

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR
ATAS JEMBATAN BETON PRATEGANG TIPE I
GIRDER DENGAN VARIASI PANJANG BENTANG
DAN JUMLAH *STRAND* YANG OPTIMAL**



**MUHAMMAD RIZAL FIQRY
03011382025094**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR ATAS JEMBATAN BETON PRATEGANG TIPE I *GIRDER* DENGAN VARIASI PANJANG BENTANG DAN JUMLAH *STRAND* YANG OPTIMAL

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**MUHAMMAD RIZAL FIQRY
03011382025094**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR ATAS
JEMBATAN BETON PRATEGANG TIPE I GIRDER DENGAN
VARIASI PANJANG BENTANG DAN JUMLAH STRAND
OPTIMAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik

Oleh:


MUHAMMAD RIZAL FIQRY
03011382025094

Palembang, Januari 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

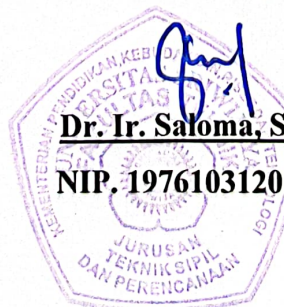
NIP. 197610312002122001



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Atas Jembatan Beton Prategang Tipe I Girder dengan Variasi Panjang Bentang dan Jumlah Strand Yang Optimal”**. Pada kesempatan ini, penulis juga hendak mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penyelesaian tugas akhir ini, diantaranya:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, SE., M.Si selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya dan Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Mona Foralisa Toyfur, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penelitian.
6. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Erika Buchari, M. Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Orang tua, kakak, keluarga, serta teman-teman yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan berbagai pihak lain yang membutuhkannya, khususnya civitas akademika Program Studi Teknik Sipil.

Indralaya, Desember 2023

Muhammad Rizal Fiqry

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
HALAMAN ABSTRAK	xvi
HALAMAN ABSTRACT.....	xvii
HALAMAN RINGKASAN	xviii
HALAMAN SUMMARY	xix
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xx
HALAMAN PERSETUJUAN	xxi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xxii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pengertian Jembatan	5
2.2. Jenis – Jenis Jembatan	5
2.3. Struktur Jembatan	8
2.3.1. Struktur Atas.....	8
2.3.2. Struktur Bawah	11
2.4. Jembatan Beton Prategang.....	13
2.4.1. Prinsip Beton Prategang	14
2.4.2. Konsep Beton Prategang.....	14
2.4.3. Baja Prategang	18

2.4.4. Metode Pemberian Gaya Prategang.....	19
2.4.5. Analisis Prategang	20
2.4.6. Kehilangan Prategang	22
2.4.7. Desain Penampang Beton Prategang Terhadap Lentur	22
2.4.8. Tahap Pembebanan.....	22
2.5. Penelitian Terdahulu.....	23
2.5.1. Analisis dan Desain Girder PSC-I Bentang Tunggal Komposit Jembatan Menggunakan <i>Midas Civil</i>	23
2.5.2. Analisis & Desain Gelagar I Beton Pratekan Komposit Jembatan Menggunakan Midas Civil.....	24
2.5.3. Desain dan Analisis Prategang I-Girder dengan Midas Civil.....	26
2.6. Contoh Proyek Jembatan Penelitian Terdahulu.....	27
2.6.1 Perbandingan Penggunaan PCI-Girder H-210 dan H-170 Pada Bentang 40 Meter Jembatan HKSN	27
2.6.2 Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang.....	27
2.6.3 Desain PCI-Girder untuk Bentang 42 m Berdasarkan Pembebanan SNI 1725:2016 (Studi Kasus: Jalan Soebrantas, Desa Sei. Injab)	28
2.7. Pembebanan.....	29
2.7.1. Beban Tetap	29
2.7.2. Beban Lalu Lintas.....	32
2.7.3. Beban Aksi Lingkungan	37
2.7.4. Kombinasi Pembebanan	41
2.8. Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton (RSNI T-12-2004)	43
2.9. Perhitungan Struktur Atas Jembatan	46
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	54
3.1. Umum	54
3.2. Studi Literatur	54
3.3. Alur Penelitian	54
3.4. Pengumpulan Data Sekunder.....	56
3.5. Pembebanan Struktur Atas Jembatan	59
3.6. Preliminary Design & Pemodelan Struktur	59

3.6.1. <i>Preliminary Design</i>	59
3.6.2. Pemodelan Struktur	60
3.7. Analisis Gaya Pada Struktur Atas.....	62
3.8. Kontrol Kekuatan dan Kestabilan Struktur Atas Jembatan	63
3.9. Analisis Variasi Panjang Bentang Jembatan Terhadap Jumlah Strand Serta Tendon, Kehilangan Prategang, Gaya Prategang Pada Kondisi Layan, Momen, Gaya Geser, dan Lendutan Penampang	63
3.10. Penggambaran Hasil Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1. Tinjauan Umum	64
4.2. PCI-Girder H-210 cm Bentang 40 m.....	64
4.2.1. Spesifikasi Mutu Material	65
4.2.2. Spesifikasi Bentang Jembatan	66
4.2.3. Perhitungan Modulus Penampang PCI-Girder H-210 cm.....	66
4.2.4. Analisis Pembebanan Gelagar	79
4.2.4.1. Berat Sendiri (MS).....	79
4.2.4.2. Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA).....	80
4.2.4.3. Beban Lajur “D” (TD)	81
4.2.4.4. Beban Truk (TT).....	82
4.2.4.5. Beban Rem (TB).....	83
4.2.4.6. Beban Angin (EW)	83
4.2.4.7. Beban Temperatur.....	85
4.2.4.8. Beban Gempa (EQ).....	87
4.2.4.9. Rekapitulasi Gaya Geser dan Momen Maksimum	87
4.2.5. Gaya Prategang, Jumlah Tendon dan Posisi Tendon.....	88
4.2.5.1. Gaya Prategang Kondisi Awal (Saat Transfer).....	88
4.2.5.2. Perhitungan Jumlah Tendon	90_Toc155280890
4.2.5.3. Posisi Tendon.....	91
4.2.5.4. Eksentrisitas Masing – Masing Tendon.....	93
4.2.5.5. Lintasan Inti Tendon.....	94
4.2.5.6. Sudut Angkur	95
4.2.5.7. Tata Letak dan Trace Tendon	96

4.2.5.8.	Pemodelan Tendon pada Software Midas Civil 2019	97
4.2.6.	Kehilangan Tegangan (<i>Lost Of Prestress</i>).....	98
4.2.6.1.	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur	98
4.2.6.2.	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (Jack Friction).....	98
4.2.6.3.	Kehilangan Tegangan Akibat Perpendekan Elastis Beton	99
4.2.6.4.	Kehilangan Tegangan Akibat Slip Pengangkuran	100
4.2.6.5.	Kehilangan Tegangan Akibat Susut Pada Beton	101
4.2.6.6.	Kehilangan Tegangan Akibat Rangkak Pada Beton.....	101
4.2.6.7.	Kehilangan Tegangan Akibat Relaksasi Baja Prategang.....	103
4.2.6.8.	Kehilangan Tegangan (Loss of Prestress) Total	104
4.2.6.9.	Gaya Prategang Pada Kondisi Layan (Service).....	105
4.2.6.10.	Momen dan Gaya Geser Ulitimite PC-I Girder	108
4.2.7.	Lendutan Penampang PC-I Girder	110
4.3.	Rekapitulasi Perhitungan PCI- <i>Girder</i> H-210 cm Bentang 40 m dan PCI- <i>Girder</i> H-210 cm Bentang 50 m	112
4.4.	Pembahasan	130
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	134
5.1.	Kesimpulan	134
5.2.	Saran	135
	DAFTAR PUSTAKA	136
	LAMPIRAN.....	138

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Jembatan lengkung batu.....	6
Gambar 2.2. Jembatan rangka baja.....	6
Gambar 2.3. Jembatan gantung.....	7
Gambar 2.4. Jembatan beton.....	7
Gambar 2.5. Jembatan kabel pancang.....	8
Gambar 2.6. Gelagar baja.....	9
Gambar 2.7. Perletakan.....	9
Gambar 2.8. Pelat lantai kendaraan.....	10
Gambar 2.9. Diafragma jembatan.....	10
Gambar 2.10. Tiang sandaran dan trotoar.....	11
Gambar 2.11. Abutment jembatan.....	12
Gambar 2.12. Pilar jembatan.....	12
Gambar 2.13. Pondasi jembatan.....	13
Gambar 2.14. Desain struktur beton prategang.....	15
Gambar 2.15. (a) Beton prategang (b) Beton bertulang.....	16
Gambar 2.16 Diagram gaya prategang kabel melengkung.....	17
Gambar 2.17. Sistem pratarik beton prategang.....	19
Gambar 2.18. Sistem pasca-tarik beton prategang.....	20
Gambar 2.19. Distribusi tegangan akibat gaya prategang pada tendon konsentris.....	21
Gambar 2.20. Distribusi tegangan tendon eksentris.....	21
Gambar 2.21. Deformasi pada <i>girder</i> yang dianalisis dari <i>Midas Civil</i>	24
Gambar 2.22. Deformasi pada <i>girder</i> yang dihasilkan pada <i>Midas Civil</i>	25
Gambar 2.23. Hasil model yang dianalisis pada <i>Midas Civil</i>	26
Gambar 2.24. Beban lajur “D”.....	33
Gambar 2.25. (a) Momen lentur positif bentang 1,35 (b) Momen lentur positif bentang 2,4 (c) Momen lentur negatif pada pilar.....	35
Gambar 2.26. Pembebanan Truk “T” (500 kN).....	36
Gambar 2.27. Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”.....	37
Gambar 2.28. Gradien Temperatur Vertikal pada bangunan atas beton dan baja.....	39

Gambar 3.1. Alur penelitian.....	55
Gambar 3.2. Tampak samping desain jembatan Sungai Cisadane PIK-2.....	56
Gambar 3.3. Potongan melintang jembatan Sungai Cisadane PIK-2.....	56
Gambar 3.4. Struktur atas jembatan sungai Cisadane menggunakan (a) PCI- <i>girder</i> H-210cm untuk bentang 40 m dan (b) PCI- <i>girder</i> H-210cm untuk bentang 50 m	58
Gambar 3.5. (a) Tampak samping PCI- <i>girder</i> H-210 cm untuk bentang 40 (b) Tampak samping PCI- <i>girder</i> H-210 cm untuk bentang 50 m.....	58
Gambar 3.6. Tampak 3D PCI- <i>girder</i> bentang 40 meter H-210 cm	61
Gambar 3.7. Tampak depan PCI- <i>girder</i> bentang 40 meter H-210 cm.....	61
Gambar 3.8. Tampak 3D PCI- <i>girder</i> bentang 50 meter H-210 cm	62
Gambar 3.9. Tampak depan PCI- <i>girder</i> bentang 50 meter H-210 cm.....	62
Gambar 4.1. Jembatan Sungai Cisadane PIK-2 menggunakan PCI- <i>girder</i> H-210 bentang 40 m	64
Gambar 4.2. Tampak samping PCI-Girder H-210 cm	64
Gambar 4.3. Dimensi PCI- <i>girder</i> H-210	65
Gambar 4.4. Pembagian segmen penampang PCI-Girder H-210 cm	67
Gambar 4.5. Pembagian segmen penampang tumpuan PCI-Girder H-210 cm	70
Gambar 4.6. Detail penampang gelagar lapangan komposit.....	74
Gambar 4.7. Detail penampang gelagar tumpuan komposit.....	77
Gambar 4.8. Ilustrasi beban terbagi rata dan beban terbagi terpusat	81
Gambar 4.9. Ilustrasi beban truk	82
Gambar 4.10. Hasil respon spektra Midas Civil	87
Gambar 4.11. Posisi tendon di tengah bentang.....	92
Gambar 4.12. Posisi tendon di tumpuan	93
Gambar 4.13. Eksentrisitas tendon.....	94
Gambar 4.14 Tata letak tendon	97
Gambar 4.15. Pemodelan tendon pada software	97
Gambar 4.16. Grafik kehilangan tegangan	105
Gambar 4.17. Tegangan beton serat atas kondisi layan	106
Gambar 4.18. Tegangan beton serat bawah kondisi layan.....	107
Gambar 4.19. Momen ultimite kombinasi kuat 1	108
Gambar 4.20. Geser ultimite kombinasi kuat 1	109
Gambar 4.21. Momen ultimite kombinasi layan I	109
Gambar 4.22. Geser ultimite kombinasi layan I	109

Gambar 4.23. Lendutan maksimum akibat pembebanan pasca konstruksi	110
Gambar 4.24. Lendutan maksimum akibat rencana beban layan.....	110
Gambar 4.25. Lendutan maksimum akibat beban tetap kendaraan	111
Gambar 4.26. Lendutan maksimum akibat beban pedestrian	111
Gambar 4.27. Gelagar prategang pada lapangan	115
Gambar 4.28. Gelagar prategang pada tumpuan.....	115
Gambar 4.29. Tata letak tendon PCI-Girder H-210 cm bentang 40 m	116
Gambar 4.30. Tata letak tendon PCI-Girder H-210 cm bentang 50 m	116
Gambar 4.31. Grafik kehilangan tegangan pada PCI-Girder H-210 cm.....	117
Gambar 4.32. Grafik kehilangan tegangan pada PCI-Girder H-210 cm.....	118
Gambar 4.33. Tegangan beton serat atas kondisi layan pada bentang 40 m.....	119
Gambar 4.34. Tegangan beton serat atas kondisi layan pada bentang 50 m.....	119
Gambar 4.35. Tegangan beton serat bawah kondisi layan pada bentang 40 m ..	120
Gambar 4.36. Tegangan beton serat bawah kondisi layan pada bentang 50 m ..	120
Gambar 4.37. Momen ultimite kombinasi kuat 1	122
Gambar 4.38. Geser ultimite kombinasi kuat 1	122
Gambar 4.39. Momen ultimite kombinasi layan I	123
Gambar 4.40. Geser ultimite kombinasi layan I	123
Gambar 4.41. Momen ultimite kombinasi kuat 1	124
Gambar 4.42. Geser ultimite kombinasi kuat 1	124
Gambar 4.43. Momen ultimite kombinasi layan I	125
Gambar 4.44. Geser ultimite kombinasi layan I	125
Gambar 4.45. Lendutan maksimum akibat pembebanan pasca konstruksi	126
Gambar 4.46. Lendutan maksimum akibat pembebanan pasca konstruksi	126
Gambar 4.47. Lendutan maksimum akibat rencana beban layan.....	127
Gambar 4.48. Lendutan maksimum akibat rencana beban layan.....	127
Gambar 4.49. Lendutan maksimum akibat beban tetap kendaraan	128
Gambar 4.50. Lendutan maksimum akibat beban pedestrian	128
Gambar 4.51. Lendutan maksimum akibat beban tetap kendaraan	129
Gambar 4.52. Lendutan maksimum akibat beban pedestrian	129

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1. Jenis tulangan prategang	18
Tabel 2.2. Faktor beban untuk berat sendiri.....	29
Tabel 2.3. Berat bahan nominal dan U.L.S (<i>Ultimate Limit States</i>)	30
Tabel 2.4. Faktor beban untuk beban mati tambahan	31
Tabel 2.5. Faktor beban akibat penyusutan dan rangkai.....	31
Tabel 2.6 Jumlah lajur lalu lintas rencana.....	32
Tabel 2.7. Faktor beban akibat beban lajur “D”	33
Tabel 2.8. Faktor beban untuk beban “T”	35
Tabel 2.9. Faktor beban akibat pengaruh temperatur/suhu	37
Tabel 2.10. Temperatur jembatan rata-rata normal.....	38
Tabel 2.11. Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	38
Tabel 2.12. Parameter T1 dan T2.....	39
Tabel 2.13 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu.....	40
Tabel 2.14. Tekanan angin dasar.....	41
Tabel 2.15. Kombinasi pembebanan jembatan	42
Tabel 2.16. Ketentuan material	43
Tabel 3.1 Katalog <i>bridge product</i> PCI H-210 cm.....	57
Tabel 3.2 Spesifikasi PCI-girder H-210 cm terhadap bentang 40 meter dan 50 meter.....	57
Tabel 4.1. Rekapitulasi perhitungan modulus penampang lapangan gelagar non komposit	68
Tabel 4.2. Rekapitulasi perhitungan momen inersia PC-I lapangan.....	69
Tabel 4.3. Rekapitulasi properti penampang PC-I lapangan.....	70
Tabel 4.4. Rekapitulasi perhitungan modulus penampang tumpuan gelagar non komposit	71
Tabel 4.5. Rekapitulasi perhitungan momen inersia PC-I Tumpuan.....	72
Tabel 4.6. Rekapitulasi penampang PC-I Tumpuan	73

Tabel 4.7. Rekapitulasi perhitungan modulus penampang gelagar lapangan komposit	74
Tabel 4.8 Rekapitulasi perhitungan momen inersia PC-I lapangan komposit.....	75
Tabel 4.9. Rekapitulasi properti penampang PC-I Lapangan komposit	76
Tabel 4.10. Rekapitulasi perhitungan modulus penampang gelagar tumpuan komposit	77
Tabel 4.11. Rekapitulasi perhitungan momen inersia PC-I tumpuan komposit ...	78
Tabel 4.12. Rekapitulasi properti penampang PC-I tumpuan komposit	79
Tabel 4.13. Vo dan Zo pada berbagai karakteristik meteorologi (SNI 1725:2016)	84
Tabel 4.14. Tekanan angin dasar (SNI 1725:2016)	84
Tabel 4.15. Faktor beban akibat pengaruh temperatur/suhu	86
Tabel 4.16. Temperatur jembatan rata-rata normal.....	86
Tabel 4.17. Parameter T1 dan T2.....	86
Tabel 4.18. Tabel rekapitulasi momen maksimum akibat pembebanan	88
Tabel 4.19. Kebutuhan Tendon.....	90
Tabel 4.20. Eksentrisitas tendon	93
Tabel 4.21. Lintasan Tendon.....	94
Tabel 4.22. Sudut angkur tendon 1 - 4.....	95
Tabel 4.23. Tata letak dan trace tendon	96
Tabel 4.24. Rekapitulasi Kehilangan Tegangan Baja Prategang.....	104
Tabel 4.25. Rekapitulasi momen dan geser ultimate.....	108
Tabel 4.26. Rekapitulasi perhitungan modulus penampang PCI-Girder H-210 lapangan pada bentang 40 m dan 50 m	112
Tabel 4.27. Rekapitulasi perhitungan modulus penampang PCI-Girder H-210 tumpuan pada bentang 40 m dan 50 m.....	113

Tabel 4.28. Rekapitulasi momen maksimum pada PCI-Girder H-210 cm pada bentang 40 m dan 50 m	113
Tabel 4.29. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan tendon	114
Tabel 4.30. Rekapitulasi kehilangan prategang	117
Tabel 4.31 Rekapitulasi gaya prategang pada kondisi layan	118
Tabel 4.32. Rekapitulasi momen ultimate	121
Tabel 4.33 Tabel rekapitulasi keseluruhan hasil analisis dan perhitungan pada bentang 40 m dan 50 m	133

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1.1. Denah perletakan girder bentang 40 m.....	139
Lampiran 1.2 Denah perletakan girder bentang 50 m.....	140
Lampiran 1.3 Potongan girder bentang 40 m & 50 m	141
Lampiran 1.4 Penampang girder bentang 40 m & 50 m.....	142
Lampiran 1.5 Lembar Asistensi Tugas Akhir	143
Lampiran 1.6 Hasil Seminar Sidang Sarjana/Ujian Tugas Akhir	144
Lampiran 1.7 Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir.....	145
Lampiran 1.8 Surat Keterangan Selesai Revisi Tugas Akhir.....	146

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR ATAS JEMBATAN BETON PRATEGANG TIPE I GIRDER DENGAN VARIASI PANJANG BENTANG DAN JUMLAH STRAND OPTIMAL

Muhammad Rizal Fiqry¹⁾, Saloma²⁾, Siti Aisyah Nurjannah³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: muhammadrizalfiqry@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: salomaunsri@gmail.com

³⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: sitiaisyahn@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Jembatan merupakan sarana transportasi yang berfungsi menghubungkan rute/jalan yang terpisah. Salah satu tipe jembatan adalah jembatan beton prategang. Jembatan Sungai Cisadane PIK-2 *Extention* merupakan salah satu jembatan yang menggunakan tipe jembatan beton prategang. Salah satu struktur atas pada perencanaan Jembatan tersebut menggunakan beton prategang dengan panjang bentang 40 meter dan menggunakan tipe I-girder H-210 cm dengan jarak antar girder 2,1 m. Dengan lebar struktur atas jembatan tersebut 18,2 m. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam merencanakan struktur atas pada jembatan beton prategang, seperti panjang bentang, jarak antar girder, dan jumlah *strand* yang direncanakan. Perbedaan panjang bentang pada jembatan dapat mempengaruhi kinerja struktur secara signifikan. Selain itu, jumlah *strand* yang direncanakan perlu diperhitungkan secara optimum. Dilakukanlah perbandingan dengan dua model perbandingan dengan variasi panjang bentang dan jumlah *strand* yang optimal. Untuk variasi panjang bentang yang digunakan yaitu dengan panjang bentang 50 meter dengan tipe I-girder dengan jarak antar girder 1,4 m. Analisis tersebut dilakukan menggunakan Midas Civil. Dengan variasi panjang bentang tersebut, digunakan 8 buah balok utama untuk bentang 40 m sedangkan untuk bentang 50 m digunakan 11 buah balok utama. Penggunaan kabel tendon menggunakan 7 *wire strand* ASTM A-416 *grade* 270. Dihasilkan jumlah optimum tendon yang dibutuhkan pada bentang 40 m adalah membutuhkan sebanyak 4 tendon dengan 78 strand, sedangkan PCI-girder H-210 pada bentang 50 m membutuhkan sebanyak 4 tendon dengan 80 strand.

Kata Kunci: Jembatan, beton prategang, panjang bentang, *strand*.

Palembang, Januari 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001



ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR ATAS JEMBATAN BETON PRATEGANG TIPE I GIRDER DENGAN VARIASI PANJANG BENTANG DAN JUMLAH STRAND OPTIMAL

Muhammad Rizal Fiqry¹⁾, Saloma²⁾, Siti Aisyah Nurjannah³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: muhammadrizalfiqry@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: salomaunsri@gmail.com

³⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: sitiaisyaht@ft.unsri.ac.id

Abstract

The bridge is a means of transportation that serves to connect separate routes / roads. One type of bridge is a pre-stressed concrete bridge. The Cisadane River Bridge PIK-2 Extension is one of the bridges that uses a type of pre-stressed concrete bridge. One of the upper structures in the bridge planning uses pre-stressed concrete with a span length of 40 meters and uses the H-210 cm I-girder type with a distance of 2.1 m between girders. With the width of the upper structure of the bridge 18.2 m. There are several factors that need to be considered in planning the upper structure on a pre-stressed concrete bridge, such as the length of the span, the distance between girders, and the number of strands planned. The difference in span length on the bridge can significantly affect the performance of the structure. In addition, the number of strands planned needs to be calculated optimally. A comparison with two comparison models with variations in span length and the optimal number of strands was carried out. For the span length variation used, the span length is 50 meters with I-girder type with a distance between girders of 1.4m. The analysis was conducted using Midas Civil. With this span length variation, 8 main beams were used for the 40 m span while 11 main beams were used for the 50 m span. The tendon cable used 7 wire strand ASTM A-416 grade 270. The optimum number of tendons required at 40 m span is 4 tendons with 78 strands, while PCI-girder H-210 at 50 m span requires 4 tendons with 80 strands.

Key Words: Bridge, pre-stressed concrete, span length, strand

Palembang, Januari 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,

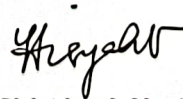
Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



RINGKASAN

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR ATAS JEMBATAN BETON PRATEGANG TIPE I GIRDER DENGAN VARIASI PANJANG BENTANG DAN JUMLAH STRAND OPTIMAL

Karya tulis ilmiah berupa tugas akhir, 21 Desember 2023

Muhammad Rizal Fiqry; Dibimbing oleh Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. dan Dr. Ir.

Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

xxiii+ 146 halaman, 52 gambar, 33 tabel, dan 8 lampiran

Jembatan merupakan sarana transportasi yang berfungsi menghubungkan rute/jalan yang terpisah. Salah satu tipe jembatan adalah jembatan beton prategang. Jembatan Sungai Cisadane PIK-2 *Extention* merupakan salah satu jembatan yang menggunakan tipe jembatan beton prategang. Salah satu struktur atas pada perencanaan Jembatan tersebut menggunakan beton prategang dengan panjang bentang 40 meter dan menggunakan tipe I-girder H-210 cm dengan jarak antar girder 2,1 m. Dengan lebar struktur atas jembatan tersebut 18,2 m. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam merencanakan struktur atas pada jembatan beton prategang, seperti panjang bentang, jarak antar girder, dan jumlah *strand* yang direncanakan. Perbedaan panjang bentang pada jembatan dapat mempengaruhi kinerja struktur secara signifikan. Selain itu, jumlah *strand* yang direncanakan perlu diperhitungkan secara optimum. Dilakukanlah perbandingan dengan dua model perbandingan dengan variasi panjang bentang dan jumlah strand yang optimal. Untuk variasi panjang bentang yang digunakan yaitu dengan panjang bentang 50 meter dengan tipe I-girder dengan jarak antar girder 1,4 m. Analisis tersebut dilakukan menggunakan Midas Civil. Dengan variasi panjang bentang tersebut, digunakan 8 buah balok utama untuk bentang 40 m sedangkan untuk bentang 50 m digunakan 11 buah balok utama. Penggunaan kabel tendon menggunakan 7 *wire strand* ASTM A-416 *grade* 270. Dihasilkan jumlah optimum tendon yang dibutuhkan pada bentang 40 m adalah membutuhkan sebanyak 4 tendon dengan 78 strand, sedangkan PCI-girder H-210 pada bentang 50 m membutuhkan sebanyak 4 tendon dengan 80 strand.

Kata kunci: Jembatan, beton prategang, panjang bentang, *strand*

SUMMARY

COMPARATIVE ANALYSIS OF SUPERSTRUCTURE PERFORMANCE OF I GIRDER TYPE PRESTRESSED CONCRETE BRIDGE WITH VARIATION OF SPAN LENGTH AND OPTIMUM NUMBER OF STRANDS

Scientific papers in the form of Final Projects, 21th December 2023

Muhammad Rizal Fiqry; Guide by Advisor Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. and Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xxiii+ 146 pages, 52 pictures, 33 tables, and 8 attachments

The bridge is a means of transportation that serves to connect separate routes / roads. One type of bridge is a pre-stressed concrete bridge. The Cisadane River Bridge PIK-2 Extension is one of the bridges that uses a type of pre-stressed concrete bridge. One of the upper structures in the bridge planning uses pre-stressed concrete with a span length of 40 meters and uses the H-210 cm I-girder type with a distance of 2.1 m between girders. With the width of the upper structure of the bridge 18.2 m. There are several factors that need to be considered in planning the upper structure on a pre-stressed concrete bridge, such as the length of the span, the distance between girders, and the number of strands planned. The difference in span length on the bridge can significantly affect the performance of the structure. In addition, the number of strands planned needs to be calculated optimally. A comparison with two comparison models with variations in span length and the optimal number of strands was carried out. For the span length variation used, the span length is 50 meters with I-girder type with a distance between girders of 1.4m. The analysis was conducted using Midas Civil. With this span length variation, 8 main beams were used for the 40 m span while 11 main beams were used for the 50 m span. The tendon cable used 7 wire strand ASTM A-416 grade 270. The optimum number of tendons required at 40 m span is 4 tendons with 78 strands, while PCI-girder H-210 at 50 m span requires 4 tendons with 80 strands.

Key words: Bridge, Pre-stressed concrete, span length, strand.


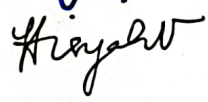
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah ini berupa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Atas Jembatan Beton Prategang Tipe I-girder dengan Variasi Panjang Bentang dan Jumlah Strand Optimal” yang disusun oleh Muhammad Rizal Fiqry, NIM. 03011382025094 telah dipertahankan di depan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Desember 2023.

Palembang, 21 Desember 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir :

Ketua:

1. Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. ()
NIP. 197610312002122001
2. Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T. ()
NIP. 197705172008012039

Anggota:

3. Dr. Rosidawani, S.T., M.T., ()
NIP. 197605092000122001

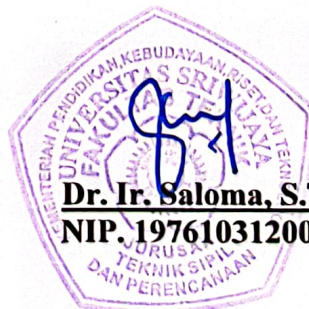
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Jurusan Teknik Sipil
dan Perencanaan



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Rizal Fiqry

Nim : 03011382025094

Judul : Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Atas Jembatan Beton Prategang Tipe I-girder dengan Variasi Panjang Bentang dan Jumlah Strand Optimal

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2023

Yang membuat pernyataan,


METERAI
TEMPEL
IZAL FIQRY
07ABBALX034554414
5094

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Rizal Fiqry

NIM : 03011382025094

Judul : Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Atas Jembatan Beton Prategang Tipe I-girder dengan Variasi Panjang Bentang dan Jumlah Strand Optimal

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak dipublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2023



Muhamamd Rizal Fiqry
NIM. 03011382025094

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Muhammad Rizal Fiqry
Jenis Kelamin : Laki-laki
E-mail : muhammadrizalfiqry@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD Negeri 10 Sungailiat	-	-	SD	2008-2014
SMP Negeri 2 Sungailiat	-	-	SMP	2014-2017
SMA Negeri 1 Sungailiat	-	IPA	SMA	2017-2020
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2020-2024

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Muhammad Rizal Fiqry
NIM. 03011382025094

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan merupakan sarana transportasi yang berfungsi menghubungkan rute/jalan yang terpisah dikarenakan adanya rintangan seperti danau, rawa, lembah, sungai, jalan raya, jalan kereta api dan perlintasan lainnya. Terdapat beberapa macam tipe jembatan yang salah satunya adalah jembatan beton prategang. Jembatan beton prategang adalah jenis jembatan yang menggunakan kabel-kabel baja yang ditarik dengan kuat setelah beton diaplikasikan sudah mengeras. Proses ini menciptakan prategang pada beton, yang berkontribusi pada kekuatan dan daya dukung jembatan.

Jembatan Sungai Cisadane PIK-2 *Extention* merupakan salah satu jembatan yang menggunakan tipe jembatan beton prategang. Jembatan ini terletak pada Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. Jembatan ini menghubungkan antara dua desa pada kabupaten Tangerang yaitu Desa Kohod dan Desa Tanjung Burung. Jembatan ini mulai dibangun pada tahun 2022 dan masih berjalan tahap konstruksinya. Jembatan ini didirikan untuk melebarkan kawasan perumahan elit Pantai Indah Kapuk, serta memudahkan akses masyarakat. Salah satu struktur atas pada perencanaan Jembatan sungai Cisadane PIK-2 *Extention* yaitu menggunakan beton prategang dengan panjang bentang 40 meter dan menggunakan penampang tipe I-*girder* H-210 cm dengan jarak antar girder 2,1 meter.

Dengan hal tersebut, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam merencanakan struktur atas pada jembatan beton prategang, seperti panjang bentang, jarak antar girder, dan jumlah *strand* yang direncanakan. Perbedaan panjang bentang pada jembatan dapat mempengaruhi kinerja struktur secara signifikan. Semakin besar panjang bentang yang direncanakan akan mengakibatkan beban yang ditopang akan lebih besar pada struktur atas jembatan, sehingga jarak antar balok girder pun semakin rapat. Begitu juga sebaliknya untuk panjang bentang yang lebih kecil akan mengurangi beban yang diberikan, sehingga jarak antar balok girder pun semakin lebar. Dikarenakan hal itu, perbedaan panjang bentang perlu dipertimbangkan dengan baik dalam analisis kinerja struktur atas

jembatan untuk memikul seluruh beban yang bekerja tanpa mengalami kegagalan struktural.

Selain itu, jumlah *strand* yang direncanakan dalam jembatan beton prategang juga akan mempengaruhi kinerja struktur. Semakin banyak jumlah *strand* yang direncanakan, semakin besar juga untuk kekuatan tarik kabel dan semakin besar kapasitas beban jembatan. Sementara dengan jumlah *strand* yang lebih sedikit mungkin akan menghasilkan kinerja yang lebih rendah. Dengan hal ini, perlu dilakukan perencanaan jumlah strand yang optimal dan efektif dalam desain jembatan beton prategang.

Oleh sebab itu, penulis tertarik untuk melakukan analisis perbandingan kinerja struktur atas jembatan beton prategang tipe *I-girder* dengan variasi panjang bentang, jarak antar girder, dan jumlah *strand* yang optimal setiap bentangnya. Berdasarkan pada *Bridge Product* yang telah disediakan oleh PT. Wijaya Karya Beton Tbk., Untuk variasi panjang bentang yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan panjang bentang 50 meter dengan PC-I *girder* H-210 cm dengan jarak antar girder 1,4 meter. Analisis tersebut ditinjau berdasarkan kebutuhan jumlah strand, kehilangan prategang, gaya prategang pada kondisi layan, momen, dan gaya geser serta lendutan penampang.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian analisis kinerja jembatan beton prategang tipe *I-girder* dengan variasi panjang bentang dan jumlah *strand* yang optimal sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil analisis kinerja jembatan beton prategang tipe *I-girder* dengan variasi panjang bentang terhadap kehilangan prategang, gaya prategang pada kondisi layan, momen dan gaya geser serta lendutan penampang?
2. Bagaimana merencanakan struktur atas jembatan beton prategang tipe *I-Girder* dengan standar pembebanan jembatan SNI 1725:2016?
3. Bagaimana hasil analisis kinerja jembatan beton prategang tipe *I-girder* yang diberikan variasi panjang bentang dan jarak antar girder dalam mendapatkan jumlah *strand* yang optimal dalam perencanaan?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian yang akan dibahas dalam penelitian analisis kinerja jembatan beton prategang tipe *I-girder* dengan variasi bentang dan jumlah *strand* yang optimal sebagai berikut:

1. Dapat membandingkan dan menganalisis kinerja jembatan beton prategang tipe *I-girder* dengan variasi panjang bentang terhadap kehilangan prategang, gaya prategang pada kondisi layan, momen dan gaya geser serta lendutan penampang.
2. Dapat merencanakan struktur atas jembatan beton prategang tipe *I-Girder* dengan standar pembebanan jembatan SNI 1725:2016.
3. Dapat membandingkan dan menganalisis kinerja jembatan beton prategang tipe *I-girder* yang diberikan variasi panjang bentang dalam mendapatkan jumlah *strand* yang optimal dalam perencanaan.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian analisis kinerja struktur atas jembatan beton prategang dengan tipe *I-girder* dengan variasi panjang bentang dan jumlah *strand* yang optimal setiap bentangnya sebagai berikut:

1. Data sekunder diambil dari studi kasus jembatan Sungai Cisadane PIK-2 *Ext.* dengan panjang bentang 40 meter sebagai objek penelitian.
2. Penelitian dilakukan dengan memberikan variasi pada panjang bentang serta jarak antar *girder* pada objek penelitian dengan mengacu spesifikasi *PCI-girder* H-210 cm pada katalog *bridge product* PT. Wijaya Karya Beton Tbk.
3. Melakukan analisis kinerja struktur atas jembatan beton prategang dengan tipe *I-girder* dengan variasi panjang bentang 40 meter dan 50 meter, serta jarak antar *girder* 2,1 meter dan 1,4 meter.
4. Lebar struktur atas jembatan beton prategang tipe *I-girder* untuk penelitian ini yaitu 18,2 meter.
5. Spesifikasi trotoar, tebal pelat, dan *barrier* diseusaikan dengan perencanaan jembatan Sungai Cisadane PIK-2 *Ext.*
6. Penelitian ini hanya menganalisis struktur atas jembatan beton prategang dengan tipe *I-girder* dalam aspek struktural.

7. Analisis kinerja struktur atas jembatan beton prategang dengan tipe *I-girder* dengan pembebanan jembatan sesuai dengan standar pembebanan jembatan menurut SNI 1725:2016 dan standar perencanaan tahan gempa untuk jembatan menurut SNI 2833:2016.
8. Perhitungan yang dilakukan meliputi jumlah *strand* serta tendon yang direncanakan, perhitungan kehilangan prategang, gaya prategang pada kondisi layan, momen, dan gaya geser serta lendutan penampang.
9. Analisis kinerja struktur atas jembatan beton prategang dengan tipe *I-girder* menggunakan software dalam Pemodelan dan perhitungan serta menggunakan software Autocad untuk gambar detail dan potongan.

DAFTAR PUSTAKA

- Armin, H. Manalip, & Handono, B. D. (2018). Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(2), 67–74.
- Bajantri, V. (2023). Design and Analysis of Suspended Steel Girder Bridge Using Midas Civil. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 12, 1466–1470. <https://doi.org/10.56726/irjmets41731>
- Boediono, B., Reza, A., Wardoyo, D., & Galvindy, G., (2019). *Perancangan Beton Prategang* (Edi Warsidi (ed.)). ITB PRESS.
- Dinesh, C., Vinayagamorthy, M., & Santhi, A. S. (2017). Optimum speed of IRC vehicle by time-history analysis of composite I-Girder bridge using MIDAS-CIVIL. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 354–359.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2021). Panduan Bidang Jalan dan Jembatan No. 02/M/BM/2021 tentang Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- Himawan, A. M. (2022). Perbandingan Penggunaan PCI-Girder H-210 dan H-170 Pada Bentang 40 Meter Jembatan HKSAN. Universitas Islam Indonesia.
- Jagandatta, M., Yaswanth Kumar, G., & Suresh Kumar, S. (2022). Analysis and Design of Composite Single Span Psc-I Girder Bridge Using Midas Civil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 982(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012078>
- Jauhari, Z. Al, & Pertiwi, M. (2021). Desain PCI-Girder Untuk Bentang 42 m Berdasarkan Pembebanan SNI 1725:2016 (Studi Kasus : Jalan Soebrantas, Desa Sei. Injab). *Politeknik Negeri Bengkalis*, 2016, 47–55.
- Jagandatta, M., Yaswanth Kumar, G., & Suresh Kumar, S. (2022). Analysis and Design of Composite Single Span Psc-I Girder Bridge Using Midas Civil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 982(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012078>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). Perencanaan Teknik Jembatan. In *simantu.pu.go.id*. [https://simantu.pu.go.id/epel/?id=45&t=Perencanaan Teknik Jembatan](https://simantu.pu.go.id/epel/?id=45&t=Perencanaan%20Teknik%20Jembatan)

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan*.
- Kurniasari, F. D. (2019). Perencanaan Gelagar Beton Prategang Dengan Metode Pretension Pada Jembatan Alue Rambot Idi Aceh Timur. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 1–8.
- Landge, S., Bhagat, U., Bhaisare, S., Prakash, V., & Khedikar, I. P. (2018). Analysis and Design of Pre-stressed Concrete I-Girder Bridge. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 05(05), 1–6.
- Nawy, E. G. (2009). *Prestressed Concrete : A Fundamental Approach* (Fifth Edit). Prentice Hall.
- Prof. Ir. Bambang Boediono, M.E., P. D., Alif Muhammad Reza, S.T., Doni Wardoyo, S.T., & Gelasius Galvindy, S. T. (2019). *Perancangan Beton Prategang* (Edi Warsidi (ed.)). ITB PRESS.
- Rahmawati, C., Zainuddin, Z., Is, S., & Rahim, R. (2018). Comparison Between PCI and Box Girder in Bridges Prestressed Concrete Design Comparison Between PCI and Bridges Prestressed Concrete Design Box Girder in. *Journal of Physics: Conf. Series*, 1007, 1–7.
- Singh, R., Jha, A. K., & Parihar, R. S. (2022). *Design and Analysis of Pre-Stressed I-Girders by Midas Civil Software*. 6(5), 1507–1513.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Beta Offset.
- Tumpu, M., & Rangan, P. (2020). *STRUKTUR BETON PRATEGANG (Teori dan Prinsip Desain)* (I. Rohani (ed.); Issue January).
- Yolanda, D., & Saelan, P. (2018). Studi Analisis Batasan Persentase Prategang Parsial pada Struktur Balok Prategang (Hal. 48-59). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(3), 48. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i3.48>
- Yusup, M. I., Hariyanto, B., & Mulyadi. (2020). *PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN RANGKAS PANJANG*. 02(02), 128–137.