



**ANALISA PERHITUNGAN BALOK DENGAN PENGAKU
DAN PLAT LANTAI JEMBATAN KALI WALUH
KABUPATEN PEMALANG**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Penyelesaian Studi

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Sipil

Oleh :

ANGGORO AGUS RAINO

NPM. 6521600005

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Analisa Perhitungan Balok Dengan Pengaku Dan Plat Lantai
Jembatan Kali Waluh Kabupaten Pemalang

Nama Penulis : Anggoro Agus Raino

NPM : 6521600005

Telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk dipertahankan dihadapan sidang dewan penguji skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Selasa

Tanggal : 11 Februari 2025

Pembimbing I



Okky Hendra Hermawan, ST., MT
NIPY. 2461531983

Pembimbing II



Nadya Shafira, ST., MT
NIPY.30161841998

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer universitas Pancasakti Tegal.

Pada hari : Selasa

Tanggal : 11 Februari 2025

Ketua Penguji :

(Dr. Agus Wibowo, S.T., M.T.)

NIPY. 126518101972

Penguji Utama :

(Dr. Muhamad Yusuf M.T.)

NIPY. 24762061967

Penguji 1

(Okky Hendra Hermawan S.T., M.T.)

NIPY. 24461531983

Penguji 2

(Nadya Shafira Salsabilla S.T., M.T.)

NIPY. 30161841998

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer



(Dr. Agus Wibowo, ST., MT.) h

NIPY. 126518101972

HALAMAN PERNYATAAN

Dalam penulisan ini saya tidak melakukan penjiplakan. Dengan ini, saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “ANALISA PERHITUNGAN BALOK DENGAN PENGAKU DAN PLAT LANTAI JEMBATAN KALI WALUH KABUPATEN PEMALANG” ini dan seluruh isinya adalah benar-benar karya sendiri, atau pengutipan dengan cara-cara yang sesuai dengan etika yang berlaku dalam masyarakat keilmuan sebagaimana mestinya. Demikian pernyataan ini untuk dijadikan sebagai pedoman bagi yang berkepentingan dan saya siap menanggung segala resiko dan sanksi yang diberikan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran atas etika keilmuan dalam karya tulis ini, atau adanya klaim atas karya tulis ini.

Tegal, Februari 2025



Anggoro Agus Raino
NPM. 6521600005

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Jangan suka mempersulit orang lain kalau bisa dipermudah kenapa harus dipersulit.
2. Jangan terlalu mencampuri urusan orang lain, fokus terhadap urusan sendiri.
3. Jadilah orang yang berguna bagi orang lain.
4. Berusahalah untuk selalu bersyukur.
5. Habis gelap terbitlah terang.
6. Bahagiakan kedua orang tuamu.
7. Sukses bisa didapat dengan kerja tanpa kenal lelah.

PERSEMBAHAN

1. Untuk Bapak Rahagus dan Alm. Ibu Endah Nugraheni yang selalu menyemangati dan mendoakan anaknya dengan tulus.
2. Untuk Wiwit Alfiyah selaku istri tercinta Saya yang selalu mendoakan dan menyemangati Saya dalam kondisi apapun.
3. Direktur utama PT. Saka Pilar Utama Bapak Unggul Sakti Kurniawan S.T. yang selalu mendukung Saya.
4. Untuk teman-teman seperjuangan angkatan 2021 yang selalu mendukung dan membantu Saya selama kegiatan perkuliahan.
5. Anak tercinta dengan nama Rayi Sekar Kinasih, Roro Sekar Arum, Humaira Sekar Ayudisha sebagai penyemangat Saya dalam melakukan segala kegiatan.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulisan dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Analisa Perhitungan Balok Dengan Pengaku Dan Plat Lantai Jembatan Kali Waluh Kabupaten Pemasang”. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan studi strata Program Studi Teknik Sipil.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
2. Bapak Okky Hendra Hermawan, ST., MT. selaku Kaprodi Teknik Sipil dan selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Nadya Shafira, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II.
4. Segenap Dosen dan Staf Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
5. Bapak dan ibuku yang tak pernah lelah mendoakanku.
6. Teman-teman baik di kampus maupun di Kantor Lingkungan Hidup Kota Tegal yang telah memberikan dukungan moral dalam penyusunan skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu hingga laporan ini selesai, semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang sesuai dari Allah SWT.

Penulisan telah mencoba membuat laporan sesempurna mungkin semampu kemampuan penulis, namun demikian mungkin ada yang kekurangan yang tidak terlihat oleh penulis untuk itu mohon masukan untuk kebaikan dan pemanfaatnya. Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin

Tegal, Januari 2025

Penulis

ABSTRAK

Anggoro Agus Raino, 2025 “**Analisa Perhitungan Balok Dengan Pengaku Dan Plat Lantai Jembatan Kali Waluh Kabupaten Pemalang**”. Laporan Skripsi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal 2025.

Penelitian ini membahas perhitungan struktur balok dengan pengaku dalam desain pelebaran Jembatan Kali Waluh Kalimas-Kejene di Kabupaten Pemalang. Hasil analisis menunjukkan bahwa momen nominal balok pengaku memenuhi syarat keamanan dengan nilai $\phi b \times Mn = 271.073.615$ N yang lebih besar $Mu = 146.000.000$ N. Tahanan geser juga berada dalam kategori aman karena $\phi \times Vn = 540.000$ N lebih besar dari $Vu = 328.000$ N. Interaksi geser dan lentur terbukti aman dengan rasio hasil perhitungan sebesar 0,9182, yang masih di bawah batas 1,375. Dimensi pengaku vertikal badan memenuhi persyaratan keamanan dengan luas penampang pengaku (A_s) sebesar 6084 mm², lebih besar dari nilai minimal yang disyaratkan, yaitu 2215 mm². Kontrol lendutan plat menunjukkan bahwa lendutan total yang dihitung ($\delta_{tot} = 0,036$ mm) jauh di bawah batas maksimum yang diperbolehkan ($Lx/240 = 10,833$ mm), sehingga struktur aman terhadap lendutan. Sebagai bagian dari perencanaan ulang pelebaran jembatan, digunakan struktur balok pengaku dengan profil baja IWF 500.200.8.13 dengan panjang bentang 25,30 meter, serta plat lantai dengan ketebalan 0,2 meter dan lebar 2 meter. Penulangan plat lantai dilakukan dengan tulangan $\phi 13$ pada jarak 200 mm. Estimasi biaya pelaksanaan proyek ini adalah Rp. 686.202.000,00. Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa desain pelebaran jembatan dengan struktur balok pengaku yang direncanakan telah memenuhi standar keamanan dan kelayakan teknis.

Kata Kunci : Jembatan, Perhitungan Struktur Jembatan, Rencana Anggaran Biaya.

ABSTRACT

Anggoro Agus Raino, 2025 “Calculation Analysis of Beams with Stiffeners and Floor Plate of Kali Waluh Bridge Pemalang Regency”. Thesis Report Civil Engineering Faculty of Engineering and Computer Science Pancasakti University Tegal 2025.

This study discusses the structural calculations of reinforced beams in the design of the Kali Waluh Kalimas-Kejene Bridge widening project in Pemalang Regency. The analysis results indicate that the nominal moment of the reinforced beam meets safety requirements, with a value of $\phi b \times Mn = 271,073,615$ N, which is greater than $Mu = 146,000,000$ N. The shear resistance is also categorized as safe, as $\phi f \times Vn = 540,000$ N is greater than $Vu = 328,000$ N. The interaction between shear and bending is confirmed to be safe, with a calculation ratio of 0.9182, which is still below the limit of 1.375. The vertical stiffener dimensions meet safety requirements, with a stiffener cross-sectional area (A_s) of 6084 mm², which exceeds the minimum required value of 2215 mm². The deflection control of the slab indicates that the total calculated deflection ($\delta_{tot} = 0.036$ mm) is significantly below the maximum allowable limit ($Lx/240 = 10.833$ mm), ensuring the structure's safety against deflection. As part of the redesign for the bridge widening, a reinforced beam structure using an IWF 500.200.8.13 steel profile with a span length of 25.30 meters was implemented, along with a deck slab 0.2 meters thick and 2 meters wide. The deck slab reinforcement consists of $\emptyset 13$ bars spaced 200 mm apart. The estimated cost for this project is Rp. 686,202,000.00. The findings of this study confirm that the planned bridge widening design, incorporating a reinforced beam structure, meets safety standards and technical feasibility requirements.

Keywords: Bridge, Bridge Structure Calculation, Cost Budget Plan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	6
F. Sistematika Penulisan	6
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Landasan Teori	8
B. Tinjauan Pustaka	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	49

A.	Metode Penelitian.....	49
B.	Waktu dan Tempat	49
C.	Variabel Penelitian	50
D.	Metode Pengumpulan Data	51
E.	Metode Analisa Data	53
F.	Diagram Alir Penelitian	66
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		67
A.	Hasil Penelitian.....	67
1.	Data Curah Hujan	67
2.	Data Sondir	64
3.	Pembahasan dan Rekomendasi Hasil Uji Sondir.....	68
4.	Perhitungan Balok Jembatan	69
5.	Perhitungan Plat Lantai (<i>Slab</i>).....	86
6.	Gambar Rencana Jembatan.....	92
7.	Rencana Anggaran Biaya.....	111
B.	Pembahasan	115
BAB V PENUTUP.....		123
A.	Kesimpulan.....	123
B.	Saran	125
DAFTAR PUSTAKA		126
LAMPIRAN		128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian Jembatan	9
Gambar 2. 2 Jembatan Kayu	12
Gambar 2. 3 Jembatan Pasangan Batu	12
Gambar 2. 4 Jembatan Baja	13
Gambar 2. 5 Jembatan Beton	14
Gambar 2. 6 Jembatan Jalan Raya	14
Gambar 2. 7 Jembatan Kereta Api	15
Gambar 2. 8 Jembatan Penyebrangan Orang	15
Gambar 2. 9 Jembatan Balok Gelagar Biasa.....	16
Gambar 2. 10 Jembatan Balok Pelat Girder.....	17
Gambar 2. 11 Jembatan Balok Monolit Beton Bertulang.....	17
Gambar 2. 12 Jembatan Gelagar Komposit	18
Gambar 2. 13 Jembatan Rangka Batang	18
Gambar 2. 14 Jembatan Gantung.....	19
Gambar 2. 15 Jembatan Balok Beton Prategang.....	20
Gambar 2. 16 Gelagar Pelat	21
Gambar 2. 17 Perilaku Balok Akibat Pembebanan.....	26
Gambar 2. 18 Kurva hubungan Tegangan (f) - regangan (ϵ).....	28
Gambar 2. 19 Kurva hubungan Tegangan (f) - regangan (ϵ) yang diperbesar.....	28
Gambar 2. 20 Stiffener Profil IWF	33
Gambar 2. 21 Sumbu Lemah dan Kuat IWF.....	36
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	50
Gambar 3. 2 Jembatan Kalimas-Kajene.....	51
Gambar 4. 1 Hasil Sondir Titik SND-1.....	64
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Sondir Titik SND-1	65
Gambar 4. 3 Hasil Sondir Titik SND-2.....	66
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Sondir Titik SND-2	67
Gambar 4. 5 Dimensi Penambang Balok.....	70
Gambar 4. 6 Balok dengan Pengaku Badan.....	71

Gambar 4. 7 Dimensi dan Bidang Momen Plat Lantai	86
Gambar 4. 8 Situasi Eksisting	93
Gambar 4. 9 Denah Eksisting Jembatan	94
Gambar 4. 10 Potongan E-E Eksisting.....	95
Gambar 4. 11 Potongan B-B dan C-C Eksisting.....	96
Gambar 4. 12 Potongan D-D Eksisting.....	97
Gambar 4. 13 Situasi Rencana	98
Gambar 4. 14 Denah Jembatan Rencana.....	99
Gambar 4. 15 Potongan E-E.....	100
Gambar 4. 16 Potongan B-B	101
Gambar 4. 17 Potongan C-C.....	102
Gambar 4. 18 Potongan D-D.....	103
Gambar 4. 19 Denah Plat Lantai Jembatan.....	104
Gambar 4. 20 Potongan 2-2	105
Gambar 4. 21 Potongan 3-3	106
Gambar 4. 22 Detail Abutment	107
Gambar 4. 23 Detail Penulangan Abutment	108
Gambar 4. 24 Detail Gelagar dan Shear Connector.....	109
Gambar 4. 25 Detail Elastomer.....	110

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat-sifat Mekanis Baja Struktural	29
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	49
Tabel 3. 2 Perhitungan Section Properties	53
Tabel 3. 3 Kriteria Kebutuhan Momen nominal	55
Tabel 3. 4 Persamaan Momen Nominal Komponen Struktur	56
Tabel 3. 5 Parameter Perhitungan Momen Nominal Berdasarkan Tekuk Torsi Lateral	56
Tabel 3. 6 Parameter Perhitungan Momen Nominal Berdasarkan Local Buckling Pada Sayap	57
Tabel 3. 7 Momen Nominal Komponen Struktur Tekuk Lateral	58
Tabel 3. 8 Parameter Menghitung Momen Nominal Pengaruh Lateral Buckling	59
Tabel 3. 9 Kategori Tahanan Geser	60
Tabel 3. 10 Parameter Perhitungan Tahanan Geser	60
Tabel 3. 11 Syarat Momen Inersia	61
Tabel 3. 12 Rumus Momen Lapangan dan Tumpuan Plat	62
Tabel 3. 13 Rumus Penulangan Plat	63
Tabel 3. 14 Kontrol Lendutan Plat	64
Tabel 4. 1 Curah Hujan Januari 2019	68
Tabel 4. 2 Curah Hujan Februari 2020	70
Tabel 4. 3 Curah Hujan Februari 2021	72
Tabel 4. 4 Curah Hujan Januari 2022	74
Tabel 4. 5 Curah Hujan Kecamatan Kajene 2023	76
Tabel 4. 6 Kapasitas Dukung Izin Tanah SND-1	68
Tabel 4. 7 Kapasitas Dukung Izin Tanah SND-2	68
Tabel 4. 8 Data Bahan	69
Tabel 4. 9 Data Profil Baja	70
Tabel 4. 10 Data Balok	71
Tabel 4. 11 Kriteria Kebutuhan Momen nominal	75
Tabel 4. 12 Persamaan Momen Nominal Komponen Struktur	76
Tabel 4. 13 Momen Nominal Komponen Struktur Tekuk Lateral	80

Tabel 4. 14 Momen Nominal Pengaruh Local Buckling.....	81
Tabel 4. 15 Momen Nominal Balok Plat Berdinding Penuh.....	82
Tabel 4. 16 Momen Nominal Berdasarkan Pengaruh Lateral Buckling	82
Tabel 4. 17 Tahanan Momen Lentur	82
Tabel 4. 18 Kategori Tahanan Geser	83
Tabel 4. 19 Data Bahan Plat Lantai.....	86
Tabel 4. 20 Data Struktur Plat Lantai.....	86
Tabel 4. 21 Beban Mati	87
Tabel 4. 22 Beban Hidup.....	87
Tabel 4. 23 Rencana Anggaran Biaya Jembatan Kali Waluh	111
Tabel 4. 24 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya	122

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Back Up Volume Tulangan STA 0.....	128
Lampiran 2 Back Up Volume Tulangan STA 350 – 600.....	129
Lampiran 3 Back Up Volume Tulangan STA 600 – 900.....	131
Lampiran 4 Back Up Volume Tulangan STA 900 – 1200.....	135
Lampiran 5 Back Up Volume Tulangan STA 1200 – 2050.....	138
Lampiran 6 Back Up Volume Penulangan Bentang A.....	147
Lampiran 7 Back Up Volume Penulangan Bentang B.....	150
Lampiran 8 Back Up Volume Pekerjaan Beton.....	153
Lampiran 9 Back Up Volume Bangunan Bawah.....	155
Lampiran 12 Rencana Anggaran Biaya.....	161
Lampiran 13 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya.....	163
Lampiran 14 AHSP Manajemen dan Keselamatan Lalu Lintas.....	164
Lampiran 15 AHSP SMKK.....	166
Lampiran 16 AHSP Galian Biasa.....	167
Lampiran 17 AHSP Galian Struktur Dengan Kedalaman 0 – 2 m.....	168
Lampiran 18 AHSP Timbunan Biasa Dari Sumber Galian.....	169
Lampiran 19 AHSP Lapis Perekat Aspal Cair/Emulsi.....	170
Lampiran 20 AHSP Laston Lapis Asbuton.....	171
Lampiran 21 AHSP Beton Struktur f'c 30 MPa.....	172
Lampiran 22 AHSP Beton Struktur f'c MPa.....	173
Lampiran 23 Beton Struktur f'c 15 MPa.....	174
Lampiran 24 AHSP Baja Tulangan Polos BJTP 280.....	175
Lampiran 25 AHSP Baja TULangan Sirip BJTS 280.....	176
Lampiran 26 AHSP Baja Struktur Grade 250.....	177
Lampiran 27 AHSP Pemasangan Baja Struktur.....	178
Lampiran 28 AHSP Pasangan Batu.....	179
Lampiran 29 AHSP Papan Nama Jembatan.....	180
Lampiran 30 AHSP Pembongkaran Pasangan Batu.....	181
Lampiran 31 AHSP Pembongkaran Beton.....	182

DAFTAR NOTASI

q_c	= tahanan ujung konus (kg/cm ²)
q_a	= kuat dukung izin tanah (kg/cm ²)
f_y	= Tegangan leleh baja (MPa)
f_r	= Tegangan Sisa (MPa)
ν	= Angka Poisson (MPa)
E	= Modulus Elastik Baja (MPa)
L_x	= Panjang elemen thd.sb. x (mm)
L_y	= Panjang elemen thd.sb. y (mm)
A	= Jarak antara pengaku vertikal pada badan (mm)
t_s	= Tebal plat pengaku vertikal pada badan (mm)
M_u	= Momen maksimum akibat beban terfaktor (mm)
M_A	= Momen pada 1/4 bentang (Nmm)
M_B	= Momen di tengah bentang (Nmm)
M_C	= Momen pada 3/4 bentang (Nmm)
V_U	= Gaya geser akibat beban terfaktor (N)
ϕ_b	= Faktor reduksi kekuatan untuk lentur
ϕ_f	= Faktor reduksi kekuatan untuk geser
G	= Modulus geser (MPa)
J	= Konstanta puntir torsi (mm)
I_w	= Konstanta puntir lengkung (mm ⁶)
X_1	= Koefisien momen tekuk torsi lateral 1 (MPa)

X_2	= Koefisien momen tekuk torsi lateral 2 (mm^2/N^2)
Z_x	= Modulus penampang plastis terhadap sumbu X (mm^3)
Z_y	= Modulus penampang plastis terhadap sumbu Y (mm^3)
λ	= Kelangsingan penampang
λ_p	= Kelangsingan maksimum untuk penampang <i>compact</i>
λ_r	= Kelangsingan maksimum untuk penampang <i>non-compact</i>
M_p	= Momen Plastis (Nmm)
M_r	= Momen Batas Tekuk (Nmm)
M_n	= Momen Nominal (Nmm)
I	= Momen Inersia (mm^4)
A	= Luas Penampang (mm^2)
r	= Jari-jari (mm)
f'_c	= Kuat tekan beton (MPa)
f_c	= Tegangan acuan untuk momen kritis (MPa)
f_{cr}	= Tegangan kritis penampang (MPa)
K_g	= Koefisien balok berdinding penuh
k_e	= Faktor kelangsingan plat badan
V_n	= Tahanan geser plastis (N)
V_u	= Gaya geser akibat beban terfaktor (N)
Q_D	= Beban mati total (KN/m^2)
Q_L	= Beban hidup total (KN/m^2)
Q_U	= Beban rencana terfaktor (KN/m^2)

- M_{ulx} = Momen lapangan arah x (KNm/m)
 M_{uly} = Momen lapangan arah y (KNm/m)
 M_{utx} = Momen tumpuan arah x (KNm/m)
 M_{uty} = Momen tumpuan arah y (KNm/m)
 β_1 = Faktor bentuk distribusi tegangan beton
 ρb = Rasio tulangan
 R_{MAX} = Rasio tulangan
 d_s = Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (mm)
 d = Tebal efektif plat lantai (mm)
 R_n = Faktor tahanan momen
 S = Jarak tulangan (mm)
 S_{max} = Jarak tulangan maksimum (mm)
 E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)
 E_s = Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
 Q = Beban merata (N/mm)
 f_r = Modulus keruntuhan lentur beton (MPa)
 M_{cr} = Momen retak (Nmm)
 δ_e = Lendutan elastis (mm)
 δ_g = Lendutan jangka panjang akibat rangka dan susut (mm)
 δ_{tot} = Lendutan total (mm)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kabupaten Pemalang, Jawa Tengah, merupakan satu dari banyaknya kawasan wisata yang memiliki berbagai potensi wisata, seperti pantai, kebun teh, dan wisata religi. Pantai Widuri adalah salah satu tujuan wisata unggulan yang terletak di Pemalang, Jawa Tengah, yang selalu ramai dikunjungi wisatawan, terutama pada akhir pekan. Keindahan alamnya yang mempesona dan suasana yang tenang menjadikannya tempat yang cocok untuk bersantai. Terletak di Desa Widuri, pantai ini menawarkan pemandangan laut yang menakjubkan dan berbagai aktivitas menarik bagi pengunjung. Selain itu, pantai ini juga menjadi pilihan utama bagi mereka yang ingin menikmati suasana pantai yang masih asri dan terjaga. Jika Anda berada di Pemalang, tidak ada salahnya untuk mengunjungi Pantai Widuri sebagai salah satu destinasi utama yang dapat memberikan pengalaman wisata yang menyenangkan. (Ahdannabiel et al., 2017)

Padatnya arus lalu lintas di jalan akibat banyak wisatawan terjadi karena banyaknya kendaraan yang keluar masuk dan penyeberang jalan di lokasi wisata. Tingginya angka mobilitas dapat menyebabkan terjadinya kemacetan yang semakin padat di jalan raya. Oleh karena itu, keberadaan prasarana transportasi seperti jalan dan jembatan memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kelancaran arus lalu lintas. Kelancaran transportasi

ini tidak hanya berpengaruh pada efisiensi perjalanan, tetapi juga memiliki dampak positif terhadap perekonomian suatu kawasan. Dengan lancarnya mobilitas, waktu perjalanan dapat lebih singkat dan jangkauan wilayah dapat lebih luas, yang pada gilirannya memperlancar kegiatan ekonomi dan produktivitas masyarakat. Keberhasilan dalam menjaga kelancaran arus lalu lintas akan memastikan kontinuitas aktivitas produktif yang terjadi di kawasan tersebut, yang sangat mendukung perkembangan dan kemajuan wilayah secara keseluruhan. (Mufhidin & Maksum, 2021)

Jembatan Waluh merupakan penghubung penting yang terletak di perbatasan antara ruas jalan 157 Pemalang-Bantarbolang. Jembatan ini berperan sebagai sarana transportasi utama bagi warga setempat dan wisatawan yang melintas. Namun, kondisinya saat ini dinilai kurang optimal dalam mendukung kelancaran lalu lintas. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah lebar lantai jembatan yang lebih sempit dibandingkan dengan lebar jalan pendekat. Hal ini membuat jembatan tidak mampu menampung dua kendaraan roda empat dari arah berlawanan secara bersamaan, yang sering kali mengakibatkan kemacetan dan meningkatkan risiko kecelakaan bagi pengendara. Selain itu, dari perspektif teknis, Jembatan Waluh belum memenuhi beberapa kriteria geometrik yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal (Dirjen) Bina Marga, sesuai dengan Surat Edaran Nomor 05/SE/Db/2017. (Direktorat Jendral Bina Marga, 2017) Beberapa kekurangan yang teridentifikasi meliputi: (1) tidak adanya bahu jalan atau lajur tepian di kedua sisi jalur lalu lintas, (2) ketiadaan jalur trotoar yang sangat diperlukan

untuk pejalan kaki maupun petugas pemeliharaan, serta (3) lebar jalur lalu lintas di jembatan yang lebih sempit dibandingkan dengan lebar jalur lalu lintas pada ruas jalan pendekat. Selain itu, kondisi serupa juga ditemukan pada Jembatan Kali Sileng di ruas 085, yang juga tidak memenuhi beberapa kriteria geometrik menurut Pasal 3.1 SE Dirjen Bina Marga Nomor 05/SE/Db/2017. Hal ini menunjukkan bahwa standar keamanan dan kenyamanan infrastruktur jembatan perlu ditingkatkan demi mendukung mobilitas yang lebih baik dan mengurangi potensi risiko bagi pengguna jalan.

Kondisi jembatan eksisting menunjukkan bahwa kapasitas jembatan saat ini tidak memadai untuk menampung volume lalu lintas yang ada. Urgensi perbaikan semakin meningkat karena jika dibiarkan tanpa tindakan, kemacetan yang terjadi akan semakin parah dan berisiko menghambat mobilitas masyarakat serta distribusi barang dan jasa. Selain itu, kerusakan pada struktur bangunan jembatan juga menjadi perhatian serius karena dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan. Tingginya urgensi penanganan ini disebabkan oleh potensi kegagalan struktural yang dapat berakibat fatal jika tidak segera diperbaiki. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan ulang jembatan dengan melakukan pelebaran sebagai solusi mendesak untuk mengoptimalkan kapasitas jalan yang sudah ada. Pelebaran jembatan ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan jembatan dalam menahan beban yang lebih besar, sekaligus mendukung kelancaran arus lalu lintas dan mengurangi potensi kecelakaan yang dapat terjadi akibat ketidakmampuan jembatan menampung kendaraan dengan kapasitas yang lebih tinggi.

Oleh karena melihat kondisi tersebut maka perlu dilakukan dalam mengatasi permasalahan tersebut yang berjudul **“Analisa Perhitungan Balok Dengan Pengaku Dan Plat Lantai Jembatan Kali Waluh Kabupaten Pemalang”**.

B. Batasan Masalah

Fokus penelitian diperlukan untuk mencapai tujuan yang jelas dan menghindari pembahasan yang terlalu luas. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Jembatan Kali Waluh Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang.
2. Data curah hujan diambil dari DPUTR Kabupaten Pemalang dari sepuluh tahun terakhir dari 2019-2023.
3. Data tanah diperoleh dari hasil uji sondir Laboratorium Universitas Jenderal Soedirman.
4. Perhitungan struktur menggunakan metode perhitungan manual dengan bantuan Ms Excel 2021.
5. Survey dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting dan bentang jembatan, serta debit aliran sungai Waluh Kabupaten Pemalang.
6. Perhitungan struktur dilakukan pada balok dan plat lantai.
7. Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan pada penelitian.

C. Rumusan Masalah

Masalah yang dapat dirumuskan dari latar belakang diatas yaitu:

1. Bagaimana perhitungan struktur untuk mendapatkan kategori aman pada perhitungan balok dan plat jembatan kali waluh Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang?
2. Bagaimana desain perencanaan ulang dalam pelaksanaan pembangunan jembatan kali waluh Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang?
3. Berapa anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pelaksanaan pembangunan jembatan kali waluh Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan utama yang telah dirumuskan, memberikan pemahaman mendalam, serta menawarkan solusi yang relevan. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh perhitungan struktur untuk mendapatkan kategori aman pada perhitungan balok dan plat jembatan kali waluh Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang.
2. Mendapatkan desain perencanaan ulang dalam pelaksanaan pembangunan jembatan kali waluh Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang.
3. Mendapatkan anggaran biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan pembangunan jembatan kali waluh Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini ditargetkan agar memberikan keuntungan bagi berbagai pihak. Adapun keuntungan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi dinas dan pemerintah daerah, maupun individu di daerah setempat, penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu acuan untuk mengevaluasi aksesibilitas di lokasi yang diteliti. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kelancaran dan keamanan infrastruktur transportasi.
2. Jembatan Kali Waluh Kalinmas-Kejene yang didesain ulang diharapkan dapat menjadikan sebagai *landmark* daerah setempat sehingga mempermudah daerah tersebut dan penggunaan kawasan tersebut sebagai standar untuk tujuan tertentu.
3. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan bagi mahasiswa yang melakukan penelitian pada mata pelajaran terkait.

F. Sistematika Penulisan

Dalam rangka mempermudah penulisan, sistematika proposal skripsi ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan proposal.

BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini mencakup teori-teori yang relevan dengan topik penelitian serta tinjauan pustaka yang merujuk pada hasil penelitian sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan metode penelitian yang digunakan, termasuk waktu dan tempat penelitian, variabel penelitian, metode pengumpulan data, metode analisis data, serta diagram alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data yang didapatkan di lapangan kemudian dianalisis serta hasil penelitian diperjelas dengan pembahasan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang ada pada bab sebelumnya terkait penelitian yang dibahas.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

Menurut (Soegiyono, 2013), landasan teori adalah kerangka pemikiran yang terdiri dari konsep, definisi, dan proposisi yang disusun secara logis dan sistematis. Kerangka ini digunakan untuk menjelaskan fenomena, membangun argumen, dan menjadi acuan dalam penelitian. Landasan ini berfungsi sebagai kerangka acuan untuk memahami dan menganalisis permasalahan yang diangkat dalam penelitian. Teori digunakan sebagai kerangka berpikir ilmiah untuk menjelaskan fenomena yang diteliti secara sistematis dan logis. Adapun landasan teori pada penelitian sebagai berikut:

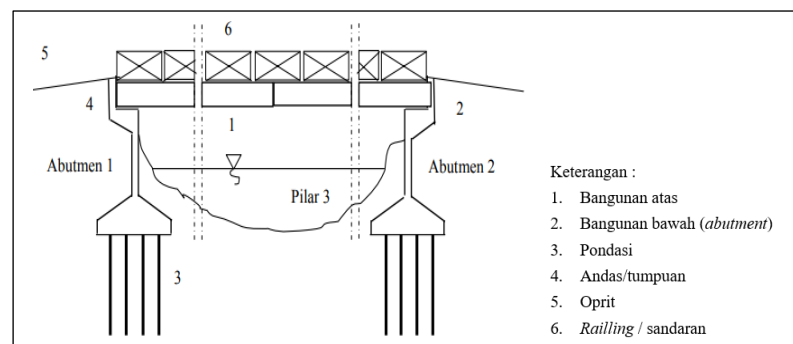
1. Definisi Perencanaan

Perencanaan bertujuan untuk memastikan struktur memiliki fungsi yang sesuai, bentuk yang efisien, dan memenuhi aspek estetika. Seorang perencana umumnya meyakini bahwa pengumpulan data dan informasi, seperti kondisi lokasi, lingkungan, serta beban yang akan ditanggung, adalah langkah penting untuk melaksanakan perencanaan secara efektif. Namun, dalam praktiknya, sering kali ditemukan kesulitan dalam mengaitkan data yang telah diperoleh dengan rumus atau persamaan yang tersedia. Hal ini menimbulkan tantangan bagi perencana dalam menganalisis, merancang, dan melakukan proses perhitungan, terutama jika rumus yang dibutuhkan tidak tersedia. Oleh

karena itu, penting untuk memahami dan mengikuti proses desain (design process) sebelum memulai perhitungan dan pemilihan struktur yang tepat. (Supriyadi, 2007)

Perencanaan adalah tahap awal yang krusial dalam pembangunan jembatan maupun proyek pekerjaan sipil lainnya. Proses ini harus menghasilkan produk yang sesuai dengan peraturan atau ketentuan resmi yang berlaku, sehingga dapat dipertanggungjawabkan baik secara teknis maupun hukum.

Secara umum, jembatan terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu:



Gambar 2. 1 Bagian Jembatan
(Sumber : (Supriyadi, 2007))

2. Jembatan

Jembatan adalah sebuah konstruksi yang berfungsi untuk mempermudah akses transportasi melintasi berbagai hambatan seperti sungai, rel kereta api, atau jalan raya. Secara umum, jembatan diartikan sebagai infrastruktur yang menghubungkan dua wilayah yang terpisah oleh rintangan alam, seperti sungai, jurang, atau laut. Menurut Ir. H.J. Struyk dalam bukunya *Jembatan*, struktur ini dirancang untuk

meneruskan jalur jalan melalui rintangan pada kontur lebih rendah, baik berupa aliran air, jalan lain, maupun jalur lalu lintas. Dengan kata lain, jembatan tidak hanya menjadi penghubung fisik antarwilayah, tetapi juga memainkan peran penting dalam mendukung mobilitas dan perkembangan suatu daerah.

Jembatan adalah infrastruktur jalan yang dirancang untuk mendukung lalu lintas atau beban bergerak melintasi rintangan seperti sungai, danau, terusan, jalan raya, atau gabungan dari berbagai hambatan tersebut yang bermanfaat bagi masyarakat setempat dalam melakukan kegiatan (Bastian & Rulhendri, 2023). Secara struktural, jembatan terdiri atas dua komponen utama: **superstructure** dan **substructure**. Superstructure mencakup bagian atas jembatan, seperti lantai, sandaran, dan elemen pendukung lantai seperti balok, girder, atau gelagar. Sementara itu, substructure berfungsi sebagai penopang superstructure dan terdiri dari abutment, pier (pilar), dinding sayap (wing wall), serta pondasi untuk pilar dan abutment (Bindra, 1996). Pada jembatan dengan struktur gelagar baja, baja digunakan sebagai material utama untuk gelagar atau balok, yang merupakan elemen penting dalam mendukung beban di atas jembatan. Secara keseluruhan, jembatan mencakup pondasi utama, gelagar/balok, pilar, lantai, dan abutment. Gelagar komposit dan kolom pilar memiliki peran penting dalam menyalurkan gaya-gaya yang diterima dari lantai jembatan ke pondasi, sehingga beban dapat diteruskan dengan aman ke tanah.

Struktur ini dirancang untuk memastikan kestabilan, kekuatan, dan keamanan jembatan dalam mendukung aktivitas transportasi.

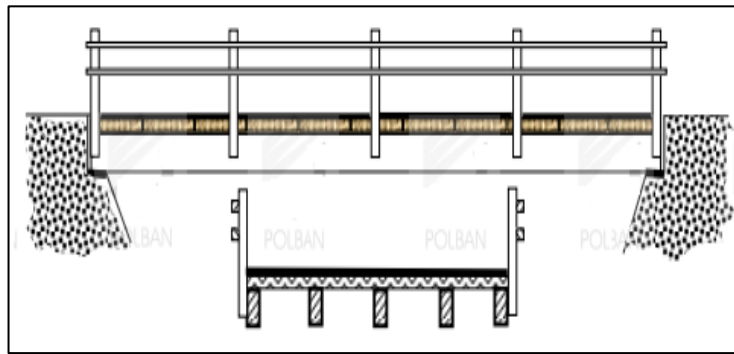
3. **Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Material Jembatan**

Klasifikasi jembatan berdasarkan material didasarkan pada bahan utama yang mendominasi struktur, khususnya pada bagian Bangunan Atas (Gelagar Induk). Seperti yang dijelaskan dalam *Buku Modul Struktur Baja* oleh Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung (Ir. Sumargo, 2009), salah satu contohnya adalah:

a. Jembatan Kayu

Jenis jembatan ini menggunakan kayu sebagai bahan utama untuk struktur bangunan atas, dengan balok kayu sebagai gelagar dan papan kayu sebagai lantai kendaraan. Kayu yang digunakan umumnya berasal dari jenis berkualitas tinggi, seperti Jati, Bengkirai, Ulin, atau kayu lain yang memiliki tingkat keawetan kelas A dan kekuatan kelas I. Pemilihan kayu ini didasarkan pada daya tahannya terhadap air dan perubahan cuaca. Secara umum, jembatan kayu terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu Jembatan Rangka Batang Kayu dan Jembatan Gelagar Biasa, yang biasanya digunakan untuk bentang pendek. Sambungan antara elemen-elemen kayu pada jembatan ini biasanya dilakukan dengan menggunakan baut biasa, yang diperkuat dengan pelat simpul dari pelat baja untuk memastikan kekuatan dan stabilitas struktur. Desain ini memungkinkan jembatan kayu menjadi pilihan praktis

dan ekonomis dalam pembangunan infrastruktur pada wilayah tertentu, meskipun masa pakainya lebih terbatas dibandingkan dengan jembatan berbahan beton atau baja.

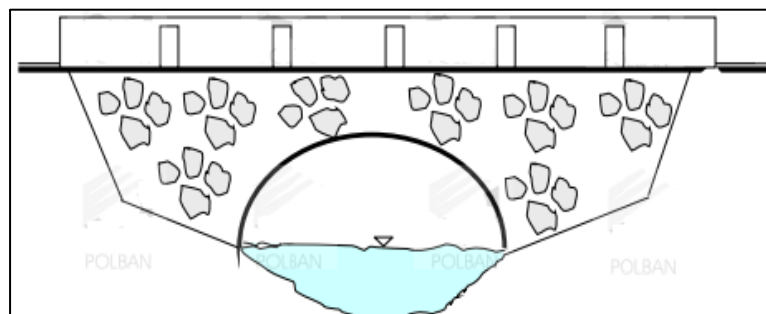


Gambar 2. 2 Jembatan Kayu

(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

b. Jembatan Pasangan Batu

Jembatan ini memiliki struktur atas dan bawah yang dibuat dari batu kali atau bata merah, dengan menggunakan sistem gravitasi yang mengandalkan berat struktur untuk kekuatannya. Bentuknya umumnya lengkung pada bagian bentang untuk menahan beban utama.



Gambar 2. 3 Jembatan Pasangan Batu

(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

c. Jembatan Baja

Jembatan ini memiliki struktur bawah dan atas yang terbuat dari batu kali atau bata merah, mengandalkan sistem gravitasi dengan berat struktur sebagai kekuatannya. Bentuknya umumnya lengkung di bagian bentang untuk menahan beban utama.



Gambar 2. 4 Jembatan Baja

(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

d. Jembatan Beton

Jembatan beton umum dipergunakan karena teknologi beton yang berkembang cepat, baik dalam desain maupun penerapannya. Pembuatan jembatan beton bisa dilakukan dengan cara cor di tempat atau menggunakan beton pracetak. Beberapa tipe jembatan beton meliputi jembatan monolit, yang memiliki struktur utuh tanpa sambungan; jembatan prategang, yang menggunakan tendon untuk meningkatkan kapasitas beban; dan jembatan komposit, yang mengombinasikan beton dan material lain seperti baja untuk kekuatan maksimal. Beton menawarkan keunggulan dalam

ketahanan dan fleksibilitas desain, menjadikannya pilihan utama dalam pembangunan infrastruktur.



Gambar 2. 5 Jembatan Beton
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

4. Klasifikasi Jembatan Menurut Kegunaan

a. Jembatan Jalan Raya

Jembatan berfungsi agar menyambungkan jalan raya yang melewati hambatan seperti sungai, jalan lain, atau halangan lainnya, sehingga memungkinkan lalu lintas kendaraan darat untuk melintas dengan aman dan lancar.



Gambar 2. 6 Jembatan Jalan Raya
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

b. Jembatan Kereta Api

Jembatan yang berfungsi agar menyambungkan jalur rel yang melewati hambatan seperti sungai, jalan, dan lainnya, dirancang agar dapat dilalui oleh kereta api dengan aman.



Gambar 2. 7 Jembatan Kereta Api
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

c. Jembatan Penyebrangan Orang (JPO)

JPO berfungsi untuk melewati hambatan jalan seperti jalan raya, jalur kereta api, dan lain-lain, sehingga memberikan keamanan bagi pejalan kaki saat menyeberang.



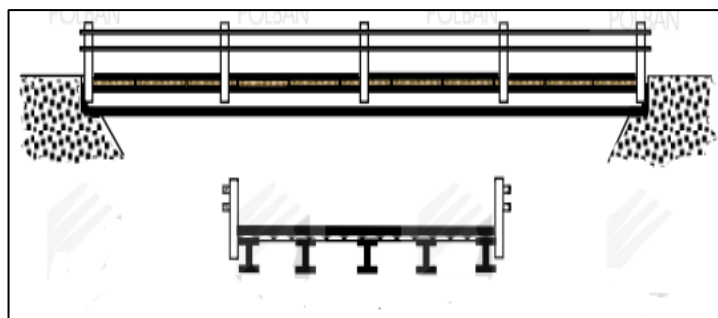
Gambar 2. 8 Jembatan Penyebrangan Orang
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

5. Klasifikasi Jembatan Menurut Bentuk Struktur

Jembatan dapat dibedakan menurut bentuk strukturnya, yang tergantung pada bentuk gelagar induk yang memikul semua elemen struktur dan menyebarkan beban ke bagian bawah. Jenis-jenis struktur jembatan meliputi:

a. Jembatan Balok Gelagar Biasa

Jembatan ini didesain untuk bentang pendek hingga sedang dengan beban hidup yang ringan, seperti jembatan penyeberangan pejalan kaki. Gelagar induknya berupa balok sederhana yang menopang kedua abutment, dengan susunan struktur berupa Gelagar Induk – Pelat Lantai Kendaraan, serta dilengkapi tiang sandaran non-struktural. Jembatan gelagar biasa ini dapat terbuat dari bahan kayu atau baja, tergantung pada kebutuhan dan kondisi lingkungan.



Gambar 2. 9 Jembatan Balok Gelagar Biasa
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

b. Jembatan Balok Pelat Girder

Jembatan ini biasanya digunakan pada jalur rel kereta api dengan bentang sedang. Struktur gelagar induknya terdiri dari

balok profil buatan yang dibuat dari pelat baja dengan ketebalan tertentu, yang dirancang untuk menopang beban lebih besar dan memastikan kestabilan serta keamanan jalur kereta api.



Gambar 2. 10 Jembatan Balok Pelat Girder
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

c. Jembatan Balok Monolit Beton Bertulang

Jembatan ini memanfaatkan beton bertulang, dengan gelagar induk dan pelat lantai kendaraan yang dicor secara bersamaan, sehingga membentuk struktur Balok T yang menyatu.

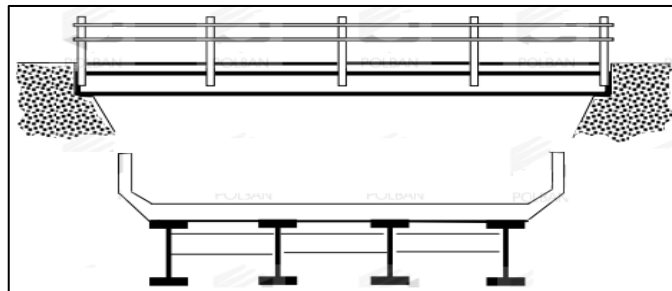


Gambar 2. 11 Jembatan Balok Monolit Beton Bertulang
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

d. Jembatan Gelagar Komposit

Jembatan ini memanfaatkan kombinasi dua material pada gelagar induknya, yaitu balok baja profil dan pelat lantai beton

bertulang, yang dihubungkan menggunakan penghubung geser (*Shear Connector*). Jenis jembatan ini biasanya dirancang untuk bentang yang cukup panjang, dengan rentang efektif mulai dari 15 m hingga 30 m.



Gambar 2. 12 Jembatan Gelagar Komposit
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

b. Jembatan Rangka Batang

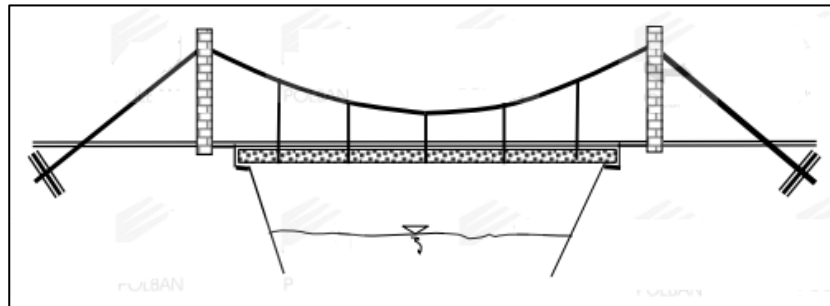
Jembatan baja rangka batang menggunakan berbagai jenis rangka yang dirancang khusus untuk bentang panjang. Struktur utamanya terbuat dari profil baja, dengan rangka batang di kedua sisi yang berfungsi sebagai gelagar induk. Gelagar induk ini mendukung gelagar melintang dan memanjang, yang bertugas menahan beban dari lantai kendaraan di atasnya.



Gambar 2. 13 Jembatan Rangka Batang
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

b. Jembatan Gantung

Jembatan gantung adalah jembatan yang didukung oleh tiang utama berupa pilar atau menara. Struktur utamanya mencakup gelagar induk, gelagar melintang, lantai kendaraan, kabel penggantung, dan sistem penjangkar kabel. Kabel penggantung, yang membentang sepanjang jembatan, berfungsi untuk menyalurkan beban dari lantai kendaraan ke bagian bawah jembatan, yaitu abutmen, penjangkar kabel, dan tiang penopang.



Gambar 2. 14 Jembatan Gantung
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

c. Jembatan Balok Beton Prategang

Jembatan balok beton prategang adalah struktur beton bertulang yang diperkuat dengan pra-tegangan menggunakan kabel yang ditempatkan di dalam balok. Penarikan kabel pada tendon menciptakan tegangan yang bekerja untuk melawan beban hidup jembatan. Jenis jembatan ini umumnya diterapkan pada bentang yang cukup panjang, seperti pada jembatan layang monorel.



Gambar 2. 15 Jembatan Balok Beton Prategang
(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

6. Klasifikasi Jembatan Menurut Bentuk Struktur

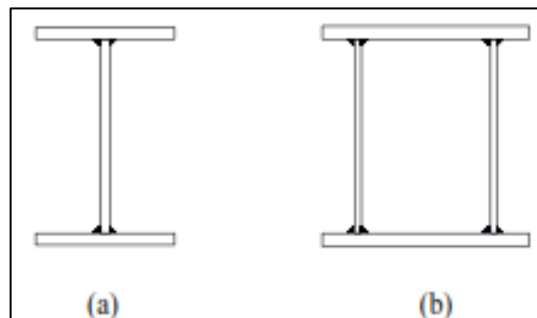
Berdasarkan persentase muatan hidup yang dapat melintasi jembatan dibandingkan dengan kapasitas kendaraan standar, jembatan dibagi menjadi beberapa kelas, sebagai berikut:

- a. Jembatan Kelas Standar (A/I) : Jembatan ini dirancang untuk menahan 100% muatan total ("T") dan 100% muatan hidup ("D"). Lebarinya terdiri dari 1,00 meter di kedua sisi dan 7,00 meter di bagian tengah.
- b. Jembatan Kelas Sub Standar (B/II) Jembatan ini dirancang untuk menanggung 70% muatan "T" dan 70% muatan "D". Lebar jembatan ini adalah 0,50 meter di kedua sisi dan 6,00 meter di tengah.
- c. Jembatan Kelas *Low Standar* (C/III) : Jembatan ini dirancang untuk menahan 50% muatan total ("T") dan 50% muatan hidup ("D"). Lebarinya terdiri dari 0,50 meter di kedua sisi dan 3,50 meter di bagian tengah.

7. Bagian-bagian Jembatan

Secara umum, jembatan terdiri dari dua bagian utama, sebagai berikut:

- a. Bangunan Atas, Bagian ini berfungsi untuk menahan beban dari kendaraan dan pejalan kaki yang melintas. Struktur bangunan atas meliputi pelat lantai kendaraan, trotoar, tiang sandaran, gelagar memanjang, gelagar melintang, gelagar induk, tumpuan jembatan, dan saluran drainase.



Gambar 2. 16 Gelagar Pelat

(Sumber : Buku modul Struktur baja, Politeknik Negeri Bandung)

- b. Bangunan Bawah, bagian ini berfungsi untuk menahan beban yang diterima dari bangunan atas. Struktur bagian bawah terdiri dari abutment, pilar, dan pondasi.

Secara lebih detail, jembatan terbagi menjadi beberapa komponen yang lebih kecil, seperti:

- 1) Bangunan atas
- 2) Landasan
- 3) Bangunan bawah
- 4) Pondasi

5) Oprit

6) Bangunan pengaman jembatan

a. Bangunan Atas

Bangunan atas adalah bagian jembatan yang berada di atas dan berfungsi untuk menampung beban dari lalu lintas, pejalan kaki, dan muatan lainnya. Beban ini kemudian diteruskan ke bangunan bawah melalui struktur pendukung.

b. Bangunan Bawah

Bangunan bawah terletak di bawah bangunan atas dan bertugas menahan serta memikul beban dari bangunan atas. Beban tersebut kemudian diteruskan ke pondasi, yang selanjutnya menyalurkannya ke tanah pendukung.

1) *Abutment* (Kepala Jembatan)

Abutment adalah komponen jembatan yang terletak di kedua ujungnya. Selain sebagai penopang bangunan atas, abutment juga berfungsi untuk menahan tanah di sekitarnya. Pada umumnya, abutment dibangun dari beton bertulang, namun pada jembatan yang lebih sederhana, abutment bisa dibuat dari batu kali atau bahan kayu.

2) Pilar Jembatan

Pilar, atau pier, berperan mendukung bangunan atas jembatan. Pilar-pilar ini terletak di antara kedua abutment dan jumlahnya dapat bervariasi sesuai dengan kebutuhan. Pada

beberapa jembatan, pilar mungkin tidak diperlukan jika desainnya memungkinkan.

3) Pondasi

Pondasi berfungsi untuk mentransfer beban dari bangunan bawah ke tanah, memastikan bahwa tanah dapat menanggung tegangan dan pergerakan yang dihasilkan oleh struktur. Jenis-jenis pondasi yang umum dipergunakan antara lain:

1) Pondasi Dangkal

- a) Pondasi langsung
- b) Pondasi sumuran

2) Pondasi Dalam

- a) Tiang pancang
 - (1) Tiang Kayu
 - (2) Tiang Baja (Tiang H dan Tiang pipa)
 - (3) Tiang Beton (Bertulang dan Pratekan)
- b) Tiang bor
- c) Sumuran

8. Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan

(Hidayah, 2021) Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan suatu jembatan:

a. Pemilihan Lokasi/*Alinyemen*

Secara umum, perencanaan jembatan disesuaikan dengan rencana alinyemen jalan raya yang telah ditetapkan sebelumnya. Namun, dalam kondisi tertentu seperti masalah tanah atau kondisi aliran sungai,

mungkin diperlukan pengorbanan terhadap alinyemen jalan demi memungkinkan pembangunan jembatan yang lebih sesuai.

b. Penentuan Kondisi Eksternal

Pemilihan bentang panjang, lokasi abutment, pier, serta orientasi jembatan harus mempertimbangkan beberapa faktor eksternal utama, yaitu:

- 1) Topografi daerah setempat
- 2) Kondisi tanah dasar
- 3) Kondisi aliran sungai

c. Stabilitas Konstruksi

Stabilitas adalah tujuan utama dalam perencanaan jembatan. Konstruksi harus memenuhi kriteria kekuatan, kekokohan, dan stabilitas. Oleh karena itu, perencanaan biasanya mencakup kajian alternatif untuk memilih solusi terbaik.

d. Ekonomis

Pembangunan jembatan juga harus mempertimbangkan faktor ekonomis, memastikan bahwa biaya yang dikeluarkan tetap efisien tanpa mengurangi kekuatan dan keamanan jembatan.

e. Pertimbangan Pelaksanaan

Metode pelaksanaan harus disesuaikan dengan kondisi lalu lintas agar tetap aman dan lancar selama pembangunan.

f. Pertimbangan Pemeliharaan

Perencanaan jembatan harus memperhitungkan faktor pemeliharaan jangka panjang, termasuk pemilihan bahan konstruksi yang tahan terhadap faktor eksternal seperti air, garam, dan zat korosif.

g. Keamanan dan Kenyamanan

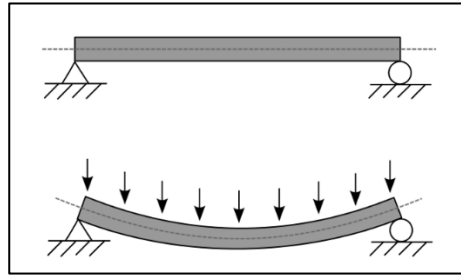
Keamanan adalah faktor utama dalam perencanaan, seperti dalam pemasangan railing, trotoar, dan elemen lainnya. Kenyamanan juga penting, terutama dalam alinyemen jembatan yang melintasi tikungan, dengan radius tikungan yang cukup besar dan kelandaian yang minim.

h. Estetika

Penampilan jembatan perlu disesuaikan dengan lingkungan sekitar agar menciptakan keserasian visual, baik dalam elemen konstruksi maupun desain keseluruhan jembatan.

9. Balok Baja

Balok merupakan elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Hal ini menyebabkan balok mengalami lenturan sebagai respons terhadap beban yang diterimanya. Dalam proses desain balok, pada awalnya yang ditinjau adalah masalah momen lentur balok karena momen ini berperan penting dalam menentukan kapasitas dan kekuatan balok. Selain itu, efek-efek lain seperti geser dan defleksi juga menjadi perhatian utama, karena keduanya dapat mempengaruhi kestabilan dan kinerja struktur secara keseluruhan.



Gambar 2. 17 Perilaku Balok Akibat Pembebanan
(Sumber : (Siregar et al., 2020))

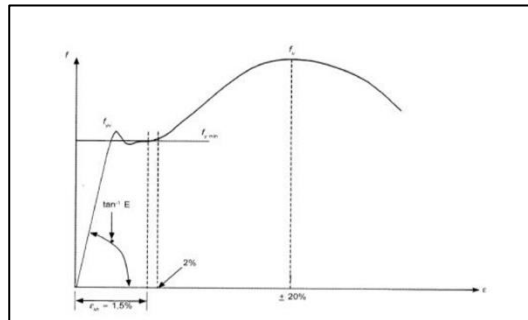
Balok merupakan kombinasi antara elemen yang tertekan dan elemen yang tertarik. Ketika sebuah balok menerima beban, bagian atasnya akan mengalami tekanan sementara bagian bawahnya akan mengalami tarikan. Pada gambar 2.17 di atas dapat dilihat bahwa balok yang dibebani P akan melentur dengan jari-jari R yang tidak konstan. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi tegangan di sepanjang balok tidak merata dan bergantung pada besar serta titik aplikasinya beban. Bagian atas pada garis netral (g.n) mengalami perpendekan akibat tekanan, sedangkan bagian bawah garis netral (g.n) mengalami perpanjangan akibat tarikan. Fenomena ini menunjukkan bahwa serat-serat pada bagian atas cenderung menyusut, sedangkan serat-serat pada bagian bawah cenderung meregang, yang akhirnya menghasilkan deformasi pada balok.

Untuk meningkatkan efisiensi struktur, pemilihan bentuk profil balok sangat berpengaruh terhadap kapasitasnya dalam menahan beban. Bentuk profil IWF (I Wide Flange) sangat efisien untuk memikul momen lentur karena sayapnya yang lebar dapat menahan tegangan tarik dan tekan dengan baik, sedangkan badannya yang tipis membantu mengurangi berat

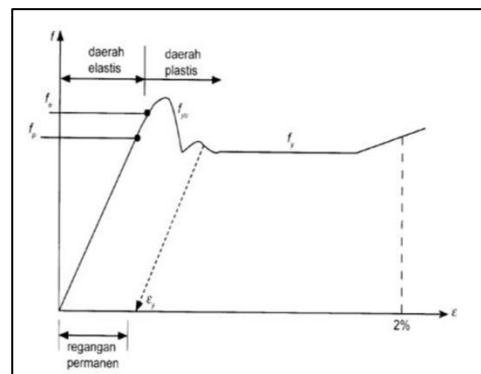
keseluruhan struktur tanpa mengorbankan kekuatan. Hal ini membuat perbandingan antara momen inersia dan berat profil menjadi besar, sehingga memungkinkan penggunaan material yang lebih ekonomis dengan tetap mempertahankan kekuatan yang optimal. Oleh karena itu, profil IWF sering digunakan dalam konstruksi bangunan dan jembatan yang memerlukan balok dengan kapasitas lentur yang tinggi.

10. Sifat Material Baja

Agar dapat memahami perilaku struktur baja, perlu dilakukan pengujian guna mengetahui sifat-sifat mekanik material secara lebih akurat. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data eksperimental yang dapat digunakan dalam perancangan dan analisis struktur baja. Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik material baja adalah dengan melakukan uji tarik. Uji tarik dipilih karena memberikan hasil yang lebih jelas dan akurat dalam menentukan sifat mekanik baja, seperti tegangan luluh, tegangan ultimit, serta modulus elastisitas. Selain itu, uji tarik lebih disukai dibandingkan uji tekan karena pada pengujian tekan sering terjadi ketidakstabilan akibat potensi tekuk (buckling) pada benda uji. Ketidakstabilan ini dapat mengganggu hasil pengujian dan menyebabkan penyimpangan data yang tidak diinginkan. Selain itu, perhitungan tegangan yang terjadi pada benda uji lebih mudah dilakukan dalam uji tarik dibandingkan dengan uji tekan, karena dalam uji tarik distribusi tegangan lebih seragam dan tidak dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan bentuk benda uji seperti pada uji tekan.



Gambar 2. 18 Kurva hubungan Tegangan (f) - regangan (ϵ)
(Sumber : (Siregar et al., 2020))



Gambar 2. 19 Kurva hubungan Tegangan (f) - regangan (ϵ) yang diperbesar
(Sumber : (Siregar et al., 2020))

Gambar 2.18 dan Gambar 2.19 menunjukkan suatu hasil uji tarik material baja yang dilakukan pada suhu kamar serta dengan memberikan laju regangan yang normal. Dalam uji tarik, tegangan nominal (f) yang terjadi dalam benda uji diplot pada sumbu vertikal, sedangkan regangan (ϵ) yang merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula ($\Delta L/L$) diplot pada sumbu horizontal. Grafik tegangan-regangan ini memberikan gambaran mengenai perilaku mekanik baja dari kondisi awal hingga mencapai titik keruntuhan. Gambar 2.18 merupakan hasil uji tarik dari suatu benda uji baja yang dilakukan hingga benda uji

mengalami keruntuhan, yang berarti telah mencapai titik maksimum daya dukung materialnya sebelum patah. Sementara itu, Gambar 2.19 menunjukkan gambaran yang lebih detail dari perilaku benda uji hingga mencapai regangan sebesar $\pm 2\%$, yang merupakan salah satu parameter penting dalam memahami sifat elastisitas dan deformasi material sebelum memasuki zona plastis. Dari hasil uji ini, dapat diketahui bagaimana baja merespons beban tarik, termasuk seberapa besar deformasi yang dapat ditoleransi sebelum terjadi kegagalan material.

Dengan melakukan uji tarik, para insinyur dan perancang struktur dapat menentukan parameter material yang diperlukan untuk memastikan keamanan dan ketahanan struktur baja dalam berbagai kondisi beban. Data yang diperoleh dari pengujian ini juga dapat digunakan sebagai dasar dalam standar desain serta dalam evaluasi kualitas material baja yang digunakan dalam konstruksi. Oleh karena itu, uji tarik merupakan salah satu metode pengujian yang sangat penting dalam rekayasa struktur baja. Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putusnya, SNI 03-1729-2002 mengklasifikasikan mutu dari material baja yang sama yaitu:

Tabel 2. 1 Sifat-sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum f_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber : (Siregar et al., 2020))

11. Beban

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur dan menjadi faktor utama dalam perencanaan serta analisis struktur. Beban yang diterima oleh suatu struktur dapat berasal dari berbagai sumber, seperti beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban lainnya yang bergantung pada fungsi serta lokasi bangunan. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang sulit karena dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti perubahan kondisi lingkungan, variasi penggunaan bangunan, dan kemungkinan terjadinya kejadian ekstrem yang tidak dapat diprediksi secara akurat. Oleh karena itu, dalam praktiknya, penentuan besarnya beban pada struktur umumnya hanya merupakan estimasi yang dilakukan berdasarkan standar teknis dan pengalaman rekayasa.

Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dalam struktur dapat diketahui secara pasti melalui analisis dan pengukuran, distribusi beban dari satu elemen ke elemen lainnya dalam suatu struktur umumnya memerlukan asumsi dan pendekatan tertentu. Hal ini disebabkan oleh kompleksitas interaksi antar elemen struktur serta sifat material yang digunakan. Distribusi beban ini juga sangat bergantung pada jenis struktur yang dianalisis, seperti rangka baja, beton bertulang, atau struktur komposit, yang masing-masing memiliki karakteristik pembebanan yang berbeda. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka langkah berikutnya adalah menentukan kombinasi beban

yang paling dominan dan mungkin terjadi selama umur layan struktur. Kombinasi beban ini sangat penting dalam memastikan struktur dapat berfungsi dengan aman dan efisien tanpa mengalami kegagalan akibat beban yang berlebihan atau kombinasi beban yang tidak terduga.

Besar beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku untuk memastikan bahwa perhitungan beban dilakukan secara konsisten dan sesuai dengan standar keamanan yang ditetapkan. Di Indonesia, peraturan pembebanan ini mengacu pada SNI 03-1729-2002 yang mengatur berbagai aspek pembebanan, termasuk kombinasi beban yang harus diperhitungkan dalam desain struktur. Kombinasi beban dalam standar ini mempertimbangkan berbagai skenario yang mungkin terjadi, seperti kombinasi antara beban mati dan beban hidup, atau kombinasi antara beban angin dan beban gempa, sehingga struktur dapat dirancang dengan faktor keamanan yang memadai. Dengan menerapkan standar ini, para insinyur dapat memastikan bahwa struktur yang dirancang memiliki daya tahan yang cukup terhadap berbagai kondisi pembebanan yang mungkin terjadi selama umur layanannya.

12. *Stiffener* (Pengaku)

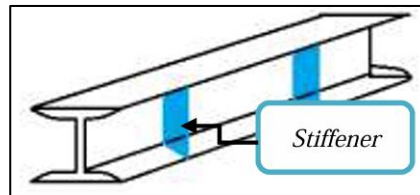
Stiffener adalah bantalan pengaku (plat) yang digunakan pada titik tumpuan suatu balok ketika balok tidak memiliki kemampuan yang cukup pada badan profil untuk mendukung reaksi akhir atau beban terpusat. *Stiffener* berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas struktur dengan mencegah terjadinya deformasi yang berlebihan pada badan balok

akibat konsentrasi tegangan di titik tumpuan atau di bawah beban terpusat. Batas untuk kondisi ini meliputi berbagai mode kegagalan, antara lain leleh lokal pada badan profil (*web local yielding*), tekuk lokal akibat beban terpusat (*web crippling*), dan tekuk lokal badan profil (*web local buckling*). Jika tidak diberikan *stiffener*, maka bagian badan balok yang mengalami tekanan tinggi dapat mengalami deformasi atau bahkan kegagalan struktural, yang berpotensi mengurangi kapasitas daya dukung balok secara keseluruhan.

Stiffener dibuat untuk membantu badan balok menciptakan garis-garis nodal selama proses tekuk pelat badan (*web*) serta untuk menerima gaya tekan yang ditransmisikan dari badan balok. Dengan adanya *stiffener*, distribusi gaya tekan menjadi lebih merata, sehingga risiko terjadinya deformasi berlebih atau ketidakstabilan akibat tekanan yang tinggi dapat dikurangi. Selain itu, *stiffener* juga berperan dalam meningkatkan ketahanan terhadap geser pada badan balok, yang sangat penting dalam struktur yang menerima beban dinamis atau beban kejut.

Pada flens tekan, pengelasan *stiffener* memberikan stabilitas tambahan dengan menjaganya agar tetap tegak lurus terhadap badan balok. Hal ini penting karena flens tekan yang tidak memiliki pengaku yang cukup dapat mengalami tekuk atau deformasi yang mengurangi efektivitas balok dalam menahan beban. Pengaku yang dipasang dengan benar akan memastikan bahwa flens tetap berfungsi dengan optimal, terutama dalam menahan tegangan tekan yang bekerja pada elemen struktural. Oleh karena

itu, penggunaan *stiffener* dalam desain balok baja menjadi salah satu strategi penting dalam meningkatkan efisiensi dan keamanan struktur, terutama pada elemen yang menerima beban berat atau memiliki bentang panjang.



Gambar 2. 20 Stiffener Profil IWF
(Sumber : (Siregar et al., 2020))

13. Tekuk Lokal Balok (*Local Buckling*)

Tekuk (*buckling*) merupakan fenomena instabilitas yang terjadi pada batang langsing, pelat, dan cangkang yang tipis akibat adanya beban tekan yang melampaui batas kestabilan elemen tersebut. Fenomena ini terjadi karena perubahan bentuk struktur akibat lendutan besar yang mengubah konfigurasi geometrik elemen yang menerima beban. Tekuk dapat terjadi secara tiba-tiba dan menyebabkan deformasi yang signifikan tanpa adanya tanda-tanda awal yang jelas. Konsekuensi tekuk pada dasarnya adalah masalah geometrik dasar, di mana perubahan bentuk akibat lendutan besar dapat mengurangi kapasitas struktur dalam menahan beban tambahan. Namun, dalam beberapa kasus, struktur yang mengalami tekuk belum tentu mengalami kegagalan permanen. Jika buckling terjadi pada daerah elastis, struktur masih memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk semula setelah beban tekan dihilangkan. Hal ini disebabkan oleh sifat

elastis material yang memungkinkan struktur untuk pulih dari deformasi selama batas elastisitasnya belum terlampaui. (Agus Triono, 2007).

Elemen-elemen pada profil baja, khususnya profil IWF (*I Wide Flange*), yang rentan mengalami tekuk lokal antara lain:

a. Sayap atas (*top flange*)

Bagian ini menerima tekanan akibat beban yang bekerja pada balok, terutama jika terjadi beban lentur yang signifikan.

b. Sayap bawah (*bottom flange*)

Meskipun sering mengalami gaya tarik dalam kondisi normal, bagian ini tetap dapat mengalami tekuk jika ada perubahan distribusi beban atau terjadi kombinasi beban tertentu.

c. Pelat badan (*web*)

Bagian ini berfungsi untuk menahan geser dan turut berperan dalam menahan beban tekan, sehingga rentan terhadap tekuk lokal terutama jika ketebalannya relatif kecil dibandingkan tinggi balok.

Bentuk profil baja yang cenderung langsing atau tipis lebih mudah mengalami kegagalan akibat tekuk karena rasio antara panjang atau tinggi elemen terhadap ketebalannya yang besar. Local buckling biasanya terjadi pada berbagai kondisi struktural tertentu, seperti:

a. Balok tinggi (balok girder, biasanya pada jembatan)

Balok dengan rasio tinggi terhadap ketebalan web yang besar cenderung mengalami tekuk badan (*web buckling*), terutama di daerah yang menerima tegangan tinggi.

b. Balok yang tidak diberi *stiffener plate*

Tanpa *stiffener*, distribusi beban pada pelat badan dan flens menjadi tidak merata, sehingga meningkatkan risiko tekuk lokal akibat kurangnya kekuatan struktural.

c. Balok yang mengalami beban terpusat yang sangat besar

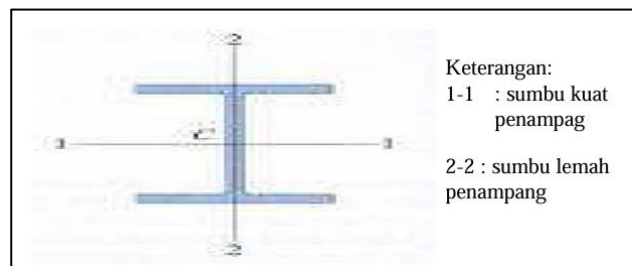
Misalnya pada balok crane dan balok transfer, di mana beban besar yang terfokus pada satu titik dapat menyebabkan deformasi lokal dan memicu kegagalan akibat tekuk.

Untuk mengatasi risiko tekuk, berbagai metode dapat diterapkan, seperti menambahkan stiffener pada pelat badan untuk meningkatkan ketahanan terhadap buckling, memilih proporsi elemen yang lebih seimbang untuk mengurangi kelangsingan, serta memastikan bahwa desain memenuhi standar kestabilan struktural sesuai dengan regulasi yang berlaku. Dengan pemahaman yang baik mengenai fenomena tekuk, para insinyur dapat merancang struktur baja yang lebih aman, efisien, dan tahan terhadap berbagai kondisi pembebanan.

14. Tekuk Torsi Lateral Balok (*Lateral Torsional Buckling*)

Flens tekan dari balok dapat dianggap sebagai kolom yang menerima gaya tekan akibat beban yang bekerja pada balok. Dalam kondisi ini, sayap yang diasumsikan sebagai kolom akan mengalami potensi tekuk dalam arah lemahnya akibat momen lentur terhadap suatu sumbu, seperti sumbu 1-1. Namun, karena pelat badan (web) balok memberikan sokongan yang cukup untuk mencegah terjadinya tekuk dalam arah tersebut, flens lebih

cenderung mengalami tekuk oleh lentur terhadap sumbu yang lebih lemah, yaitu sumbu 2-2. Tekuk ini terjadi karena adanya distribusi tegangan tekan yang tidak merata pada sayap tekan balok, terutama pada kondisi di mana panjang bentang balok cukup besar dan tidak terdapat perkuatan lateral yang memadai.



Gambar 2. 21 Sumbu Lemah dan Kuat IWF
 (Sumber : (Siregar et al., 2020))

Karena bagian tarik dari balok berada dalam kondisi stabil dan tidak mengalami deformasi signifikan, proses tekuk lentur dalam arah lateral tersebut akan dibarengi dengan efek torsi, yang menyebabkan terjadinya tekuk torsi lateral (lateral torsional buckling). Tekuk torsi lateral adalah bentuk ketidakstabilan yang terjadi ketika bagian tekan dari balok mengalami pembelokan lateral bersamaan dengan rotasi terhadap sumbu panjangnya. Fenomena ini umumnya terjadi pada balok baja dengan bentang panjang atau pada balok yang memiliki bagian sayap yang lebar tanpa perkuatan lateral yang memadai.

Tekuk torsi lateral (lateral torsional buckling) merupakan kondisi batas yang menentukan kekuatan sebuah balok karena mempengaruhi kemampuan balok dalam memikul beban lentur. Sebuah balok yang stabil secara lateral akan mampu menahan momen maksimum hingga mencapai

momen plastis (M_p), di mana seluruh penampangnya telah mencapai kondisi plastis sebelum terjadi kegagalan. Namun, jika balok mengalami tekuk torsi lateral sebelum mencapai momen plastis, kapasitas momen yang dapat dipikul akan lebih kecil dari M_p , sehingga mengurangi efisiensi struktur secara keseluruhan.

Untuk mencegah terjadinya lateral torsional buckling, beberapa strategi dapat diterapkan, seperti menambahkan perkuatan lateral dalam bentuk lateral bracing, memperpendek jarak antara pengaku lateral, atau menggunakan penampang yang lebih stabil terhadap tekuk, seperti profil komposit atau balok dengan rasio ketebalan yang lebih optimal. Dengan memahami mekanisme tekuk torsi lateral, insinyur dapat merancang struktur baja yang lebih aman dan mampu menopang beban secara efisien tanpa mengalami kegagalan dini akibat ketidakstabilan lateral.

15. Perencanaan Balok IWF

Perencanaan untuk balok baja mengacu pada metode LRFD dan peraturan (SNI-03-1729, 2002). Profil balok dipilih $\geq Z_x$ perlu balok, selanjutnya dilakukan kontrol terhadap beberapa aspek, yaitu:

a. Kontrol momen nominal pengaruh *local buckling*

1) Pengaruh *Local Buckling* Pada Sayap

Perhitungan tekuk lokal pada sayap menggunakan persamaan seperti di bawah ini berdasarkan kondisi balok bajanya :

$M_n = M_p$, Untuk penampang kompak,

$M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (\lambda_f - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)$, Untuk penampang tidak kompak,

$M_n = M_r \times (\lambda_r / \lambda_f)^2$, Untuk penampang langsing.

2) Pengaruh *Local Buckling* Pada Badan

$M_n = M_p$, Untuk penampang kompak,

$M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (\lambda_f - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)$, Untuk penampang tidak kompak,

$M_n = M_r \times (\lambda_r / \lambda_w)^2$, Untuk penampang langsing.

b. Kontrol momen nominal pengaruh *lateral torsional buckling*

Untuk mencari momen nominal pengaruh tekuk torsi lateral digunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$M_n = C_b \times \left(M_r + (M_p - M_r) \times \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right)$$

c. Kontrol momen nominal plat berdinding penuh

Momen nominal plat berdinding penuh berdasarkan SNI 03-1729-2002 dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr}$$

d. Tahanan momen lentur

Setelah seluruh momen nominal sudah diperoleh, selanjutnya dilakukan kontrol tahanan momen lentur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_u \leq \phi_b \times M_n$$

e. Kontrol kuat geser

Untuk kontrol kuat geser dilakukan dengan disesuaikan dengan kondisi tahanan geser dan persamaan yang digunakan seperti di bawah ini :

$V_n = 0,60 \times f_y \times A_w$, untuk tahanan geser plastis

$V_n = 0,60 \times f_y \times A_w \times \left(1,10 \times \sqrt{\frac{k_n \times \frac{E}{f_y}}{\frac{h}{t_w}}} \right)$ Untuk tahanan geser elasto

plastis

$V_n = 0,90 \times A_w \times k_n \times \frac{E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$ Untuk tahanan geser elastis

f. Perencanaan *stiffener*

Jika $R_u > \phi \cdot R_b$, maka harus dipasang stiffener (pengaku) sehingga

$$R_u - \phi R_b \leq A_s \cdot f_y$$

B. Tinjauan Pustaka

1. (Achmad Santosa et al., 2015) yang berjudul Perencanaan Jembatan Prategang Kali Suru Pernalang. Jembatan Suru yang terletak di Desa Suru, Kecamatan Bantarbolang, Pernalang, berfungsi sebagai penghubung antara wilayah Kesesi dan Bantarbolang, dengan panjang bentang mencapai 144 meter di atas Sungai Suru. Penggantian jembatan menjadi kebutuhan mendesak karena struktur rangka baja yang ada telah melewati umur rencana, mengalami korosi, dan memiliki lebar efektif yang tidak memadai untuk mendukung kebutuhan transportasi. Awalnya, jembatan ini dirancang menggunakan struktur rangka baja. Namun, dalam tugas akhir ini, dilakukan perancangan ulang dengan menggunakan struktur

beton prategang. Tahap awal perencanaan mencakup analisis kondisi eksisting, desain struktur jembatan atas dan bawah, serta penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Perencanaan struktur atas mempertimbangkan berbagai jenis beban, termasuk beban sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas, beban angin, dan beban gempa. Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) digunakan untuk menganalisis daya tahan struktur. Setelah struktur atas dirancang, perencanaan dilanjutkan dengan struktur bawah, meliputi pendimensian abutment, pilar, dan pondasi. Jenis pondasi yang dipilih adalah pondasi sumuran, yang disesuaikan dengan kondisi tanah serta beban yang harus ditanggung oleh jembatan.

2. (Susanto et al., 2018) yang berjudul Studi Perencanaan Jembatan Cumpleng Dengan Metode Pratekan Di Kec. Slahung Kabupaten Ponorogo. Jembatan Cumpleng, yang terletak di Kecamatan Slahung, Kabupaten Ponorogo, memiliki bentang total 30 meter dengan lebar jembatan 4,20 meter dan lebar perkerasan 3,50 meter. Jembatan ini berperan penting sebagai penghubung antara Desa Slahung dan Desa Galak, sehingga diharapkan dapat memperlancar arus lalu lintas serta mendukung pertumbuhan ekonomi dan pembangunan di wilayah tersebut. Dalam perencanaannya, digunakan metode pratekan untuk menghitung struktur, termasuk sandaran, tiang sandaran, lantai kendaraan, gelagar induk, dan abutment. Balok induk dirancang menggunakan beton pratekan komposit dengan metode pasca tarik (post-tensioning), memiliki tinggi

1,10 meter, dan mutu beton sebesar 40 MPa, yang memastikan daya tahan terhadap beban yang diterima. Elemen lainnya, seperti tiang sandaran, lantai kendaraan, dan balok melintang, dirancang untuk saling mendukung guna menciptakan struktur yang kuat, stabil, dan aman. Dengan rancangan ini, Jembatan Cempleng diharapkan dapat memenuhi kebutuhan transportasi masyarakat serta meningkatkan konektivitas antarwilayah di Kecamatan Slahung. Balok induk ini akan dilengkapi dengan dua tendon jenis VSL tipe 12 dan sepuluh untaian kabel. Untuk bagian lainnya, seperti tiang sandaran dan balok melintang, menggunakan beton bertulang biasa. Dengan perencanaan ini, diharapkan Jembatan Cempleng akan memenuhi standar kekuatan dan daya tahan yang diperlukan, serta mendukung kebutuhan transportasi di Kecamatan Slahung.

3. (Batubara & Simatupang, 2018) yang berjudul Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Jembatan merupakan konstruksi penting untuk menghubungkan ruas jalan yang terpisah oleh berbagai rintangan, seperti lembah, sungai, danau, saluran irigasi, rel kereta api, atau jalan raya yang berbeda tingkat. Dalam perencanaan pembangunan jembatan, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, seperti kekakuan, defleksi, dan daya dukung beban. Penelitian ini fokus pada analisis struktur dan perancangan balok gelagar beton pratekan untuk jembatan dengan panjang 24 meter dan lebar 6,5 meter. Beban kerja yang dianalisis mencakup beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), beban kendaraan (TD), beban

pengereman (TB), beban pejalan kaki (TP), dan beban angin (EW). Kekuatan internal struktur dihitung menggunakan Metode Elemen Hingga dengan perangkat lunak SAP2000 yang bersifat non-linier. Desain struktur jembatan ini mengikuti standar nasional yang berlaku, yaitu SNI 1725:2016 dan RSNI T-12-2004. Hasil dari analisis dan desain menunjukkan bahwa struktur jembatan ini menggunakan empat balok pratekan dengan tinggi 160 cm dan jarak antar balok 1,83 meter. Pelat jembatan memiliki ketebalan 20 cm, dengan diafragma berukuran 20x165x125 cm. Jumlah tendon yang digunakan adalah tiga, masing-masing terdiri dari 12 untai. Gaya pratekan yang dihasilkan oleh proses jacking adalah sebesar $P = 5351,30$ kN, dengan kehilangan pratekan sebesar 24,52%. Lendutan yang terjadi pada balok pratekan adalah 12,6 mm, yang lebih kecil dari batas lendutan yang diizinkan, yaitu 80 mm. Tegangan yang terjadi pada balok adalah 8696 kPa, yang juga lebih rendah dari tegangan maksimum yang diizinkan, yaitu 18675 kPa. Dengan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa desain struktur jembatan balok gelagar beton pratekan memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas yang dibutuhkan untuk melayani beban yang diterima oleh jembatan.

4. (Rangan, 2019) yang berjudul Perencanaan Jembatan Sungai Mappajang Dengan Jembatan Beton Prategang. Jembatan Mappajang direncanakan untuk menyalurkan Desa Bau dengan Kecamatan Bonggakaradeng, dengan panjang bentang jembatan 60 meter serta lebar 6 meter. Gelagar jembatan akan menggunakan gelagar prategang dengan metode Post

Tension, yang dilengkapi dengan untaian kawat Seven Wire Strand dan 4 tendon per gelagar untuk memberikan kekuatan ekstra pada struktur. Untuk plat lantai kendaraan komposit, penghubung geser dipasang dengan angkur 2 D 16 mm, dan elastomer digunakan dengan ukuran 500x250 mm yang terdiri dari 3 lapis baja laminasi, dengan masing-masing lapisan baja memiliki ketebalan 3 mm, yang berfungsi untuk menyerap getaran dan memberikan fleksibilitas. Bangunan pelengkap, seperti pipa sandaran dan tiang sandaran, juga direncanakan untuk menopang struktur jembatan dan memberikan stabilitas. Pengumpulan data primer dan sekunder dilakukan untuk analisis perencanaan, dan setelah itu, dilakukan perhitungan kekuatan serta pemilihan material yang sesuai untuk bagian-bagian jembatan. Jembatan ini diharapkan dapat meningkatkan konektivitas antara dua wilayah, memperlancar transportasi, dan meningkatkan aksesibilitas bagi masyarakat setempat.

5. (Okky Hendra Hermawan, 2021) Analisa Kuat Tekan Beton Akibat Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata. Beton adalah bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen, air, agregat halus, dan agregat kasar dengan perbandingan yang telah ditentukan. Dengan meningkatnya pembangunan yang menggunakan beton, kebutuhan akan beton juga semakin tinggi, dan penggunaan agregat sebagai material penopang beton semakin meningkat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, inovasi pada material pembentuk beton dapat dilakukan dengan menggantikan sebagian material agregat atau material lainnya dengan memanfaatkan limbah yang

ada di sekitar kita. Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan adalah limbah batu bata. Limbah batu bata, yang biasanya dibuang, dapat diolah menjadi serbuk dan digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan serbuk batu bata terhadap kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk batu bata dalam campuran beton dapat mempengaruhi kekuatan beton. Semakin banyak persentase serbuk batu bata yang ditambahkan, semakin menurun kuat tekan beton tersebut. Penurunan ini terjadi karena kualitas serbuk batu bata yang digunakan sebagai pengganti agregat halus tidak sebaik agregat alami, sehingga mempengaruhi daya dukung beton dalam menahan beban. Namun demikian, penggunaan limbah batu bata sebagai substitusi agregat halus masih dapat diterapkan pada kondisi-kondisi tertentu dengan mempertimbangkan komposisi dan proses pengolahan yang tepat agar kualitas beton yang dihasilkan tetap memenuhi standar yang dibutuhkan.

6. (Setiawan, 2022) yang berjudul Studi Perencanaan Ulang Model Jembatan Di Kali Sileng Ruas 085 Sta 0+910 Kabupaten Magelang. Jembatan Kali Sileng di Ruas 085 Kabupaten Magelang saat ini tidak memenuhi standar minimum kelayakan geometrik jalan berdasarkan SE Dirjen Binamarga 05/SE/Db/2017. Kerusakan pilar akibat erosi aliran sungai telah mengurangi kekuatan struktur dalam menahan beban. Kondisi ini menimbulkan kebutuhan mendesak untuk meningkatkan kelayakan

jembatan dengan mempertimbangkan standar yang berlaku dan memilih tipe jembatan yang sesuai. Berdasarkan hasil studi lapangan, jembatan rangka baja tipe Pratt dipilih sebagai alternatif yang paling cocok untuk meningkatkan kapasitas. Perencanaan dilakukan dengan mengacu pada SNI 1729-2020 untuk analisis struktur baja dan standar pembebanan SNI 1725-2016, serta peraturan tambahan untuk aspek yang tidak tercakup dalam SNI 1729-2020. Hasil analisis menunjukkan bahwa tinggi muka air saat banjir dengan periode ulang 50 tahun diperkirakan mencapai 1,6 meter dari dasar sungai. Oleh karena itu, elevasi jembatan dirancang lebih dari 1,6 meter untuk memenuhi kriteria tersebut. Setelah perhitungan dilakukan berdasarkan SNI 1729-2020, struktur jembatan rangka baja yang direncanakan dinyatakan aman terhadap semua gaya dan momen akibat beban yang bekerja.

7. (Bastian & Rulhendri, 2023) yang berjudul Perencanaan Pelebaran Jembatan Desa Tamansari. Jembatan adalah suatu jalan penghubung yang sangat terlihat sekali manfaatnya bagi mobilitas warga untuk menghubungkan desa dengan desa lainnya, sehingga jalan penghubung ini menjadi salah satu akses warga untuk berpergian. Seiring bertambahnya jumlah penduduk dan juga jumlah kendaraan yang dimiliki oleh warga ditambah lagi jika terjadi curah hujan yang cukup tinggi menyebabkan limpasan air hujan menggenangi jembatan, oleh karena itu ukuran jembatan ini harus diperhitungkan secara matang agar tidak menjadi suatu musibah bagi masyarakat.

8. (Pamudji et al., 2023) yang berjudul Perencanaan Pelat Lantai Pada Pelebaran Jembatan Akses Masuk Desa Grantung Purbalingga. Kondisi ini hanya memungkinkan satu kendaraan roda empat melintas dalam satu waktu, yang menghambat perkembangan ekonomi desa. Untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendukung pengembangan sektor wisata serta religi, pelebaran jembatan menjadi prioritas. Universitas Jenderal Soedirman (Unsoed) bekerja sama dengan Kepala Desa Grantung merancang Detail Engineering Design (DED) jembatan, meliputi perencanaan struktur atas (railing, trotoar, pelat lantai, girder) dan struktur bawah (pilar, abutmen, pondasi). Fokus awal perencanaan adalah desain railing dan pelat lantai. Jembatan baru akan memiliki lebar jalan 5,5 meter, dua trotoar selebar masing-masing 0,75 meter, dan railing setinggi 0,75 meter. Pelat lantai dirancang setebal 20 cm menggunakan beton bertulang dengan mutu $f'_c = 25$ MPa (K-250), trotoar setebal 25 cm menggunakan rabat beton mutu K-250, sedangkan tiang penyangga railing memiliki dimensi kolom $15 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ dengan beton bertulang mutu K-250.
9. (Agustian Setyagraha et al., 2024) yang berjudul Perencanaan Jembatan Beton Bertulang Penghubung Desalaren Dan Desa Pelangwot Di Kabupaten Lamongan Jawa Timur. Sarana dan prasarana lalu lintas memiliki peran yang sangat penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Ketersediaan sarana dan prasarana lalu lintas yang baik dapat mendukung mobilitas yang lancar, yang pada gilirannya

berkontribusi terhadap perkembangan ekonomi yang lebih cepat. Pembangunan jembatan penghubung antara Desa Laren dan Desa Pelangwot di Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur, adalah salah satu upaya Pemerintah Daerah dalam menyediakan infrastruktur transportasi yang baik bagi warganya. Jembatan ini dirancang dengan bentang 25 meter dan lebar 9 meter, menggunakan struktur beton bertulang balok T, bertujuan untuk memperlancar dan meningkatkan keamanan mobilisasi masyarakat. Perencanaan jembatan ini melibatkan perancangan struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas meliputi perencanaan lantai kendaraan, tiang sandaran, dan trotoar, sedangkan struktur bawah mencakup perencanaan abutment dan pondasi. Komponen-komponen struktur jembatan memainkan peran krusial dalam menahan dan mendistribusikan beban yang bekerja pada jembatan, menjaga kekuatan dan stabilitasnya. Struktur atas jembatan mencakup balok gelagar, sandaran, dan pelat lantai, sedangkan struktur bawah terdiri dari abutment, pilar, wingwall, dan pondasi yang mentransfer beban jembatan ke tanah. Dalam proyek perencanaan ulang Jembatan Sardjito II yang terletak di Kabupaten Sleman, yang melintasi Kali Code, dilakukan perubahan desain dari tipe lengkung bawah menjadi gelagar pelat baja dengan profil I. Proses perencanaan ulang ini mencakup perencanaan sandaran, lantai jembatan, gelagar pelat baja, pilar, abutment, pondasi, serta Rencana Anggaran Biaya (RAB). Perencanaan ini mempertimbangkan spesifikasi struktur seperti mutu beton, kekuatan tarik baja, dan beban yang bekerja, merujuk pada

AASHTO LRFD Bridge Design Specification 2007. Meskipun biaya perencanaan ulang dengan gelagar pelat baja lebih tinggi dibandingkan struktur beton, keunggulan utama jembatan baja terletak pada waktu pelaksanaannya yang lebih cepat. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain baru jembatan ini aman terhadap beban dan aksi yang ada.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian adalah pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam mencapai tujuan penelitian, yang mencakup teknik, alat, prosedur, dan desain penelitian (Soegiyono, 2013). Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan data yang sudah ada. Proses perencanaan pelat lantai untuk pelebaran jembatan yang melintasi Kali Waluh, dimulai dengan survei dan inventarisasi jembatan yang ada. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data perencanaan primer dan sekunder, kemudian dilanjutkan dengan desain awal (preliminary design). Setelah itu, perencanaan struktur sekunder dilakukan, diikuti dengan tahap pemodelan dan analisis struktur untuk menentukan dimensi pada struktur pelat lantai.

B. Waktu dan Tempat

1. Waktu

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) bulan, dimulai dari awal penelitian hingga selesai tepat waktu, dengan target yang telah ditentukan.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (bulan ke-)					
		Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb
1	Penentuan latar belakang masalah						
2	Penyusunan proposal						
3	Seminar proposal						
4	Pengambilan data						
5	Analisa data						
6	Penyusunan skripsi						
7	Sidang skripsi						

(Sumber : Dokumen Pribadi)

2. Tempat

Tempat penelitian berada di Jembatan Kali Waluh berlokasi di ruas jalan Kalimas-Kejene Kabupaten Pematang Jaya. Titik koordinat terletak diantara $7^{\circ}03'11.3''S$ $109^{\circ}18'59.9''E$



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber : *Google Maps*, 2024)

C. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas (independent variable) adalah variabel yang perubahan atau nilainya tidak dipengaruhi oleh variabel lain dan dapat diatur secara bebas oleh peneliti. Dalam penelitian ini, variabel bebasnya adalah penambahan batang tegak lurus pada bentang 50 meter serta pemodelan sambungan buhul dengan metode mempertemukan batang pada satu titik.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat (dependent variable) adalah variabel yang perubahan nilainya bergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikatnya mencakup besarnya lendutan pada jembatan rangka baja, tegangan yang terjadi pada pelat sambung buhul, serta kebutuhan material yang timbul akibat penambahan batang tegak lurus.

Fakta yang diamati dalam penelitian yang diamati Jembatan Kali Waluh ruas jalan Kalimas-Kejene Kabupaten Pemalang adalah :



Gambar 3. 2 Jembatan Kalimas-Kajene
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

D. Metode Pengumpulan Data

Menurut Sugiyono (2018), pengumpulan data dilakukan dalam keadaan alami, tanpa adanya intervensi atau perlakuan khusus pada objek penelitian, yang berarti data dikumpulkan dari sumber yang langsung atau terjadi di tempat kejadian. Teknik pengumpulan data tersebut terdiri dari beberapa metode, yaitu:

1. Data Primer

Menurut Sugiyono (2018), data primer adalah sumber data yang secara langsung memberikan informasi kepada pengumpul data. Data ini dikumpulkan langsung oleh peneliti dari sumber pertama atau lokasi tempat penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini, data primer diperoleh melalui wawancara yang menyediakan informasi terkait topik penelitian. Berikut adalah beberapa sumber data primer dalam penelitian terkait pelebaran Jembatan Kali Waluh pada Ruas Jalan Kalimas-Kajene, Kabupaten Pemalang:

a. Survey

Peninjauan langsung ke lapangan untuk mengetahui kondisi terkini dari daerah penelitian yang berada di Ruas Jalan Kalimas-Kajene, Kabupaten Pemalang. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang lebih akurat dan terkini terkait kondisi jembatan dan jalan yang akan dianalisis.

2. Data Sekunder

Menurut Sugiyono (2018), data sekunder adalah sumber data yang tidak langsung diberikan oleh pihak yang mengumpulkan data, melainkan diperoleh melalui pihak lain atau dari dokumen yang telah ada sebelumnya. Data ini biasanya digunakan untuk mendukung atau melengkapi data primer dalam penelitian. Data sekunder sering digunakan untuk mendukung penelitian yang membutuhkan informasi yang sudah tersedia, tanpa harus mengumpulkan data secara langsung di lapangan.

Berikut data sekunder pada penelitian yang diperoleh pada kegiatan pelebaran jembatan kali waluh ruas jalan kalinmas-kajene kabupaten pemalang sebagai berikut :

- a. Data curah hujan diambil DPU TR Kabupaten Pemalang dari sepuluh tahun terakhir dari 2019-2023.
- b. Data Tanah yang diperoleh dari lapangan yaitu data perencanaan jembatan yang akan dikerjakan dari Laboratorium Universitas Jenderal Soedirman

E. Metode Analisa Data

Menurut Sugiyono (2018), analisis data adalah proses mencari dan mengorganisasi data yang diperoleh dari wawancara, catatan lapangan, dan dokumentasi secara sistematis, sehingga dapat dipahami dan menghasilkan kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan.

Proses analisis data bertujuan untuk menemukan pola, hubungan, atau kesimpulan yang relevan dengan masalah penelitian. Berikut metode analisa data sebagai berikut :

1. Perhitungan Balok Pengaku

Pada perhitungan balok pengaku jembatan Kali Waluh Kab. Pemalang terdapat beberapa perhitungan yang harus dilakukan yaitu :

Tabel 3. 2 Perhitungan Section Properties

Perhitungan	Rumus
Modulus Geser	$G = \frac{E}{(2 \times (1 + \nu))}$
Tinggi Balok	$h = h_t - t_f$

Konstanta Puntir Torsi	$J = \sum \left(b \times \frac{t^3}{3} \right)$
Konstanta Puntir Lengkung	$I_w = I_y \times \frac{h^2}{4}$
Koefisien Momen Tekuk Torsi Lateral 1	$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{\left(E \times G \times J \times \frac{A}{2} \right)}$
Koefisien Momen Tekuk Torsi Lateral 2	$X_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{(G \times J)} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y}$
Modulus Penampang Plastis Thd Sumbu X	$X_2 = t_w \times \frac{h_t^2}{4} + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f$
Modulus Penampang Plastis Thd Sumbu Y	$X_2 = t_f \times \frac{b_f^2}{2} + (h_t - 2 \times t_f) \times \frac{t_w^2}{4}$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

Setelah perhitungan tersebut sudah diperoleh hasilnya, langkah selanjutnya yaitu perhitungan momen nominal untuk mengetahui momen nominal terkecil dari seluruh parameter untuk dikategorikan aman. Perhitungan yang dilakukan antara lain :

a. Kriteria Momen Nominal Pada Sayap Akibat *Local Buckling*

Sebelum dilakukan perhitungan kriteria momen nominal, dilakukan perhitungan kelangsingan sayap yaitu :

1) Kelangsingan Penampang Sayap

$$\lambda = b_f / t_r$$

2) Kelangsingan Maksimum Penampang *Compact*

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_f}}$$

3) Kelangsingan Maksimum Penampang *Non-Compact*

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_f}}$$

Setelah diperoleh hasilnya, maka dapat dikategorikan berdasarkan tabel di bawah ini :

Tabel 3. 3 Kriteria Kebutuhan Momen nominal

a.	Penampang <i>compact</i>	=	$\lambda \leq \lambda_p$
			$M_n = M_p$
b.	Penampang <i>non-compact</i>	=	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$
			$M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (1 - I_p) / (I_r - I_p)$
c.	Penampang langsing	=	$\lambda > \lambda_r$
			$M_n = M_r \times (I_r / I)^2$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

b. Kriteria Momen Nominal Pada Badan Akibat *Local Buckling*

Sebelum dilakukan perhitungan kriteria momen nominal, dilakukan perhitungan kelangsingan sayap yaitu :

4) Kelangsingan Penampang Badan

$$\lambda = h/t_w$$

5) Kelangsingan Maksimum Penampang *Compact*

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_f}}$$

6) Kelangsingan Maksimum Penampang *Non-Compact*

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_f}}$$

Setelah diperoleh hasilnya, maka dapat dikategorikan berdasarkan tabel 3.2.

c. Kriteria Momen Nominal Balok Plat Berdinding Penuh

Untuk penampang yang mempunyai ukuran $h/t_w > \lambda_r$ maka momen nominal komponen struktur harus dihitung dengan rumus pada tabel di bawah ini :

Tabel 3. 4 Persamaan Momen Nominal Komponen Struktur

Dengan,	=	$M_n = K_g \times S \times f_{cr}$
		$K_g = 1 - [a_r / (1200 + 300 \times a_r)] \times [h / t_w - 2550 / \sqrt{f_{cr}}]$
Untuk kelangsingan	=	$l_G \leq l_p$ maka $f_{cr} = f_y$
Untuk kelangsingan	=	$l_p < l_G \leq l_r$ maka, $f_{cr} = C_b \times f_y \times [1 - (l_G - l_p) / (2 \times (l_r - l_p))] \leq f_y$
Untuk Kelangsingan	=	$l_G > l_r$ maka $f_{cr} = f_c \times (l_r / l_G)^2 \leq f_y$
Untuk tekuk torsi lateral	=	$f_c = C_b \times f_y / 2$
Untuk tekuk lokal	=	$f_c = f_y / 2$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

d. Momen Nominal Berdasarkan Tekuk Torsi Lateral

Pada perhitungan ini dilakukan beberapa proses perhitungan untuk mendapatkan momen nominal berdasarkan tekuk torsi lateral seperti tabel di bawah ini :

Tabel 3. 5 Parameter Perhitungan Momen Nominal Berdasarkan Tekuk Torsi Lateral

Angka Kelangsingan
$\lambda_G = L/r_1$
Batas kelangsingan maksimum untuk penampang <i>compact</i>
$\lambda_p = 1,76 \times \sqrt{(E/f_y)}$
Batas kelangsingan untuk penampang <i>non-compact</i>

$\lambda_p = 4,40 \times \sqrt{E/f_y}$
Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral
$f_c = C_b \times \frac{f_y}{2}$
Tegangan kritis penampang
$f_{cr} = C_b \times f_y \times \left(1 - \frac{(\lambda_g - \lambda_p)}{2 \times (\lambda_r - \lambda_p)}\right)$
Koefisien balok plat berdinding penuh
$K_g = 1 - \left(\frac{a_r}{(1200 + 300 \times a_r)}\right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}}\right)$
Momen nominal penampang
$M_n = K_g \times S \times f_{cr}$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

e. Momen Nominal Berdasarkan *Local Buckling* Pada Sayap

Pada perhitungan ini dilakukan beberapa proses perhitungan untuk mendapatkan momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap seperti tabel di bawah ini :

Tabel 3. 6 Parameter Perhitungan Momen Nominal Berdasarkan Local Buckling Pada Sayap

Angka Kelangsingan pada sayap
$\lambda_G = \frac{b_f}{2 \times t_r}$
Faktor kelangsingan plat badan
$k_e = 4 \times \sqrt{h/t_w}$
Batas kelangsingan maksimum untuk penampang <i>compact</i>
$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{E/f_y}$
Batas kelangsingan untuk penampang <i>non-compact</i>

$\lambda_r = 1,35 \times \sqrt{k_e E / f_y}$
Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk lokal
$f_c = \frac{f_y}{2}$
Koefisien balok plat berdinging penuh
$K_g = 1 - \left(\frac{a_r}{(1200 + 300 \times a_r)} \right) \times \left(\frac{h}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{f_{cr}}} \right)$
Momen nominal penampang
$M_n = K_g \times S \times f_{cr}$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

f. Momen Nominal Pengaruh *Lateral Buckling*

Untuk mencari momen nominal pengaruh *lateral buckling* diperlukan untuk mengkategorikan bentang jembatan dengan kriteria seperti pada tabel berikut :

Tabel 3. 7 Momen Nominal Komponen Struktur Tekuk Lateral

Bentang pendek	=	$L \leq L_p$ maka, $M_n = M_p = f_y \times Z_x$
Bentang sedang	=	$L_p < L \leq L_r$ maka, $M_n = C_b \times \left(M_r + (M_p - M_r) \times \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \leq M_p$
Bentang panjang	=	$L > L_r$ maka, $M_n = C_b \times \frac{\pi}{L} \times \sqrt{E \times I_y \times G \times J + \left(\pi \times \frac{E}{L} \right)^2 \times I_y \times I_w} \leq M_p$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

Untuk mengetahui kategori bentang berdasarkan tabel di atas, dilakukan perhitungan seperti pada tabel di bawah ini :

Tabel 3. 8 Parameter Menghitung Momen Nominal Pengaruh *Lateral Buckling*

Panjang bentang maksimum balok
$L_p = 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Tegangan leleh dikurangi tegangan sisa
$f_L = f_y - f_r$
Panjang bentang minimum balok
$L_r = r_y \times \frac{X_1}{f_L} \times \sqrt{(1 + \sqrt{(1 + X_2 \times f_L^2)})}$
Koefisien momen tekuk torsi lateral
$C_b = \frac{12,5 \times M_u}{2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C}$
Momen plastis
$M_p = f_y \times Z_x$
Momen batas tekuk
$M_r = S_x \times (f_y - f_r)$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

g. Tahanan Momen Lentur

Tahanan geser dapat diperoleh dengan mengambil momen nominal terkecil yang kemudian dikalikan dengan faktor reduksi. Hasil dari momen nominal yang sudah dikalikan dengan faktor reduksi dibagi dengan momen akibat beban terfaktor (M_u). Apabila hasil yang diperoleh lebih kecil dari 1 maka dapat disimpulkan tahanan geser dalam kondisi aman begitu pula sebaliknya.

h. Tahanan Geser

Untuk mengetahui kategori tahanan geser maka diperlukan parameter seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. 9 Kategori Tahanan Geser

Untuk nilai, $\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \times \sqrt{k_n \times \frac{E}{f_y}}$ tahanan geser plastis
Maka, $V_n = 0,60 \times f_y \times A_w$
Untuk nilai, $1,10 \times \sqrt{k_n \times \frac{E}{f_y}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \times \sqrt{k_n \times \frac{E}{f_y}}$ tahanan geser elasto plastis
Maka, $V_n = 0,60 \times f_y \times A_w \times \left(1,10 \times \frac{\sqrt{k_n \times \frac{E}{f_y}}}{\frac{h}{t_w}} \right)$
Untuk nilai $\frac{h}{t_w} > 1,37 \times \sqrt{k_n \times \frac{E}{f_y}}$ tahanan geser elastis
Maka, $V_n = 0,90 \times A_w \times k_n \times \frac{E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

Untuk melakukan perhitungan berdasarkan tabel di atas dilakukan perhitunga pada tabel di bawah terlebih dahulu.

Tabel 3. 10 Parameter Perhitungan Tahanan Geser

Luas penampang badan		
$A_w = t_w \times h_t$ (1)		
$k_n = 5 + 5/\left(\frac{a}{h}\right)^2$ (2)		
Perbandingan tinggi terhadap tebal badan		
$\frac{h}{t_w}$ (1)	$1,10 \times \sqrt{k_n \times \frac{E}{f_y}}$ (2)	$1,37 \times \sqrt{k_n \times \frac{E}{f_y}}$ (3)

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

Syarat yang harus dipenuhi untuk mengetahui tahanan geser dalam kategori aman yaitu $V_u \leq \phi_f \times V_n$ begitu pula sebaliknya.

i. Interaksi Geser dan Lentur

Pada perhitungan geser dan lentur elemen yang harus dikontrol harus memenuhi syarat berikut :

$$M_u / (\phi_b \times M_n) + 0.625 \times V_u / (\phi_f \times V_n) < 1,375$$

Apabila hasil perhitungan kurang dari 1,375 maka dapat disimpulkan bahwa interaksi geser dan lentur dalam kondisi aman begitu pula sebaliknya.

j. Dimensi Pengaku Vertikal pada Badan

Untuk perhitungan dimensi pengaku vertikal, luas penampang plat pengaku harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$A_s \geq 0,5 \times D \times A_w \times (1 + C_v) \times \frac{\frac{a}{h} - \left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}}$$

Apabila luas penampang plat pengaku lebih besar dari hasil perhitungan di atas maka dimensi plat pengaku dapat digunakan (aman). Untuk pengaku vertikal harus mempunyai momen inersia dan memenuhi syarat seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 11 Syarat Momen Inersia

Syarat momen inersia
$I_s \geq 0,75 \times h \times t_w^3 \quad \text{untuk } \frac{a}{h} \leq \sqrt{2}$
$I_s \geq 1,5 \times h^3 \times \frac{t_w^3}{a^2} \quad \text{untuk } \frac{a}{h} > \sqrt{2}$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

2. Perhitungan Plat Lantai

Perhitungan plat lantai melalui beberapa langkah perhitungan antara lain :

a. Beban Rencana Terfaktor

Dengan mendefinisikan semua beban mati dan beban hidup, maka beban terfaktor dapat dihitung menggunakan rumus berikut

$$Q_u = 1,2 \times Q_D + 1,6 \times Q_L$$

b. Momen Plat Akibat Beban Terfaktor

Setelah beban rencana terfaktor sudah diperoleh, langkah selanjutnya yaitu menghitung momen lapangan dan tumpuan pada plat dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Tabel 3. 12 Rumus Momen Lapangan dan Tumpuan Plat

Momen lapangan arah X
$M_{ulx} = C_{lx} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$
Momen lapangan arah Y
$M_{uly} = C_{ly} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$
Momen tumpuan arah X
$M_{utx} = C_{tx} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$
Momen tumpuan arah y
$M_{uty} = C_{ty} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

c. Penulangan Plat

Perhitungan penulangan plat melalui beberapa proses perhitungan parameter seperti pada tabel di bawah ini sehingga dapat diperoleh diameter dan jarak tulangan.

Tabel 3. 13 Rumus Penulangan Plat

Parameter kuat tekan beton	
Untuk $f_c' \leq 30$ MPa	$\beta_1 = 0$
Untuk $f_c' > 30$ MPa	$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 30)/7$
Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i>	
$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$	
Faktor tahanan momen maksimum	
$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \right)$	
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton	
$d_s = t_s + \frac{\phi}{2}$	
Tebal efektif plat lantai	
$d = h - d_s$	
Momen nominal rencana	
$M_n = M_u / \phi$	
Faktor tahanan momen	
$R_n = M_n \times \frac{10^{-6}}{b \times d^2}$	
Rasio tulangan yang diperlukan	
$\rho = 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$	
Luas tulangan yang diperlukan	
$A_s = \rho \times b \times d$	
Jarak tulangan yang diperlukan	
$S = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times \frac{b}{A_s}$	
Jarak tulangan maksimum	
$S_{max} = 2 \times h$	

Luas tulangan terpakai
$A_s = \frac{\pi}{4} x \phi^2 x \frac{b}{s}$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

d. Kontrol Lendutan Plat

Pada perhitungan yang diperlukan untuk mengontrol lendutan pada plat diperlukan beberapa perhitungan seperti pada tabel di bawah ini.

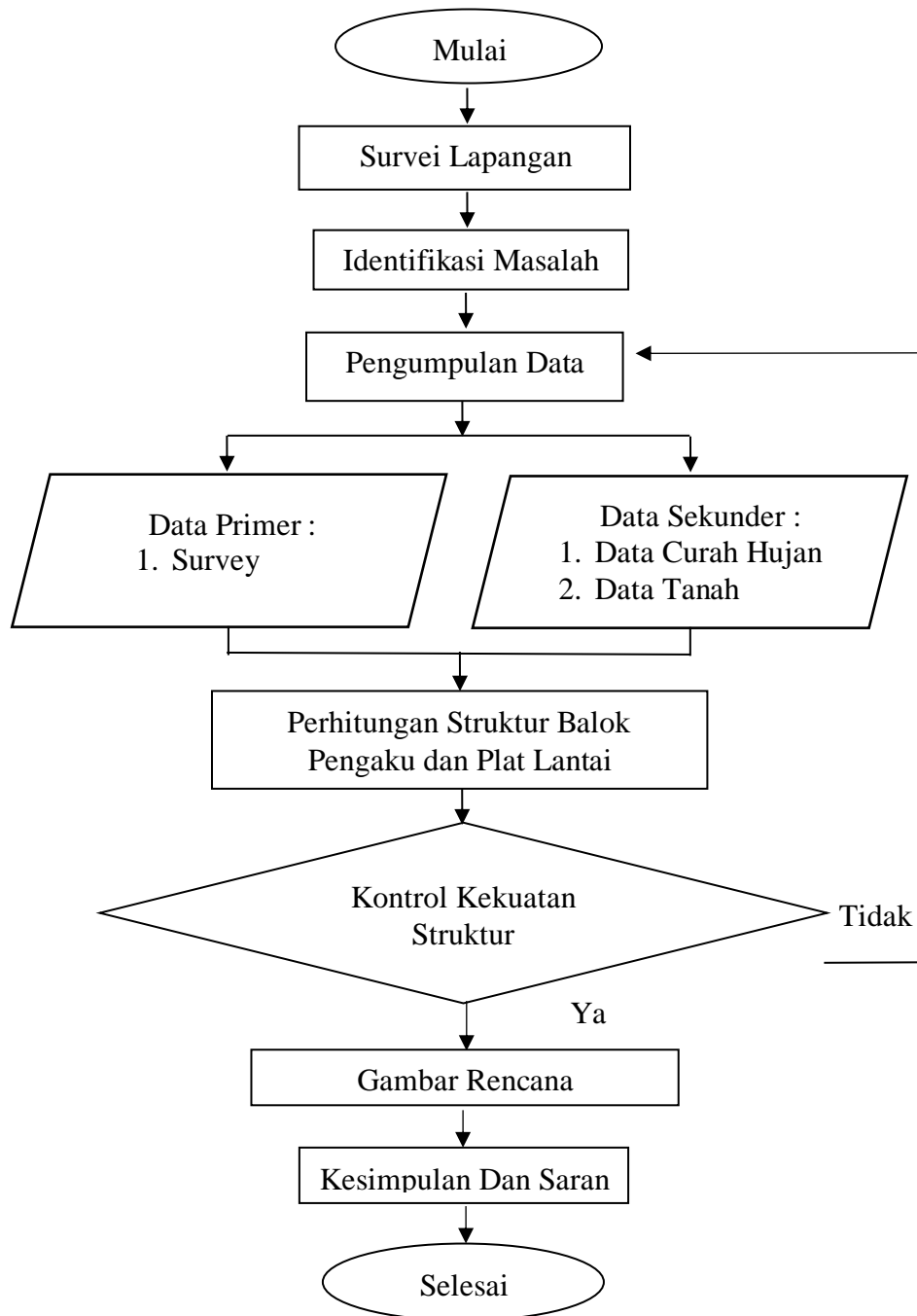
Tabel 3. 14 Kontrol Lendutan Plat

Modulus elastis beton
$E_c = 4700 x \sqrt{f_c'}$
Beban merata (tak terfaktor) pada plat
$Q = Q_D + Q_L$
Batas lendutan maksimum yang diijinkan
$\frac{L_x}{240}$
Momen inersia brutto penampang plat
$I_g = \frac{1}{12} x b x h^3$
Modulus keruntuhan lentur beton
$f_r = 0,7 x \sqrt{f_c'}$
Nilai perbandingan modulus elastis
$n = \frac{E_s}{E_c}$
Jarak garis netral terhadap sisi atas beton
$c = n x \frac{A_s}{b}$
Momen inersia penampang retak
$I_{cr} = \frac{1}{3} x b x c^3 + n x A_s x (d - c)^2$

Momen retak
$M_{cr} = f_r \times \frac{I_g}{y_t}$
Momen maksimum akibat beban
$M_a = \frac{1}{8} \times Q \times L_x^2$
Inersia efektif untuk perhitungan lendutan
$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) \times I_{cr}$
Lendutan elastis
$\delta_e = \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L_x^4}{E_c \times I_e}$
Rasio tulangan slab lantai
$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$
Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati
$\lambda = \frac{\zeta}{1 + 50 \times \rho}$
Lendutan jangka panjang akibat rangka dan susut
$\delta_g = \lambda \times \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L_x^4}{E_c \times I_e}$
Lendutan total
$\delta_{tot} = \delta_e + \delta_g$
Syarat lendutan plat
$\delta_{tot} \leq \frac{L_x}{240}$

(Sumber : Pengolahan Data Penelitian)

F. Diagram Alir Penelitian



Keterangan :

Ya : Kontrol Kekuatan Memperoleh Hasil Aman

Tidak : Kontrol Kekuatan Memperoleh Hasil Tidak Aman

Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

(Sumber : Dokumen Pribadi)