

**TUGAS AKHIR**

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS  
FLYOVER MANAHAN SURAKARTA MENGGUNAKAN BOX GIRDER  
PRATEGANG DENGAN METODE SPAN-BY-SPAN**

*Disusun Dan Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Program Skripsi  
Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang*



**Disusun Oleh :**

**Novanda Erwan Saputra**

**1521023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2020**

**TUGAS AKHIR**  
**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS**  
***FLYOVER* MANAHAN SURAKARTA MENGGUNAKAN *BOX GIRDER***  
**PRATEGANG DENGAN METODE SPAN-BY-SPAN**

*Disusun Dan Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Program Skripsi*  
*Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang*



**Disusun Oleh :**  
**Novanda Erwan Saputra**  
**1521023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**  
**FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**2020**



**LEMBAR PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS  
FLYOVER MANAHAN SURAKARTA MENGGUNAKAN BOX GIRDER**

**PRATEGANG DENGAN METODE SPAN-BY-SPAN**

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh*

*Gelar Sarjana Teknik Sipil (S-1)*

*Institut Teknologi Nasional Malang*

**Disusun Oleh :**

**NOVANDA ERWAN SAPUTRA**

**15.21.023**

**Disetujui Oleh :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Ester Priskasari, MT**  
NIP.Y. 1039400265

**Mohammad Erian, ST., MT**  
NIP.Y. 1031500508

**Mengetahui**

**Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1**

**Institut Teknologi Nasional Malang**



**Ir. I Wayan Mundra, MT**  
NIP.Y.1018700150

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2020**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS  
FLYOVER MANAHAN SURAKARTA MENGGUNAKAN BOX GIRDER  
PRATEGANG DENGAN METODE SPAN-BY-SPAN**

**Telah disetujui oleh Dosen Penguji dan Diterima  
Tugas Akhir ini Telah Dipertahankan Di Depan Dosen Penguji Ujian Skripsi  
Jenjang Strata (S-1) Pada Tanggal 14 Agustus 2020 dan Diterima  
Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Sipil S-1**

**Disusun oleh :**

**NOVANDA ERWAN SAPUTRA**

**15.21.023**

**Anggota Penguji :**

**Dosen Penguji I**

**Dosen Penguji II**

**Ir. A. Agus Santosa, MT**  
NIP.Y. 1018700155

**Ir. Bambang Wedyantadji, MT**  
NIP.Y. 1018500093

**Disahkan Oleh :**

**Ketua Jurusan Teknik Sipil S-1**

**Sekretaris Jurusan Teknik Sipil S-1**



**Ir. I Wayan Mundra, MT**  
NIP.Y.1018700150

**Mohammad Erfan, ST., MT**  
NIP.Y. 1031500508

**PROGRAM TEKNIK SIPIL S-1**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2020**



## LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Novanda Erwan Saputra  
NIM : 15.21.023  
Program Studi : Teknik Sipil S-1  
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya dengan judul :

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS  
FLYOVER MANAHAN SURAKARTA MENGGUNAKAN BOX GIRDER  
PRATEGANG DENGAN METODE SPAN-BY-SPAN**

Adalah sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah TUGAS AKHIR ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia TUGAS AKHIR ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh (SARJANA) dibatalkan, serta diprotes sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No 20 tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang,

2020



mbuat pernyataan

Novanda Erwan Saputra  
15.21.023

## LEMBAR PERSEMBAHAN



Segala Puji bagi Allah SWT. Untuk yang telah diberikan berupa kesehatan, lalu cinta dan karunianya. Tidak lupa shalawat dan salam telimpahkan kepada baginda Rasulullah SAW.

Ini kupersembahkan kepada orang – orang yang sangat kusayangi.

### ***Ibunda dan Ayahanda tersayang***

Tidak lupa bersyukur pada Allah SWT. Karena telah diturunkan 2 malaikat tak bersayap dalam hidup saya, yaitu kedua orang tua. **Sahlan, S.Pd** dan **Suwarni, S.Pd**, yang selalu memberi semangat, kasih sayang serta do'a disetiap langkah yang kuambil. Karena mereka juga saya akhirnya menyandang gelar sarjana.

### ***Saudaraku dan Orang terkasih***

- Ini juga kupersembahkan untuk saudaraku **Ervita Windy Kusuma, S.Pd**, **Sujono** dan **Oktafiano Zsri Risi Abdillahi**
- Untuk yang terkasih **Rahmah Widya Astuti, S.Kom**

### ***Teman – Teman***

- Untuk teman - teman 21+ newborn yang telah menemani dari SMA hingga sekarang, saya ucapkan terimakasih kepada **Muhammad Syahrul Munir, S.Pi**, **Gufateh Finashuda, S.T**, **Dinda Indiana Bounigeta, S.T**, **Desiana Catur Purnamasari, S.Tr.KeB**, **Malihatul Faudah, S.Sos**, **Putri Rahma Iriani, S.Kom**, **(Alm) Wiga Aditya**.
- Untuk teman – teman seperjuangan **Anak Pekerja Keras (APK)** yang selalu bersama menghadapi tugas besar dan laporan hingga lulus, saya ucapkan terimakasih kepada **Agung Rifki Adi Saputra, S.T**, **Achmad Taufik, S.T**, **Nurul Fatihin, S.T**, **Fristalina Widya P, S.T**, **Ramadhaningtyas C. E, S.T**, **Muhammad Rahmadsyah, Doni Aji Prasetyo, M. Fadillah, M. Hasan Asy' ari, Anhal Hendru Permana, Renaldi Tri Wardana, Fernando Juniantar**.
- Untuk semua teman - teman Progam Studi Teknik Sipil (S-1) Angkatan 2015 & 2016 ITN Malang

## ABSTRAK

**NOVANDA ERWAN SAPUTRA.** Studi Alternatif Perencanaan Struktur Atas *Flyover* Manahan Surakarta Menggunakan Box Girder Prategang Dengan Metode Span-by-Span. (Ir. Ester Priskasari, MT dan Mohammad Erfan, ST., MT)

---

Perencanaan jembatan layang Manahan menggunakan box girder prategang dengan system external tendon untuk mengefisiensikan kombinasi antara volume beton yang relative kecil dengan gaya prategang tendon sehingga didapat lendutan yang relative kecil pada bentang. Penggunaan box girder prategang lebih menguntungkan dibandingkan balok I – girder pada perlintasan sebidang jalur rel kereta api Solo – Yogyakarta setelah simpang Jl. Adi Sucipto - Jl. MT Hariyono ke arah Jl. Dr. Moewardi, Kota Surakarta dikarenakan metode pelaksanaan balok I – girder lebih menyebabkan macet.

Analisa statika menggunakan statis tertentu dan metode pelaksanaan secara segmental (metode span-by-span) untuk mendapatkan section properties dari penampang box girder. Peraturan yang penulis gunakan dalam perhitungan adalah SNI 1725-2016, SNI 2847-2013. Materi pembahasan meliputi perencanaan tata letak tendon, kehilangan gaya prategang, kontrol tegangan dan lendutan, penulangan box girder-geser, dan end block. Kabel prategang yang digunakan adalah tendon VSL type GC Grade 270, *low relaxation strand* dengan tipe 6-37 unit.

Hasil yang diperoleh dari perencanaan box girder prategang ialah, digunakan 20 segmental yang terbagi menjadi 3 jenis segmen yaitu segmen tumpuan, segmen deviator, dan segmen strandar. Menggunakan 12 buah tendon VSL tipe GC dengan 35 strand tiap tendon. Adapun lendutan yang terjadi sebesar 5,194 cm ( $\downarrow$ ) dan tidak terjadi tegangan tarik.

**Kata Kunci :** Box Girder Prategang, Metode Span-by-Span, Tendon VSL

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa yang sudah memberikan kekuatan dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan gelar strata satu (S-1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini, penyusun mengucapkan setinggi-tinggi terima kasih kepada :

- 1) Dr. Ir. Kustamar, MT selaku Rektor ITN Malang
- 2) Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, MSc selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
- 3) Ir. I Wayan Mundra, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil
- 4) Ir. Ester Priskasari, MT selaku Pembimbing Tugas Akhir I
- 5) Mohammad Erfan, ST., MT. selaku Pembimbing Tugas Akhir II
- 6) Ir. A. Agus Santosa, MT. selaku Penguji Tugas Akhir I
- 7) Ir. Bambang Wedyantadji, MT. selaku Penguji Tugas Akhir II
- 8) Kedua orang tua penulis, Bapak Sahlan dan Ibu Suwarni serta segenap keluarga besar yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat luar biasa bagi penulis.
- 9) Teman-teman yang telah memberikan doa dan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini, mungkin masih banyak kekurangan ataupun kesalahan. Oleh karena itu, penyusun selalu mengharapkan saran, petunjuk, kritik dan bimbingan yang bersifat membangun, demi kelanjutan kami selanjutnya.

Malang, 2020  
Penyusun



## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                         | <b>i</b>    |
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>                    | <b>ii</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>                     | <b>iii</b>  |
| <b>LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>            | <b>iv</b>   |
| <b>LEMBAR PERSEMBAHAN .....</b>                    | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                               | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                         | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                             | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                          | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                          | <b>xv</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                      | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                           | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                          | 2           |
| 1.3 Tujuan.....                                    | 2           |
| 1.4 Batasan Masalah.....                           | 2           |
| <b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>                 | <b>4</b>    |
| 2.1 Studi literatur terdahulu.....                 | 4           |
| 2.2 Tinjauan Pustaka .....                         | 5           |
| 2.1.1 Struktur Bawah ( <i>Sub Structure</i> )..... | <b>5</b>    |
| 2.1.2 Struktur Atas .....                          | 6           |
| 2.1.3 Jembatan Box Girder .....                    | 6           |
| 2.1.4 Desain Perancangan Awal .....                | 7           |
| 2.3 Pembebanan Jembatan .....                      | 8           |
| 2.3.1 Beban Permanen .....                         | 8           |
| 2.3.2 Beban Lalu Lintas .....                      | 10          |
| 2.3.3 Aksi Lingkungan .....                        | 14          |
| 2.3.4 Keadaan Batas Daya Layan .....               | 16          |
| 2.3.5 Keadaan Batas Fatik dan Fraktur.....         | 16          |
| 2.3.6 Keadaan Batas Kekuatan .....                 | 17          |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.7 Keadaan Batas Ekstrem .....                 | 17        |
| 2.4 Beton Prategang .....                         | 18        |
| 2.4.1 Konsep dasar .....                          | 19        |
| 2.4.2 Sistem penegangan .....                     | 20        |
| 2.4.3 Tahap Pembebanan .....                      | 22        |
| 2.4.4 Material beton prategang .....              | 23        |
| 2.5 Tegangan ijin .....                           | 27        |
| 2.5.1 Tegangan Ijin Beton .....                   | 27        |
| 2.5.2 Tegangan Ijin Baja Prategang .....          | 27        |
| 2.6 Perhitungan Prategang .....                   | 28        |
| 2.6.1 Analisa Penampang Balok Prategang .....     | 28        |
| 2.6.2 Gaya Prategang .....                        | 29        |
| 2.6.3 Jumlah Tendon .....                         | 30        |
| 2.6.4 Letak & Batas Aman Tendon .....             | 30        |
| 2.6.5 Posisi Tendon .....                         | 31        |
| 2.6.6 Jarak Eksentrisitas .....                   | 32        |
| 2.7 Pengontrolan Prategang .....                  | 32        |
| 2.7.1 Kehilangan Prategang .....                  | 32        |
| 2.7.2 Kontrol Gaya Tegangan pada Penampang .....  | 40        |
| 2.7.3 Kontrol Lendutan Pada Beton Prategang ..... | 43        |
| 2.7.4 Kontrol Geser Pada Beton Prategang .....    | 47        |
| 2.8 Perhitungan Blok Ujung (End Block) .....      | 48        |
| 2.9 Perletakan (Bearing) .....                    | 52        |
| 2.10 Metode konstruksi .....                      | 54        |
| <b>BAB III METODELOGI PERENCANAAN .....</b>       | <b>56</b> |
| 3.1 Diagram Alir Perencanaan .....                | 56        |
| 3.2 Data Perencanaan .....                        | 57        |
| 3.2.1 Data Umum .....                             | 57        |
| 3.2.2 Data Teknis Jembatan .....                  | 58        |
| 3.3 Data Material .....                           | 59        |
| 3.3.1 Beton .....                                 | 59        |



|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.2 Baja Tulangan .....                           | 60        |
| 3.3.3 Baja Tendon Prategang .....                   | 60        |
| 3.4 Preliminari Desain Box Girder.....              | 60        |
| 3.4.1 Desain Penampang.....                         | 60        |
| <b>BAB IV PERMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR .....</b> | <b>62</b> |
| 4.1 Umum.....                                       | 62        |
| 4.2 Analisa Penampang Box Girder .....              | 62        |
| 4.2.1 Segmen Tumpuan .....                          | 62        |
| 4.2.2 Segmen Standar .....                          | 66        |
| 4.2.3 Segmen Deviator.....                          | 69        |
| 4.3 Pembebanan Struktur Utama .....                 | 73        |
| 4.3.1 Data Perencanaan.....                         | 73        |
| 4.3.2 Analisa Pembebanan .....                      | 74        |
| 4.3.2.1 Berat Sendiri (MS) .....                    | 74        |
| 4.3.2.2 Beban Mati Tambahan (MA).....               | 79        |
| 4.3.2.3 Beban Lalu Lintas .....                     | 82        |
| 4.3.2.4 Gaya Rem (TB).....                          | 92        |
| 4.3.2.5 Beban Angin (EW).....                       | 95        |
| 4.3.3 Kombinasi Pembebanan .....                    | 102       |
| 4.4 Tegangan Izin pada Beton Prategang.....         | 113       |
| 4.4.1 Tegangan Izin Beton .....                     | 113       |
| 4.4.2 Tegangan Izin Baja Prategang .....            | 114       |
| 4.4.3 Modulus Elastisitas .....                     | 115       |
| 4.5 Gaya Prategang Tedon .....                      | 116       |
| 4.5.1 Desain Penampang Penahan Lenturan.....        | 116       |
| 4.5.2 Jumlah Tendon.....                            | 117       |
| 4.5.3 Daerah Aman Tendon .....                      | 118       |
| 4.5.4 Tata Letak Tendon .....                       | 125       |
| 4.6 Kontrol Keamanan .....                          | 137       |
| 4.6.1 Kehilangan Gaya Prategang.....                | 137       |
| 4.6.2 Tegangan pada Box Girder .....                | 144       |

|   |            |
|---|------------|
| 4.6.2.1 Kontrol Tegangan pada Tendon.....                   | 144        |
| 4.6.3 Kontrol Lendutan pada Beton Prategang.....            | 170        |
| 4.7 Penulangan Pada Box Girder .....                        | 177        |
| 4.7.1 Kontrol dan Penulangan Geser pada Box Girder.....     | 177        |
| 4.7.2 Penulangan Lentur Box Girder .....                    | 187        |
| 4.7.2.1 Pembebanan Penampang.....                           | 187        |
| 4.7.2.2 Penulangan Plat Atas .....                          | 192        |
| 4.7.2.3 Penulangan Plat Bawah.....                          | 206        |
| 4.7.2.4 Penulangan Plat Web .....                           | 214        |
| 4.8 Perencanaan Blok Ujung (End Block ) .....               | 218        |
| 4.8.1 Daerah Pecah Ledak (Busting Steel ) .....             | 218        |
| 4.8.1.1 Penulangan Daerah Pecah Ledak (Busting Steel )..... | 223        |
| 4.8.2 Daerah Pecah Gumpal (Anyaman) .....                   | 224        |
| 4.8.2.1 Penulangan Arah Horizontal .....                    | 224        |
| 4.8.2.2 Penulangan Arah Vertikal .....                      | 226        |
| 4.9 Struktur Sekunder .....                                 | 232        |
| 4.9.1 Pendimensian Pembatas jalan (Parapet) .....           | 232        |
| 4.9.2 Pembebanan Pembatas Jalan (Parapet).....              | 233        |
| 4.9.3 Penulangan Pembatas Jalan (Parapet).....              | 234        |
| 4.10 Perencanaan Pengangkatan .....                         | 239        |
| 4.11 Perencanaan Perletakan (Bearing ) .....                | 240        |
| 4.12 Perengkat Peredam ( <i>Damping device</i> ).....       | 243        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>                                  | <b>247</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 247        |
| 5.2 Saran.....  | 248        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                 | <b>249</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>  | <b>251</b> |



## DAFTAR TABEL

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1  | Studi Literatur Terdahulu .....                                       | 4  |
| Tabel 2.2  | Tebal Minimum Sayap Atas.....   | 7  |
| Tabel 2.3  | Berat Isi untuk Beban Mati .....                                      | 8  |
| Tabel 2.4  | Faktor Beban Untuk Berat Sendiri .....                                | 10 |
| Tabel 2.5  | Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan.....                           | 10 |
| Tabel 2.6  | Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana.....                                 | 11 |
| Tabel 2.7  | Faktor Beban untuk beban lajur “D” .....                              | 12 |
| Tabel 2.8  | Faktor Beban untuk beban “T”.....                                     | 13 |
| Tabel 2.9  | Tekanan Angin Dasar.....  | 15 |
| Tabel 2.10 | Tipikal Baja Prategang .....  | 24 |
| Tabel 2.11 | Koefisien Gesekan Kelengkungan dan Koefisien Wobble .....             | 33 |
| Tabel 2.12 | Nilai $\lambda$ dan X untuk berbagai profil tendon.....               | 36 |
| Tabel 2.13 | Nilai koefisien susut, KSH.....                                       | 37 |
| Tabel 2.14 | Nilai J dan Kre.....  | 38 |
| Tabel 2.15 | Nilai-nilai C.....  | 38 |
| Tabel 2.16 | Presentase Kehilangan Gaya Prategang Rata-rata .....                  | 39 |
| Tabel 2.17 | Distribusi Gaya Aksial Metode Guyon .....                             | 49 |
| Tabel 2.18 | Perbandingan Metode Pelaksanaan Box Girder Pracetak .....             | 54 |
| Tabel 4.1  | Perhitungan Titik Berat & Momen Inersia pada Segmen<br>Tumpuan.....   | 63 |
| Tabel 4.2  | Perhitungan Titik Berat & Momen Inersia pada Segmen<br>Standar.....   | 67 |
| Tabel 4.3  | Perhitungan Titik Berat & Momen Inersia pada Segmen<br>Deviator ..... | 70 |
| Tabel 4.4  | Momen Akibat Berat Sendiri .....                                      | 76 |
| Tabel 4.5  | Gaya Geser Akibat Berat Sendiri .....                                 | 77 |
| Tabel 4.6  | Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Mati Tambahan .....                 | 80 |
| Tabel 4.7  | Ordinat Maximum ( $Y_x$ ) dan Luas Pengaruh ( $A_x$ ) .....           | 86 |
| Tabel 4.8  | Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Lajur D .....                       | 91 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabel 4.9  | Momen dan Gaya Geser Akibat Gaya Rem D .....  | 94  |
| Tabel 4.10 | Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Angin pada Struktur ..  | 97  |
| Tabel 4.11 | Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Angin pada Kendaraan  | 100 |
| Tabel 4.12 | Kombinasi Layan I Momen pada Box Girder .....   | 104 |
| Tabel 4.13 | Kombinasi Layan III Momen pada Box Girder .....   | 106 |
| Tabel 4.14 | Kombinasi Layan III Gaya Geser pada Box Girder .....  | 109 |
| Tabel 4.15 | Kombinasi Layan I Gaya Geser pada Box Girder.....   | 111 |
| Tabel 4.16 | Tegangan Izin Beton pada Keadaan Awal .....   | 113 |
| Tabel 4.17 | Tegangan Izin Beton pada Keadaan Akhir .....  | 113 |
| Tabel 4.18 | Modulus Elastisitas ( $E_c$ ) pada Beton .....  | 115 |
| Tabel 4.19 | Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal ( $a_1$ ).....  | 119 |
| Tabel 4.20 | Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Setelah Kehilangan<br>Tegangan ( $a_2$ ).....                  | 120 |
| Tabel 4.21 | Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Setelah Beban Sendiri<br>dan Beban Mati Bekerja( $a_3$ ) ..... | 122 |
| Tabel 4.22 | Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Setelah Semua Beban<br>Bekerja( $a_4$ ) .....                  | 123 |
| Tabel 4.23 | Koordinat Sumbu X Sumbu Y Tata Letak Tendon.....  | 129 |
| Tabel 4.24 | Koordinat Sumbu Z Tata Letak Tendon .....   | 129 |
| Tabel 4.25 | Titik Berat Tendon( $Y_{tendon}$ ).....   | 133 |
| Tabel 4.26 | Eksentrisitas Tendon Baris.....   | 135 |
| Tabel 4.27 | Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Awal .....  | 150 |
| Tabel 4.28 | Gambar Tegangan Beton pada Kondisi Awal.....  | 154 |
| Tabel 4.29 | Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Setelah Kehilangan<br>Gaya Prategang .....                    | 155 |
| Tabel 4.30 | Gambar Tegangan Beton pada Kondisi Setelah Kehilangan<br>Gaya Prategang .....                     | 159 |
| Tabel 4.31 | Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Akhir.....  | 160 |
| Tabel 4.32 | Gambar Tegangan Beton pada Kondisi Akhir .....  | 164 |
| Tabel 4.33 | Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Pengangkatan .....  | 165 |
| Tabel 4.34 | GambarTegangan Beton pada Kondisi Pengangkatan .....  | 169 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabel 4.35 Momen Akibat Beban Mati (MuD) dan Beban Hidup (MuL) .  | 177 |
| Tabel 4.36 Gaya Geser Akibat Beban Mati (VD) dan Beban Hidup (VL) | 179 |
| Tabel 4.37 Rekapitulasi Penulangan Plat Atas.....                 | 205 |
| Tabel 4.38 Rekapitulasi Penulangan Plat Bawah.....                | 212 |
| Tabel 4.39 Rekapitulasi Penulangan Plat Web .....                 | 217 |
| Tabel 4.40 Pedimensian Parapet .....                              | 232 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1  | Bagian-Bagian Struktur Atas Jembatan.....                     | 6  |
| Gambar 2.2  | Penampang Box Girder Satu Sel .....                           | 7  |
| Gambar 2.3  | Penampang Box Girder Multi Sel .....                          | 7  |
| Gambar 2.4  | Beban lajur “D” .....   | 12 |
| Gambar 2.5  | Pembebanan truk “T” (500 kN).....                             | 13 |
| Gambar 2.6  | Penampang Beton Bertulang .....                               | 18 |
| Gambar 2.7  | Konsep Beton Konsentris dan Eksentris .....                   | 19 |
| Gambar 2.8  | Penampang Beton Prategang dan Beton Bertulang.....            | 19 |
| Gambar 2.9  | Konsep Kesetimbangan Beban.....                               | 20 |
| Gambar 2.10 | Konsep Pratarik .....   | 21 |
| Gambar 2.11 | Konsep Pascatarik .....                                       | 22 |
| Gambar 2.12 | Strands (7- wires strand) dan Kawat Tunggal .....             | 24 |
| Gambar 2.13 | Selongsong Tendon (Duct).....                                 | 26 |
| Gambar 2.14 | Angkur Hidup dan Angkur Mati.....                             | 26 |
| Gambar 2.15 | Gambar 2. 13 Penyambung Multistrand.....                      | 26 |
| Gambar 2.16 | Letak Titik Berat Penampang.....                              | 28 |
| Gambar 2.17 | Bentuk Tendon Trapesoidal (Eksternal Tendon) .....            | 31 |
| Gambar 2.18 | Diagram Kehilangan Tegangan Akibat Slip Angkur .....          | 35 |
| Gambar 2.19 | Distribusi Tegangan Kondisi Awal .....                        | 40 |
| Gambar 2.20 | Distribusi Tegangan Kondisi Setelah Kehilangan Gaya .....     | 41 |
| Gambar 2.21 | Distribusi Tegangan Kondisi Setelah Beban Hidup Bekerja ..... | 42 |
| Gambar 2.22 | Gaya Prategang Terdistribusi Secara Merata Ke arah Atas ..... | 43 |
| Gambar 2.23 | Pembebanan Akibat Beban Mati Terbagi Rata .....               | 44 |
| Gambar 2.24 | Pembebanan Akibat Beban Lajur “D” .....                       | 45 |
| Gambar 2.25 | Pembebanan Akibat Beban Angin.....                            | 45 |
| Gambar 2.26 | Pembebanan Akibat Beban Rem .....                             | 46 |
| Gambar 2.27 | Distribusi Tegangan pada Blok Ujung .....                     | 49 |
| Gambar 2.28 | Penulangan Pecah Ledak .....                                  | 51 |
| Gambar 2.29 | Penulangan Pecah Gumpal .....                                 | 52 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.30 | <i>Guide Steel Pot Bearing</i> .....                                       | 52 |
| Gambar 2.31 | Tipe Bearing .....   | 53 |
| Gambar 2.32 | Komponen <i>Pot Bearin</i> .....   | 53 |
| Gambar 2.33 | Ilustrasi Span by span dengan Launching Gantrty .....                      | 53 |
| Gambar 3.1  | Diagram Alir Perencanaan .....   | 57 |
| Gambar 3.2  | Peta Lokasi Studi Perencanaan .....  | 58 |
| Gambar 3.3  | Layout Perencanaan Flyover Manahan .....                                   | 58 |
| Gambar 3.4  | Potongan A-A .....   | 59 |
| Gambar 3.5  | Desain Penampang Memanjang Rencana Flyover Manahan                         | 59 |
| Gambar 3.6  | Potongan B-B .....   | 59 |
| Gambar 3.7  | Desain Penampang Awal : Segmen Tumpuan .....                               | 60 |
| Gambar 3.8  | Desain Penampang Awal : Segmen Standar .....                               | 60 |
| Gambar 3.9  | Desain Penampang Awal : Segmen Deviator .....                              | 61 |
| Gambar 4.1  | Desain Pembagian Segmen Box Girder pada Setengah<br>Bentang Jembatan ..... | 62 |
| Gambar 4.2  | Dimensi Box Girder Segmen Tumpuan .....                                    | 62 |
| Gambar 4.3  | Section Box Girder Segmen Tumpuan .....                                    | 63 |
| Gambar 4.4  | Garis Titik Berat Segmen Tumpuan .....                                     | 66 |
| Gambar 4.5  | Dimensi Box Girder Segmen Standar .....                                    | 66 |
| Gambar 4.6  | Section Box Girder Segmen Standar .....                                    | 67 |
| Gambar 4.7  | Garis Titik Berat Segmen Standar .....                                     | 69 |
| Gambar 4.8  | Dimensi Box Girder Segmen Deviator .....                                   | 69 |
| Gambar 4.9  | Section Box Girder Segmen Deviator .....                                   | 70 |
| Gambar 4.10 | Garis Titik Berat Segmen Deviator .....                                    | 72 |
| Gambar 4.11 | Potongan Melintang Box Girder .....  | 73 |
| Gambar 4.12 | Potongan Memanjang Pembebanan Akibat Berat Sendiri<br>(MS) .....           | 74 |
| Gambar 4.13 | (a.) Diagram Momen (b.) Diagram Gaya Geser .....                           | 78 |
| Gambar 4.14 | Potongan Memanjang Pembebanann Akibat Beban Mati<br>Tambahan (MA) .....    | 79 |
| Gambar 4.15 | (a.) Diagram Momen (b.) Diagram Gaya Geser .....                           | 82 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Gambar 4.16 | Perencanaan Lajur Lalu Lintas Flyover .....   | 83  |
| Gambar 4.17 | Pembebanan Akibat Beban Terbagi Rata.....   | 83  |
| Gambar 4.18 | Pembebanan Akibat Beban Garis Terpusat.....   | 84  |
| Gambar 4.19 | Potongan Memanjang Beban Akibat Beban BGT.....  | 87  |
| Gambar 4.20 | Diagram Gaya Momen Akibat Beban Bergerak Kendaraan  | 90  |
| Gambar 4.21 | (a.) Diagram Momen (b.) Diagram Gaya Geser Akibat<br>Beban Lajur “D” .....                                  | 92  |
| Gambar 4.22 | Potongan Memanjang Beban Akibat Gaya Rem (TB).....  | 93  |
| Gambar 4.23 | Potongan Melintang Pengaruh Gaya Rem (TB) pada Box<br>Girder.....   | 93  |
| Gambar 4.24 | Potongan Melintang Gaya Tekan Angin pada Struktur Box<br>Girder.....  | 95  |
| Gambar 4.25 | (a.) Diagram Momen (b.) Diagram Gaya Geser.....   | 99  |
| Gambar 4.26 | (a.) Diagram Momen (b.) Diagram Gaya Geser.....   | 102 |
| Gambar 4.27 | Perencanaan Tata Letak Strands pada Tendon VSL type GC<br>( <i>External Grouted Post-Tensioning</i> ) ..... | 117 |
| Gambar 4.28 | Tendon Trapesoidal / Menggantung.....   | 126 |
| Gambar 4.28 | Perencanaan Posisi Tendin pada ; (a.) Segmen Deviator (b.)<br>Segmen Tumpuan.....                           | 132 |
| Gambar 4.29 | Letak Eksentrisitas Tendon (Tendon 3,4) .....   | 133 |
| Gambar 4.30 | Tegangan Kondisi Awal pada Jarak 25 m.....  | 145 |
| Gambar 4.31 | Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Jarak 25 m   | 146 |
| Gambar 4.32 | Tegangan Kondisi Akhir pada Jarak 25 m .....  | 148 |
| Gambar 4.33 | Tegangan Kondisi Pengangkatan pada Jarak 25 m .....   | 149 |
| Gambar 4.34 | Lendutan Tendon Trapesoidal dengan Tumpuan Sendi-Rol  | 171 |
| Gambar 4.35 | Luasan Momen Area untuk Menghitung Lendutan Akibat<br>Berat Sendiri .....                                   | 171 |
| Gambar 4.36 | Lendutan Akibat Berat Sendiri dengan Tumpuan Sendi-Rol  | 172 |
| Gambar 4.37 | Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan dengan Tumpuan<br>Sendi-Rol.....  | 173 |
| Gambar 4.38 | a.) Lendutan Akibat BTR b.) Lendutan Akibat BGT.....  | 174 |



|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.39 | Lendutan Akibat Beban Angin Struktur dengan Tumpuan Sendi-Rol..... | 174 |
| Gambar 4.40 | Lendutan Akibat Beban Rem Struktur dengan Tumpuan Sendi-Rol.....   | 175 |
| Gambar 4.41 | Kontrol Lendutan yang Terjadi Terhadap Lendutan Ijin ....          | 176 |
| Gambar 4.42 | Penulangan Tulangan Geser pada Segmen Tumpuan .....                | 186 |
| Gambar 4.43 | Penampang Box Girder Kondisi 1.....                                | 188 |
| Gambar 4.44 | Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 1 .....                 | 188 |
| Gambar 4.45 | Penampang Box Girder Kondisi 2.....                                | 189 |
| Gambar 4.46 | Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 2.....                  | 189 |
| Gambar 4.47 | Penampang Box Girder Kondisi 3.....                                | 190 |
| Gambar 4.48 | Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 3.....                  | 190 |
| Gambar 4.49 | Penampang Box Girder Kondisi 4.....                                | 191 |
| Gambar 4.50 | Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 4.....                  | 191 |
| Gambar 4.51 | Distribusi Regangan –Tegangan pada Plat Atas (Tumpuan)             | 194 |
| Gambar 4.52 | Distribusi Regangan –Tegangan pada Plat Atas (Lapangan)            | 200 |
| Gambar 4.53 | Penulangan Plat Atas .....   | 205 |
| Gambar 4.54 | Distribusi Regangan –Tegangan pada Plat Bawah.....                 | 211 |
| Gambar 4.55 | Penulangan Plat Bawah .....  | 213 |
| Gambar 4.56 | Penulangan Plat Web.....   | 217 |
| Gambar 4.57 | Rencana Blok Ujung (End Block) .....                               | 218 |
| Gambar 4.58 | Transmisi Gaya pada Blok Ujung (Plat Angkur Tunggal)..             | 219 |
| Gambar 4.59 | Diagram Tegangan pada End Block.....                               | 220 |
| Gambar 4.60 | Diagram Gaya/cm pada Balok Ujung.....                              | 220 |
| Gambar 4.61 | Diagram gaya/cm dan Moment pada Blok Ujung.....                    | 221 |
| Gambar 4.62 | Tampak End Block .....   | 228 |
| Gambar 4.63 | Detail Penulangan End Block.....                                   | 229 |
| Gambar 4.64 | Penulangan Pecah Gumpal .....                                      | 230 |
| Gambar 4.65 | Penulangan Pecah Ledak .....                                       | 231 |
| Gambar 4.66 | (a.) Dimensi Parapet (b.) Pembagian Parapet.....                   | 232 |
| Gambar 4.67 | Gaya-Gaya yang Bekerja pada Parapet .....                          | 233 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.68 | Penulangan Parapet .....   | 238 |
| Gambar 4.69 | Beban Merata pada Proses Pengangkatan .....                            | 239 |
| Gambar 4.70 | Metode Span-by-Span dengan Launcing Gantry<br>(LG850T50M-Tolian) ..... | 139 |
| Gambar 4.71 | Tampak Atas Posisi Pot Bearing pada Jembatan .....                     | 240 |
| Gambar 4.72 | Tampak Melintang Posisi Pot Bearing pada Jembatan .....                | 240 |
| Gambar 4.73 | Fix Pot Bearing (TF) .....   | 241 |
| Gambar 4.74 | Generally Mobile Pot Bearing (TGa) .....                               | 242 |
| Gambar 4.75 | Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tendon .....                               | 243 |
| Gambar 4.76 | Sambungan dengan Pengikat Baut .....                                   | 245 |