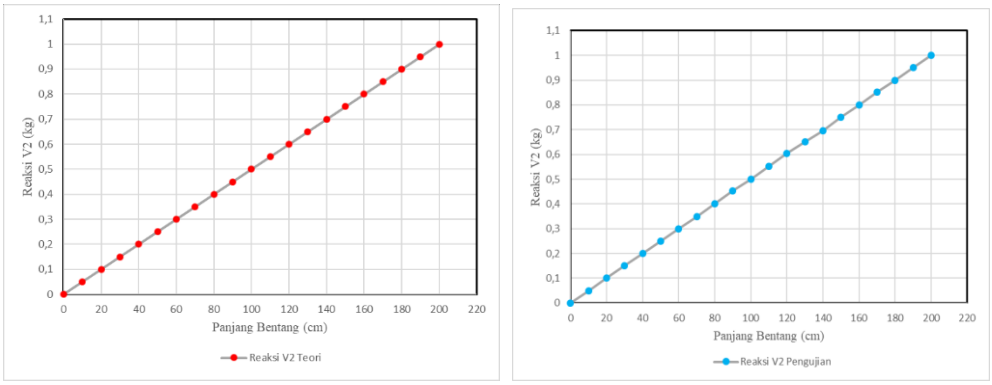
Dari Tabel 5.5 dapat diketahui hasil *error* terbesar yang terjadi antara hasil pengujian alat peraga dan perhitungan teori pada V_1 sebesar 2 % sedangkan pada V_2 sebesar 0,71 %.



(a) (b)

Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Reaksi V_1 Pada Balok Sederhana (a) Reaksi V_1 teori; (b) Reaksi V_1 Pengujian

Dari grafik perbandingan reaksi V_1 pada balok sederhana di atas dapat dilihat bahwa titik reaksi V_1 akan bertambah besar apabila jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin pendek dan titik reaksi V_1 akan bertambah kecil jika jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin panjang.



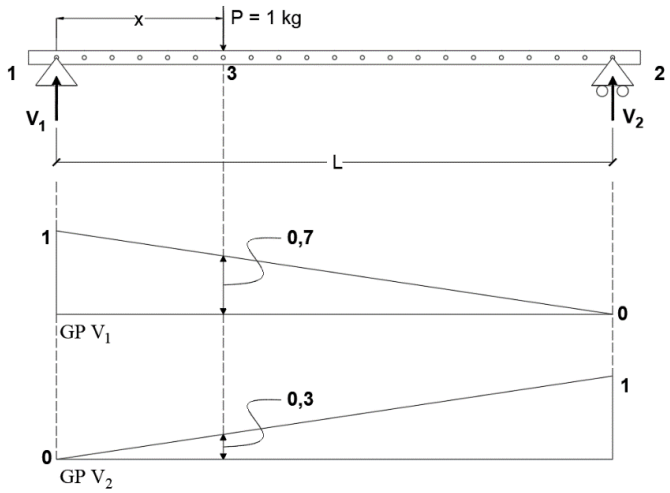
(a) (b)

Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Reaksi V_2 Pada Balok Sederhana (a) Reaksi V_2 teori; (b) Reaksi V_2 Pengujian

Dari grafik perbandingan reaksi V_2 pada balok sederhana di atas dapat dilihat bahwa titik reaksi V_2 akan bertambah besar apabila jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin pendek dan titik reaksi V_2 akan bertambah kecil jika jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin panjang.

2. Contoh kasus balok sederhana

Hasil pengujian alat peraga dapat digunakan untuk menghitung reaksi pada tumpuan dengan metode garis pengaruh, oleh karena itu pada contoh kasus ini akan dibuktikan hasil perhitungan metode analitis dan metode garis pengaruh tidak berbeda jauh atau bahkan sama. Contoh hasil garis pengaruh reaksi dari pengujian alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.21



Gambar 5.21 Grafik Garis Pengaruh Reaksi V_1 dan V_2 Pada Balok Sederhana

Apabila diletakkan beban sebesar P = 5 kg pada titik 3 maka dapat dilakukan analisis reaksi pada tumpuan V_1 dan V_2 dengan menggunakan metode analitis dan metode garis pengaruh, perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

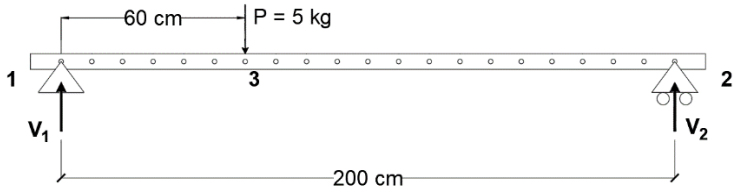
a. Metode analitis

$\Sigma M_2 = 0$	$\Sigma M_1 = 0$
$V_1 \times L - P \times (L - x) = 0$	$-V_2 \times L + (P \times x) = 0$
$V_1 = P \times \frac{(L-x)}{L}$	$V_2 = \frac{P \times x}{L}$
$V_1 = 5 \times \frac{(200-60)}{200}$	$V_2 = \frac{5 \times 60}{200}$
$V_1 = 3{,}5$ kg	$V_2 = 1{,}5$ kg

b. Metode garis pengaruh

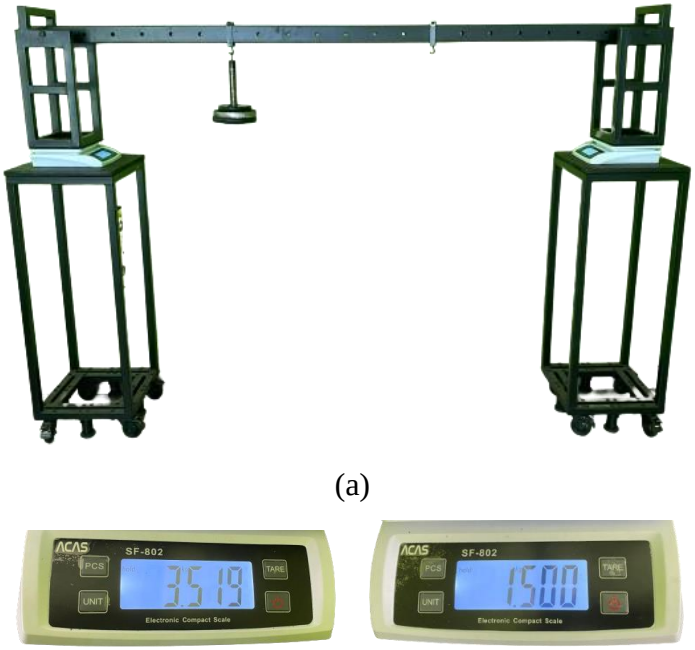
$V_1 = P \times GP\ V_1$	$V_2 = P \times GP\ V_2$
$V_1 = 5 \times 0{,}7$	$V_2 = 5 \times 0{,}3$
$V_1 = 3{,}5$ kg	$V_2 = 1{,}5$ kg

Adapun contoh kasus yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 5.22 sebagai berikut.



Gambar 5.22 Contoh Kasus Pembebanan Pada Balok Sederhana

Hasil perhitungan metode analitis dan metode garis pengaruh yang telah dilakukan pada balok sederhana memberikan nilai yang sama. Dalam beberapa kasus terdapat perbedaan nilai dari metode garis pengaruh dengan metode analitis ini dikarenakan hasil pengujian V_1 dan V_2 yang kurang tepat. Reaksi juga dapat dibaca pada pengujian melalui timbangan digital. Adapun *setting* alat peraga saat beban 5 kg berada pada titik 3 dapat dilihat pada Gambar 5.23 a sebagai berikut.



(a)

(b) (c)

Gambar 5.23 Pengujian pada Contoh Kasus Balok Sederhana (a) *Setting* alat pengujian; (b) Pembacaan Reaksi V_1; (c) Pembacaan Reaksi V_2

Pada Gambar 5.23 b dapat dilihat timbangan menunjukkan pembacaan reaksi V_1 sebesar 3,519 kg, sedangkan pada Gambar 5.23 c dapat dilihat hasil pembacaan V_2 sebesar 1,5 kg. Dari tiga metode yang telah dilakukan untuk mencari reaksi V_1 dan V_2 dibuat tabel perbandingan hasil reaksi sebagai berikut.

Tabel 5.6 Perbandingan Nilai Reaksi Contoh Kasus Balok Sederhana

No.	Metode	V_1 (kg)	V_2 (kg)
1	Analitis	3,5	1,5
2	Garis Pegaruh	3,5	1,5
3	Pembacaan Langsung	3,519	1,5

Pada Tabel 5.6 perhitungan hasil pembacaan pada timbangan divalidasi dengan persamaan kesetimbangan $\Sigma V = 0$, didapatkan hasil perbandingan

menggunakan tiga metode masih di dalam batas toleransi $\pm$ 0,05 kg dengan selisih paling besar 0,019 kg.

5.4.2 Perbandingan Hasil Balok Sederhana dengan Kantilever

Hasil pengujian yang mendekati hasil perhitungan teoritis menunjukkan bahwa model tersebut cukup akurat untuk digunakan dalam analisis struktur. Sebaliknya, jika terdapat perbedaan signifikan, ini bisa menandakan perlunya revisi model alat peraga yang telah dibuat.

1. Perbandingan reaksi hasil pengujian dengan perhitungan teoritis

   Error yang terjadi pada alat peraga dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.1 sebagai berikut.

   a. *Error* pada bentang 0 cm

   $V_1 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$

   $V_1 = \left|\frac{1{,}286 - 1{,}286}{1{,}286} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{-0{,}286 - (-0{,}282)}{-0{,}286} \times 100\%\right|$

   $V_1 = 0\ \%$ $V_2 = 1{,}4\ \%$

   b. *Error* pada bentang 10 cm

   $V_1 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$

   $V_1 = \left|\frac{1{,}214 - 1{,}215}{1{,}214} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{-0{,}214 - (-0{,}212)}{-0{,}214} \times 100\%\right|$

   $V_1 = 0{,}08\ \%$ $V_2 = 0{,}93\ \%$

   c. *Error* pada bentang 20 cm

   $V_1 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{Teori - Pengujian}{Teori} \times 100\%\right|$

   $V_1 = \left|\frac{1{,}143 - 1{,}143}{1{,}143} \times 100\%\right|$ $V_2 = \left|\frac{-0{,}143 - (-0{,}143)}{0{,}143} \times 100\%\right|$

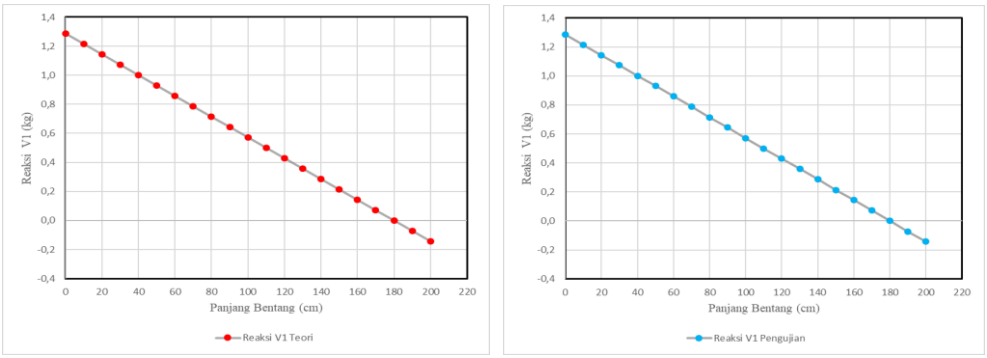
   $V_1 = 0\ \%$ $V_2 = 0\ \%$

   Hasil dari perhitungan *error* selanjutnya akan direkap dalam Tabel 5.7. Dari tabel tersebut dapat dibuat grafik perbandingan garis pengaruh antara hasil pengujian dengan perhitungan teori yang dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Perhitungan Teoritis Pada Balok Sederhana dengan Kantilever

x (cm)	Hasil Reaksi V_1				Hasil Reaksi V_2			
	V_1 Teori (kg)	V_1 Pengujian (kg)	*Error* (%)	Hasil	V_2 Teori (kg)	V_2 Pengujian (kg)	*Error* (%)	Hasil
0	1,286	1,286	0	OK	-0,286	-0,282	1.4	OK
10	1,214	1,215	0,08	OK	-0,214	-0,212	0,93	OK
20	1,143	1,143	0	OK	-0,143	-0,143	0	OK
30	1,071	1,073	0,19	OK	-0,071	-0,073	2,8	OK
40	1	1	0	OK	0	0	~	OK
50	0,929	0,931	0,22	OK	0,071	0,072	1,4	OK
60	0,857	0,859	0,23	OK	0,143	0,143	0	OK
70	0,786	0,789	0,38	OK	0,214	0,213	0,47	OK
80	0,714	0,712	0,28	OK	0,286	0,29	1,4	OK
90	0,643	0,644	0,16	OK	0,357	0,359	0,56	OK
100	0,571	0,571	0	OK	0,423	0,432	2,1	OK
110	0,5	0,5	0	OK	0,5	0,5	0	OK
120	0,429	0,43	0,23	OK	0,571	0,573	0,35	OK
130	0,357	0,358	0,28	OK	0,643	0,645	0,31	OK
140	0,286	0,286	0	OK	0,714	0,717	0,42	OK
150	0,214	0,213	0,47	OK	0,786	0,789	0,38	OK
160	0,143	0,143	0	OK	0,857	0,854	0,35	OK
170	0,071	0,072	1,4	OK	0,929	0,927	0,22	OK
180	0	0	~	OK	1	1	0	OK
190	-0,071	-0,072	1,4	OK	1,071	1,074	0,28	OK
200	-0,143	-0,143	0	OK	1,143	1,145	0,18	OK

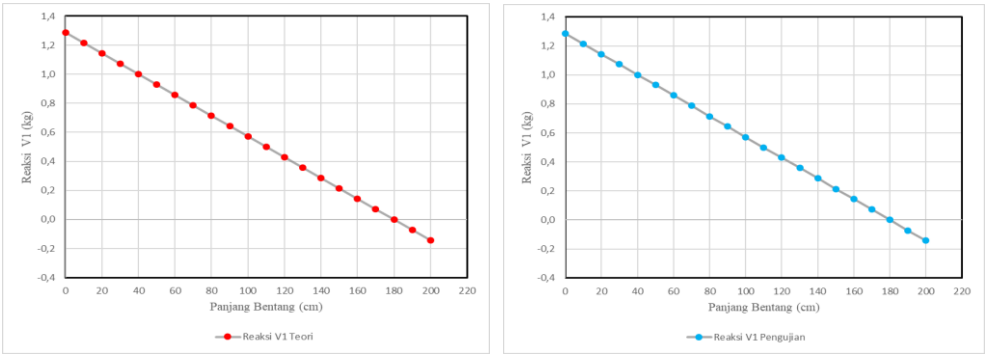
Dari Tabel 5.7 dapat diketahui hasil *error* terbesar yang terjadi antara hasil pengujian alat peraga dan perhitungan teori pada V_1 sebesar 1,4 % sedangkan pada V_2 sebesar 2,8 %.



(a) (b)

Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Reaksi V_1 Pada Balok Sederhana dengan Kantilever (a) Reaksi V_1 teori; (b) Reaksi V_1 Pengujian

Dari grafik perbandingan reaksi V_1 pada balok sederhana dengan kantilever di atas dapat dilihat bahwa titik reaksi V_1 akan bertambah besar apabila jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin pendek dan titik reaksi V_1 akan bertambah kecil jika jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin panjang.



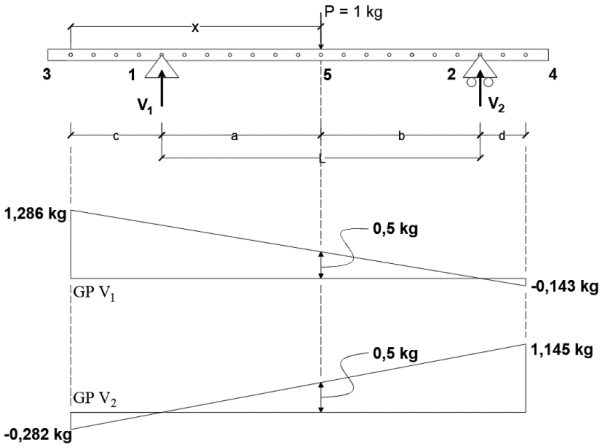
(a) (b)

Gambar 5.25 Grafik Perbandingan Reaksi V_1 Pada Balok Sederhana dengan Kantilever (a) Reaksi V_1 teori; (b) Reaksi V_1 Pengujian

Dari grafik perbandingan reaksi V_2 pada balok sederhana dengan kantilever di atas dapat dilihat bahwa titik reaksi V_2 akan bertambah besar apabila jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin pendek dan titik reaksi V_2 akan bertambah kecil jika jarak beban ke tumpuan yang ditinjau semakin panjang.

2. Contoh kasus balok sederhana dengan kantilever

Hasil pengujian alat peraga dapat digunakan untuk menghitung reaksi pada tumpuan dengan metode garis pengaruh, oleh karena itu pada contoh kasus ini akan dibuktikan hasil perhitungan metode analitis dan metode garis pengaruh tidak berbeda jauh atau bahkan sama. Contoh hasil garis pengaruh reaksi dari pengujian alat peraga dapat dilihat pada Gambar 5.26



Gambar 5.26 Grafik Garis Pengaruh Reaksi V_1 dan V_2 pada Balok Sederhana dengan Kantilever

Apabila diletakkan beban sebesar P_1 = 2 kg pada titik 3 dan P_2 = 3 kg pada titik 5 maka dapat dilakukan analisis reaksi pada tumpuan V_1 dan V_2 dengan menggunakan metode analitis dan metode garis pengaruh, perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Metode analitis

$\Sigma M_2 = 0$

$V_1 \times L - P_1(c + L) - P_2 \times b = 0$

$V_1 = \frac{P_1(c+L)+P_2 \times b}{L}$

$V_1 = \frac{2(40+140)+3 \times 70}{140}$

$V_1 = 4{,}071$ kg

$\Sigma M_1 = 0$

$V_2 = -\frac{(P_1 \times c)+(-P_2 \times a)}{L}$

$V_2 = -\frac{(2 \times 40)+(-3 \times 70)}{140}$

$V_2 = -\frac{(-130)}{140}$

$V_2 = 0{,}929$ kg

b. Metode garis pengaruh

$V_1 = P_1 \times GPV_1 + P_2 \times GPV_1$

$V_1 = 2 \times 1{,}286 + 3 \times 0{,}5$

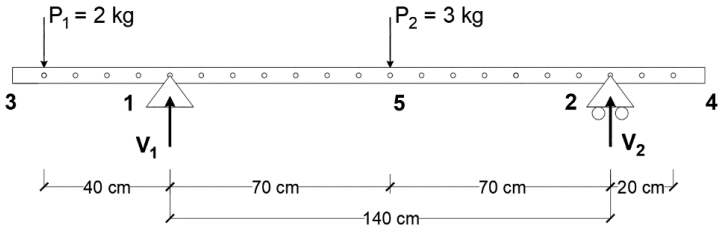
$V_1 = 4{,}072$ kg

$V_2 = P_1 \times GPV_2 + P_2 \times GPV_2$

$V_2 = 2 \times (-0{,}282) + 3 \times 0{,}5$

$V_1 = 0{,}936$ kg

Adapun contoh kasus yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 5.27 sebagai berikut.



Gambar 5.27 Contoh Kasus Pembebanan Pada Balok Sederhanan dengan Kantilever

Hasil perhitungan metode analitis dan metode garis pengaruh yang telah dilakukan pada balok sederhana dengan kantilever memberikan nilai yang sedikit berbeda, perbedaan nilai dari metode garis pengaruh dengan metode analitis ini dikarenakan hasil pengujian V_1 dan V_2 yang kurang tepat. Reaksi juga dapat dibaca pada pengujian melalui timbangan digital. Adapun *setting* yang dilakukan pada alat peraga saat beban P_1 = 2 kg pada titik 3 dan P_2 = 3 kg pada titik 5 dapat dilihat pada Gambar 5.28 a sebagai berikut.



(a)



(b) (c)

Gambar 5.28 Pengujian pada Contoh Kasus Balok Sederhana dengan Kantilever (a) *Setting* alat pengujian; (b) Pembacaan Reaksi V_1; (c) Pembacaan Reaksi V_2

Pada Gambar 5.28 b dapat dilihat timbangan menunjukkan pembacaan reaksi V_1 sebesar 4,089 kg, sedangkan pada Gambar 5.28 c dapat dilihat hasil pembacaan V_2 sebesar 0,929 kg. Dari tiga metode yang telah dilakukan untuk mencari reaksi V_1 dan V_2 dibuat tabel perbandingan hasil reaksi sebagai berikut.

Tabel 5.8 Perbandingan Nilai Reaksi Contoh Kasus Balok Sederhana dengan Kantilever

No.	Metode	V_1 (kg)	V_2 (kg)
1	Analitis	4,071	0,929
2	Garis Pegaruh	4,072	0,936
3	Pembacaan Langsung	4,089	0,929

Pada Tabel 5.8 perhitungan hasil pembacaan pada timbangan divalidasi dengan persamaan kesetimbangan $\Sigma V = 0$, didapatkan hasil perbandingan menggunakan tiga metode masih di dalam batas toleransi $\pm$ 0,05 kg dengan selisih paling besar 0,018 kg

5.5 *Standard Operating Procedure* (SOP) Alat Peraga

SOP pada alat peraga merupakan panduan tertulis yang didalamnya berisi langkah-langkah yang harus diikuti untuk menggunakan alat peraga dengan benar dan aman. Penerapan SOP pada alat peraga garis pengaruh tidak hanya digunakan untuk memastikan alat dapat dipakai dengan baik secara teknis, tetapi juga digunakan untuk mengurangi kesalahan dan memudahkan pemakaian alat peraga selama pengujian yang dilakukan. Berikut adalah SOP yang digunakan dalam pemakaian alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan.

1. Tujuan

   Tujuan dari percobaan yang dilakukan adalah mengetahui reaksi yang terjadi pada perletakan atau tumpuan yang dapat dibaca melalui timbangan digital sehingga dapat diperoleh garis pengaruh yang terjadi pada balok sederhana dan balok sederhana dengan kantilever.

2. Ruang lingkup

   SOP ini berlaku bagi semua yang menggunakan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan yang didalamnya termasuk mahasiswa, dosen, dan teknisi laboratorium.

3. Dasar teori

   Garis pengaruh merupakan grafik yang menunjukkan variasi besar reaksi pada titik di struktur balok ketika beban berjalan melewati seluruh panjang struktur balok tersebut. Pada struktur balok yang diberikan beban berjalan, garis pengaruh membantu dalam menentukan reaksi tumpuan, gaya geser dan momen lentur yang terjadi pada balok.

4. Alat

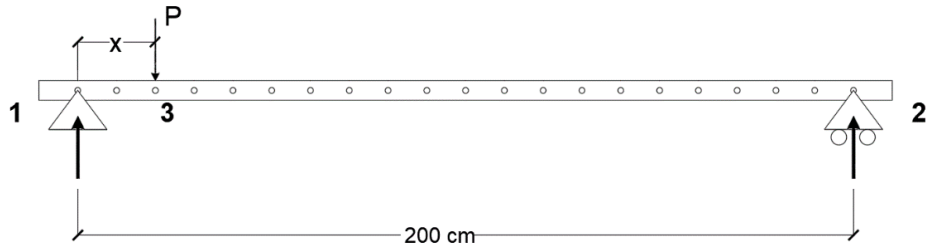
   c. Balok utama panjang 220 cm
   d. Tumpuan
   e. Meja
   f. Baut dan mur
   g. Beban
   h. Penggantung beban
   i. Timbangan
   j. *Waterpass*

5. Keselamatan kerja

   a. Memakai alat pelindung diri (APD) seperti sarung tangan dan sepatu.
   b. Pastikan area pengujian bebas dari gangguan dan digunakan pada tempat yang rata.
   c. Gunakan beban sesuai dengan kapasitas alat untuk mencegah kerusakan pada penggantung beban dan timbangan digital.
   d. Pastikan tidak meninggalkan beban yang menggantung pada balok, ini bertujuan untuk menghindari jatuhnya beban yang dapat melukai kaki.
   e. Mengunci roda meja yang digunakan untuk mencegah bergeraknya balok dan tumpuan.

6. Langkah percobaan
    a. Letakkan meja sesuai dengan panjang balok yang dipakai dalam pengujian dan kunci roda meja agar tidak bergerak.
    b. Timbangan digital diletakkan saling berhadapan di atas meja yang sudah diatur jaraknya.
    c. Letakkan tumpuan di atas timbangan digital dan dinolkan dengan klik tombol *tare.*
    d. Rangkai balok pada masing-masing tumpuan membentuk struktur balok sederhana atau balok sederhana dengan kantilever dengan panjang bentang yang disesuaikan kebutuhan pengujian.
    e. Kalibrasi kerataan balok dengan menggunakan waterpass, apabila balok belum rata maka kaki-kaki pada meja bisa di *adjust* sampai balok dalam keadaan rata.
    f. Timbangan digital kembali dinolkan dengan klik tombol *tare.*
    g. Siapkan beban dan penggantung beban.
    h. Lakukan pembebanan menggunakan beban 1 kg. Pembebanan dilakukan pada interval 10 cm bergerak dari ujung balok kiri sampai balok kanan.
    i. Hasil reaksi yang terukur pada kedua timbangan di masing-masing jarak (x) dibaca dan dicatat pada form laporan sementara pengujian yang dapat dilihat pada Lampiran 2 dan 3.
    j. Ulangi langkah h dan i dengan memindahkan beban yang dipakai setiap interval 10 cm.
7. Lembar kerja analisa lanjutan balok sederhana

    Analisa lanjutan dilakukan setelah hasil pengujian alat peraga dilakukan, analisa dilakukan dengan mencari garis pengaruh gaya geser dan momen lentur yang terjadi pada beberapa titik. Analisa lanjutan garis pengaruh gaya geser dan momen lentur dilakukan pada titik 3. Balok sederhana yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.29 dan hasil perhitungan balok sederhana dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.29 Balok Sederhana

Tabel 5.9 Lembar Kerja Analisa Lanjutan pada Balok Sederhana

No	x (cm)	Reaksi V_1 Pengujian (kg)	Reaksi V_2 Pengujian (kg)	Gaya Geser Q (kg)	Momen Lentur M (kg.cm)
1	20	0,9	0,1	-0,1	18
				0,9	18
2	100	0,5	0,5	-0,5	50
				0,5	50
...	...	...	...	...	...

Gaya geser dan momen lentur yang terdapat pada Tabel 5.9 dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

a. Garis pengaruh gaya geser

Gaya geser dapat dicari dengan menggunakan hasil pengujian garis pengaruh reaksi pada alat peraga, perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1.) Garis pengaruh gaya geser pada bentang 20 cm atau titik 3

a.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 0 cm) dan (*x* = 20 cm)

- Jika x 20 cm

$Q_3 = -V_2$

$Q_3 = -0{,}1$ kg

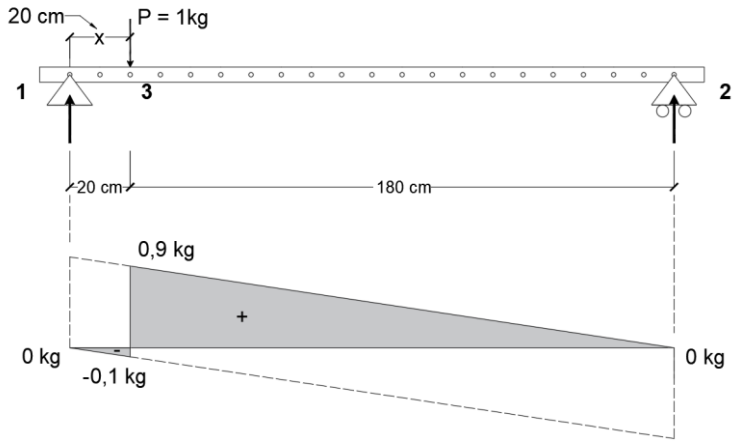
b.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 20 cm) dan (*x* =200 cm)

- Jika x 20 cm

$Q_3 = V_1$

$Q_3 = 0{,}9$ kg

Grafik garis pengaruh gaya geser pada bentang 20 cm dapat dilihat pada Gambar 5.30 sebagai berikut.



Gambar 5.30 Garis Pengaruh Gaya Geser Balok Sederhana pada Bentang 20 cm

1.) Garis pengaruh gaya geser pada bentang 100 cm atau titik 3

a.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 0 cm) dan (*x* = 100 cm)

- Jika x 50 cm

$Q_3 = -V_2$

$Q_3 = -0{,}5$ kg

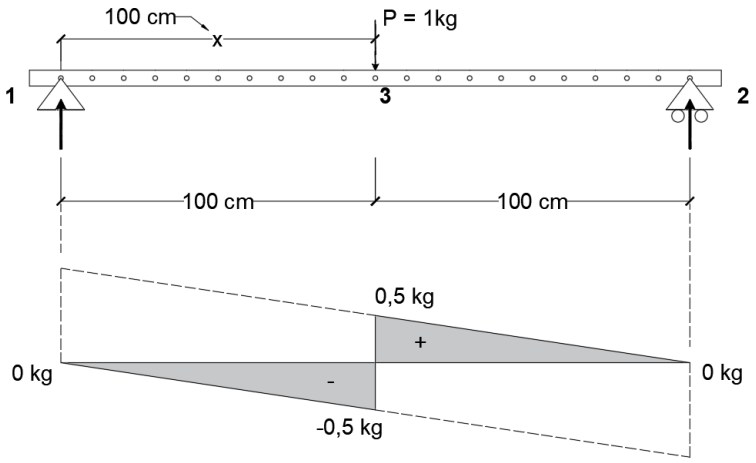
b.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 100 cm) dan (*x* =200 cm)

- Jika x 50 cm

$Q_3 = V_1$

$Q_3 = 0{,}5$ kg

Grafik garis pengaruh gaya geser pada bentang 100 cm dapat dilihat pada Gambar 5.31 sebagai berikut.



Gambar 5.31 Garis Pengaruh Gaya Geser Balok Sederhana pada Bentang 100 cm

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui garis pengaruh gaya geser di titik 3 dipengaruhi oleh reaksi tumpuan yang ada pada balok. Garis pengaruh gaya geser ini menggambarkan bagaimana gaya geser Q_3 berubah saat beban P bergerak dari x = 0 cm hingga x = 200 cm.

b. Garis pengaruh momen lentur

Garis pengaruh dapat dicari dengan menggunakan hasil pengujian garis pengaruh reaksi pada alat peraga, perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1.) Garis pengaruh momen lentur pada bentang 20 cm

a.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* =0) dan (*x* = 20)

- Jika x 20 cm

$M_3 = V_1 \times a$

$M_3 = 0{,}9 \times 20$

$M_3 = 18$ kg.cm

b.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 20) dan (*x* = 200)

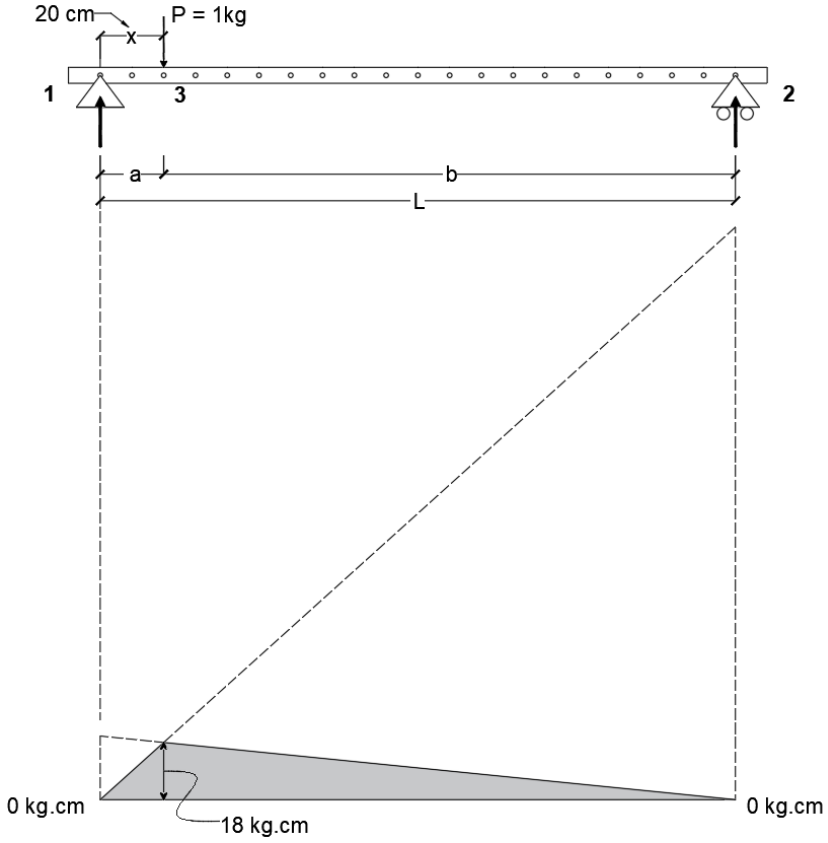
- Jika x 20 cm

$M_3 = b \times V_2$

$M_3 = 180 \times 0{,}1$

$M_3 = 18$ kg.cm

Grafik garis pengaruh momen lentur pada bentang 20 cm atau titik 3 dapat dilihat pada Gambar 5.32 sebagai berikut.



Gambar 5.32 Garis Pengaruh Momen Lentur Balok Sederhana pada Bentang 20 cm

2.) Garis pengaruh momen lentur pada bentang 100 cm

a.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 0 cm) dan (*x* = 100 cm)

- Jika x 100 cm

$M_3 = V_1 \times a$

$M_3 = 0{,}5 \times 100$

$M_3 = 50$ kg.cm

b.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 100 cm) dan (*x* = 200 cm)

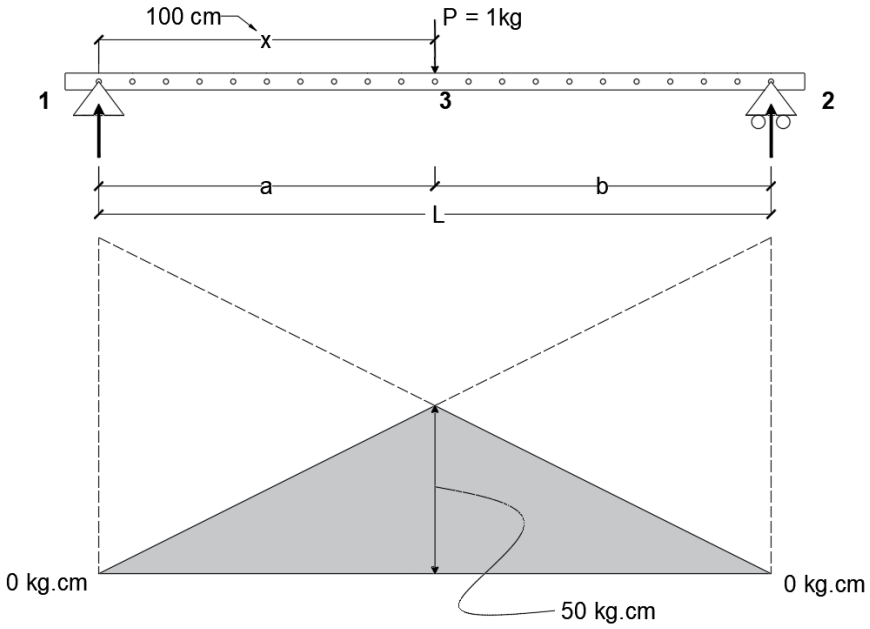
- Jika x 100 cm

$M_3 = b \times V_2$

$M_3 = 100 \times 0{,}5$

$M_3 = 50$ kg.cm

Grafik garis pengaruh momen lentur pada bentang 100 cm dapat dilihat pada Gambar 5.33 sebagai berikut.

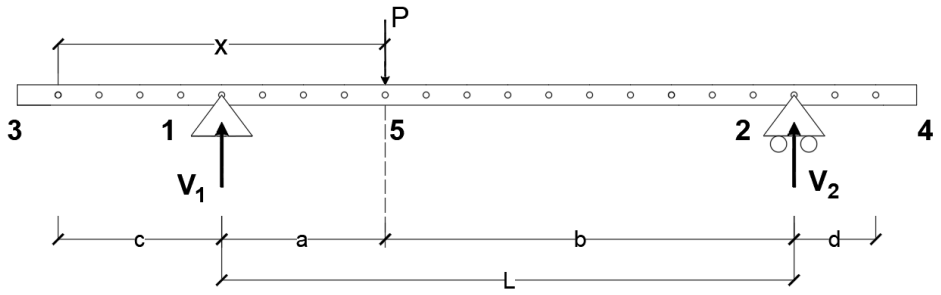


Gambar 5.33 Garis Pengaruh Momen Lentur Balok Sederhana pada Bentang 100 cm

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui garis pengaruh momen lentur di titik 3 dipengaruhi oleh reaksi tumpuan hasil pengujian. Garis pengaruh momen lentur ini menggambarkan bagaimana momen lentur M_3 berubah saat beban P bergerak dari x = 0 cm hingga x = 200 cm.

8. Lembar kerja analisa lanjutan balok sederhana dengan kantilever

Analisa lanjutan dilakukan setelah hasil pengujian alat peraga dilakukan, analisa dilakukan dengan mencari garis pengaruh gaya geser dan momen lentur yang terjadi pada beberapa titik. Analisa lanjutan garis pengaruh gaya geser dan momen lentur dilakukan pada titik 5. Balok sederhana dengan kantilever yang dipotong pada titik 5 dapat dilihat pada Gambar 5.34 dan hasil perhitungan balok sederhana dengan kantilever yang dipotong pada titik 5 dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.34 Balok Sederhana dengan Kantilever

Tabel 5.10 Lembar Kerja Analisa Lanjutan Balok Sederhana dengan Kantilever pada Potongan Titik 5

No	x (cm)	Reaksi V_1 Pengujian (kg)	Reaksi V_2 Pengujian (kg)	Gaya Geser Q (kg)	Momen Lentur M (kg.cm)
1	0	1,286	-0.282	0,286	-28,56
2	80	0,712	0,290	-0,288	28,48
				0,712	28,48
3	200	-0,143	1,145	-0.143	-5,72
3	...	...	...	...	...

Gaya geser dan momen lentur pada titik 5 dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

a. Garis pengaruh gaya geser

Gaya geser dapat dicari dengan cara menggunakan perhitungan analitis dengan Persamaan 3.3

1.) Garis pengaruh gaya geser pada titik 5

a.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 0 cm) dan (*x* = 40 cm)

- Jika x 0 cm

$Q_5 = -P + V_1$

$Q_5 = -1 + 1{,}286$

$Q_5 = 0{,}286$ kg

b.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 40 cm) dan (*x* =80 cm)

- Jika x 80 cm

$Q_5 = V_1 - P$

$Q_5 = 0{,}712 - 1$

$Q_5 = -0{,}288$ kg

c.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 80 cm) dan (*x* =180 cm)

- Jika x 80 cm

$Q_5 = V_1$

$Q_5 = 0{,}712$ kg

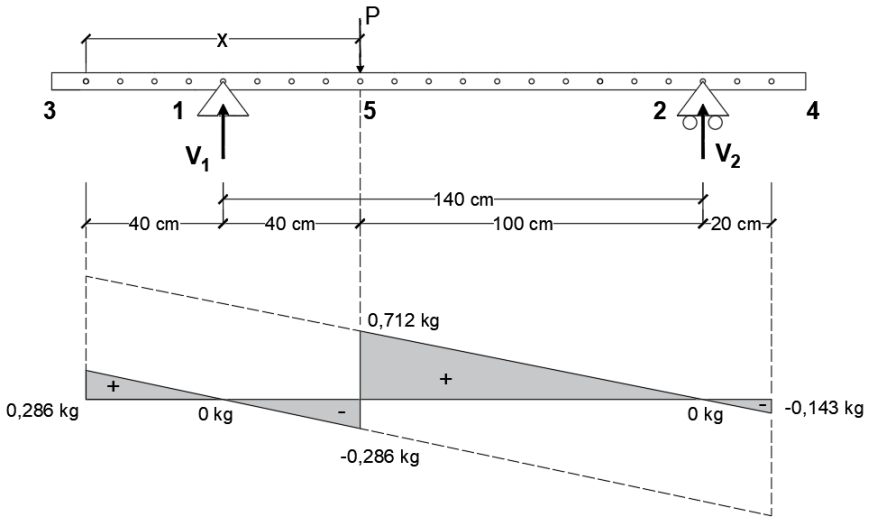
d.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 180 cm) dan (*x* = 200 cm)

- Jika x 200 cm

$Q_5 = V_1$

$Q_5 = -0{,}143$ kg

Grafik garis pengaruh gaya geser pada potongan titik 5 dapat dilihat pada Gambar 5.35 sebagai berikut.



Gambar 5.35 Garis Pengaruh Gaya Geser Balok Sederhana dengan Kantilever pada Potongan Titik 5

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui garis pengaruh gaya geser di titik 5 pada balok dengan kantilever dipengaruhi oleh reaksi tumpuan yang ada pada balok. Garis pengaruh gaya geser ini menggambarkan bagaimana gaya geser Q_5 berubah saat beban P bergerak dari x = 0 cm hingga x = 200 cm.

b. Garis pengaruh momen lentur

Garis pengaruh momen lentur pada titik 5 dapat dicari dengan cara menggunakan perhitungan analitis dengan Persamaan 3.3

1.) Garis pengaruh momen lentur pada titik 5

a.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* =0 cm) dan (*x* = 40 cm)

- Jika x 0 cm

$$M_5 = -P \times (c + a) + V_1 \times a$$

$$M_5 = -1 \times (40 + 40) + 1{,}286 \times 40$$

$$M_5 = -28{,}56 \text{ kg.cm}$$

b.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* =40 cm) dan (*x* = 80 cm)

- Jika x 80 cm

$$M_5 = V_1 \times a$$

$$M_5 = 0{,}712 \times 40$$

$$M_5 = 28{,}48 \text{ kg.cm}$$

c.) Saat beban *P* bergerak diantara (*x* = 80 cm) dan (*x* = 200 cm)

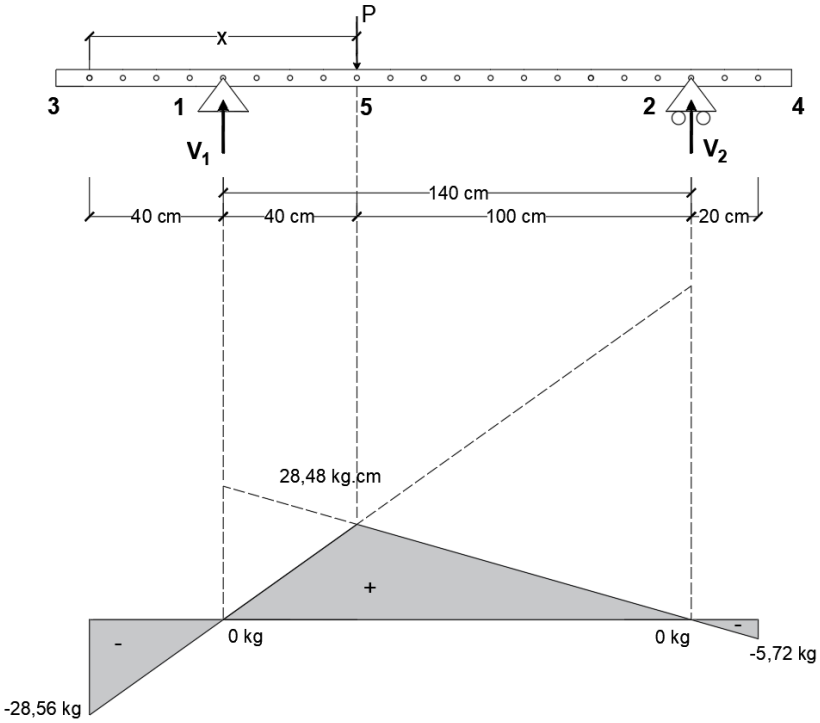
- Jika x 200 cm

$$M_5 = V_1 \times a$$

$$M_5 = -0{,}143 \times 40$$

$$M_5 = -5{,}72 \text{ kg.cm}$$

Grafik garis pengaruh momen lentur pada potongan titik 5 dapat dilihat pada Gambar 5.36 sebagai berikut.



Gambar 5.36 Garis Pengaruh Momen Lentur Balok Sederhana dengan Kantilever pada Titik 5

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui garis pengaruh momen lentur di titik 5 pada balok sederhana dengan kantilever dipengaruhi oleh reaksi tumpuan hasil pengujian. Garis pengaruh momen lentur ini menggambarkan bagaimana momen lentur M_5 berubah saat beban P bergerak dari x = 0 cm hingga x = 200 cm.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembuatan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan dapat dibuat dengan baja *hollow* 40x60x2 mm dan hollow 30x30x2 mm yang dirakit menjadi beberapa bagian diantaranya meja, tumpuan dan balok utama dengan panjang bentang 220 cm. Terdapat dua model balok yang dapat diperagakan oleh alat peraga diantaranya adalah balok sederhana dan balok sederhana dengan kantilever. Pembacaan hasil alat peraga menggunakan timbangan digital yang berada pada tumpuan dengan ketelitian pembacaan 0,001 kg.
2. Hasil pembacaan alat peraga garis pengaruh yang telah divalidasi menggunakan perhitungan teori persamaan kesetimbangan menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dan masih dalam batas toleransi $\pm$ 0,05 kg.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil pembuatan alat peraga garis pengaruh akibat beban berjalan, maka didapatkan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Dapat dilakukan penyempurnaan desain untuk meningkatkan akurasi alat peraga dengan membuat penggantung beban yang dapat dimasukkan ke dalam lubang dengan mobilisasi yang mudah.
2. Pengembangan modul pembelajaran dapat dilakukan dengan membuat buku panduan penggunaan yang di dalamnya terdapat contoh kasus, serta latihan soal yang dapat membantu mahasiswa memahami konsep garis pengaruh dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Anas, M. (2014). Alat Peraga dan Media Pembelajaran. Muhammad Anas. https://books.google.co.id/books?id=nSgaCgAAQBAJ

Frick, H. (1978). Mekanika Teknik 1 Statika & Kegunaan Nya.

Iswadji, D. (2003). Pengembangan Media Pembelajaran Matematika di SLTP. Yogyakarta: FMIPA UNY

Mahir, N.N., 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 (Spkts), 1.

Manalip, H., Kumaat, E. J., & Windah, R. S. (2022). STATIKA.

Pawirodikromo, Widodo. (2020). Analisis Struktur Statik Tertentu Metode Klasik. Yogyakarta: Pustaka Pelajar

Purwanto, S. A. (2018). Penerapan Media Pembelajaran Alat Peraga Dengan Pembelajaran Tandur Pada Kompetensi Dasar Menganalisis Konstruksi Balok Sederhana (Sendi Dan Rol) Pada Kelas Tkbb Di Smk Negeri 2 Bojonegoro.

Ruseffendi, E.T. (1994). Pengajaran Matematika Modern Dan Masa Kini Untuk Guru Dan PGSD D2. Bandung: Tarsito

Satrijo, D., dan Fitrianto, F. (2017). Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Statika Terhadap Pemahaman Mahasiswa pada Mata Kuliah Mekanika Statika Struktur. ROTASI, 19(2), 68–71.

Siron, N., Nadzrie, M., & Ahmad, B. (2017). *Shear Force in a Beam*. 1(1), 250–257.

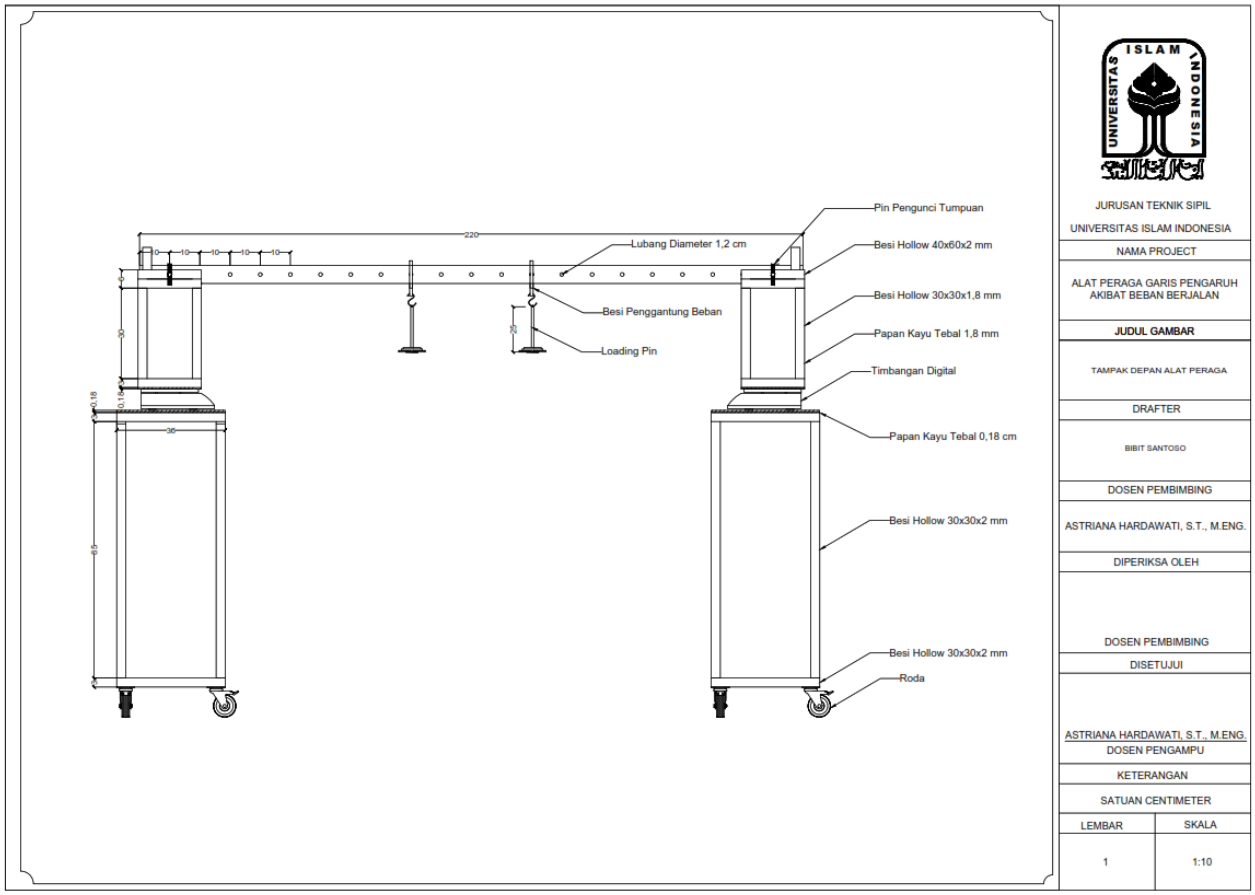
Setiawan, Agus. (2015). Analisis Struktur. Jakarta: Erlangga

Sorau, Rahmat. (2015). Mekanika Rekayasa 1. Sleman: Indonesia Deepublish.

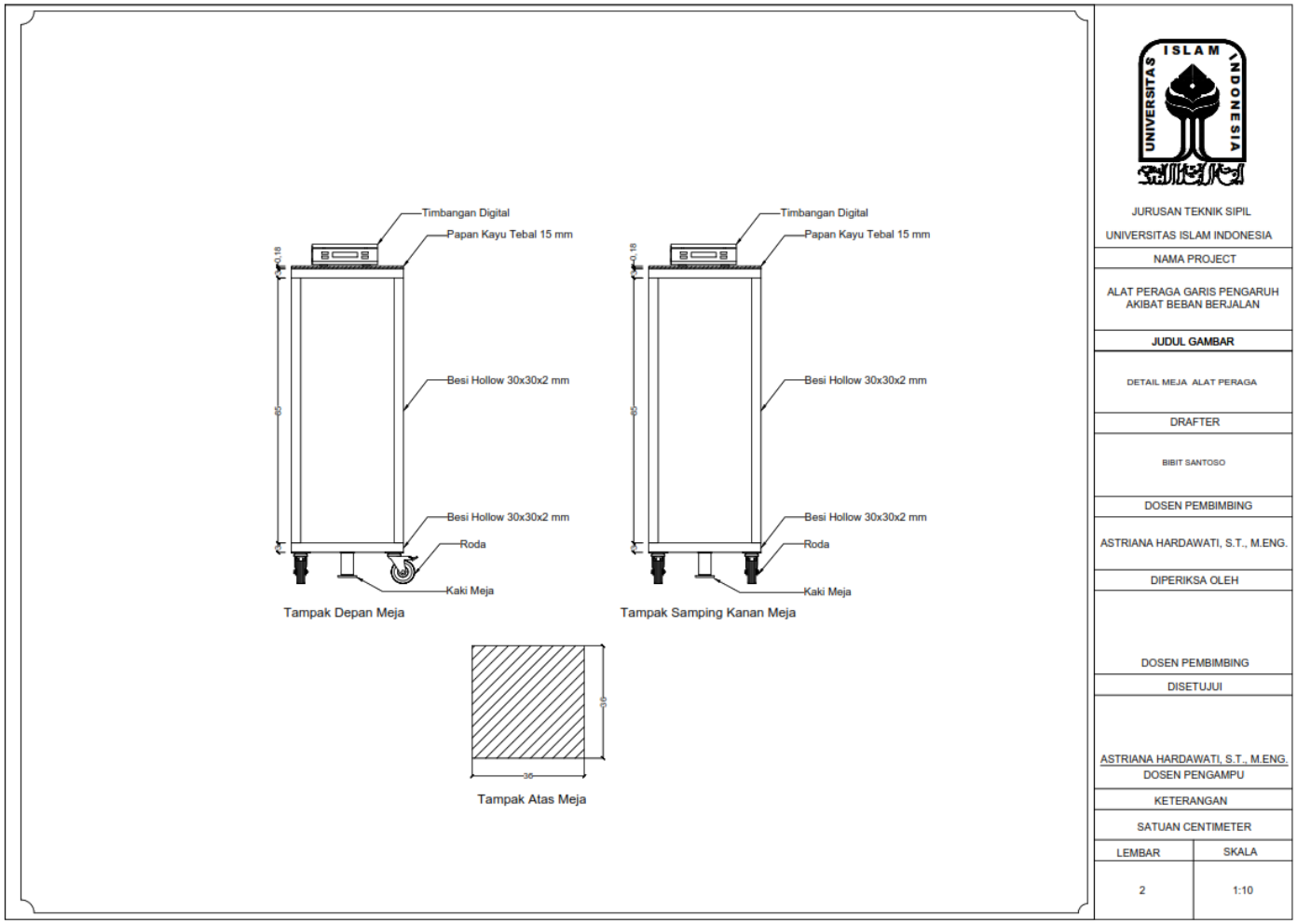
Sutarman, Encu. (2013). Konsep dan Aplikasi Pengantar Teknik Sipil. Yogyakarta: CV Andi Offset

LAMPIRAN

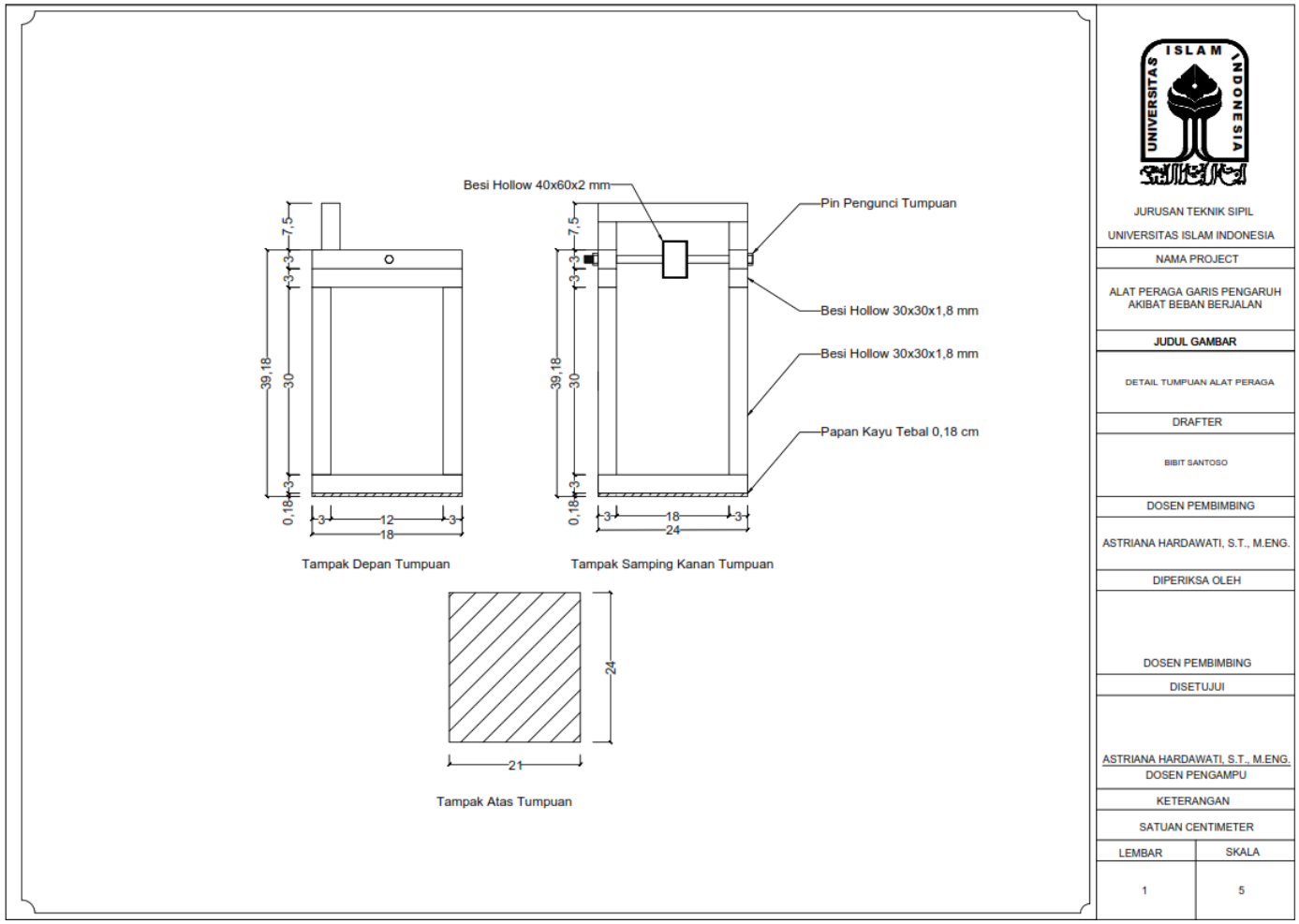
Lampiran 1 Gambar Kerja Detail Engineering Drawing



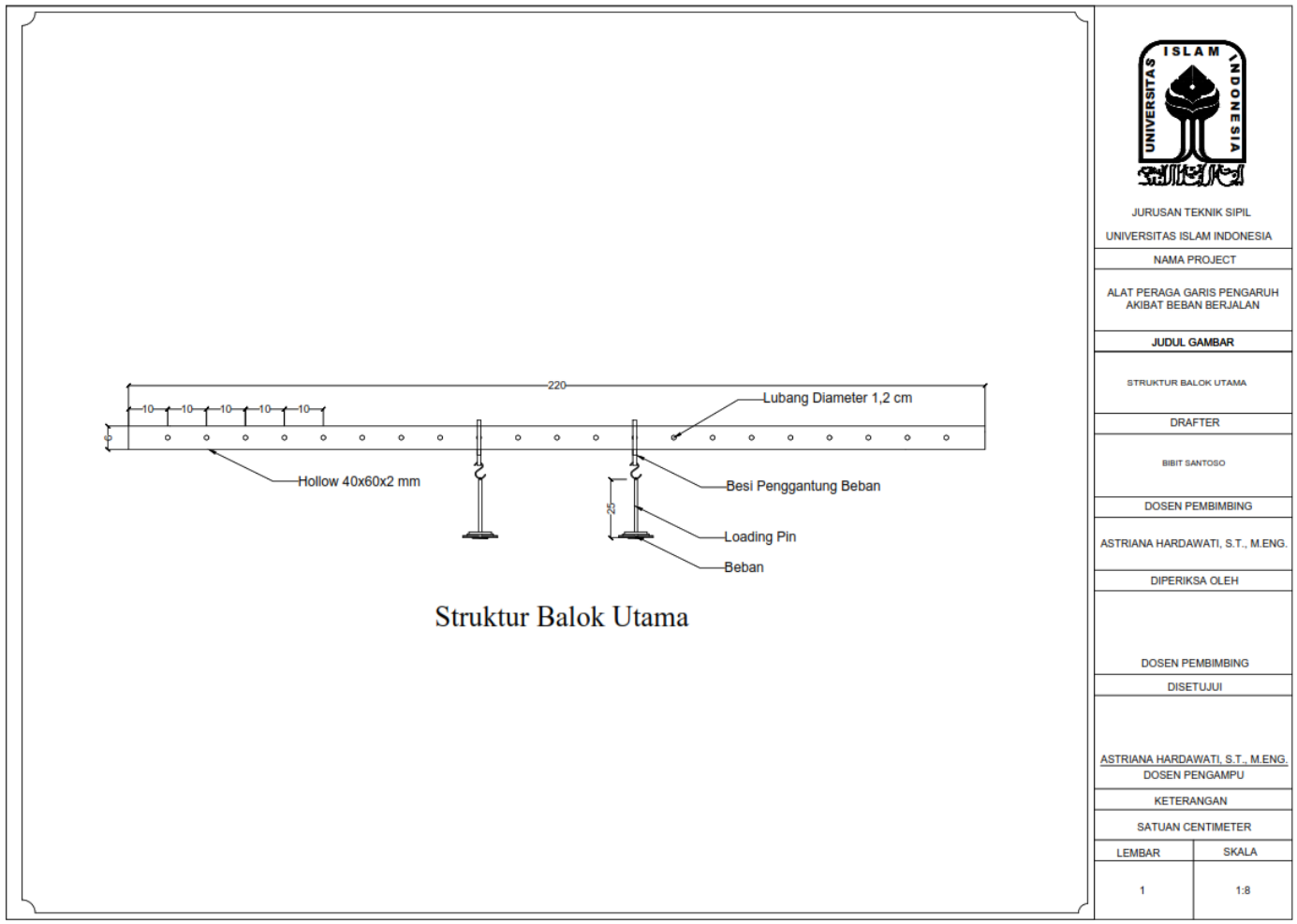
Gambar L-1.1 Tampak Depan Alat Peraga



Gambar L-1.2 Detail Meja Alat Peraga



Gambar L-1.3 Detail Tumpuan Alat Peraga



Gambar L-1.4 Struktur Balok Utama

Lampiran 2 Form Laporan Sementara Pengujian Alat Peraga Garis Pengaruh Pada Balok Sederhana

Nama Pengujian :

Nama Penguji :

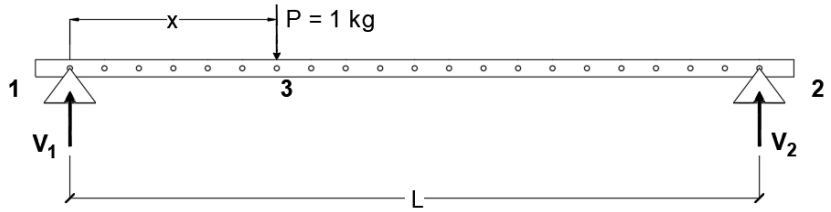
Tanggal :

Jam Pengujian :

Data Percobaan :

L (panjang bentang) = ... (cm)

Titik tinjau = ...



Rekapitulasi Hasil Pengujian Alat Peraga

No	P (kg)	x (cm)	V_1 eksperimen (kg)	V_2 eksperimen (kg)	Gaya Geser Q (kg)	Momen Lentur M (kg.cm)
1		0				
2		10				
3		20				
4		30				
5		40				
6		50				

Lanjutan Rekapitulasi Hasil Pengujian Alat Peraga

No	P (kg)	x (cm)	V_1 eksperimen (kg)	V_2 eksperimen (kg)	Gaya Geser Q (kg)	Momen Lentur M (kg.cm)
7		60				
8		70				
9		80				
10		90				
11		100				
12		110				
13		120				
14		130				
15		140				
16		150				
17		160				
18		170				
19		180				
20		190				
21		200				

Keterangan : x = lengan beban terhadap perletakan V_1 (cm)

P = berat beban yang dipakai (kg)

V = reaksi yang terjadi pada prletakan (kg/cm)

Nama dan Tanda Tangan

Asisten	Praktikan
(.....)	(.....)

Lampiran 3 Form Laporan Sementara Pengujian Alat Peraga Garis Pengaruh Pada Balok Sederhana dengan Kantilever

Nama Pengujian :

Nama Penguji :

Tanggal :

Jam Pengujian :

Data Percobaan :

L = ... (cm)

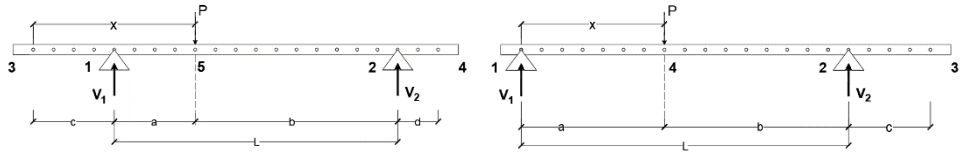
a = ... (cm)

b = ... (cm)

c = ... (cm)

d = ... (cm)

Titik tinjau = ...



Rekapitulasi Hasil Pengujian Alat Peraga

No	P (kg)	x (cm)	V_1 eksperimen (kg)	V_2 eksperimen (kg)	Gaya Geser Q (kg)	Momen Lentur M (kg.cm)
1		0				
2		10				
3		20				
4		30				

Lanjutan Rekapitulasi Hasil Pengujian Alat Peraga

No	P (kg)	x (cm)	V_1 eksperimen (kg)	V_2 eksperimen (kg)	Gaya Geser Q (kg)	Momen Lentur M (kg.cm)
5		40				
6		50				
7		60				
8		70				
9		80				
10		90				
11		100				
12		110				
13		120				
14		130				
15		140				
16		150				
17		160				
18		170				
19		180				
20		190				
21		200				

Keterangan : x = lengan beban terhadap perletakan V_1 (cm)

P = berat beban yang dipakai (kg)

V = reaksi yang terjadi pada prletakan (kg/cm)

Nama dan Tanda Tangan

Asisten	Praktikan
(.....)	(.....)

Lampiran 4 Foto Pelaksanaan Pengujian Alat Peraga Garis Pengaruh Akibat Beban Berjalan



Gambar L-4.1 Mengatur Jarak Meja Sesuai Panjang Balok



Gambar L-4.2 Meletakkan Timbangan Di Atas Meja



Gambar L-4.3 Meletakkkan Tumpuan Di Atas Timbangan



Gambar L-4.4 Rangkaian Balok pada Tumpuan untuk Struktur Balok Sederhana



Gambar L-4.5 Rangkaian Balok pada Tumpuan untuk Struktur Balok Sederhan dengan Kantilever



Gambar L-4.6 Kalibrasi Alat Peraga Menggunakan *Waterpass*



Gambar L-4.7 Pembebanan pada Struktur Balok Sederhana



Gambar L-4.8 Pembebanan pada Struktur Balok Sederhana dengan Kantilever



Gambar L-4.9 Hasil Pembacaan Reaksi V_1 pada Balok Sederhana



Gambar L-4.10 Hasil Pembacaan Reaksi V_2 pada Balok Sederhana



Gambar L-4.11 Hasil Pembacaan Reaksi V_1 pada Balok Sederhana dengan Kantilever



Gambar L-4.12 Hasil Pembacaan Reaksi V_2 pada Balok Sederhana dengan Kantilever