

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN
KALIKETHEK KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN *BOX*
GIRDER BETON PRATEGANG**



ZAHRA EL HIMMAH

NPM: 20.11.0035

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS WIJAYA KUSUMA SURABAYA
SURABAYA
2024**

LEMBAR PENGASAHAN

**Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST.)
di Universitas Wijaya Kusuma Surabaya**

oleh:

**ZAHRA EL HIMMAH
NPM : 20.11.0035**

Tanggal Ujian: 26 Juni 2024

Disetujui oleh:
Pembimbing,

**Dr. Ir. Utari Khatulistiani, MT.
NIK. 93190-ET**

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,

Ketua Program Teknik Sipil,

**Johan Paing H. W., ST., MT.
NIP. 196903102005011002**

**Dr. Ir. Utari Khatulistiani, MT.
NIK. 93190-ET**

LEMBAR PENGESAHAN REVISI

Judul : PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN
KALIKETHEK KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN
BOX GIRDER BETON PRATEGANG

Nama : Zahra El Himmah

NPM : 20110035

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Tanggal Ujian : 26 Juni 2024

Disetujui oleh,

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Dr. Ir. Soerjandani Priantoro M, MT.
NIK. 94245-ET

Andaryati, ST., MT.
NIP. 197411032005012002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,

Dosen Pembimbing,

Johan Paing H. W., ST., MT.
NIP. 196903102005011002

Dr. Ir. Utari Khatulistiani, MT.
NIK. 93190-ET

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN KALIKETHEK KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN *BOX GIRDER* BETON PRATEGANG

Nama Mahasiswa : Zahra El Himmah
NPM : 20110035
Program Studi : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Utari Khatulistiani, MT.

ABSTRAK

Jembatan Kalikethek terletak di sungai Bengawan Solo, memiliki bentang total sepanjang 209,76 meter. Jembatan ini menjadi akses jalan dari Kabupaten Bojonegoro menuju Kabupaten Tuban. Eksisting struktur atas jembatan menggunakan struktur rangka batang tipe *Warrant Truss*, dan dimodifikasi menggunakan balok prategang tipe *Box Girder*. Lebar jembatan semula 7 meter, dan modifikasi direncanakan menjadi 9 meter. *Box Girder* untuk gelagar induk jembatan didesain dengan panjang 59,94 m, 59,92 m, dan 44,95 m. *Box Girder* didesain dengan tinggi 2,5 m, lebar atas 9 m dan lebar bawah 4,5 m dengan ketebalan seluruh *slab* 50 cm. Jumlah tendon yang diperlukan adalah 24 buah menggunakan jenis *strand uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270*. Setelah dilakukan cek kekuatan pada bentang terpanjang, diperoleh hasil perencanaan *Box Girder* telah mampu menahan beban bekerja. Hal ini diketahui *Box Girder* menghasilkan kehilangan gaya prategang yang terjadi sebesar 22,465% lebih kecil dari syarat izin sebesar 25%. Tegangan pada kondisi akhir sebesar -22,76 MPa pada serat atas dan -35,31 MPa pada serat bawah, lebih kecil dari tegangan ijin serat atas 30 MPa dan serat bawah 3,88 MPa. *Camber* yang terjadi sebesar 0,68 mm.

Kata kunci: Jembatan Kalikethek, *box girder*, beton prategang

**RE-DESIGN UPPER STRUCTURE OF THE KALIKETHEK BRIDGE IN
BOJONEGORO DISTRICT WITH BOX GIRDER**

Name of Student : Zahra El Himmah
NPM : 20110035
Department : Teknik Sipil
Supervising Lecturer : Dr. Ir. Utari Khatulistiani, MT.

ABSTRACT

The Kalikethek Bridge on the Bengawan Solo River has a total span of 209,76 meters. This bridge serves as a road access from Bojonegoro Regency to Tuban Regency. The existing upper structure of the bridge uses the Warren Truss type, and has been changed to use Box Girder beams. The width was originally 7 meters, and the modification is designed to be 9 meters. The Box Girder for the main girder of the bridge is designed with lengths of 59,94 meters, 59,92 meters, and 44,95 meters. The height of the Box Girder is 2,5 meters, the top width of 9 meters, and the bottom width is 4,5 meters with a slab thickness of 50 cm. The number of tendons required is 24, using strand uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270. After checking the strength of the longest span, it was obtained that the Box Girder planning results can withstand the loads. It's known that the prestress loss of the Box Girder is 22,465%, which is smaller than the allowable limit of 25%. The final condition stresses on the top fiber is -22,76 MPa and on the bottom fiber is -35,31 MPa on the bottom fiber, smaller than the allowable stresses of 30 MPa for the top fiber and 3,88 Mpa for the bottom fiber. The camber is 0,68 mm.

Keywords: The Kalikethek Bridge, Box Girder, Prestressed concrete

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wa Taala yang selalu memberikan rahmat dan kasih-Nya sehingga dapat menyusun Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Kalikethek Kabupaten Bojonegoro dengan *Box Girder* Beton Prategang” sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini untuk memenuhi persyaratan kurikulum yang telah ditetapkan oleh Program Studi Teknik Sipil Universitas Wijaya Kusuma Surabaya dalam memenuhi jenjang Sarjana S-1 Teknik Sipil.

Penyusunan Tugas Akhir ini didukung oleh banyak pihak yang ikut mendorong tersusunnya Tugas Akhir ini hingga tuntas melalui bimbingan, bantuan, dan motivasi secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini, dengan kerendahan dan ketulusan hati penulis ingin menyampaikan terima kasih disampaikan kepada:

1. Bapak Johan Paing Heru Waskito, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
2. Ibu Dr. Ir. Utari Khatulistiani, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, sekaligus dosen pembimbing dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang telah membimbing dan membantu dalam proses Tugas Akhir
3. Ibu Andaryati, ST., MT., selaku dosen wali yang sudah membina penulis dengan baik selama masa perkuliahan hingga tuntas
4. Bapak Ir. Siswoyo, MT., selaku dosen pengampu mata kuliah Struktur Jembatan, yang sudah banyak membantu memberi ilmu tentang jembatan
5. Seluruh dosen, staff, dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
6. Ibu Anis Qomariyah, S.Psi., M.Kes., Bapak Dr. Alan Perdana, Sp. THT-KL, Abraham Sahala Ali, Auliyaa Bilqis Nathania dan keluarga besar yang selalu mendukung serta menjadi motivasi terbesar bagi penyusun
7. Ricky Aditya Alan Syah Putra, yang telah dan selalu menyemangati, mendukung dan membersamai dalam segala kondisi
8. Lailatul Qiftiyah, Akhmad Muji Alan Juli Anda, yang telah menemani, mendukung dan membersamai selama perjalanan perkuliahan disertai susah dan senangnya

9. Teman-teman, kakak-adik tingkat program studi Teknik Sipil Universitas Wijaya Kusuma Surabaya yang telah membantu dan mendukung dalam perkuliahan dan penyusunan tugas akhir
10. Teman-teman Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik periode 2021/2022 dan 2022/2023 yang senantiasa menjadi *support system* selama perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir
11. Sahabat, teman-teman, dan pihak lain yang menjadi pendukung penulis
12. Echihiro Oda dan tim, Dmitriev Abraham Hariyanto dan sekeluarga, yang senantiasa menjadi pelepas rasa jenuh dan menghibur dengan segala bentuk karyanya

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak lepas dari kekurangan dan kesalahan, mengingat akan keterbatasan pengetahuan juga kemampuan yang dimiliki sebagai seorang mahasiswa. Oleh sebab itu, penulis mengharap kritik dan saran dengan pemikiran yang terbuka dan membangun. Adapun harapan yang lain adalah Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca dan memberikan wawasan tambahan bagi banyak pihak.

Surabaya, Juni 2024

Zahra El Himmah

NPM: 20.11.0035

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGSAHAN..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN REVISI | ii |
| ABSTRAK..... | iii |
| <i>ABSTRACT</i> | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Maksud dan Tujuan | 4 |
| 1.3.1 Maksud | 4 |
| 1.3.2 Tujuan..... | 5 |
| 1.4 Manfaat Perencanaan | 5 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Perbandingan Beton Prategang dan Beton Bertulang | 6 |
| 2.2 Jembatan..... | 7 |
| 2.2.1 Bentuk dan Tipe Jembatan | 7 |
| 2.2.2 Konstruksi Jembatan | 8 |
| 2.3 Girder Jembatan | 9 |
| 2.3.1 <i>Box Girder</i> pada Jembatan Kalikethek..... | 12 |
| 2.4 Pembebanan pada Jembatan..... | 12 |
| 2.4.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)..... | 12 |
| 2.4.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)..... | 14 |
| 2.4.3 Aksi Lingkungan | 17 |
| 2.5 Konsep Dasar Beton Prategang..... | 19 |
| 2.5.1 Sistem Prategang Mengubah Beton Menjadi Bahan Elastis | 19 |
| 2.5.2 Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja dengan Beton | 20 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.5.3 | Sistem Prategang Mencapai Perimbangan Beban | 20 |
| 2.6 | Jenis Penarikan Beton Prategang | 21 |
| 2.6.1 | Sebelum Pengecoran Beton (<i>Pre-tensioning</i>) | 22 |
| 2.6.2 | Setelah Beton Mengeras (<i>Post Tension</i>)..... | 22 |
| 2.7 | Tahap Pembebanan..... | 23 |
| 2.7.1 | <i>Initial Stage</i> | 24 |
| 2.7.2 | <i>Final Stage</i> | 24 |
| 2.8 | Persyaratan Material Beton Prategang | 24 |
| 2.8.1 | Beton Bermutu Tinggi | 24 |
| 2.8.2 | Baja Prategang..... | 25 |
| 2.8.3 | Selongsong Tendon | 30 |
| 2.8.4 | Angkur..... | 31 |
| 2.8.5 | <i>Coupler</i> (Penyambung) | 31 |
| 2.9 | Perencanaan Struktur Balok Prategang..... | 31 |
| 2.9.1 | Perencanaan Penampang Balok Prategang | 32 |
| 2.10 | Analisa Tegangan | 32 |
| 2.10.1 | Pemeriksaan Tegangan Kondisi Awal | 33 |
| 2.10.2 | Analisa Tegangan Kondisi Akhir | 34 |
| 2.11 | Kehilangan Gaya Prategang..... | 34 |
| 2.11.1 | Perpendekan Elastis Beton dan Tendon (ES)..... | 35 |
| 2.11.2 | Gesekan Kabel (FR)..... | 37 |
| 2.11.3 | Slip Gesekan Angkur (ANC)..... | 38 |
| 2.11.4 | Rangkak (<i>Creep</i>) | 38 |
| 2.11.5 | Susut (SH) | 39 |
| 2.12.6 | Relaksasi Baja | 40 |
| 2.12 | Lintasan Tendon | 43 |
| 2.13 | Perencanaan Tata Letak Tendon..... | 43 |
| 2.14 | Balok Ujung | 44 |
| 2.15 | Lendutan Jembatan..... | 46 |
| 2.16 | Sambungan antar Segmen..... | 47 |
| 2.17 | Tulangan Geser | 47 |
| 2.18 | Penelitian Terdahulu..... | 48 |

| | |
|--|----|
| 2.19 Kerangka Berpikir | 52 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 53 |
| 3.1 Diagram Alir Perencanaan | 53 |
| 3.2 Penjelasan Diagram Alir Perencanaan | 54 |
| 3.1.1 Pengumpulan Data | 54 |
| 3.1.2 <i>Preliminary Design</i> | 54 |
| 3.1.3 Pembebanan | 55 |
| 3.1.4 Perencanaan Struktur Atas | 55 |
| 3.1.5 Analisa Struktur..... | 55 |
| 3.1.6 Kontrol Stabilitas Struktur | 56 |
| 3.1.7 Gambar Hasil Struktur | 56 |
| 3.1.8 Kesimpulan..... | 56 |
| BAB IV <i>PRELIMINARY DESIGN</i> | 57 |
| 4.1 Data Jembatan | 57 |
| 4.2 <i>Preliminary</i> Struktur Atas Sekunder Jembatan | 57 |
| 4.2.1 <i>Preliminary</i> Pelat Trotoar dan Tiang Sandaran | 57 |
| 4.2.2 <i>Preliminary</i> Pelat Lantai Kendaraan | 58 |
| 4.3 <i>Preliminary</i> Struktur Atas Primer | 59 |
| 4.3.1 Spesifikasi Teknis Balok Prategang <i>Box Girder</i> | 59 |
| 4.3.2 Tegangan Izin Balok Prategang..... | 60 |
| 4.3.3 Analisis Penampang Balok Prategang Bentang 59,94 m | 61 |
| BAB V PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS SEKUNDER..... | 64 |
| 5.1 Perhitungan Perencanaan Tiang Sandaran | 64 |
| 5.1.1 Perhitungan Momen | 65 |
| 5.1.2 Syarat Batas Penulangan Tiang Sandaran | 65 |
| 5.1.3 Penulangan Tiang Sandaran | 65 |
| 5.2 Perhitungan Perencanaan Pipa Sandaran | 67 |
| 5.3 Perhitungan Perencanaan Pelat Trotoar | 68 |
| 5.3.1 Perhitungan Momen | 69 |
| 5.3.2 Syarat Batas Penulangan Pelat Trotoar | 70 |
| 5.3.3 Penulangan Pelat Trotoar | 70 |
| 5.4 Perhitungan Perencanaan Pelat Lantai..... | 71 |

| | | |
|---|---|-----|
| 5.4.1 | Perhitungan Momen | 71 |
| 5.4.2 | Syarat Batas Penulangan Pelat Lantai | 73 |
| 5.4.3 | Penulangan Pelat Lantai Arah X | 74 |
| 5.4.4 | Penulangan Tumpuan Pelat Lantai | 75 |
| 5.4.5 | Kontrol Kekuatan | 76 |
| BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS PRIMER | | 77 |
| 6.1 | Analisis Pembebanan Balok Prategang | 77 |
| 6.1.1 | Beban Mati | 77 |
| 6.1.2 | Beban Hidup | 78 |
| 6.2 | Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon | 81 |
| 6.2.1 | Gaya Prategang Awal dan Eksentrisitas | 82 |
| 6.2.2 | Jumlah Tendon | 83 |
| 6.2.3 | Letak Tendon | 85 |
| 6.3 | Kehilangan Gaya Prategang | 93 |
| 6.3.1 | Kehilangan Gaya Prategang Langsung | 93 |
| 6.3.2 | Kehilangan Gaya Prategang Bergantung Waktu | 95 |
| 6.4 | Tegangan yang Terjadi Akibat Gaya Prategang | 97 |
| 6.4.1 | Keadaan Awal | 97 |
| 6.4.2 | Keadaan Akhir | 98 |
| 6.5 | Momen <i>Ultimate</i> Balok Prategang | 99 |
| 6.5.1 | Kapasitas Momen <i>Ultimate</i> | 99 |
| 6.5.2 | Momen <i>Ultimate</i> Akibat Beban pada Balok Prategang | 100 |
| 6.6 | Lendutan pada Balok Prategang | 101 |
| 6.6.1 | Lendutan pada Keadaan Awal | 101 |
| 6.6.2 | Lendutan pada Keadaan Akhir | 101 |
| 6.7 | Perhitungan <i>End Block</i> | 102 |
| 6.8 | Penulangan Balok Prategang | 103 |
| 6.8.1 | Syarat Batas Penulangan | 103 |
| 6.8.2 | Penulangan Lentur Balok Prategang | 103 |
| 6.8.3 | Penulangan Geser | 104 |
| BAB VII KESIMPULAN | | 106 |
| 7.1 | Kesimpulan | 106 |

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 7.2 | Saran..... | 106 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 107 |
| | LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Perbandingan Beton Prategang dengan Beton Bertulang | 6 |
| Tabel 2.2 | Berat Isi untuk Beban Mati | 13 |
| Tabel 2.3 | Faktor Beban untuk Berat Sendiri | 13 |
| Tabel 2.4 | Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan | 14 |
| Tabel 2.5 | Faktor Beban untuk Beban Lajur “D” | 14 |
| Tabel 2.6 | Faktor Beban untuk Beban “T” | 15 |
| Tabel 2.7 | Nilai V_o dan Z_o untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu..... | 18 |
| Tabel 2.8 | Tekanan Angin Dasar | 18 |
| Tabel 2.9 | Tekanan Angin Dasar (PB) untuk Berbagai Sudut Serang | 19 |
| Tabel 2.10 | Perhitungann Luas Penampang Penarikan Beton Prategang | 21 |
| Tabel 2.11 | Jenis dan Spesifikasi Tendon Baja Prategang | 27 |
| Tabel 2.12 | Kawat-Kawat untuk Beton Prategang..... | 28 |
| Tabel 2.13 | Strand Struktur Tujuh Kawat untuk Beton Prategang | 29 |
| Tabel 2.14 | Koefisien Gesek Kelengkungan dan Wobble Tension | 37 |
| Tabel 2.15 | Nilai K_{sh} untuk Komponen Struktur Post-Tension | 40 |
| Tabel 2.16 | Nilai K_{re} dan J | 41 |
| Tabel 2.17 | Nilai C | 42 |
| Tabel 4.1 | Perhitungan Luas Penampang..... | 60 |
| Tabel 4.2 | Hasil Analisis Perhitungan Jarak Y_b Sebelum Komposit..... | 61 |
| Tabel 4.3 | Hasil Perhitungan Inersia Momen | 62 |
| Tabel 6.1 | Rekap Beban pada Balok Prategang | 81 |
| Tabel 6.2 | Momen dan Gaya Geser Balok Prategang | 81 |
| Tabel 6.3 | Rekap Perhitungan Momen pada Posisi Bentang | 86 |
| Tabel 6.4 | Rekap Perhitungan Batas Bawah Tendon | 87 |
| Tabel 6.5 | Rekap Perhitungan Batas Atas Tendon | 88 |
| Tabel 6.6 | Rekap Perhitungan Lintasan Tendon | 90 |
| Tabel 6.7 | Hasil Perhitungan Sudut Angkur | 91 |
| Tabel 6.8 | Hasil Perhitungan Letak Kabel Tendon | 91 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 1.1 | Jembatan Kalikethek | 2 |
| Gambar 1.2 | Peta Jembatan Kalikethek | 4 |
| Gambar 2.1 | I-Girder..... | 10 |
| Gambar 2.2 | Box Girder..... | 10 |
| Gambar 2.3 | U Girder | 11 |
| Gambar 2.4 | Plate Girder | 12 |
| Gambar 2.5 | Beban Lajur "D" | 15 |
| Gambar 2.6 | Pembebanan Truk "T" (500kN) | 16 |
| Gambar 2.7 | Momen Tahanan Internal pada Balok | 20 |
| Gambar 2.8 | Balok Prategang dengan Tendon Parabola..... | 21 |
| Gambar 2.9 | Prinsip Pratarik (Pre-Tensioning)..... | 22 |
| Gambar 2.10 | Prinsip Pascatarik (Post-Tensioning) | 23 |
| Gambar 2.11 | Kurva Tegangan Regangan untuk Berbagai Kekakuan Beton | 25 |
| Gambar 2.12 | Kawat (Wire)..... | 26 |
| Gambar 2.13 | Kawat Untaian (Strand)..... | 27 |
| Gambar 2.14 | Kawat Batang (Bar)..... | 27 |
| Gambar 2.15 | Diagram Tegangan Regangan untuk Baja Prategang..... | 30 |
| Gambar 2.16 | Selongsong Tendon | 30 |
| Gambar 2.17 | Angkur Hidup dan Angkur Mati | 31 |
| Gambar 2.18 | Hasil Uji Tegang Baja Akibat Relaksasi | 40 |
| Gambar 2.19 | Persamaan Lintasan Tendon..... | 43 |
| Gambar 2.20 | Daerah Aman Kabel Tendon | 44 |
| Gambar 2.21 | Transisi Daerah Solid ke Tumpuan | 45 |
| Gambar 2.22 | Zona Ujung, Retak Bursting, dan Retak Spalling | 45 |
| Gambar 2.23 | Jarak Tulangan Badan | 48 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir..... | 53 |
| Gambar 3.2 | Denah Eksisting Jembatan Kalikehek | 54 |
| Gambar 4.1 | Tiang Sandaran..... | 58 |
| Gambar 4.2 | Penampang Balok Induk | 60 |
| Gambar 5.1 | Sket Tiang Sandaran..... | 64 |

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 5.2 | Tampak Depan Tiang Sandaran | 64 |
| Gambar 5.3 | Sket Pelat Trotoar | 68 |
| Gambar 5.4 | Muatan T Satu Roda di Tengah Pelat | 72 |
| Gambar 5.5 | Pembebanan T Satu Roda di Tengah Pelat..... | 73 |
| Gambar 6.1 | Susunan Letak Tendon Balok Girder di Tengah Bentang | 84 |
| Gambar 6.2 | Daerah Aman Tendon pada Balok Prategang..... | 88 |
| Gambar 6.3 | Tata Letak Tendon pada Tengah Bentang | 88 |
| Gambar 6.4 | Tata Letak Tendon pada Ujung Bentang | 89 |
| Gambar 6.5 | Grafik Letak <i>Cable</i> | 92 |