

**ANALISA *LOSS OF PRESTRESSED* PADA JEMBATAN
BETON PRATEGANG *POST-TENSIONED* BENTANG
40,8 METER (STUDI KASUS : JALAN TOL
PEKANBARU-DUMAI SEKSI 1)**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana
Pada fakultas teknik Program studi teknik sipil
Universitas islam riaU
Pekanbaru*



OLEH :

IDHZJA APRILIANDI PUTRA
NPM. 163110467

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2021**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi (Strata Satu) di Universitas Islam Riau
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing dan penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat oranglain kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Penggunaan *software* computer bukan menjadi tanggung jawab Universitas Islam Riau.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi.

Pekanbaru, Februari 2021
Pemberi Pernyataan

Idhzja Apriliandi Putra
NPM 163110467

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Syukur Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah begitu banyak melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.

Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Adapun judul dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah “***Analisa Loss Of Prestressed Pada Jembatan Beton Prategang Post-Tensioned Bentang 40,8 Meter (Studi Kasus : Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1)***”.

Penulisan tugas akhir ini pada dasarnya dilakukan karena penulis ingin memperdalam ilmu pengetahuan tentang beton prategang baik itu menggunakan metode pratarik maupun pasca tarik serta penegangan tendon secara *fully prestressed* maupun *partial prestressed* dikarenakan kedepannya akan banyak pembangunan jembatan, struktur gedung menggunakan beton prategang.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis menerima masukan, kritik dan saran yang membangun bagi penulis demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih semoga Tugas Akhir ini mendapatkan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Pekanbaru, 03 Februari 2021

IDHZJA APRILIANDI PUTRA
NPM. 163110467

Ucapan Terima Kasih

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Syukur *alhamdulillah* *rabbil'alamin*, penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini yang penulis beri judul “**Analisa Loss of Prestressed pada Jembatan Beton Prategang Post-Tensioned Bentang 40,8 Meter (Studi Kasus : Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1)**”. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., M.C.L, selaku Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, M,Sc, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Bapak Dr. Anas Puri, ST.,MT, selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau dan Bapak Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Ibu Harmiyati, ST, M.Si, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Dan Ibu Safitri, ST., MT, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT., sebagai Dosen Pembimbing.
6. Ibu Dr. Elizar, ST, MT, sebagai Dosen Penguji 1 dan Ibu Sri Hartati Dewi, ST, MT, sebagai Dosen Penguji 2.

7. Seluruh Dosen program studi Teknik Sipil dan Staf TU Universitas Islam Riau yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.
8. Bapak Pulung Satyo Anggono, ST selaku Kepala Proyek, Bapak M.Yamin ST selaku Manager Teknik, dan Tim Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1 PT.Hutama Karya Infrastrktur yang telah memberikan izin penelitian dan Bapak Hendra Tambunan, ST selaku Pejabat Teknis Lapangan, beserta staf PT. Utama Karya sebagai pemilik proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1.
9. Bapak Budi dan Bapak Fery selaku Tim Pelaksana lapangan dari PT. Delta Systech Indonesia (DSI).
10. Ayahanda Armain Saini, SE dan Ibunda Medawati, selaku orangtua yang selalu tidak pantang menyerah dalam memberikan doa, bantuan, dukungan, kasih sayang, pengorbanan dan semangat dalam penulisan skripsi ini.
11. Oom Alm. H. Rasul Alim, SKM, M.Kes., dan Tante Hj. Yaktiva Yusfa Dewi, S.Sos selaku keluarga yang telah memberikan dukungan, semangat dalam penulisan tugas akhir ini.
12. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Sipil angkatan tahun 2016 Universitas Islam Riau.
13. Dhea Abri Triamali S.Psi yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
14. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu.

Atas bantuan dan bimbingan dari semua pihak dalam penyusunan tugas akhir ini semoga menjadi amal ibadah dan mendapat imbalan dari Allah SWT.

Pekanbaru, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

| | Hal |
|---|------------|
| KATA PENGANTAR | i |
| UCAPAN TERIMAKASIH | ii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR NOTASI | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| ABSTRAK | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 2 |
| 1.5 Batasan Masalah | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Penelitian Terdahulu | 4 |
| 2.2 Perbedaan penelitian | 8 |
| BAB III LANDASAN TEORI | |
| 3.1 Pengertian Jembatan | 9 |
| 3.2 Bagian-bagian Konstruksi Jembatan | 9 |
| 3.2.1 Bagian Atas Jembatan | 9 |
| 3.2.2 Bagian Bawah Jembatan | 11 |
| 3.3 Jembatan Beton Prategang | 12 |
| 3.3.1 Beton Prategang | 12 |
| 3.3.2 Baja Prategang | 13 |
| 3.3.3 Prinsip Dasar Prategang | 15 |
| 3.3.4 Konsep Prategang | 17 |

| | |
|--|----|
| 3.3.5 Metode Prategang | 19 |
| 3.3.6 Balok Gelagar (<i>Girder</i>) | 21 |
| 3.4 Pembebanan Jembatan | 23 |
| 3.4.1 Berat Sendiri/Mati | 24 |
| 3.4.2 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA) | 26 |
| 3.4.3 Beban Lalu Lintas | 27 |
| 3.4.4 Beban Faktor Dinamis (FBD) | 30 |
| 3.4.5 Gaya Rem | 31 |
| 3.4.6 Beban Lingkungan | 31 |
| 3.5 Perhitungan Struktur Beton Prategang | 33 |
| 3.5.1 Gaya Prategang | 33 |
| 3.5.2 Tegangan Izin Pada Beton Prategang | 35 |
| 3.5.3 Lintasan Inti Tendon | 34 |
| 3.5.4 Sudut Angkur | 35 |
| 3.5.5 Tata Letak dan <i>Trace</i> Tendon | 35 |
| 3.5.6 Kehilangan Tegangan Gaya Prategang | 36 |

BAB IV METODE PENELITIAN

| | |
|-----------------------------------|----|
| 4.1 Lokasi Penelitian | 46 |
| 4.2 Gambaran Umum Jembatan | 46 |
| 4.3 Prosedur Penelitian | 49 |
| 4.4 Diagram Alir Penelitian | 49 |

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 5.1 Hasil Analisa Pembebanan Akibat Beban Mati | 52 |
| 5.2 Hasil Perhitungan Akibat Beban Mati Tambahan | 55 |
| 5.3 Hasil Perhitungan Akibat Beban Hidup | 56 |
| 5.4 Hasil Perhitungan Akibat Gaya Rem | 58 |
| 5.5 Hasil Perhitungan Akibat Beban Angin | 58 |
| 5.6 Resume Pembebanan Pada Jembatan | 59 |
| 5.7 Hasil Perhitungan Gaya Geser Balok Prategang | 60 |
| 5.8 Hasil Perhitungan Momen Kombinasi Pembebanan Balok Prategang .. | 60 |

| | |
|--|----|
| 5.9 Hasil Analisa Perhitungan Struktur Beton Prategang | 61 |
| 5.10 Kehilangan Gaya Prategang | 66 |
| 5.11 Tegangan Yang Terjadi Pada Penampang Balok | 68 |
| 5.12 Tegangan Pada Balok Komposit | 69 |
| 5.13 Kontrol Lendutan | 73 |
| 5.14 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya | 76 |
| BAB VI KESIMPULAN | |
| 6.1 Kesimpulan | 78 |
| 6.2 Saran | 78 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| DAFTAR LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Tipikal Baja Prategang | 15 |
| Tabel 3.2 Faktor Beban Untuk Beban Mati | 24 |
| Tabel 3.3 Berat Isi Untuk Berat Sendiri | 25 |
| Tabel 3.4 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan | 26 |
| Tabel 3.5 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana | 28 |
| Tabel 3.6 Variasi Temperatur Rata-Rata Jembatan | 32 |
| Tabel 3.7 Koefisien Termal Material | 32 |
| Tabel 3.8 Koefisien Geser Kelengkungan dan <i>Wobble</i> | 41 |
| Tabel 3.9 Koefisien Susut (K_{sh}) | 43 |
| Tabel 3.10 Nilai K_{RE} (Koefisien Relaksasi dan Faktor Waktu) | 44 |
| Tabel 3.11 Nilai C (Faktor Relaksasi) | 45 |
| Tabel 5.1 Beban Yang Bekerja Pada <i>Barrier</i> | 53 |
| Tabel 5.2 Beban Yang Bekerja Pada Diafragma | 54 |
| Tabel 5.3 <i>Section Properties</i> | 55 |
| Tabel 5.4 Pembebanan Akibat Beban Mati Tambahan | 56 |
| Tabel 5.5 Beban Terbagi Rata | 56 |
| Tabel 5.6 Beban Garis Terpusat (BGT) | 57 |
| Tabel 5.7 Beban Truk | 57 |
| Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Akibat Gaya Rem | 58 |
| Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Akibat Beban Angin | 59 |
| Tabel 5.10 Resume Pembebanan Pada Jembatan | 59 |
| Tabel 5.11 Kombinasi Pembebanan Gaya Geser Gelagar Prategang | 60 |
| Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Momen Gelagar Prategang | 61 |
| Tabel 5.13 Eksentrisitas Masing-Masing Tendon | 62 |
| Tabel 5.14 Lintasan Inti Tendon | 63 |
| Tabel 5.15 Sudut Angkur | 64 |
| Tabel 5.16 <i>Trace</i> Masing-Masing <i>Cable</i> | 65 |
| Tabel 5.17 Kehilangan Gaya Prategang | 67 |
| Tabel 5.18 Tegangan Pada Penampang Balok | 68 |

| | |
|--|------|
| Tabel 5.19 Tegangan Pada Penampang Balok Komposit | 69 |
| Tabel 5.20 Macam-Macam Kombinasi Pembebanan | 69 |
| Tabel 5.21 Kontrol Tegangan Kombinasi 1 | 70 |
| Tabel 5.22 Kontrol Tegangan Kombinasi 2 | 70 |
| Tabel 5.23 Kontrol Tegangan Kombinasi 3 | 71 |
| Tabel 5.24 Kontrol Tegangan Kombinasi 4 | 72 |
| Tabel 5.25 Kontrol Tegangan Kombinasi 5 | 73 |
| Tabel 5.26 Kontrol Lentutan Beban Yang Bekerja | 75 |
| Tabel 5.27 Perbandingan Kehilangan Gaya Prategang Penelitian Sebelumnya | 77 |
| Tabel Lampiran A : | |
| Tabel A.1 <i>Section Properties</i> Gelagar | A.9 |
| Tabel A.2 <i>Section Properties</i> Gelagar Komposit | A.11 |
| Tabel A.3 Gaya Geser dan Momen Akibat Berat Sendiri (MS) | A.14 |
| Tabel A.4 Pembebanan Akibat Beban Mati Tambahan (MA) | A.15 |
| Tabel A.5 Resume Perhitungan Gaya Geser dan Momen Pada Jembatan . | A.20 |
| Tabel A.6 Gaya Geser Pembebanan Pada Jembatan | A.23 |
| Tabel A.7 Momen Pembebanan Pada Jembatan | A.28 |
| Tabel A.8 Jumlah <i>Strand</i> dan Tendon | A.32 |
| Tabel A.9 Eksentrisitas Masing-Masing Tendon | A.33 |
| Tabel A.10 Lintasan Inti Tendon | A.34 |
| Tabel A.11 Sudut Angkur | A.35 |
| Tabel A.12 <i>Trace</i> Masing-Masing <i>Cable</i> | A.36 |
| Tabel A.13 Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur | A.51 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 3.1 Bangunan Atas Pada Jembatan | 10 |
| Gambar 3.2 Bangunan Bawah Pada Jembatan | 11 |
| Gambar 3.3 Jenis-Jenis Baja yang Digunakan untuk Beton Prategang | 14 |
| Gambar 3.4 Prinsip-Prinsip Prategang Linier dan Melingkar | 16 |
| Gambar 3.5 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris | 17 |
| Gambar 3.6 Momen Tahanan Internal Pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang | 18 |
| Gambar 3.7 Balok Prategang dengan Tendon Parabola | 19 |
| Gambar 3.8 Beton Prategang Menggunakan Metode Pratarik | 20 |
| Gambar 3.9 Konsep Pasca Tarik (<i>Post-Tensioning</i>) | 21 |
| Gambar 3.10 PC <i>Voided Slab</i> | 22 |
| Gambar 3.11 PC I Girder | 22 |
| Gambar 3.12 PC U Girder | 23 |
| Gambar 3.13 <i>Box Girder</i> | 23 |
| Gambar 3.14 Beban Lajur “D” | 28 |
| Gambar 3.15 Pembebanan Truk “T” (500 kN) | 29 |
| Gambar 3.16 Faktor Beban Dinamis (FBD) | 31 |
| Gambar 3.17 Gaya Rem (TB) | 31 |
| Gambar 3.18 Beban Angin | 33 |
| Gambar 3.19 Tata Letak dan <i>Trace</i> Tendon | 36 |
| Gambar 3.20 Ilustrasi Kehilangan Prategang | 37 |
| Gambar 3.21 Balok Prategang dengan Tendon Melengkung | 38 |
| Gambar 3.22 Distribusi Tegangan Akibat Gaya Gesekan di Tendon | 39 |
| Gambar 3.23 Kehilangan Akibat Friksi Kelengkungan | 40 |
| Gambar 3.24 Koefisien <i>Wobble</i> | 41 |
| Gambar 4.1 Peta Lokasi Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1 ... | 46 |
| Gambar 4.2 Gambar Penampang Jembatan | 47 |
| Gambar 4.3 PC I Girder | 48 |
| Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian | 51 |

| | |
|---|------|
| Gambar 5.1 <i>Barrier</i> Sisi Kanan dan Tengah | 52 |
| Gambar 5.2 Pelat Lantai | 53 |
| Gambar 5.3 Penampang Lapangan Diafragma | 54 |
| Gambar 5.4 Beban Truk | 57 |
| Gambar 5.5 Beban Angin | 59 |
| Gambar 5.6 Posisi Tendon Penampang Lapangan dan Tumpuan | 62 |
| Gambar 5.7 Diagram Lintasan Inti Tendon | 64 |
| Gambar 5.8 <i>Trace</i> Masing-Masing Tendon | 66 |
| Gambar Lampiran A : | |
| Gambar A.1 <i>Barrier</i> sisi dan Tengah | A.1 |
| Gambar A.2 <i>Section Properties Barrier</i> | A.2 |
| Gambar A.3 Pelat Lantai | A.4 |
| Gambar A.4 Penampang Lapangan Diafragma | A.6 |
| Gambar A.5 Penampang Tumpuan Diafragma | A.7 |
| Gambar A.6 <i>Section Properties</i> Balok Prategang | A.8 |
| Gambar A.7 <i>Section Properties</i> Gelagar Komposit | A.11 |
| Gambar A.8 Grafik Faktor Beban Dinamis | A.16 |
| Gambar A.9 Pembebanan Truk “T” (500 kN) | A.16 |
| Gambar A.10 Gaya Rem | A.17 |
| Gambar A.11 Beban Angin | A.19 |
| Gambar A.12 <i>Trace</i> Masing-Masing <i>Cable</i> | A.37 |
| Gambar A.13 Elevasi Gelagar | A.38 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|-----------------|--|
| μ | = Koefisien kelengkungan |
| α | = Sudut pada tendon($^{\circ}$) |
| ϵ_{sh} | = Susut efektif |
| A | = Luas Penampang (m^2) |
| A_c | = Luas penampang balok komposit (m^2) |
| ANC | = Slip pada ankur (N/mm^2) |
| A_t | = Luas tampang tendon baja prategang (m^2) |
| A_{st} | = Luas tampang nominal <i>strand</i> (m^2) |
| B_{eff} | = Lebar pengganti beton pelat lantai jembatan (meter) |
| CW | = Koefisien Seret |
| C | = Faktor relaksasi |
| CR | = Kehilangan tegangan akibat rangkai |
| E | = Modulus elastisitas pelat beton (Mpa) |
| E_c | = Modulus elastisitas beton (Mpa) |
| E_s | = Modulus elastisitas baja (Mpa) |
| e_s | = Eksentrisitas (m) |
| ES | = Perpendekan elastis baja (N/mm^2) |
| FBD | = Faktor beban dinamis (%) |
| F_c' | = Kuat Tekan Beton (Mpa) |
| F_{cd} | = Tegangan beton pada pusat berat tendon akibat beban mati |
| F_{ci} | = Tegangan ijin tekan saat penarikan (Mpa) |
| F_{ci}' | = Kuat tekan beton saat transfer gaya prategang (Mpa) |
| F_{cs} | = tegangan ijin tekan saat keadaan akhir (Mpa) |
| F_{ti} | = tegangan ijin tarik saat penarikan (Mpa) |
| F_{tc} | = tegangan ijin tarik saat keadaan akhir (Mpa) |
| F_{pu} | = kuat tarik <i>strand</i> (Mpa) |
| F_{py} | = Tegangan leleh <i>strand</i> (Mpa) |
| F_v | = Faktor amplifikasi |

| | |
|-----------|--|
| F_y | = Tegangan leleh Tarik baja (Mpa) |
| G | = Modulus geser (Mpa) |
| g | = Percepatan gravitasi (m/s^2) |
| h | = Tinggi (meter) |
| h_o | = Tebal pelat lantai jembatan (meter) |
| h_a | = Tebal lapisan aspal (meter) |
| h_c | = Tinggi balok komposit (meter) |
| I_o | = Momen Inersia (m^4) |
| I_{xc} | = momen inersia terhadap titik berat (m^4) |
| J | = Faktor waktu |
| K | = Koefisien <i>wobble</i> |
| K_{cr} | = Koefisien rangkai |
| K_{re} | = Koefisien relaksasi (N/mm) |
| K_{sh} | = Koefisien susut |
| L | = Panjang Jembatan (meter) |
| M_{max} | = Momen Maksimum ditengah bentang (kNm) |
| M_{ms} | = Momen yang bekerja pada berat sendiri (kNm) |
| M_{lx} | = Momen Lapangan (kNm) |
| M_{tx} | = Momen tumpuan (kNm) |
| M_u | = Momen ultimit (kNm) |
| M_y | = Momen terhadap gaya vertical (kNm) |
| n | = Nilai perbandingan modulus elastisitas pelat dan beton |
| n_s | = Jumlah total <i>strand</i> |
| n_t | = Jumlah Tendon |
| P | = Beban Terpusat (kN) |
| P_i | = Gaya Prategang awal (kN) |
| P_{eff} | = Gaya prategang efektif (Kn) |
| P_o | = Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (%) |
| P_j | = Gaya prategang saat penarikan (Kn) |
| P_{bs} | = Beban putus minimal satu <i>strand</i> (Kn) |
| Q | = Beban Terbagi Rata (kPa) |

| | |
|----------------|---|
| $Q_{diaframa}$ | = Berat diafragma ekuivalen (Kn/m) |
| Q_{ms} | = Beban yang bekerja pada berat sendiri (Kn/m) |
| RH | = Kelembaban udara relatif |
| S | = Jarak antar balok (meter) |
| SH | = Susut pada beton |
| t | = Waktu (hari) |
| t_h | = Tinggi genangan air hujan (meter) |
| V_{ms} | = Gaya geser yang bekerja pada berat sendiri (Kn/m) |
| V_w | = Kecepatan angin rencana (m/s) |
| W | = Berat (kN) |
| W_a | = Luas Penampang Atas (m ³) |
| W_{ac} | = Tahanan momen sisi atas pelat (m ³) |
| W'_{ac} | = Tahanan momen sisi atas balok (m ³) |
| W_b | = Luas penampang bawah (m ³) |
| W_{bc} | = Tahanan momen sisi bawah (m ³) |
| W_c | = Berat isi beton prategang (Kn/m) |
| W_c' | = Berat isi beton bertulang (Kn/m) |
| W_{Aspal} | = Berat isi aspal (Kn/m) |
| W_{hujan} | = Berat isi air hujan (Kn/m) |
| W_T | = Berat total (Kn) |
| x | = Jarak antar roda kendaraan (m) |
| X_n | = Jarak diafragma (m) |
| X_o | = Jarak diafragma ujung (m) |
| Y | = Jarak terhadap alas (meter) |
| Y_1 | = Persamaan Lintasan tendon (m) |
| Y_{ac} | = Letak titik berat komposit (meter) |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A :

1. Analisa Perhitungan Pembebanan Struktur Jembatan.
2. Analisa Gaya Prategang.
3. Analisa Kehilangan Gaya Prategang.
4. Analisa Lendutan Akibat Pembebanan.

Lampiran B :

5. *Shop Drawing* Jembatan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1 Bentang 40,8 Meter.
6. Analisa Rencana Penarikan Baja Prategang.
7. Hasil Penarikan Baja Prategang.

Lampiran C :

1. Lembar Disposisi.
2. Usulan Skripsi.
3. Surat Keputusan Tugas Akhir.
4. Berita Acara Asistensi.
5. Surat Keterangan Persetujuan Seminar Hasil.
6. Berita Acara Seminar Tugas Akhir.
7. Surat Keterangan Persetujuan Ujian Komprehensif.
8. Surat Keputusan Ujian Komprehensif.
9. Berita Acara Ujian Komprehensif.
10. Surat Keterangan Bebas Plagiarisme.
11. Surat Keterangan Persetujuan Jilid Tugas Akhir.

**ANALISA *LOSS OF PRESTRESSED* PADA JEMBATAN BETON
PRATEGANG *POST-TENSIONED* BENTANG 40,8 METER
(STUDI KASUS : JALAN TOL PEKANBARU DUMAI)**

**IDHZJA APRILIANDI PUTRA
163110467**

ABSTRAK

Jembatan merupakan bangunan struktur yang tujuan pembangunannya untuk menyebrangi sungai atau membangun jalan baru seperti *fly over*. Perkembangan ilmu pengetahuan tentang jembatan seperti beton prategang di tujukan untuk memperoleh bentang jembatan yang panjang dengan cara menekan beton menggunakan baja prategang. Akan tetapi, kehilangan gaya prategang merupakan salah satu faktor yang sangat diperhatikan dalam proses pemberian tegangan pada beton prategang.

Penelitian ini menggunakan balok beton prategang dengan profil I girder dengan mutu beton 50 Mpa dan tinggi girder 2,1 meter. Kabel baja prategang yang digunakan adalah *uncoated 7 wires super strands ASTM 416 grade 270 low relaxation* diameter 12,7 mm. Metode penarikan yang digunakan adalah pasca tarik dengan membagi beberapa segmen gelagar jembatan yang ditinjau secara *fully prestressed*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa balok prategang dengan bentang 40,5 meter ini mendapatkan gaya prategang awal sebesar 11701,409 kN dan mengalami kehilangan total gaya prategang sebesar 9027,349 kN atau 15,951%. Kontrol tegangan terhadap serat atas $f_a = - 131,718$ kPa dan tegangan serat bawah $f_b = - 25500$ kPa memenuhi dari tegangan izin yaitu kecil sama dengan $f_{cs} = - 25500$ kPa. Kemudian dilakukan pula kontrol terhadap lendutan pada balok komposit kondisi layan dengan lendutan izin sebesar 0,135 meter dan lendutan maksimum yang terjadi sebesar - 0,057 meter maka jembatan yang dianalisa memenuhi lendutan yang diizinkan.

Kata kunci : Jembatan, gelagar, pascatarik, prategang

**ANALYSIS LOSS OF PRESTRESSED ON A PRESTRESSED CONCRETE
BRIDGE POST-TENSIONED 40,8 METER (CASE STUDY:
PEKANBARU-DUMAI TOLL ROAD)**

IDHZJA APRILIANDI PUTRA
163110467

ABSTRACT

Bridge is a structural building whose purpose is to cross a river or build a new road like a flyover. The development of knowledge about bridges such as prestressed concrete is aimed at obtaining a long bridge span by pressing the concrete using pre-stressed steel. However, the loss of prestressed strength is one of the factors that is considered in the process of applying stress to the pre-stressed concrete.

This research uses pre-stressed concrete beam with I girder profile with 50 MPa concrete quality and 2.1 meter girder height. The pre-stressed steel cable used is uncoated 7 wires super strands ASTM 416 grade 270 low relaxation diameter 12,7 mm. The pulling method used is post tensile by dividing several segments of the bridge girder which are reviewed fully pre-stressed.

The results of this study indicate that the pre-stressed beam with a span of 40.5 meters has an initial pre-stress force of 11701.409 kN and a total loss of pre-stressed force of 9027.349 kN or 15.951%. The control tension on the upper fiber $f_a = - 131.718$ kPa and the lower fiber tension $f_b = - 25500$ kPa meet the permit stress, which is small, equal to $f_s = - 25500$ kPa. Then, control of the deflection of the composite beam under service conditions was carried out with a permit deflection of 0.135 meters and a maximum deflection of -0.057 meters, so the analyzed bridge met the allowable deflection.

Keywords: Bridge, girder, post-tension, prestress

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan bangunan struktur yang baik digunakan untuk transportasi barang, orang. Jembatan dibangun diakibatkan adanya sungai atau superelevasi dan juga memperlancar kegiatan transportasi di jalan yang sudah ada seperti *fly over*.

Infrastruktur jembatan terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia dan berkembangnya teknologi. Perkembangan ini berdasarkan sistem struktur jembatan yang semakin kompleks dan bentang jembatan yang semakin panjang. Hal ini juga diikuti dengan perkembangan ilmu pengetahuan dalam perencanaan struktur jembatan dimulai dengan dasar dalam konstruksi sebuah infrastruktur. (Budiono, 2012)

Perkembangan teknologi beton prategang ditujukan untuk menciptakan tekanan yang permanen pada beton untuk memperbaiki kekuatan tariknya, di karenakan beton adalah bahan yang tidak mampu menahan kekuatan tarik dengan baik.

Untuk memperoleh bentang yang panjang tersebut, balok gelagar sangatlah efektif menggunakan beton prategang dibandingkan beton konvensional. Balok gelagar/*girder* adalah bagian struktur atas yang berfungsi menyalurkan beban berupa beban sendiri, beban mati, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem dan sebagainya. Dalam perencanaan beton prategang kehilangan gaya prategang harus dipertimbangkan, karena tegangan pada tendon beton prategang berkurang pada saat penarikan baja prategang dilakukan dan juga secara kontiniu seiring berjalannya waktu.

Dalam proses pembuatan balok *girder* ada 2 cara dalam pelaksanaannya yaitu dengan cara *pretensioned* dan *post-tensioned*. *Pretensioned* adalah proses dimana *strands* ditegangkan terlebih dahulu kemudian di cor sedangkan *post tensioned* adalah beton yang sudah jadi dalam bentuk *precast* disambung antar segmennya kemudian disatukan dengan *strand* dengan cara ditegangkan.

Setiap kehilangan gaya prategang akibat gesekan yang tidak diatasi harus dihitung sebagai kehilangan tambahan. Kehilangan gaya prategang yang diizinkan sekitar 20% untuk pasca-tarik dan 25% untuk pratarik, terlihat tidak jauh dari nilai yang mungkin untuk balok prategang dan gelagar. Akan tetapi akan sangat sulit untuk menyama-ratakan jumlah kehilangan gaya prategang, karena hal tersebut tergantung dari banyak factor, sifat-sifat beton dan baja, perawatan dan kelembaban, besar dan waktu penggunaan gaya prategang, dan proses prategang. (Budiadi, 2008)

Hal tersebut melatar belakangi penelitian ini untuk mengkaji “Analisa *Loss Of Prestressed* Pada Jembatan Beton Prategang *Post-Tensioned* Bentang 40,8 Meter (Studi Kasus : Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Berapa total gaya prategang dan presentase kehilangan gaya prategang ?
2. Berapa gaya prategang di awal pada saat penarikan dan gaya prategang akhir setelah mengalami kehilangan prategang rencana ?
3. Apakah tegangan izin memenuhi tegangan izin pada beton prategang?
4. Berapa lendutan yang terjadi pada saat balok sudah dalam kondisi layan?
5. Apakah lendutan yang terjadi telah memenuhi dari lendutan yang diizinkan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui kehilangan gaya prategang
2. Mengetahui gaya prategang awal dan akhir
3. Mengevaluasi terhadap tegangan izin pada beton prategang
4. Mengetahui lendutan yang terjadi pada saat kondisi transfer atau layan
5. Mengetahui lendutan yang terjadi terhadap lendutan yang diizinkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir adalah :

1. Menjadi bahan referensi pembelajaran tentang kehilangan tegangan beton prategang akibat dari *stressing* pada beton prategang *post-tensioned*.

2. Bagi peneliti, dapat menambah pengetahuan dan memperluas wawasan tentang beton prategang.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Struktur jembatan beton prategang yang ditinjau dalam penelitian ini adalah jembatan pada jalan Tol Pekanbaru-Dumai seksi 1 dengan panjang bentang 40,8 meter.
2. Sistem penarikan (*stressing*) beton prategang yang digunakan adalah pasca tarik (*post-tensioned*).
3. Analisa perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan menggunakan SNI 1725:2016.
4. Perhitungan ini tidak menghitung pembebanan akibat gaya gempa.
5. Jenis balok gelagar (*girder*) yang digunakan adalah PC I *girder*.
6. Balok gelagar (*girder*) yang digunakan merupakan produksi dari PT. HAKAASTON.
7. Penelitian ini tidak meninjau kekuatan penampang *girder* akibat geser dan puntir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan dalam analisa penelitian tugas akhir ini yang berkaitan dengan beton prategang *post-tension*. Selain itu, untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini. Maka dari itu dalam kajian pustaka terdahulu, peneliti mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut :

Harmono (2005), telah melakukan penelitian yang berjudul “*Analisis Gelagar Prestress pada Perencanaan Jembatan Akses Pulau Balang I menggunakan Software SAP 2000 V.14*”. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui analisis struktur sesuai ukuran (dimensi) standar dari pabrik pembuatan *PCI Girder*. perhitungan manual balok prategang (*PCI Girder*) dihitung dengan mengacu kepada perencanaan struktur beton untuk jembatan (SNI T-12 2004), pembebanan untuk jembatan (SNI T-02 2005), *Bridge Management System* (BMS) dan ACI. Kabel *prestress* pada desain *PCI Girder* digunakan 4 tendon yang masing-masing terdiri atas 19 kawat jenis *uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan balok prategang dengan bentang 39,80 meter dalam perhitungan manual didapat gaya prategang awal 9740,628 kN, mengalami kehilangan prategang total sebesar 30%. Tulangan memanjang balok yang digunakan pada bagian bawah 12 D13, bagian atas 10 D13, bagian badan 14 D13. Digunakan tegangan efektif 70% gaya prategang awal, sebesar 6818,440 kN. Pada keadaan transfer, balok mengalami lendutan -0,06262 meter ke arah atas, lendutan setelah *loss of prestress* sebesar -0,02386 meter ke arah atas. Saat balok menjadi komposit lendutan yang dialami sebesar -0,01440 meter ke atas.

Annur (2013), telah melakukan penelitian dengan judul “*Perencanaan Precast Concrete I Girder Pada Jembatan Prestressed Post-Tension Dengan Bantuan Program Microsoft Excel*”. Tipe girder yang digunakan adalah tipe I Girder dengan

metode *stressing* menggunakan *post-tension*. Dalam perencanaan ini panjang *girder* yang direncanakan sebesar 35,8 meter, dengan jarak balok melintang sebesar 1,85 meter dan mutu beton *girder* yang digunakan adalah K-600. Perencanaan dimensi girder disesuaikan dari tabel WKA dimana dimensi *girder* yang digunakan adalah H-170. Dari hasil analisa penampang *girder* yang mana mencari titik berat *girder* terhadap alas balok *girder* yaitu sebesar 82,013 cm. Dan pada balok komposit digunakan acuan plat sebesar 25 cm sehingga untuk balok komposit jarak titik berat balok terhadap alas balok girder didapatkan sebesar 116,007 cm. Kemudian analisa pembebanan pada *girder* yang mana menerima beban kombinasi, seperti beban mati, beban hidup dan beban angin. Akibat dari adanya beban-beban yang bekerja dan tentu akan menimbulkan momen ditengah bentang. Sehingga beban dan momen yang bekerja tersebut dijadikan satu kesatuan dan didapatkan momen ultimit di tengah bentang adaah 1405,825 tm. Jenis kabel yang digunakan *Uncoated stress relieve seven wires strand*, ASTM A 416 Grade 270 Low Relaxation dengan diameter strand 1,27 cm dan modulus elastisitas 1960000 km/cm² dan *effective section area* (*Ast*) sebesar 0,987 cm². Dengan jumlah tendon sebanyak 3 buah tendon dimana terdapat 19 buah *strand* untuk setiap tendon. Total strand yang digunakan adalah 57*strand*, kemudian besarnya *jacking force* untuk setiap tendon adalah 267230,25 kg sehingga nilai total *jacking force* yang didapat adalah sebesar 801690,75 kg. Tenggangan izin pada initial tegangan tarik yang terjadi adalah 269,406 kg/cm² dan tegangan tarik 16,914 kg/cm² sehingga dianalisa tegangan initial di tengah bentang pada bagian atas adalah 11,588 kg/cm² dan kemudian tegangan itu di kontrol di bagian bawah 205,367 kg/cm². Kehilangan tegangan pada baok prategang adalah proses menurunnya tegangan yang dapat diakibatkan oleh beton mauun tendonnya, kehilangan gaya prategang tersebut adalah Pemendekan elastis 471,07 kg, gesekan kabel sebesar 12327,816 kg, slip angker sebesar 13198,224 kg, rangkak sebesar 943,501 kg, susut sebesar 208,101 kg, relaksasi 200,617 kg. Sehingga kehilangan yang terjadi pada saat gaya dongkrak awal adalah 801690,750 kg (75%), pada saat initial adalah 752188,140 kg (70,369%), pada saat servis adalah 648263,684 kg (60,647%) sehingga total

kehilangan tersebut adalah 19,138%. Dan dalam kasus ini lendutan yang terjadi sebesar 2,163 cm dimana lendutan yang diizinkan adalah sebesar 4,375 cm.

Hardiwiyono (2013), telah melakukan penelitian yang berjudul “*Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan Menggunakan Box Girder*”. penelitian ini berlokasi di bagian jalan selokan mataram yang menghubungkan jalan gejayan dan seturan area, sleman, daerah istimewa yogyakarta. Panjang jembatan Gajah wong 40 m. Desain jembatan menggunakan I girder dan kemudian di rencanakan ulang menggunakan box girder. metode yang digunakan untuk perancangan menggunakan *Bridge Management System* (BMS) 1992. Dalam merencanakan struktur balok menggunakan *full prestressed post tensioning* berbentuk trapesium dengan ketinggian 2,5 meter dan 0,3 meter tebal pelat lantai. Kabel *prestressed* menggunakan 7 wire berdasarkan spesifikasi ASTM A-416 dan menggunakan sebanyak 28 tendon dengan banyak *strand* 1344 *strands* berukuran 101,6 mm dari VSL type E-55. Total kehilangan gaya prategang (*Loss of Prestress*) adalah 49,025%. Tegangan yang terjadi akibat gaya prategang pada keadaan awal (transfer) tegangan serat atas $f_t = -2,037 \text{ Mpa} < f_{cl} = 24 \text{ Mpa}$, tegangan pada serat bawah $f_b = -23,54 < f_{cl} = 24 \text{ Mpa}$ dan tegangan yang terjadi di keadaan akhir (*service*) pada tegangan serat atas $f_t = -12,597 \text{ Mpa} < f_{es} = 22,5 \text{ Mpa}$ dan tegangan pada serat bawah adalah $f_t = -2,527 \text{ Mpa} < f_{es} = 22,5 \text{ Mpa}$. Momen ultimit *box girder* adalah 254999,2128 kNm dan setelah dikontrol adalah 72823,18599 kNm. Dan lendutan maksimum yang terjadi adalah $\delta = 0,1667 \text{ m} > \delta_r = 0,01337 \text{ m}$. Angkur yang digunakan adalah angkur tegangan VSL tipe E5-45 jumlah strand dalam 1 tendon 48, beban putus 1 *strands* sehingga didapat tulangan angkur 10 D16.

Rizkia (2017), telah melakukan penelitian yang berjudul “*Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah dan Dua Arah pada Jembatan Beton Prategang*”. Jembatan beton prategang adalah suatu struktur konstruksi yang menghubungkan suatu tempat ke tempat lainnya yang dibuat dengan cara memberikan tegangan yang berlawanan dengan tegangan yang diakibatkan oleh beban eksternal. Proses pemberian tegangan dapat dilakukan sebelum beton dicetak (pra-tarik) atau setelah beton dicetak (pasca-tarik).

Pemberian tegangan pada beton prategang pasca-tarik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *stressing* satu arah dan dua arah. Pemberian tegangan dengan menggunakan menggunakan kedua metode *stressing* mengakibatkan kehilangan gaya prategang yang berbeda pada beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh metode *stressing* satu arah dan dua arah terhadap kehilangan gaya prategang. Analisis yang dilakukan yaitu menghitung gaya prategang, menentukan jumlah dan lintasan tendon, menghitung kehilangan prategang akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah, serta kontrol tegangan dan lendutan pada *girder*. Jenis *girder* yang digunakan pada penelitian ini adalah PC I *Girder*, PC U *Girder* dan *box girder*. Dari hasil analisis yang didapatkan hasil kehilangan gaya prategang metode *stressing* satu arah pada PC I *girder* sebesar 30,826%, PC U *girder* sebesar 30,3401% dan *box girder* sebesar 31,8852%. Kehilangan prategang metode *stressing* dua arah sebesar pada PC I *girder* sebesar 29,8397%, PC U *girder* sebesar 29,3169% dan *box girder* sebesar 31,4955%. Dapat disimpulkan bahwa kehilangan prategang pada *girder* yang menggunakan metode *stressing* satu arah lebih besar dibandingkan dengan kehilangan gaya prategang pada *girder* yang menggunakan metode *stressing* dua arah.

Batubara (2018), telah melakukan penelitian yang berjudul “*Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI)*”. Jembatan digunakan untuk menghubungkan bagian jalan yang terbagi dan terpisahkan oleh lembah, sungai, danau, kanal irigasi, rel kereta api, dan juga jalan raya. Pembangunan jembatan harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu kekakuan, defleksi, dan beban. Penelitian ini merupakan analisis struktur dan desain gelagar beton prategang dengan panjang 24 meter dan lebar 6,5 meter. Beban yang bekerja pada jembatan ini adalah beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), beban rem (TB), beban pejalan kaki (TP), dan beban angin (EW). Perhitungan menggunakan metode elemen hingga dan menggunakan aplikasi SAP 2000. Desain dari struktur jembatan mengikuti dari standarisasi indonesia SNI 1725:2016 dan RSNI T-12-2004. Hasil perancangan struktur dan analisis balok gelagar beton pratekan menggunakan 4 balok dengan tinggi 160 cm dan jarak antar balok adalah 1,83 meter, slab jembatan 20 cm, dan diafragma berukuran 20 x 165

x 125 cm. Jumlah tendon yang digunakan dalam desain ini adalah 3 tendon, setiap tendon terdiri dari 12 untaian. Besarnya gaya pratekan yang disebabkan oleh *jacking* adalah $P_j = 5351,30$ kN dengan kehilangan prategang sebesar 23,52%. Defleksi yang terjadi pada prategang balok adalah $d_{max} = 12.6$ mm ($<$ dijin = 80 mm), dan tegangan yang terjadi adalah 8696 kPa ($<$ tegangan yang diizinkan 18675 kPa).

2.2 Perbedaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Prestressed Concrete* I girder dengan bentang 40,5 meter yang berlokasi di jalan tol pekanbaru – dumai seksi 1. Adapun spesifikasi dari gelagar jembatan ini memiliki tinggi 2,1 meter dengan panjang gelagar 40,5 meter dan kuat tekan beton (f_c') = 50 Mpa yang di produksi oleh PT. Hakaaston, sedangkan untuk spesifikasi baja prategang menggunakan *uncoated 7 wires ASTM-416 Low Relaxation* dengan diameter \emptyset 12,7 mm. Metode penarikan yang dilakukan dengan cara pascatarik (*Post-Tensioned*) secara *fully prestressed* dengan membagi beberapa segmen girder.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Jembatan

Jembatan merupakan suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan untuk melewati kondisi permukaan yang ekstrim sehingga terbentuknya sungai, lembah. Namun seiring perkembangan waktu, jembatan digunakan membangun jalan yang menyilang yang ketinggiannya tidak sama atau biasanya disebut jalan susun. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitekturnal yang meliputi : Aspek lalu lintas, Aspek teknis, Aspek estetika. (Supriyadi, 2007)

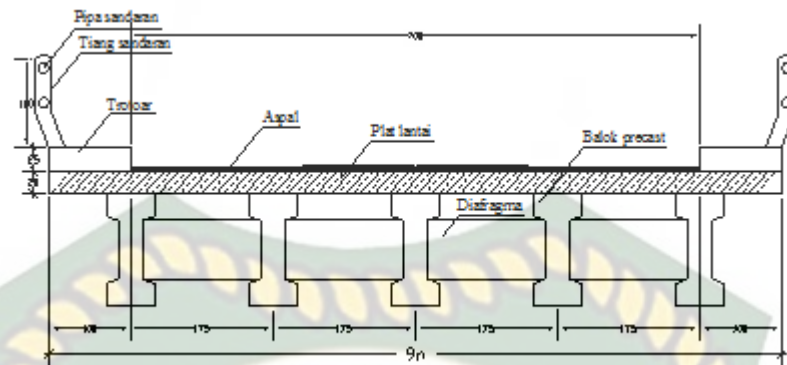
Dalam merencanakan jembatan, umur rencana sangatlah berpengaruh diperhitungkan, karena dalam memodifikasi dan merekonstruksi jembatan sangatlah tidak mudah dan juga diperlukan biaya yang mahal dan berpengaruh pada kelancaran lalu lintas pada saat pelaksanaan pekerjaan berlangsung. Jembatan pada umumnya dibangun dengan umur rencana 50-100 tahun yang mana ini berarti bahwa dalam perencanaan harus memperhitungkan kekuatan dan kemampuan untuk melayani beban yang bekerja pada jembatan, dan untuk menunjang kekuatan dan kemampuan jembatan sampai dengan umur rencananya perlu juga dilakukan pemeliharaan jembatan dengan baik dan benar.

3.2 Bagian-Bagian Konstruksi Jembatan

Konstruksi jembatan maupun itu jembatan jenis jembatan bata atau jembatan beton pada umumnya terdiri dua bagian yaitu bangunan atas dan bangunan bawah.

3.2.1 Bangunan Atas Jembatan

Bangunan atas merupakan bangunan yang menopang beban-beban yang bekerja diatas yang terletak di bagian atas konstruksi baik itu beban akibat lalu lintas, barang, orang maupun berat sendiri dari jembatan tersebut. Bagian-bagian yang merupakan bangunan atas jembatan beton bertulang adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Bangunan Atas Pada Jembatan (Budiono, 2012)

1. Pipa sandaran

Pipa sandaran berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar memberikan rasa aman bagi pengguna lalu lintas yang melewatinya, pada jembatan rangka baja dan jembatan beton bertulang pada umumnya terbuat dari pipa galvanis atau semacamnya. Dalam merencanakan tiang sandaran harus memperhitungkan beban-beban yang bekerja baik untuk arah melintang (horizontal) maupun vertikal pada masing-masing sandaran.

2. *Barrier*

Barrier sama halnya dengan pipa sandaran yang berfungsi untuk membatasi lebar suatu jembatan, akan tetapi *barrier* bisa juga berfungsi untuk pemagi lajur pada jalan dan jembatan. Pada umumnya *barrier* dibuat dari beton bertulang. Pada laporan akhir ini, tinggi *barrier* adalah 130 cm dengan lebar 50 cm.

3. Lantai kendaraan

Lantai kendaraan merupakan pelat yang berfungsi sebagai lintasan utama yang dilalui kendaraan, lebar jalur kendaraan diperkirakan sesuai standar yang digunakan agar jalan kendaraan dapat lebih leluasa, pada umumnya lebar jalur lalu lintas rencana memiliki lebar minimal yaitu 2,75 meter.

4. Gelagar Melintang (*Girder*)

Gelagar melintang berfungsi untuk menerima dan menahan gaya yang bekerja pada jembatan yang kemudian menyalurkan beban tersebut ke pilar.

5. Ikatan angin Atas/Bawah

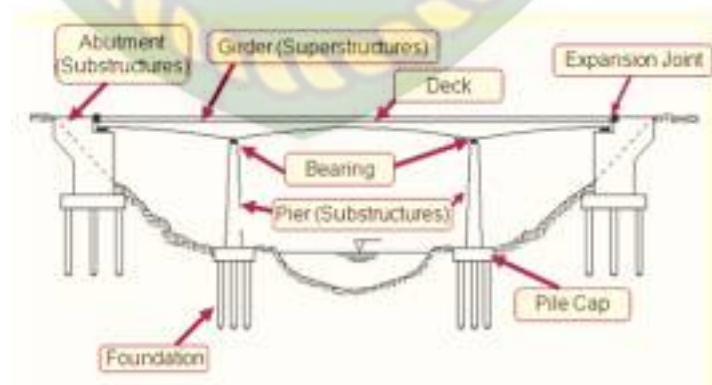
Ikatan angin berfungsi untuk menahan dan menerima gaya yang bekerja diakibatkan oleh angin supaya jembatan tersebut stabil.

6. Landasan/Perletakan

Landasan atau perletakan dibuat untuk menerima gaya dari jembatan tersebut secara horizontal dan vertikal yang mana kemudian menyalurkan bangunan dibawahnya. Dalam jembatan ada dua macam perletakan yaitu perletakan sendi dan perletakan rol. Dan ada dibuat kaku dan elastis. elastomer terbuat dari karet alam dan pelat baja yang dikat bersatu dengan bentuk persegi ataupun sirkular. Adapun fungsi dari elastomer ini yaitu bantalan berlapis yang memikul beban-beban vertikal maupun horizontal dari gelagar jembatan sebagai penyerap getaran yang terjadi.

3.2.2 Bangunan Bawah Jembatan

Setelah bangunan atas mengalami pembebanan yang bekerja di atasnya, kemudian disalurkan beban yang berkerja tersebut ke bangunan bawah. Berikut bagian bagian bangunan bawah pada jembatan, dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bangunan Bawah Pada Jembatan (Budiono, 2012)

1. Pondasi

Pondasi merupakan suatu konstruksi pada bagian dasar bangunan yang berfungsi menyalurkan beban yang bekerja diatas struktur bangunan ke lapisan tanah.

2. Pilar

Pilar berfungsi untuk menyalurkan gaya yang bekerja pada bangunan struktur atas, gaya-gaya yang bekerja merupakan gaya vertical dan horizontal.

3.3 Jembatan Beton Prategang

Jembatan beton prategang merupakan beton bertulang seperti pada biasanya. Akan tetapi, ditambah dengan baja mutu tinggi dan beton mutu tinggi untuk menahan kekuatan tekanan. Kombinasi ini berakibat baik untuk konstruksi jembatan karena pada umumnya beton bertulang tidak baik menerima beban tarik.

3.3.1 Beton Prategang

Seiring dengan berkembangnya kemajuan teknologi bahan, penggunaan bahan pembuatan jembatan dengan jenis bahan kayu sudah banyak ditinggalkan karena masalah dampak lingkungan dan *deforestasi*. Dan juga sekarang banyak menggunakan bahan beton dan baja. Akan tetapi bahan beton dianggap kurang efektif dalam menahan tarik dan baja dianggap kurang efektif dalam menahan atau menerima tekan. Maka dari itu, dibuatlah suatu teknologi yang bisa menerima tarik dan tekan yang disebut beton prategang sehingga struktur jembatan ini masih di anggap relatif baru. Eugene Freyssinet merupakan orang yang pertama kali memperkenalkan teknologi tersebut yang mana ia menggunakan kawat baja berkekuatan tinggi dan beton mutu tinggi, sehingga pada tahun 1928 penemuannya terhadap beton prategang di patenkan. (Supriyadi, 2007)

Beton prategang merupakan jenis beton yang mana bajanya ditarik/ditegangkan terhadap betonnya sehingga beton mengalami tegangan-tegangan internal dengan besar serta di distribusikan sesuai tegangan yang diberikan oleh beban luar sampai suatu titik yang diinginkan.

Penarikan ini menghasilkan kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat terhadap tekan dan lemah menahan tarik maka kemampuan menahan luar dapat ditingkatkan dengan memberikan gaya prategang. Pada elemen beton bertulang, sistem prategang dilakukan dengan menarik tulangnya sehingga berkurangnya retak pada beton dan elemen beton prategang akan menjadi lebih kokoh dari elemen beton bertulang pada umumnya. (Supriyadi, 2007)

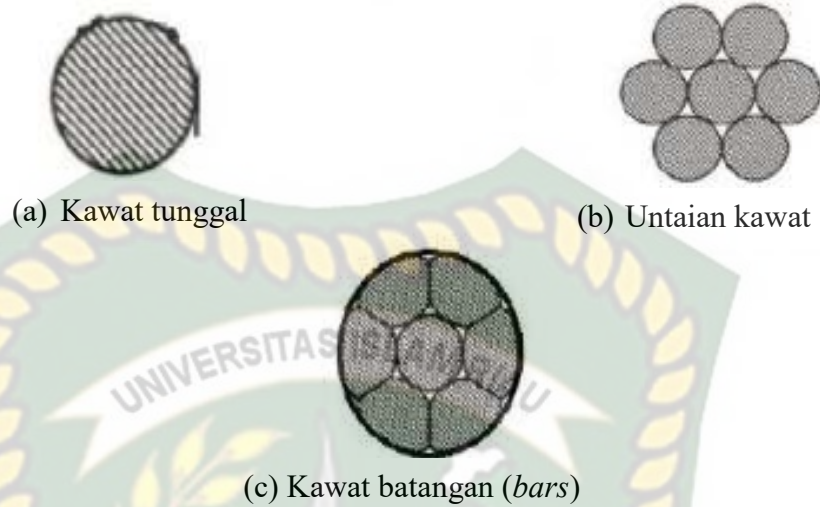
Keuntungan yang diperoleh dari beton prategang ini adalah dimensinya menjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang biasa untuk bentang dan beban yang sama. Maka dari itu penggunaan penggunaan beton prategang lebih efektif untuk bentang yang panjang. Pada umumnya tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi struktur komponen beton bertulang. (Supriyadi, 2007)

3.3.2 Baja Prategang

Penggunaan baja tulangan (tendon) yang bermutu tinggi cocok digunakan untuk beton prategang. Penggunaan baja mutu tinggi tidak hanya suatu keuntungan, tetapi suatu keharusan agar baja tersebut tidak putus saat ditegangkan. Prategang akan menghasilkan bentang yang lebih panjang dengan dimensi yang kecil dibandingkan dengan beton bertulang biasa.

Baja tendon dilapangan dalam pengaplikasian beton prategang ada tiga macam, yaitu :

1. Kawat tunggal (*wires*), kawat ini hanya menjadi satu bagian belum digabungkan biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pra tarik (*pratensioned*).
2. Kawat untaian (*strand*), kawat ini merupakan gabungan dari *wires* yang biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pasca-tarik (*post-tensioned*).
3. Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pratarik (*pra-tensioned*).



Gambar 3.3 Jenis-Jenis Baja yang Digunakan untuk Beton Prategang :
 (a) Kawat Tunggal (*wires*). (b) Untaian Kawat (*strand*). (c) Kawat Batangan (*bars*). (Nawy, 2001)

Kawat tunggal yang digunakan pada beton prategang mengikuti spesifikasi dari ASTM A 421. Kawat tunggal memiliki bermacam variasi ukuran dengan diameter 3 – 8 mm, tegangan tarik (f_p) diantara 1500 – 1700 Mpa, dengan modulus elastisitasnya adalah $E_p = 200 \times 10^3$ Mpa.

Sedangkan untaian kawat (*strand*) banyak digunakan untuk beton prategang yang metode penarikannya dengan sistem pasca tarik. Untaian kawat yang dipakai harus memenuhi syarat seperti yang terdapat pada ASTM A 416. Untaian kawat yang digunakan pada umumnya memiliki dua kualitas yang berbeda yaitu *Grade 250* dan *Grade 270*, tegangan tariknya yaitu antara 1750 – 1860 Mpa dan modulus elastisitasnya adalah $E_p = 195 \times 10^3$ Mpa.

Tabel 3.1 Tipikal Baja Prategang

| Jenis Material | Diameter (mm) | Luas (mm ²) | Beban Putus (kN) | Tegangan Tarik (Mpa) |
|---------------------------------|---------------|-------------------------|------------------|----------------------|
| Kawat Tunggal (<i>wire</i>) | 3 | 7,1 | 13,5 | 1900 |
| | 4 | 12,6 | 22,1 | 1750 |
| | 5 | 19,6 | 31,4 | 1600 |
| | 7 | 38,5 | 57,8 | 1500 |
| | 8 | 50,3 | 70,4 | 1400 |
| Untaian Kawat (<i>Strand</i>) | 9,3 | 54,7 | 102 | 1860 |
| | 12,7 | 100 | 184 | 1840 |
| | 15,2 | 143 | 250 | 1750 |
| Kawat Batangan (<i>Bar</i>) | 23 | 415 | 450 | 1080 |
| | 26 | 530 | 570 | 1080 |
| | 29 | 660 | 710 | 1080 |
| | 32 | 804 | 870 | 1080 |
| | 38 | 1140 | 1230 | 1080 |

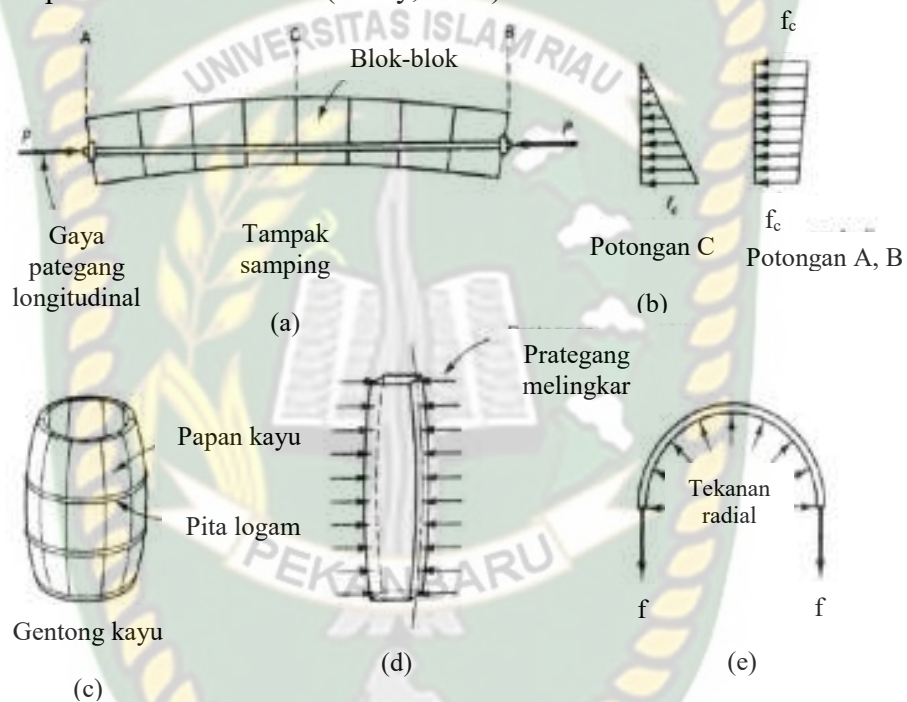
(Sumber: Nawy, 2001)

3.3.3 Prinsip Dasar Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam menahan beban tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya. Karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi dan mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentrisitas diberikan pada arah longitudinal pada elemen struktur. Gaya ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagikan tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban

kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur dan geser dan torsi penampang tersebut.

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti diatas disebut gaya prategang. Gaya prategang merupakan gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang di sepanjang bentang elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien. (Nawy, 2001)



Gambar 3.4 Prinsip-prinsip Prategang Linier dan Melingkar. (a) Pemberian prategang linier pada sederetan blok untuk membentuk balok. (b) Tegangan tekan di penampang tengah bentang C dan penampang atau B. (c) Pemberian prategang melingkar pada gentong kayu dengan pemberian tarik pada pita logam. (d) prategang melingkar pada satu papan kayu. (e) Gaya tarik F pada tengah pita logam akibat tekanan internal, yang harus diimbangi oleh prategang melingkar. (Nawy, 2001)

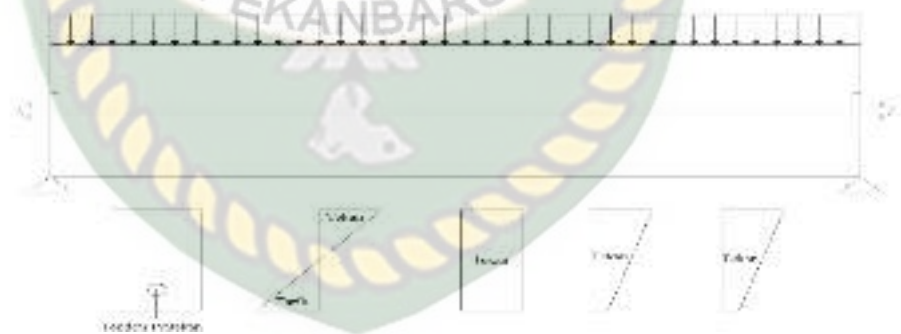
Balok-balok beton bekerja bersama sebagai balok akibat pemberian gaya prategang tekanan P yang besar. Meskipun balok-balok tersebut tergelincir dalam arah vertikal mensimulasikan kegagalan gelincir geser pada kenyataan tidak sedemikian rupa karena adanya gaya longitudinal P.

3.3.4 Konsep Prategang

Untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang, ada tiga konsep yang dipakai menurut Lin (1982), yaitu :

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

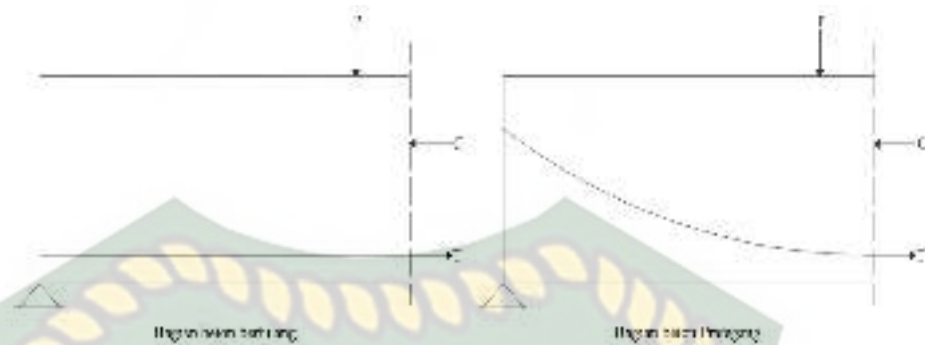
Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan elastis. Ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang menjelaskan bahwa beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan diri bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini lahirlah kriteria tidak ada tegangan tarik pada beton. umumnya beton telah diketahui bahwa tidak ada tekanan tarik pada beton, berarti tidak ada terjadi retak, beton bukan merupakan bahan yang getas lagi melainkan bahan yang elastis. Maka dari itu untuk menggambarkan distribusi tegangan menurut konsep ini dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris. (Wiyono, 2019)

2. Sistem Prategang Untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton.

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarik dan beton menahan desakan. Dengan demikian kedua bahan membentuk tahanan momen eksternal, lihat pada gambar 3.6.

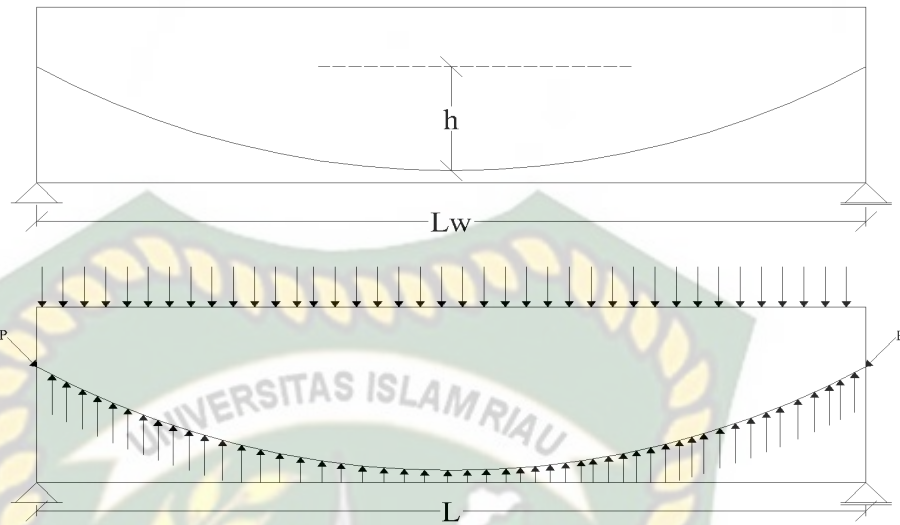


Gambar 3.6 Momen Tahanan Internal Pada Balok Beton Prategang dan Beton Betulang (Supriyadi, 2000)

3. Sistem Prategang untuk Mencapai Perimbangan Beban.

Konsep ini menggunakan prategang sebagai usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya beton sepanjang bentang.

Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis struktur yang rumit. Penerapan konsep ini menganggap diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang, dijelaskan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Balok Prategang dengan Tendon Parabola (Wiyono, 2019)

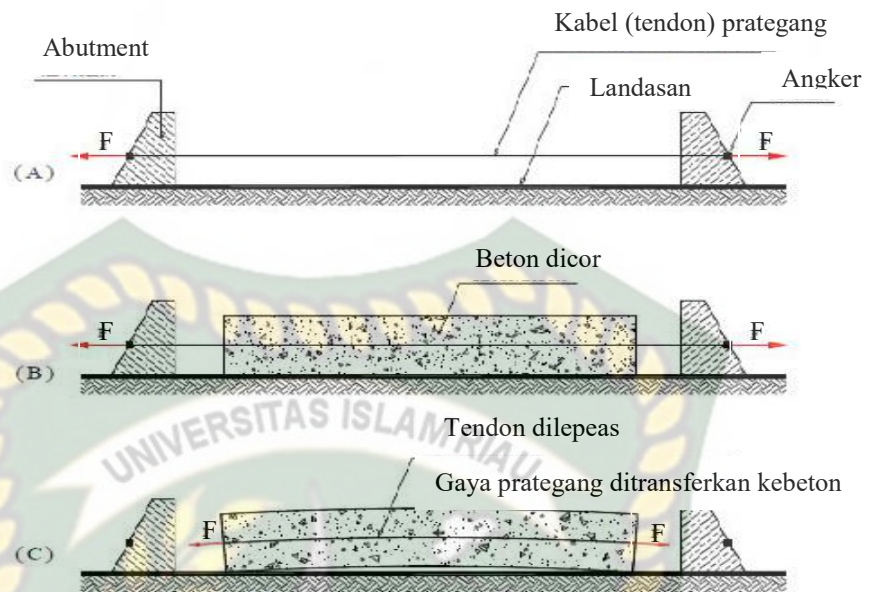
3.3.5 Metode Prategang

Pada umumnya ada dua macam metode yang digunakan dalam pemberian gaya prategang pada beton prategang, yaitu :

1. Pratarik (*Pre-Tensioning*)

Pada metode ini baja prategang terlebih dahulu ditarik sebelum dicor. Setelah beton mengering dan cukup umur dan kuat untuk menerima gaya prategang, tendon di potong dan dilepas, sehingga gaya prategang di transfer ke beton.

Metode ini digunakan untuk beton-beton pracetak dan biasanya digunakan untuk konstruksi yang kecil. Beton pracetak biasanya ditemukan pada konstruksi bangunan kolom gedung, tiang pondasi, dan tiang listrik. Adapun prinsip dari pratarik dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Beton Prategang Menggunakan Metode Pratarik

(Supriyadi, 2000)

Adapun penjelasan dari gambar 3.8 adalah :

- a. Kabel (tendon) diberikan gaya prategang, kemudian diberi angkur.
- b. Beton di cor pada cetakan yang telah disediakan sehingga beton melingkupi tendon yang sudah diberikan gaya prategang mengering.
- c. Setelah beton mengering dan cukup kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton.

2. Pasca tarik (*Post-Tensioning*)

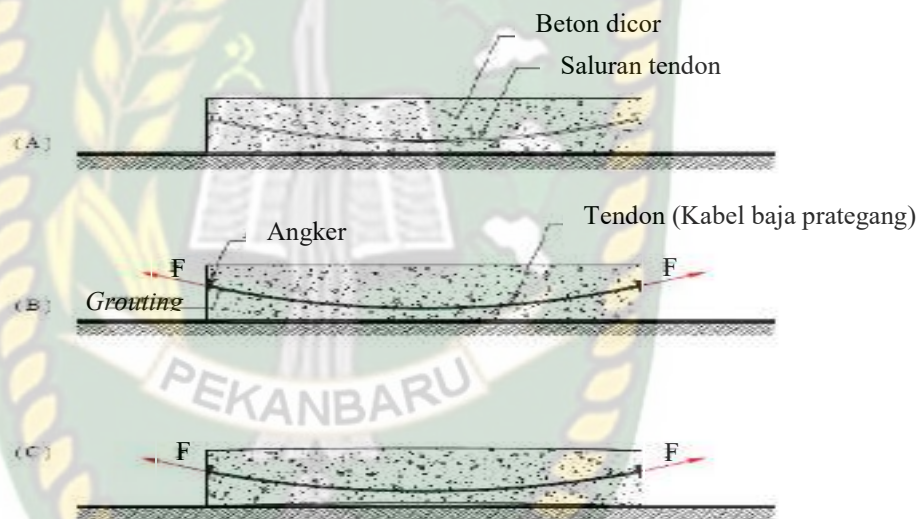
Kebanyakan pelaksanaan beton prategang dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. *Post-Tensioning* kebanyakan digunakan untuk membangun jembatan yang mana konstruksi beton prategang dibuat secara segmental.

Adapun metode dalam pelaksanaan pekerjaan beton prategang dengan sistem pasca tarik (*post-tensioning*) adalah sebagai berikut :

- a. Selongsor kabel tendon dimasukkan dengan posisi yang benar pada cetakan beton beserta atau tanpa tendon dengan salah satu ujungnya

diberi ankur hidup dan ankur mati atau dengan ankur hidup dan ankur hidup.

- b. Beton dicor dan dibiarkan mengeras hingga mencapai umur yang mencukupi.
- c. Dongkrak hidrolik dipasang pada ankur hidup dan kabel tendon ditarik hingga mencapai tegangan atau gaya yang direncanakan.
- d. Untuk mencegah kabel tendon kehilangan tegangan akibat slip pada ujung ankur dipasangkan baji. Gaya tarik akan berpindah pada beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi ankur. Adapun konsep pasca tarik ini dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Konsep Pasca-Tarik (Supriyadi, 2000)

3.3.6 Balok Gelagar (*Girder*)

Girder merupakan struktur bagian atas pada jembatan yang berfungsi menyalurkan beban yang bekerja di atasnya seperti berat sendiri *girder*, beban kendaraan, dan beban-beban lainnya. *Girder* memiliki banyak bentuk diantaranya :

1. PC *Voided Slab*

PC *Voided Slab* merupakan *girder* pada jembatan yang menggabungkan fungsi *girder* sekaligus *slab*. PC *Voided Slab* biasanya digunakan pada jembatan bentang pendek. Gambar PC *Voided Slab* dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 PC *Voided Slab* (Wika CLT, 2019)

2. PC I *Girder*

PC I *Girder* merupakan *girder* jembatan yang berbentuk I dengan penampang bagian tengah lebih langsing dibandingkan bagian pinggir. PC I *Girder* memiliki berat sendiri yang relatif ringan persegmennya, oleh karena itu lebih banyak digunakan dikarenakan lebih ekonomis.

Gambar PC I *girder* dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 PC I *Girder* (Sumber: Hasil Penelitian, 2019)

3. PC U *Girder*

PC U *girder* merupakan *girder* jembatan yang memiliki bentuk penampang yang lebar namun pada bagian tengah bentang penampangannya cukup langsing. Berdasarkan dari bentuknya, PC U *girder* cukup memenuhi nilai estetika jembatan. Gambar PC U *girder* dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 PC U girder (Wika CLT, 2019)

4. *Box girder*

Box girder merupakan *girder* jembatan yang dalam spesifikasi produksi tidak memiliki batasan panjang bentang. Dalam pekerjaan, *box girder* terlebih dahulu dilakukan *erection* menggunakan *lunch crane* yang diangkat persegmen. Gambar *box girder* dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 *Box girder* (Wika CLT, 2019)

3.4 Pembebanan Jembatan

Pembebanan sangat penting dalam merencanakan dan menganalisa suatu jembatan maka dari itu diperlukan dasar-dasar yang ditetapkan untuk menjadi patokan dalam perencanaan tersebut. Peraturan pembebanan sering kali berubah seiring dengan perkembangan teknologi, di indonesia pembebanan jembatan mengacu pada *Bridge Management System* tahun 1992 tentang Panduan

Perencanaan Jembatan dan SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan yang mendasari analisa penelitian ini. Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini dianggap sebagai satu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Berikut berat isi untuk beban mati diberikan pada tabel 3.2. yang mana beban jembatan tersebut terbagi atas :

Tabel 3.2 Berat Isi untuk Beban Mati

| No. | Bahan | Berat isi (kN/m ³) | Kerapatan massa (kg/m ³) |
|-----|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Lapisan permukaan beraspal | 22,0 | 2245 |
| 2 | Besi tuang | 71,0 | 7240 |
| 3 | Timbunan tanah dipadatkan | 17,2 | 1755 |
| 4 | Kerikil dipadatkan | 18,8-22,7 | 1920-2315 |
| 5 | Beton aspal | 22,0 | 2245 |
| 6 | Beton ringan | 12,25-19,6 | 1250-2000 |
| 7 | Beton $f'c < 35$ Mpa | 22,0-25,0 | 2320 |
| | $35 < f'c < 105$ Mpa | $22+0,022 f'c$ | $2240+2,29 f'c$ |
| 8 | Baja | 78,5 | 7850 |
| 9 | Kayu | 7,8 | 800 |
| 10 | Kayu keras | 11,0 | 1125 |

(Sumber: SNI 1725:2016)

3.4.1 Berat Sendiri

Berat sendiri merupakan berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan lain dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

| Tipe beban | Faktor beban (γ_{MS}) | | | |
|------------|---|------|---|------------|
| | Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S) | | Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U) | |
| | Bahan | | Biasa | Terkurangi |
| Tetap | Baja | 1,00 | 1,10 | 0,90 |
| | Alumunium | 1,00 | 1,10 | 0,90 |
| | Beton pracetak | 1,00 | 1,20 | 0,85 |
| | Beton dicor di tempat | 1,00 | 1,30 | 0,75 |
| | Kayu | 1,00 | 1,40 | 0,70 |

(Sumber: SNI 1725:2016)

Untuk menentukan berat sendiri tersebut ada beberapa pembebanan yang bekerja yaitu beban berat diafragma, pelat lantai dan berat balok prategang. Diafragma pada gelagar beton prategang ini sebagai pengkaku antar gelagar dengan yang lainnya. Maka didapatkan perhitungan beban yang bekerja pada gelagar menggunakan rumus persamaan 3.1 dan persamaan 3.2.

$$M_{Max} = (1/2 \times n \times X_n - X_o) \times W \quad (3.1)$$

Dimana :

 M_{max} = Momen maksimal diafragma di tengah bentang (kNm)

n = Jumlah diafragma

 X_n = Jarak diafragma (m) X_o = jarak diafragma ujung (m)

W = Berat diafragma (kN)

$$Q_{diafragma} = 8 \times M_{max}/L \quad (3.2)$$

Dimana :

 $Q_{diafragma}$ = berat diafragma ekivalen (kN/m) M_{max} = Momen maksimal diafragma di tengah bentang (kNm)

L = Panjang Bentang gelagar (m)

Kemudian untuk menentukan beban mati yang terjadi pada balok prategang dapat diperhitungkan dengan rumus persamaan 3.3 dan persamaan 3.4.

$$W_{\text{balok}} = A \times L \times W_c \quad (3.3)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W_{\text{balok}} &= \text{Berat balok prategang (kN)} \\ A &= \text{Luas penampang balok prategang (m}^2\text{)} \\ L &= \text{Panjang Bentang Balok Prategang (m)} \\ W_c &= \text{Berat isi beton balok prategang (kN/m}^2\text{)} \\ Q_{\text{balok}} &= W_{\text{balok}}/L \end{aligned} \quad (3.4)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok}} &= \text{Beban merata pada balok prategang (kN/m)} \\ W_{\text{balok}} &= \text{Berat balok prategang (kN)} \\ L &= \text{Panjang bentang balok prategang (m)} \end{aligned}$$

3.4.2 Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh baha yang membentuk suatu benda pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang, semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan.

Tabel 3.4 Faktor beban untuk beban mati tambahan

| Tipe beban | Faktor beban (γ_{MS}) | | | |
|------------|---|---------------------|---|------------|
| | Keadaan batas layan (γ_{MA}^S) | | Keadaan batas ultimit (γ_{MA}^U) | |
| | Keadaan | | Biasa | Terkurangi |
| Tetap | Umum | 1,00 ⁽¹⁾ | 2,00 | 0,70 |
| | Khusus | 1,00 | 1,40 | 0,80 |

Catatan⁽¹⁾ : Faktor beban layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas

(Sumber: SNI 1725:2016)

Menurut SNI 1725:2016 Pasal 7.3.1 menjelaskan bahwa semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Dan untuk perhitungan beban mati tambahan pada lapisan aspal dapat menggunakan rumus persamaan 3.5

$$Q_{ms} = A \times W \quad (3.5)$$

Dimana :

Q_{ms} = Beban merata akibat berat aspal (kN/m)

A = Luas penampang aspal (m²)

W = Berat jenis aspal (kN/m³)

Berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 7.3.2 saran lain di jembatan, pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus di hitung seakurat mungkin. Seperti berat pipa saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lain sehingga dapat diartikan sebagai beban air hujan merupakan beban mati tambahan.

3.4.3 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar lajur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan pada lebar lajur kendaraan itu sendiri. Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

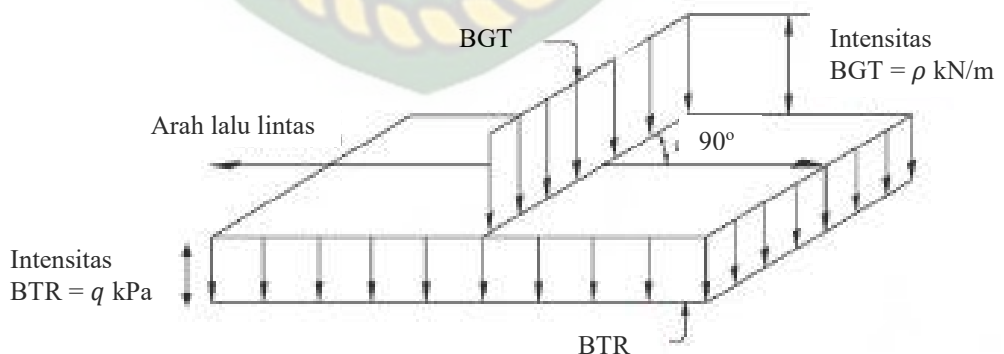
Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

| Tipe jembatan (1) | Lebar bersih jembatan (2) (mm) | Jumlah lajur lalu lintas rencana (n) |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Satu jalur | $3000 \leq w < 5250$ | 1 |
| Dua arah, tanpa median | $5250 \leq w < 7500$ | 2 |
| | $7500 \leq w < 10000$ | 3 |
| | $10000 \leq w < 12500$ | 4 |
| | $12500 \leq w < 15250$ | 5 |
| | $w \geq 15250$ | 6 |
| | $5500 \leq w < 8000$ | 2 |
| | $8250 \leq w < 10750$ | 3 |
| | $11000 \leq w < 13500$ | 4 |
| | $13750 \leq w < 16250$ | 5 |
| | $w \geq 16500$ | 6 |
| Catatan (1) untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan oleh instansi yang berwenang. Catatan (2) lebar lajur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dengan median untuk banyak arah. | | |

(Sumber: SNI 1725:2016)

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada gambar 3.14.

**Gambar 3.14** Beban Lajur “D” (SNI 1725:2016)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L , seperti persamaan 3.6 dan 3.7.

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} = 9,0 \text{ kN} \quad (3.6)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (3.7)$$

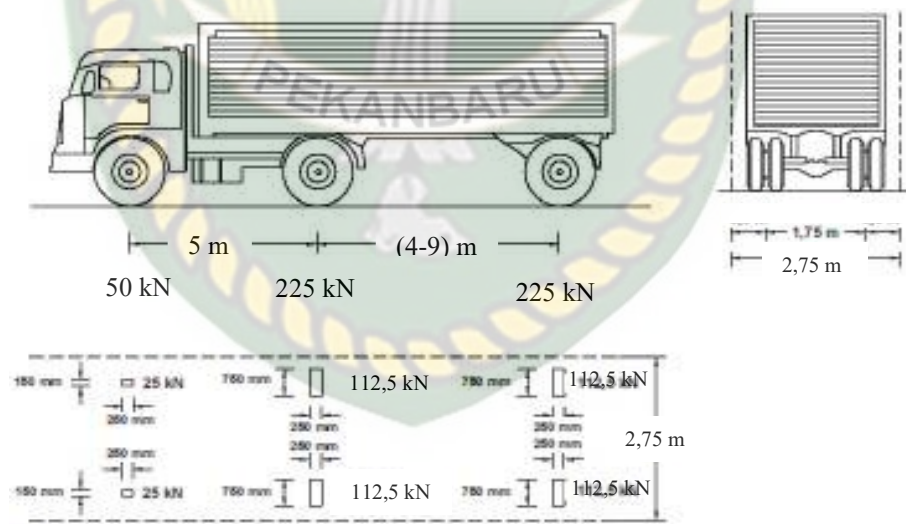
Dimana :

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan

L = Panjang jembatan (m)

Beban garis (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menetus. BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Pembebanan Truk "T" (500 kN) (SNI 1725:2016)

Pada gambar ini menjelaskan bahwa berat dari masing-masing gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besan yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diganti antara 4,00 m sampai dengan 9,00 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

3.4.4 Faktor Beban Dinamis (FBD)

Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan Truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam friksi dari beban statis. FBD diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit.

Untuk pembebanan “D”, FBD merupakan fungsi dari panjang bentang ekuivalen dapat ditentukan menggunakan menggunakan gambar 3.16 dan untuk menentukan bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan bentang sebenarnya. Dalam menentukan bentang ekuivalen tersebut dapat menggunakan rumus persamaan 3.7

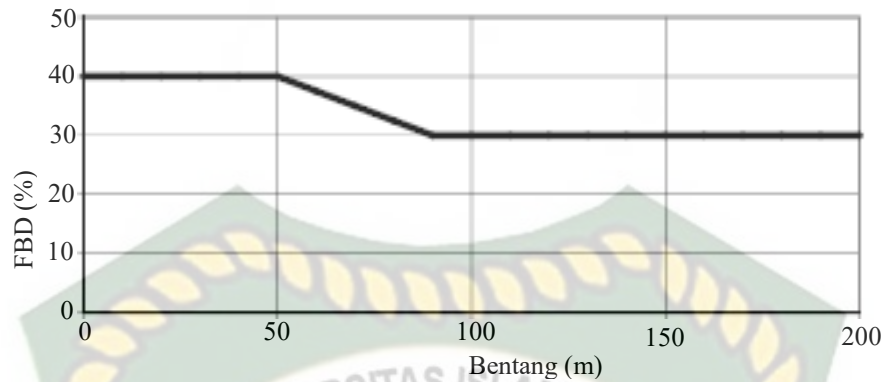
$$LE = \sqrt{L_{max} \times L_{av}} \quad (3.7)$$

dimana :

L_{av} = bentang panjang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

L_{max} = panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung secara menerus.

Untuk pembebanan “T”, FBD diambil sebanyak 30% yang dihitung pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 meter. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bagian seutuhnya.



Gambar 3.16 Faktor Beban Dinamis (FBD) (SNI 1725:2016)

3.4.5 Gaya Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau;
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.



Gambar 3.17 Gaya Rem (TB) (Sumber : SNI 1725:2016)

3.4.6 Beban Lingkungan

Aksi lingkungan merupakan akibat dari alam yang mana pengaruhnya tersebut akibat dari temperatur, angin, gempa dan penyebab alamiah lainnya.

- Pengaruh Temperatur/suhu

Pengaruh temperatur dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung temperatur dan sambungan plat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut.

Tabel 3.6 Variasi Temperatur Rata-Rata Jembatan

| Tipe Superstruktur | Temperatur Jembatan Rata-Rata minimum | Temperatur Jembatan Rata-Rata Maksimum |
|--|---------------------------------------|--|
| Lantai beton diatas gelagar atau <i>box</i> beton | 15°C | 40°C |
| Lantai beton diatas gelagar, <i>box</i> atau rangka baja | 15°C | 40°C |
| Lantai pelat diatas gelagar, <i>box</i> , atau rangka baja | 15°C | 40°C |

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tabel 3.7 Koefisien Termal Material

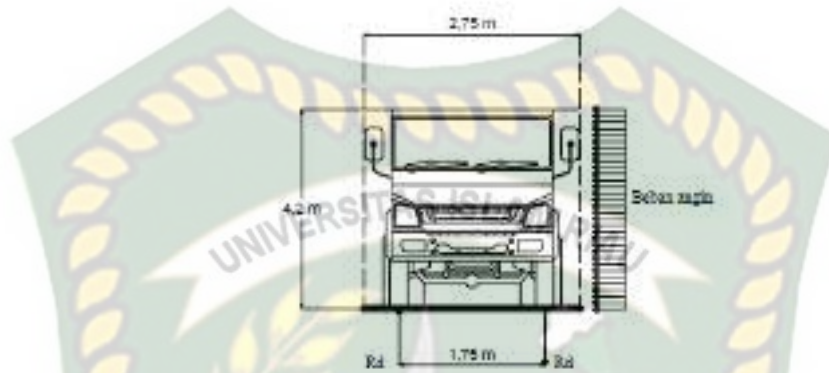
| Bahan | Koefisien perpanjangan akibat suhu (α) | Modulus Elastisitas (MPa) |
|-------------------------|---|---------------------------|
| Baja | $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | 200.000 |
| Beton : | | |
| $F_c' < 30 \text{ Mpa}$ | $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | $4700\sqrt{f_c'}$ |
| $F_c' > 30 \text{ Mpa}$ | $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | $4700\sqrt{f_c'}$ |

(Sumber: SNI 1725:2016)

- b. Variasi perbedaan temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemasangan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam.
2. Beban Angin

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun kendaraan yang melintasi jembatan tersebut. Jembatan harus direncanakan dapat memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan,

dimana tekanan tersebut telah diatur sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, dan tegak lurus pada kendaraan dan bekerja dengan ketinggian 1800 mm dari permukaan jalan.



Gambar 3.18 Beban Angin (Sumber : SNI 1725:2016)

3.5 Perhitungan Struktur Beton Prategang

Perhitungan struktur beton prategang bertujuan untuk menentukan nilai tegangan yang akan diberikan ke *strand* atau Tendon, menentukan eksentrisitas, dan lintasan tendon.

3.5.1 Gaya Prategang

Gaya prategang merupakan pemberian tegangan berupa tekan ke penampang beton prategang di sepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup. Gaya prategang ini berfungsi untuk mengurangi dan menghilangkan tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja yang menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

Pemberian gaya prategang tidak pada pusat penampang, akan tetapi pada titik eksentrisitas penampang, maka ada tambahan tegangan akibat eksentrisitas tersebut menggunakan persamaan 3.8 dan persamaan 3.9.

$$\text{Tegangan akibat prategang adalah : } -\frac{P}{A} + \frac{P.e}{W} \quad (3.8)$$

$$\text{Tegangan akibat beban luar : } \frac{M}{W} \quad (3.9)$$

Resultan tegangan di serat tarik dibuat sama dengan nol untuk struktur *fully prestressed* (prategang penuh) sementara untuk yang *partial*

prestressed (prategang sebagian) disesuaikan dengan tegangan ijinnya dengan tekan tegangan tarik tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan. Untuk mencari tegangan yang terjadi pada balok dalam menggunakan rumus persamaan 3.10

$$f_b = -\frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e}{W} \pm \frac{M}{W} \quad (3.10)$$

Dimana :

f_b : tegangan diserat tertekan / bawah (Mpa = N/mm²)

A : Luas Penampang (mm²)

P : gaya prategang (N)

e : eksentrisitas penampang (mm)

M : momen akibat beban luar (N.mm)

W : momen tahan (mm²)

Dengan penjabaran rumus persamaan 3.11.

$$I_x = \sum(A x (Y - Y_b)^2) + \sum I_o \quad (3.11)$$

Dan rumus persamaan 3.12 :

$$W = \frac{I_x}{y} \quad (3.12)$$

Dimana :

I_x : Momen Inersia pada titik berat (m⁴)

Y : jarak titik tengah penampang (m)

Y_b : Letak titik berat (m)

I_o : Jumlah Momen Inersia tiap segmen (m⁴)

3.5.2. Tegangan Izin Pada Beton Prategang

Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan prategang sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampui nilai dari rumus persamaan 3.13 dan persamaan 3.14.

a. Tegangan izin serat tekan = $0,6 \times f_{c(\text{awal})}$ (3.13)

b. Tegangan izin serat tarik = $0,5 \times \sqrt{f_{c(\text{awal})}}$ (3.14)

Tegangan pada beton saat beban layan (setelah mengalami semua kehilangan prategang) tidak boleh melampaui nilai dari persamaan 3.15 dan persamaan 3.16.

$$a. \text{ Tegangan izin serat tekan} = 0,45 \times f_c \quad (3.15)$$

$$b. \text{ Tegangan izin serat tarik} = 0,5 \times \sqrt{f_c} \quad (3.16)$$

3.5.3 Lintasan Inti Tendon

Dalam menentukan lintasan inti tendon dapat menggunakan rumus persamaan 3.17.

$$Y = \left(\frac{4 \cdot f_i \cdot X}{L^2} \right) \cdot (L - X) \quad (3.17)$$

Dimana :

Y = Persamaan lintasan tendon

X = jarak yang ditinjau (m)

L = panjang bentang jembatan (m)

$f_i = e_s =$ Eksentrisitas tendon (m)

3.5.4 Sudut angkur

Dalam menentukan sudut angkur pada balok prategang digunakan rumus persamaan 3.18, persamaan 3.19

$$\alpha = ATAN \left(\frac{dY}{dX} \right) \quad (3.18)$$

$$\frac{dY}{dX} = \frac{4 \cdot f_i \cdot (L - 2 \cdot X)}{L^2} \quad (3.19)$$

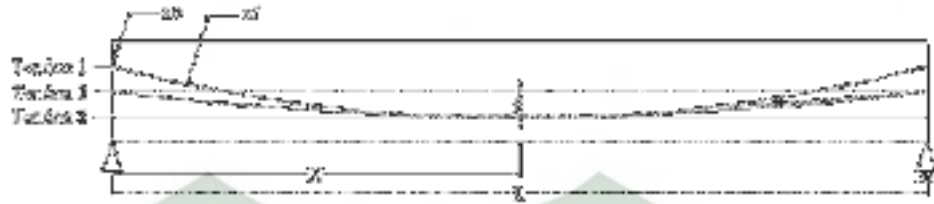
Untuk $X=0$ (posisi angkur di tumpuan), maka digunakan persamaan 3.20:

$$\frac{dY}{dX} = \frac{4 \cdot f_i}{L} \quad (3.20)$$

3.5.5 Tata letak dan Trace Tendon

Dalam menentukan tata letak dan *trace* tendon dapat menggunakan rumus persamaan 3.21

$$z_o = z_i' - \left[\left(\frac{4 \cdot f_i \cdot X}{L^2} \right) \cdot (L - X) \right] \quad (3.21)$$



Gambar 3.19 Tata Letak dan *Trace* Tendon (Sumber : Budiadi, 2008)

Gambar 3.19 menjelaskan bahwa z_o merupakan titik tendon di ujung sedangkan z_i merupakan titik tendon setelah mengalami perlengkungan.

3.5.6 Kehilangan Tegangan Gaya Prategang

Kehilangan tegangan adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan. Didalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat dari penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Dengan begitu suatu kenyataan bahwa gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif selama waktu kurang leboh lima tahun. Pada akhirnya, reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu :

1. Kehilangan elastis segera yang terjadi pada saat proses fabrikasi atau konstruksi, yang mana termasuk juga perpendekan beton secara elastis, gesekan sepanjang kelengkungan tendon pada struktur pascatarik, selip pada ankur.
2. Kehilangan yang bergantung pada waktu disebabkan oleh perpendekan dari beton pada level baja akibat rangkakan dan penyusutan beton serta relaksasi dari baja. Akan tetapi semuanya dapat ditentukan pada kondisi limit tegangan akibat beban kerja di elemen beton prategang.

$$P_j \xrightarrow[\text{(Immediate Losses)}]{\text{Kehilangan Langsung}} P_i \xrightarrow[\text{(Time Dependent Losses)}]{\text{Kehilangan Tergantung Waktu}} P_e$$

Gaya Prategang Awal (Jacking Force) Gaya Prategang Sesaat Setelah Transfer (Initial Force) Gaya Prategang Akhir/efektif (Final/Dependent Force)

Gambar 3.20 Ilustrasi Kehilangan Prategang (Budiadi, 2008)

Penentuan secara tepat besarnya semua kehilangan tersebut khususnya yang bergantung pada waktu sulit dilakukan kehilangan tersebut bergantung pada berbagai faktor yang saling berkaitan. Metode-metode empiris untuk memperkirakan kehilangan berbeda-beda menurut peraturan atau rekomendasi, seperti metode *Prestressed Concrete Institute*, komite gabungan ACI-ASCE, AASHTO, cara *Comite Eurointernationale du Beton* (CEB).

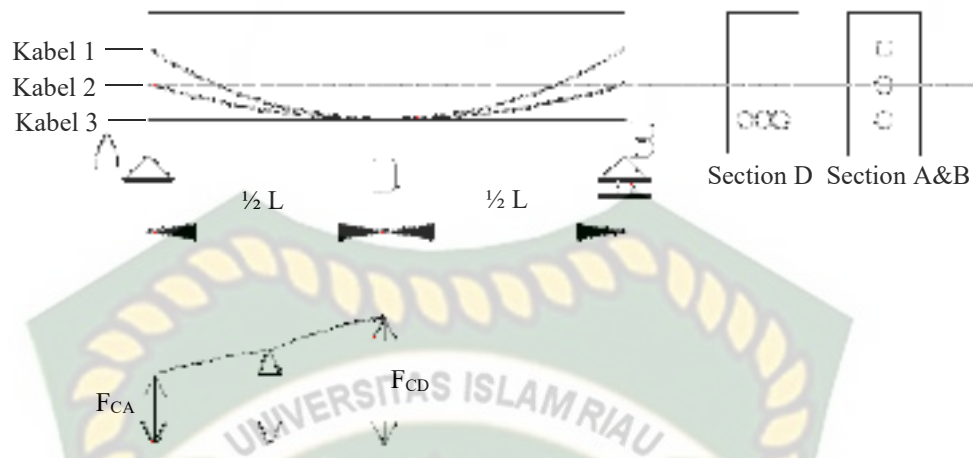
Berikut jenis-jenis kehilangan prategang yang perlu di perhitungkan :

1. Perpendekan Elastis (ES)

Pada saat beton diberi gaya prategang bekerja maka beton akan memendek. Karena tendon yang melekat pada beton di sekitarnya secara perlahan juga memendek, maka tendon tersebut akan kehilangan sebagian dari gaya prategang yang dipikulnya.

Mekanisme yang terjadi pada saat pengeringan beton dapat mempengaruhi kehilangan tegangan berbeda antara struktur dengan sistem pratarik dan pascatarik. Pada struktur yang menggunakan pasca tarik yang menggunakan kabel tunggal, tidak ada kehilangan gaya prategang akibat perpendekan beton, akan tetapi pada penampang yang menggunakan lebih dari satu kabel, kehilangan gaya prategang ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan harga rata-rata semua kabel.

perumpamaan balok beton prategang dengan tendon melengkung dapat dilihat pada gambar 3.21



Gambar 3.21 Balok Prategang dengan Tendon Melengkung (Lin, 2000)

untuk mencari kehilangan prategang pada masing-masing tendon dapat digunakan rumus persamaan 3.22.

$$ES = \frac{n P_i}{A_c} \quad (3.22)$$

Dimana :

ES = Perpendekan Elastis (N/mm²)

n = Angka rasio modular pada saat transfer

P_i = gaya prategang awal (kN)

A_c = Luas Penampang (mm²)

2. Kehilangan Prategang Akibat Gesekan Tendon

Kehilangan prategang akibat gesekan tendon ini disebabkan oleh fungsi dari alinyemen tendon yang mana komponen struktur pascatarik akibat adanya gesekan pada sistem penarikan (*jacking*) dan angkur sehingga tegangan yang ada pada tendon lebih kecil daripada yang terdapat pada alat baca tekanan (*pressure gauge*). Kehilangan tegangan akibat dari gesekan pada tendon sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (*wobble*).

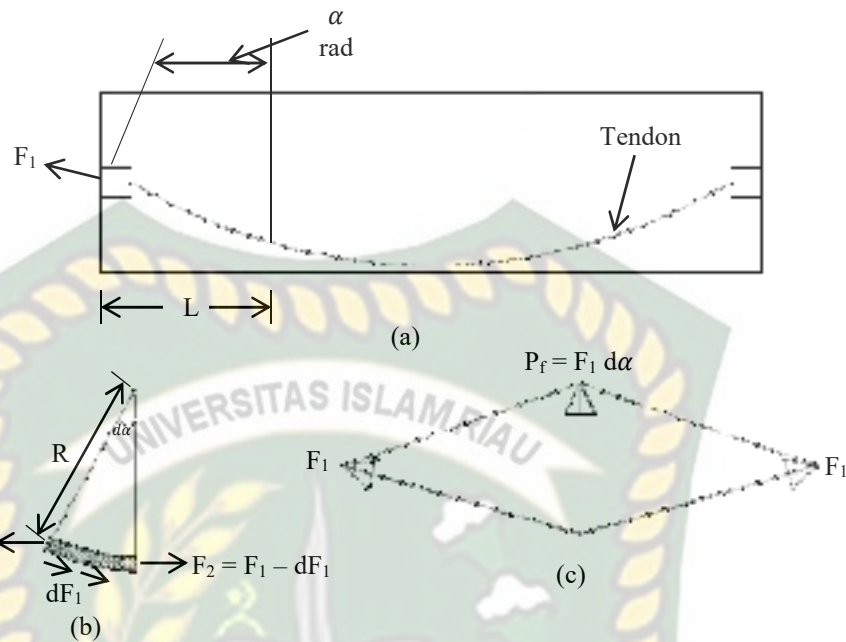
Kehilangan tegangan friksional maksimum terjadi di ujung balok jika pendongkrakan atau penarikan dilakukan hanya pada satu ujung. Dengan demikian, kehilangan akibat adanya gesekan bervariasi secara linier di

sepanjang balok dan dapat diinterpolasi untuk lokasi tertentu jika dikehendaki perhitungan yang lebih teliti.

Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_1 di ujung pendongkrakan, tendon tersebut mengalami gesekan dengan saluran di sekitarnya sedemikian hingga tegangan di tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan di sepanjang bentang. Untuk mengasumsikan bahwa μ adalah koefisien gesekan antara tendon dan salurannya dapat dilihat pada gambar 3.22 dan 3.23.



Gambar 3.22 Distribusi tegangan akibat gaya gesekan di tendon
(Lin, 2000)



Gambar 3.23 Kehilangan akibat friksi kelengkungan. (a) alinyemen tendon. (b) Gaya-gaya disegmen yang amat kecil di mana F_1 ada di ujung pendongkrakan. (c) poligon gaya dengan mengasumsikan bahwa $F_1 = F_2$ di segmen kecil dalam (b) (Lin, 2000)

Akan tetapi kehilangan prategang ini dapat langsung diatasi dari penarikan tendon pada saat *jacking*. Untuk menentukan kehilangan prategang akibat gesekan tendon dapat dihitung menggunakan rumus persamaan 3.23.

$$P_s = -KL - \mu\alpha \quad (3.23)$$

Dimana :

P_s = Gesekan pada tendon (N/mm^2)

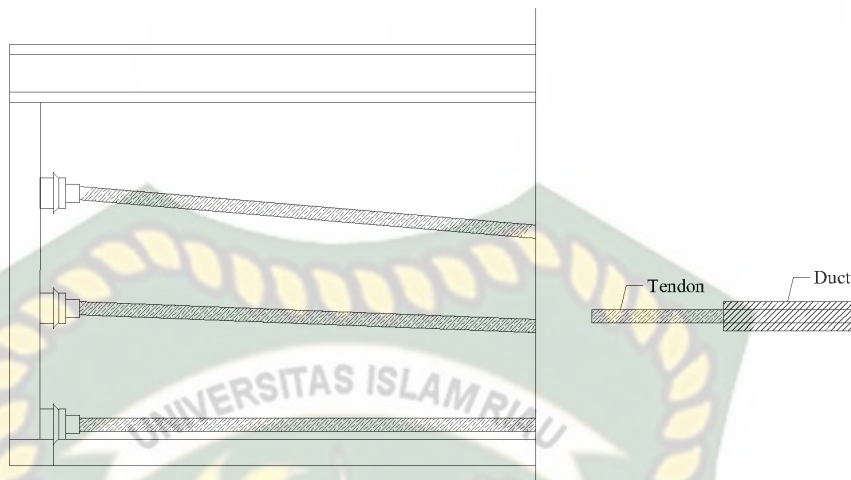
K = Koefisien wobble

L = panjang segmen yang diperhitungkan (m)

μ = Koefisien kelengkungan

α = Sudut pada tendon

Untuk menentukan nilai dari koefisien *wobble* dan koefisien friksi dapat dilihat pada gambar 3.24.



Gambar 3.24 Koefisien *Wobble* (Sumber : Hasil Peneliti, 2020)

Dari gambar 3.24 dapat dijelaskan bahwa koefisien *wobble* diakibatkan oleh dari gesekan tendon dengan *duct* atau selongsor yang mana pada saat penarikan mengakibatkan gesekan. Maka dari itu perhitungan gesekan akibat tendon ini perlu diperhitungkan.

Tabel 3.8 Koefisien Gesek Kelengkungan dan *Wobble*

| Jenis Tendon | Koefisien <i>Wobble</i> (K) | Koefisien Kelengkungan (μ) |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Tendon di selubung metal fleksibel | | 0,15-0,25 |
| Tendon kawat | 0,0010-0,0015 | 0,15-0,25 |
| <i>Strand</i> 7 kawat | 0,0005-0,0020 | 0,08-0,030 |
| Batang mutu tinggi | 0,0001-0,0006 | |
| Tendon di saluran metal yang rigid | | 0,15-0,25 |
| <i>Strand</i> 7 kawat | 0,0002 | |
| Tendon yang dilapisi <i>mastici</i> | | 0,05-0,15 |
| Tendon kawat dan <i>strand</i> 7 | 0,0010-0,0020 | |
| Tendon yang dilumasi dahulu | | 0,05-0,15 |
| Tendon kawat dan <i>strand</i> 7 | 0,0003-0,0020 | |

(Sumber : Lin, 2000)

3. Kehilangan Prategang akibat Slip Pada Angkur

Slip pada angkur terjadi sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan oleh baji pada angkur. Panjang atau besarnya slip tergantung tipe baji dan tegangan pada kawat tendon. Biasanya nilai rata-rata panjang slip adalah 2,5 milimeter. Untuk menentukan kehilangan prategang akibat slip pada angkur dapat dihitung dengan rumus persamaan 3.24

$$ANC = \Delta L = \frac{f_c}{E_s} L \quad (3.24)$$

Dimana :

ANC = Slip pada angkur (N/mm²)

Δ = Deformasi pada angkur atau dapat dihitung dari rasio f_s dan E_s

L = panjang kabel (mm)

E_s = Modulus elastisitas baja tendon (N/mm²)

f_c = tegangan pada penampang (kN)

4. Kehilangan Prategang akibat Rangkak Pada Beton

Kehilangan tegangan pada beton prategang akibat rangkak dapat ditentukan dengan dua cara, yaitu cara regangan rangkak batas dan cara koefisien rangkak.

Rangkak pada beton terjadi karena deformasi atau perubahan akibat adanya tegangan pada beton sebagai fungsi waktu. Pada struktur beton prategang rangkak mengakibatkan berkurangnya tegangan pada penampang. Kehilangan tegangan akibat rangkak dapat diperhitungkan dengan persamaan 3.25.

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd}) \quad (3.25)$$

Dimana :

CR = rangkak pada beton

K_{cr} = Koefisien rangkak, 2 untuk pratarik dan 1,6 untuk pascatarik

E_c = Modulus elastisitas beton

E_s = Modulus elastisitas baja

f_{ci} = tegangan pada beton pada level baja setelah ditransfer

f_{cd} = tegangan beton pada pusat berat tendon akibat beban mati

5. Kehilangan Prategang akibat Susut pada Beton

Hal yang mempengaruhi kehilangan prategang akibat susut pada beton adalah rasio volume terhadap luas permukaan, kelembaban relatif dan waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang. Kehilangan prategang akibat susut dapat ditentukan dengan persamaan 3.26 dan persamaan 3.27.

$$\varepsilon_{sh} = \frac{200 \times 10^{-6}}{\log_{10}(t+2)} \quad (3.26)$$

$$SH = \varepsilon_{sh} K_{sh} E_s \quad (3.27)$$

Dimana :

ε_{sh} = susut efektif

t = Waktu (hari)

RH = Kelembaban udara relatif

SH = Susut pada beton

K_{sh} = Koefisien susut

E_s = Modulus elastisitas baja prategang (Mpa)

Untuk menentukan nilai dari koefisien susut tergantung waktu dapat dilihat pada tabel 3.9

Tabel 3.9 Koefisien susut (K_{sh})

| Waktu Antara (hari) | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 20 | 30 | 60 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_{sh} | 0,92 | 0,85 | 0,80 | 0,77 | 0,73 | 0,64 | 0,58 | 0,45 |

(Sumber : Lin, 2000)

6. Kehilangan Prategang akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio gaya prategang awal f_{pi} terhadap gaya prategang akhir f_{py} . (Budiadi, 2008)

Besarnya kehilangan tegangan akibat relaksasi baja dapat dihitung menggunakan rumus persamaan 3.28

$$RE = C [K_{re} - J (SH + CR + ES)] \quad (3.28)$$

Di mana :

RE = Relaksasi baja

C = Faktor relaksasi

K_{re} = Koefisien relaksasi, biasanya 41-138 N/mm

J = Faktor Waktu, biasanya 0,05-0,15

SH = Kehilangan tegangan akibat susut

CR = Kehilangan tegangan akibat rangkai

ES = Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

Nilai koefisien dan faktor waktu seta nilai faktor relaksasi dapat dilihat pada tabel 3.10 Dan tabel 3.11

Tabel 3.10 Nilai K_{RE} (koefisien relaksasi dan J (faktor waktu)

| Jenis Tendon | K_{RE} | J |
|--|----------|-------|
| Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 270 | 20000 | 0,15 |
| Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 250 | 18500 | 0,14 |
| Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 240 atau 235 | 17600 | 0,13 |
| <i>Strand</i> relaksasi rendah mutu 270 | 5000 | 0,04 |
| Kawat relaksasi rendah mutu 250 | 4630 | 0,037 |
| Kawat relaksasi rendah mutu 240 atau 235 | 4400 | 0,035 |
| Batang <i>stress-relieved strand</i> mutu 145 atau 160 | 6000 | 0,05 |

(Sumber : Lin, 2000)

Tabel 3.11 Nilai C (Faktor Relaksasi)

| F_{py}/f_{pu} | Kawat atau <i>Strand</i> <i>Stress-relieved</i> | Kawat atau <i>Strand</i> Rekasasi Rendah atau Batang <i>Stress-relieved</i> |
|-----------------|--|--|
| 0,8 | | 1,28 |
| 0,79 | | 1,22 |
| 0,78 | | 1,16 |
| 0,77 | | 1,11 |
| 0,76 | | 1,05 |
| 0,75 | 1,45 | 1,00 |
| 0,74 | 1,36 | 0,95 |
| 0,73 | 1,27 | 0,90 |
| 0,72 | 1,18 | 0,85 |
| 0,71 | 1,09 | 0,80 |
| 0,70 | 1,00 | 0,75 |
| 0,69 | 0,94 | 0,70 |
| 0,68 | 0,89 | 0,66 |
| 0,67 | 0,83 | 0,61 |
| 0,66 | 0,78 | 0,57 |

(Sumber : Lin, 2000)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

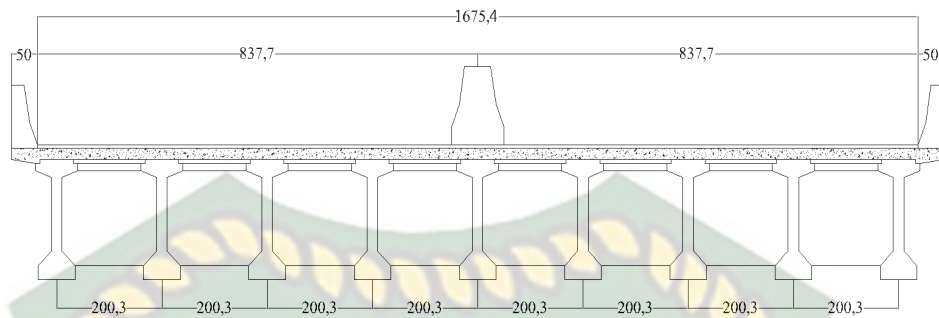
Penelitian ini dilakukan di Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1 yang berlokasi di Kecamatan Muara Fajar sampai Kecamatan Minas, Kota Pekanbaru dan Kota Siak. Jalan Tol ini direncanakan sepanjang 14,5 km dengan 9,3 km untuk jalan tol dan 1,5 km jalan akses masuk dari pekanbaru dan 3,7 km jalan akses masuk dari perawang. Adapun untuk Lokasi Penelitian ini dapat dilihat lebih jelas pada peta Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1

4.2 Gambaran Umum Jembatan

Gambaran umum jembatan bertujuan untuk menjelaskan dan memberikan informasi data-data struktur yang dijadikan objek penelitian seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Gambaran Penampang Jembatan

1. Data Struktur Jembatan

Data struktur jembatan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1 adalah sebagai berikut :

1. Bentang jembatan : 40,8 meter
2. Lebar jembatan : 17,756 meter
3. Jumlah lajur : 4 lajur
4. Jumlah jalur : 2 jalur
5. Lebar lajur : 3,5 meter
6. Tebal pelat lantai jembatan : 0,20 meter
7. Tebal aspal + overlay : 0,10 meter
8. Tinggi genangan air hujan : 0,05 meter

2. Dimensi Girder



Gambar 4.3 PC I girder

Girder yang digunakan dalam pembuatan jembatan ini adalah *I-Girder*, dengan data spesifikasi sebagai berikut :

- a. *Span* : 40,5 meter
- b. Jarak antar *girder* : 2,003 meter
- c. *Concrete compressive strength* : 50 Mpa
- d. ukuran *girder* : Tinggi : 2,1 m
lebar atas : 0,8 m
lebar bawah : 0,7 m
- e. diproduksi oleh : PT. HAKAASTON

3. Spesifikasi Baja Prategang

Adapun spesifikasi baja prategang sebagai berikut :

- a. *Elastic Modulus* : 1,99 E+06
- b. *Breaking Stress* : 18980 kg/cm²
- c. *Area* : Ø 12,70 mm = 0,9871 cm²
- d. UTS : 18,735 Ton
- e. Diproduksi oleh : PT. Kingdom Indah

4.3 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam analisa perhitungan *girder* ini dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Mengolah data yang telah ditentukan dan dilaksanakan pekerjaan dilapangan dengan cara, diantaranya :
 - a. Menghitung analisis penampang *girder*.
 - b. Menghitung pembebanan jembatan.
2. Melakukan analisis struktur *girder* beton prategang pada masing-masing *girder* diantaranya :
 - a. Menentukan gaya prategang.
 - b. Menentukan jumlah dan lintasan tendon.
 - c. Menghitung kehilangan prategang akibat *stressing* yang dilakukan.
 - d. Menghitung kontrol tegangan.
3. Menyimpulkan berapa kehilangan gaya prategang akibat *stressing* tersebut.

4.4 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan
Tahapan persiapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengumpulkan data-data dan gambar pada jembatan balok prategang *post-tension*.
2. Analisa penampang girder
Tahapan analisa penampang girder yang dilakukan terdiri menghitung dimensi *section* pada gelagar dan gelagar komposit, analisa luas penampang girder, statis momen, momen inersia serta tahanan momen di bagian atas dan bawah.
3. Menghitung pembebanan jembatan
Menghitung pembebanan pada jembatan sesuaikan SNI 1725:2016 dengan menghitung pembebanan terhadap berat sendiri, beban mati tambahan, beban

hidup yang terdiri dari beban lajur, beban garis dan beban truk, beban akibat beban gaya rem, beban akibat angin, serta beban pengaruh gaya gempa.

4. Menghitung gaya prategang

Menghitung gaya prategang terdiri dari perhitungan tegangan terhadap bagian atas dan bawah gelagar, perhitungan awal gaya prategang serta perhitungan setelah mengalami kehilangan gaya prategang.

5. Menentukan jumlah dan lintasan tendon

Menentukan jumlah dan lintasan tendon pada dasarnya untuk merencanakan jumlah strand dan tendon yang digunakan, serta lintasan tendon apakah berbentuk parabola atau lurus. Akan tetapi pada penelitian ini, menyesuaikan data yang diperoleh yang ada dilapangan dengan jumlah yang telah ditentukan dan bentuk lintasan tendon berupa parabola.

6. Perhitungan kehilangan prategang

Perhitungan kehilangan prategang bertujuan untuk mengetahui kehilangan gaya prategang setelah dilakukan penarikan pada gelagar. Kehilangan gaya prategang dapat dibagi menjadi 2 yaitu kehilangan seketika yang terdiri dari perpendekan elastisitas beton, gesekan pada tendon, dan slip pada ankur, sedangkan kehilangan pengaruh waktu terdiri dari rangkai pada beton, susut pada beton serta relaksasi baja prategang.

7. Kontrol tegangan

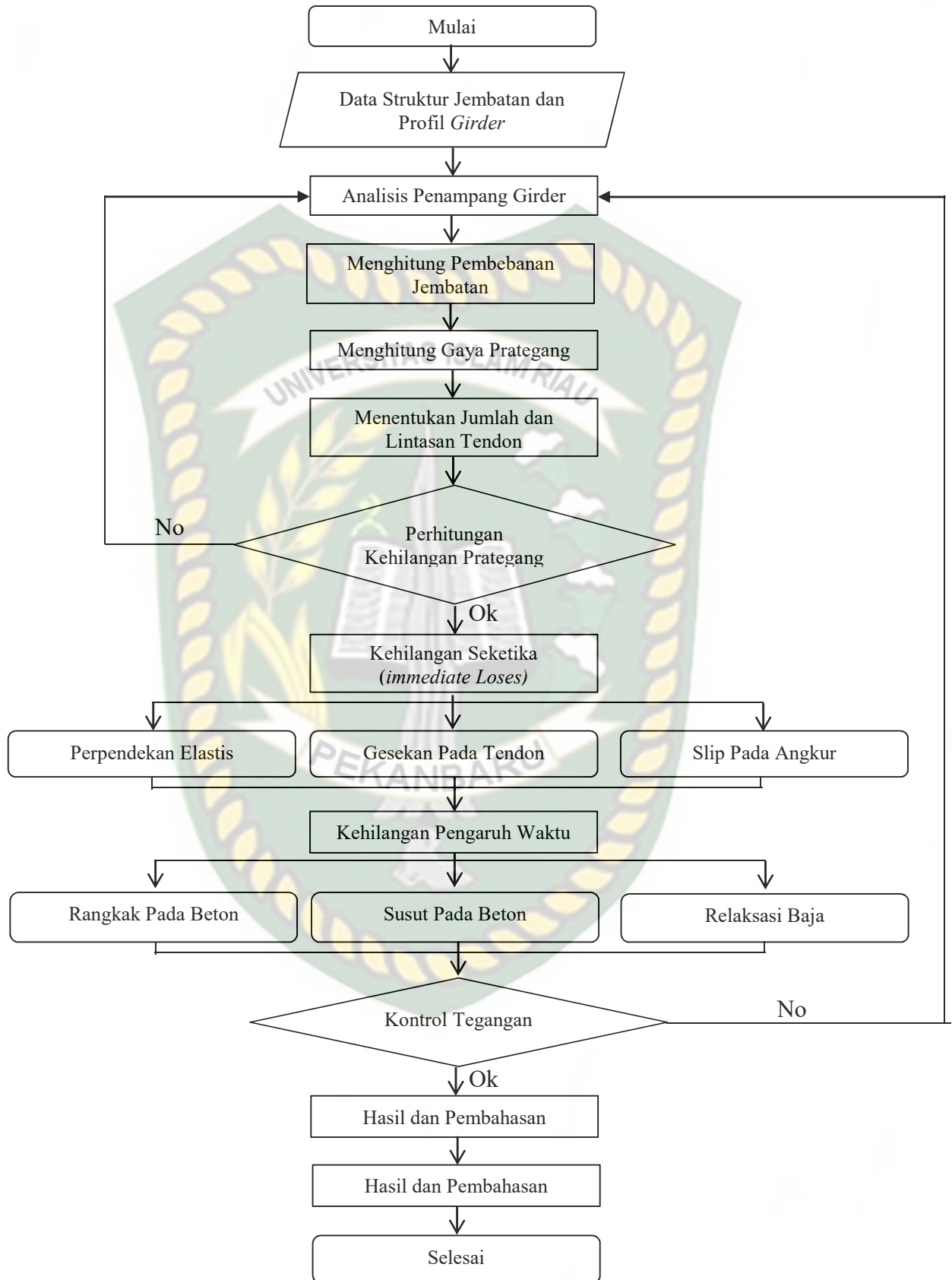
Control tegangan disebabkan akibat dari hasil pembebanan yang terjadi pada jembatan, beton dapat menahan tegangan yang diberikan serta lendutan yang terjadi pada gelagar.

8. Hasil dan pembahasan

Hasil dan pembahasan yang didapatkan setelah data dan analisa telah selesai dilakukan.

9. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan dan saran di dapatkan dari penelitian yang telah selai dilakukan. Berdasarkan dari tahapan-tahapan penelitian tersebut, maka dapat dibuat bagan alir penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian

BAB V

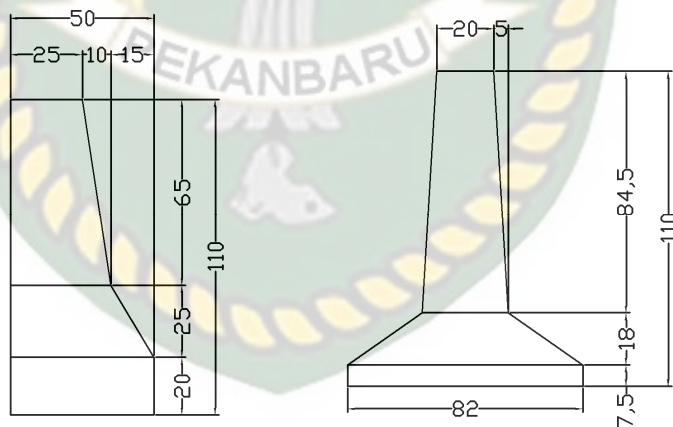
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisa Pembebanan Akibat Beban Mati

perhitungan beban yang bekerja pada struktur bangunan atas yaitu perhitungan yang dilakukan terhadap struktur yang menjadi objek penelitian berdasarkan data-data yang ada dan memberikan pengaruh terhadap struktur tersebut. Beban mati merupakan hasil dari beban yang bekerja pada jembatan itu sendiri yang merupakan beban dari struktur jembatan. Hasil perhitungan struktur atas ini terdiri dari beberapa sub bab yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Beban yang Bekerja Pada *Barrier*

Beban yang bekerja pada *barrier* ini merupakan beban mati yang disebabkan oleh berat sendiri *barrier* dan dapat dilihat gambar *barrier* gambar 5.1. Analisa perhitungan bisa dilihat pada lampiran A.1-A.4, hasil analisa dapat lihat pada tabel 5.1.



Gambar 5.1 *Barrier* sisi kanan dan tengah (Sumber : Analisa Penelitian, 2020)

Tabel 5.1 Beban Yang Bekerja Pada *Barrier*

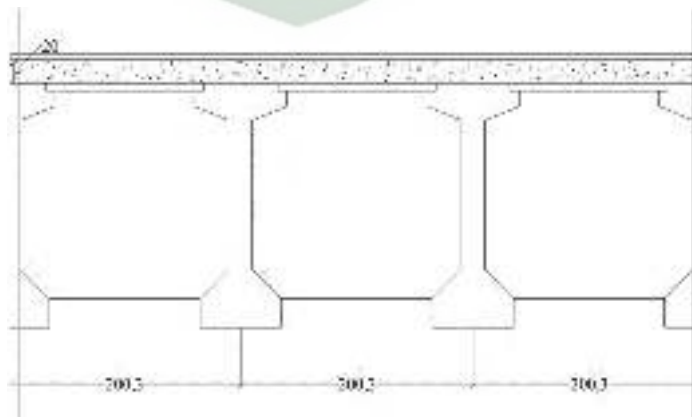
| <i>Section barrier</i> | M _{D1} (kNm) | M _{D2} (kNm) | M _{D3} (kNm) | M _{D4} (kNm) | M _{D5} (kNm) | M _{Dtotal} (kNm) |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Sisi kanan dan kiri | 31,59 | 19,349 | 2,369 | 17,796 | 25,666 | 96,77 |
| Tengah | 29,410 | 9,448 | 6,55 | 27,76 | 21,335 | 94,506 |
| | | | | | M _{Dtotal} | 280,046 |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.1 menunjukkan bahwa pada perhitungan beban mati pada *barrier* dilakukan membagi menjadi beberapa bagian *section properties* yang ada pada *barrier* dapat dilihat pada Gambar A.2. untuk beban mati total yang bekerja pada *barrier* sisi kanan dan sisi kiri adalah 96,77 kNm, sedangkan untuk beban mati total yang bekerja pada *barrier* tengah yaitu 94,506 kNm sehingga total beban *barrier* yang bekerja pada jembatan ini adalah 280,046 kNm.

2. Beban yang Bekerja pada Pelat Lantai

Beban yang hitung berat sendiri dari pelat lantai tersebut. Sehingga didapatkan lebar efektif pada pelat lantai adalah 2,003 meter sesuai dengan gambar rencana pada penelitian di lapangan. Analisa perhitungan yang terjadi pada pelat lantai dapat dilihat pada lampiran A.4-A.5. Untuk gambar pelat lantai dapat dilihat pada gambar 5.2.

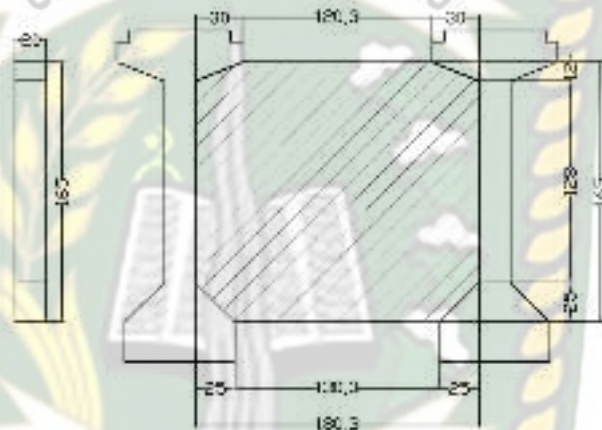


Gambar 5.2 Pelat Lantai (Sumber : Analisa Penelitian, 2020)

Dengan adanya penambahan *steel deck* berukuran 1 mm bertujuan untuk lapisan penahan *lean concrete*. Sehingga didapatkan beban merata yang bekerja pada pelat lantai adalah 9,609 kN/m.

3. Beban yang Bekerja Pada Diafragma

Beban yang bekerja pada diafragma ini merupakan beban mati yang disebabkan oleh berat sendiri diafragma tersebut. Diafragma pada jembatan bertujuan sebagai pengaku atau pengikat antara girder satu dengan yang lainnya. Untuk gambar diafragma dapat dilihat pada gambar 5.3.



Gambar 5.3 Penampang lapangan diafragma (Sumber : Analisa Penelitian, 2020)

Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.6 - A.8, hasil analisa dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Beban Yang Bekerja Pada Diafragma

| Section diafragma | W (kN) | W _{diafragma} (kN) |
|--------------------|--------|-----------------------------|
| Diafragma Lapangan | 53,802 | 67,422 |
| Diafragma Tumpuan | 13,62 | |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.4 menunjukkan bahwa nilai dari berat diagrama dengan sebanyak 7 diafragma adalah 53,802 kN. Dan diafragma tumpuan sebanyak 2 diafragma adalah 13,62 kN. Sehingga total berat pada diafragma adalah 67,422. Dalam analisa perhitungan diafragma sama halnya dengan perhitungan *barrier*

dengan membagi beberapa *section properties* untuk mencari titik berat yang ada pada diafragma.

4. Beban yang Bekerja Pada Balok Prategang

Section properties dibutuhkan untuk mengetahui titik berat, momen inersia dan modulus *section* pada balok prategang, baik itu balok prategang *precast* maupun balok prategang komposit. Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.8-A.13. hasil analisa dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 *Section Properties*

| Balok prategang | Luas Penampang (m ²) | Statis Momen (m ²) | Momen Inersia (m ⁴) | Momen Inersia (m ⁴) | Titik berat yb (m) | Titik berat ya (m) |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
| Prategang | 0,752 | 0,764 | 1,11480 | 0,07619 | 1,016 | 1,084 |
| Komposit | 1,063 | 1,447 | 2,61713 | 0,07723 | 1,363 | 0,938 |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.3 menunjukkan hasil perhitungan *section properties* didapat jarak titik berat balok prategang terhadap alas balok *girder* yaitu sebesar 1,016 m. Pada balok prategang komposit yang mana ditambahkan pelat lantai dengan tebal 20 cm sehingga untuk balok prategang komposit jarak titik berat terhadap alas balok *girder* didapat 1,363 m.

Beban yang bekerja pada balok prategang merupakan komponen struktur yang menerima beban kombinasi, baik itu beban mati, beban mati tambahan, beban hidup dan beban lainnya. Dalam hal ini yang digunakan sebagai acuan pembebanan pada tengah bentang, dikarenakan pada gelagar *girder* bagian tengah menerima beban lebih besar dibandingkan beban yang diterima oleh bagian tepi. Hasil rangkuman pembebanan akibat beban berat sendiri pada jembatan dapat dilihat pada tabel A.3 di halaman lampiran A.14.

5.2 Hasil Perhitungan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh jembatan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non structural, dan mungkin besarnya dapat berubah selama umur jembatan. (SNI 1725:2016)

Dalam perhitungan analisa pembeban akibat beban mati tambahan ini jembatan harus dapat mampu memikul berat seperti aspal + overlay dan genangan air hujan. Analisa perhitungan dapat dilihat pada halaman lampiran A.15. hasil analisa dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Pembebanan Akibat Beban Mati Tambahan

| No | Jenis beban tambahan | Tebal (m) | W (kN/m ³) | Berat (kN/m ²) |
|----------|-------------------------|-----------|------------------------|----------------------------|
| 1 | Lapisan aspal + overlay | 0,10 | 22,00 | 2,20 |
| 2 | Genangan air hujan | 0,05 | 9,8 | 0,49 |
| q_{ma} | | | | 2,690 |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.4 menunjukkan bahwa berat dari lapisan aspal+overlay dengan tebal 0,10 m didapatkan 2,20 kN/m² sedangkan untuk berat dari genangan air hujan didapatkan berat 0,49 kN/m² sehingga total berat yang terjadi pada beban akibat mati beban mati tambahan adalah 2,690 kN/m².

5.3 Hasil Perhitungan Akibat Beban Hidup

Beban hidup pada jembatan terbagi menjadi 2 yaitu beban terbagi rata dan beban garis terpusat. Dalam analisa ini menyesuaikan hasil dari peraturan terbaru yaitu SNI 1725:2016. Analisa perhitungan akibat beban hidup ini dapat dilihat pada lampiran A.15 – A.17. untuk beban terbagi rata hasil analisa dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Beban Terbagi Rata

| Beban Terbagi Rata (BTR) | | |
|--------------------------|---------|----------|
| q | b | Q btr |
| 7,833 kPa | 2,003 m | 15,690 m |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.5 menunjukkan bahwa beban terbagi rata dengan panjang bentang 40,5 meter intensitas bebannya dalah 7,833 kPa. Sehingga diperoleh beban terbagi rata dengan lebar pelat adalah 2,003 meter sebesar 15,690 kN/m. kemudian

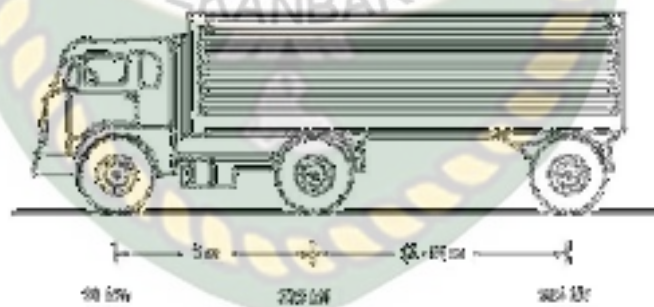
beban akibat dari beban garis terpusat, hasil analisa dapat dilihat pada tabel 5.6. Beban garis terpusat merupakan beban yang intensitasnya harus ditempatkan terhadap arah lalu lintas pada jembatan.

Tabel 5.6 Beban Garis Terpusat (BGT)

| Beban Garis Terpusat (BGT) | | | |
|----------------------------|-----|---------|-----------|
| P | FBD | B | P BGT |
| 49 kN/m | 40% | 2,003 m | 137,41 kN |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.6 menunjukkan bahwa beban garis terpusat dengan intensitas beban yang sudah ditetapkan pada SNI 1725:2016 adalah 49,0 kN/m. sedangkan untuk beban dinamis dapat dilihat pada gambar 3.15 dengan bentang 40,5 meter yaitu 40%. Sehingga diperoleh beban garis terpusat sebesar 137,41 kN. Kemudian untuk beban akibat truk, hasil analisa dapat dilihat pada tabel 5.7. Beban Truk yang dihitung sesuai dengan yang sudah ditetapkan pada SNI 1725:2016 yang mana Beban tiap-tiap gandar pada truk sebesar 50 kN, 225 kN. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Beban truk (Sumber : SNI 1725:2016)

Tabel 5.7 Beban Truk

| Beban Truk | | | | | | |
|------------|--------|--------|-----|-----------|--------|--------|
| W1 | W2 | W3 | FBD | TT1 | TT2 | TT3 |
| 50 kN | 225 kN | 225 kN | 30% | 28,889 kN | 130 kN | 130 kN |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.7 menunjukkan bahwa dengan mengambil nilai FBD sebesar 30% didapatkan nilai beban tiap gandar sebesar 28,889 kN, 130 kN dan 130 kN.

5.4 Hasil Perhitungan Akibat Gaya Rem

Gaya rem ditempatkan disemua lajur yang dimuati, yang berisi lalu lintas arah yang sama. Gaya rem bekerja secara horizontal dengan ketinggian 1,8 m diatas permukaan jalan. (SNI 1725:2016). Analisa perhitungan dapat dilihat pada halaman lampiran A.17 – A.18. Hasil perhitungan akibat beban rem dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Akibat Gaya Rem

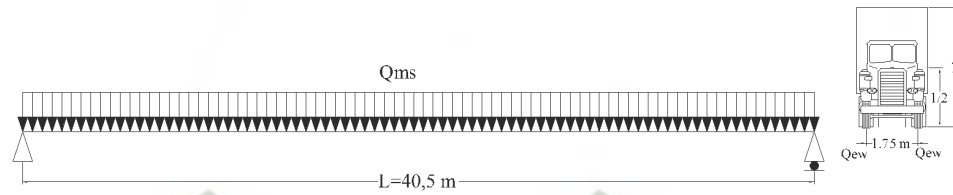
| Beban Rem | |
|-----------------------|--------------|
| Berat Truk | 500 kN |
| Berat Truk per girder | 222,222 kN |
| BTR | 15,69 kN/m |
| BTR | 635,45 kN |
| 1 | 55,5556 kN/m |
| 2 | 42,88 kN/m |
| TB | 55,5556 kN/m |
| Lengan | 1,8 m |
| Momen | 100 kN/m |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.8 menunjukkan bahwa beban truk yang di peroleh dengan banyak girder yang ada pada jembatan sebesar 222,222 kN. Sehingga diperoleh beban terbagi rata pada jembatan dengan panjang 40,5 meter sebesar 635,45 kN. Sesuai dengan peraturan SNI 1725:2016 pasal 8.7, gaya rem permodelan 1 didapatkan gaya 55,5556 kN/m yang diambil dari 25% dari berat gandar truk desain, kemudain permodelan ke 2 diperoleh 42,88 kN/m yang diambil dari permodelan 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur rata BTR. Sehingga diperolehlah momen yang bekerja pada gaya rem adalah sebesar 100 kN/m.

5.5 Hasil Perhitungan Akibat Beban Angin

Beban angin dihitung dimana angin meniup kendaraan di atas lantai jembatan, dengan ketinggian 1,8 meter di atas jembatan dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5.5 Beban Angin (Sumber : Analisa Penelitian, 2020)

Analisa perhitungan akibat beban angin dapat dilihat pada lampiran A.18 – A.19. Hasil analisa perhitungan akibat beban angin dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Akibat Beban Angin

| Beban Angin | | | |
|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| T_{EW} (KN/m) | Q_{EW} (kN/m) | V_{EW} (kN) | M_{EW} (kNm) |
| 1,557 | 0,811 | 16,423 | 166,280 |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.9 menunjukkan bahwa beban angin diperoleh koefien seretnya sebesar 1,46 dan beban angina rencana sebesar 5,557 kN/m. dan momen sebesar 166,280 kNm.

5.6 Resume Pembebanan Pada Jembatan

Pada tabel 5.10 menampilkan hasil pembebanan yang dilakukan penelitian seperti berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur, beban truk, gaya rem, dan gaya angin.

Tabel 5.10 Resume Pembebanan Pada Jembatan

| Jenis Beban | Kode Beban | Q (kN/m) | P (kN) | M (kNm) |
|---------------|------------|----------|--------|---------|
| Berat sendiri | MS | 34,360 | | |
| Mati tambahan | MA | 2,690 | | |
| Lajur "D" | TD | 15,690 | 137,41 | |
| Gaya Rem | TB | | | 100 |
| Angin | EW | 0,811 | | |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

5.7 Hasil Perhitungan Gaya Geser Balok Prategang

Gaya geser disebabkan adanya tegangan geser yang tinggi sehingga menyebabkan retak pada balok. Kombinasi pembebanan pada jembatan dapat dilihat pada tabel 5.11.

Tabel 5.11 Kombinasi Gaya Geser Pada Gelagar Prategang

| Jarak x (m) | KOMBI. I | KOMBI. II | KOMBI. III | KOMBI. IV |
|----------------|-----------------|-----------------|----------------------|--------------|
| | MS+MA+ TD+TB | MS+MA+TD+ EW | MS+MA+TD + TB +EW | MS+MA+E Q |
| | (kNm) | (kNm) | (kNm) | (kNm) |
| 0.00 | 1139,159 | 1153,113 | 1155,582 | 750,263 |
| 10.00 | 611,759 | 617,603 | 602,072 | 379,763 |
| 20.25 | 71,174 | 68,705 | 71,174 | 0,000 |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.11 menampilkan kombinasi gaya geser yang diakibatkan dari pembebanan pada jembatan, pada kombinasi 1 merupakan gabungan dari beban sendiri, beban mati tambahan, beban lajur dan gaya rem yang dihitung berdasarkan panjang yang diteliti. Untuk kombinasi 2 merupakan gabungan dari beban mati sendiri, beban mati tambahan, beban lajur serta beban angin. Kombinasi 3 merupakan gabungan dari beban mati sendiri, beban mati tambahan, beban lajur dan gaya rem dan beban angin. Kombinasi 4 merupakan gabungan beban mati sendiri, beban mati tambahan, beban gempa. Akan tetapi pada penelitian ini tidak menghitung pembebanan akibat gaya gempa.

5.8 Hasil Perhitungan Momen Kombinasi Pembebanan Beton Prategang

Momen merupakan gaya yang bekerja di sebabkan oleh jarak sehingga mengakibatkan balok prategang menjadi lentur dan akan mengalami tarikan dibagian bawah.

Tabel 5.12 Kombinasi Momen Pada Balok Prategang

| Jarak x (m) | KOMBI. I | KOMBI. II | KOMBI. III | KOMBI. IV |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| | MS+MA+ TD+TB | MS+MA+TD+ EW | MS+MA+TD +EW | MS+MA+E Q |
| | (kNm) | (kNm) | (kNm) | (kNm) |
| 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10.00 | 8976,814 | 8853,578 | 9100,491 | 5650,125 |
| 20.25 | 13217,124 | 12370,905 | 13383,405 | 7596,408 |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.12 menampilkan hasil perhitungan kombinasi akibat momen pada balok prategang. Momen akan menjadi lebih besar apabila panjang bentang semakin panjang seperti pada penelitian jarak 0 momen yang bekerja adalah 0 kNm. Sedangkan untuk jarak 20,25 meter kombinasi tegangan 1 adalah 13217,124 kNm, kombinasi 2 adalah 12370,905 kNm, kombinasi 3 13383,405 kNm dan kombinasi 4 adalah 7596,408 kNm.

5.9 Hasil Analisa Perhitungan Struktur Beton Prategang

Setiap tahap pembebanan pada balok prategang harus dilakukan pengecekan atas kondisi serat tekan dan serat tarik pada setiap penampangnya. Pada tahap-tahapan tersebut berlaku tegangan izin yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi beton dan tendon. (budiadi, 2008)

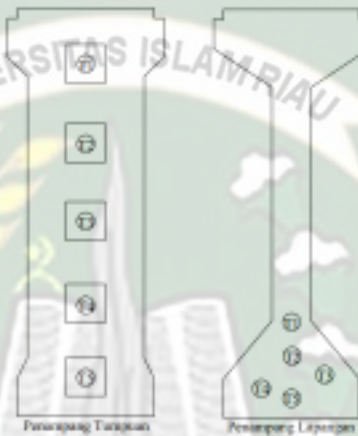
1. Hasil perencanaan gaya prategang

Pemberian gaya prategang pada beton prategang akan memberikan tegangan tekan pada penampang. Tegangan ini akan memberikan perlawanan terhadap beban luar yang bekerja. (budiadi, 2008)

Dalam perencanaan gaya prategang dihitung tegangan yang ada di atas dan bawah penampang gelagar serta jumlah tendon dan *strand* yang digunakan. Sehingga diperoleh gaya prategang sebesar 11701,409 Kn dan setelah kehilangan gaya prategag sebesar 20% tegangan efektifnya sebesar 9027,349 Kn. Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.30 – A.34.

2. Eksentrisitas Tendon

Eksentrisitas tendon bertujuan untuk mengoptimalkan penegangan pada penampang dan akan memberikan keuntungan yang lebih. Dikarenakan tendon yang digunakan berjenis parabola sehingga masing-masing tendon memiliki eksentrisitas yang berbeda-beda. Eksentrisitas ini diperoleh dari tinjauan langsung dilapangan atau sesuai dari gambar rencana seperti pada gambar 5.6.



Gambar 5.6 Posisi Tendon Penampang Lapangan Dan Tumpuan (Sumber : Analisa Penelitian, 2020)

Hasil analisa eksentrisitas masing-masing tendon dapat dilihat pada tabel 5.13.

Tabel 5.13 Eksentrisitas Masing-Masing Tendon

| Nomor Tendon | Posisi tendon di tumpuan z_i' (m) | Posisi tendon di tengah bentang z_i (m) | $f_i = z_i' - z_i$ (m) |
|--------------|-------------------------------------|---|------------------------|
| 1 | 1,900 | 0,625 | 1,275 |
| 2 | 1,550 | 0,500 | 1,050 |
| 3 | 1,200 | 0,375 | 0,825 |
| 4 | 0,700 | 0,250 | 0,450 |
| 5 | 0,350 | 0,125 | 0,225 |

(Sumber : Analisa perhitungan, 2020)

Tabel 5.13 menampilkan posisi masing-masing tendon di tengah dan di tumpuan bentang. Dengan posisi tendon yang sudah ditentukan di lapangan

pada saat penelitian, sehingga diperoleh ekstrisitas masing-masing tendon seperti pada tabel.

3. Lintasan Inti Tendon

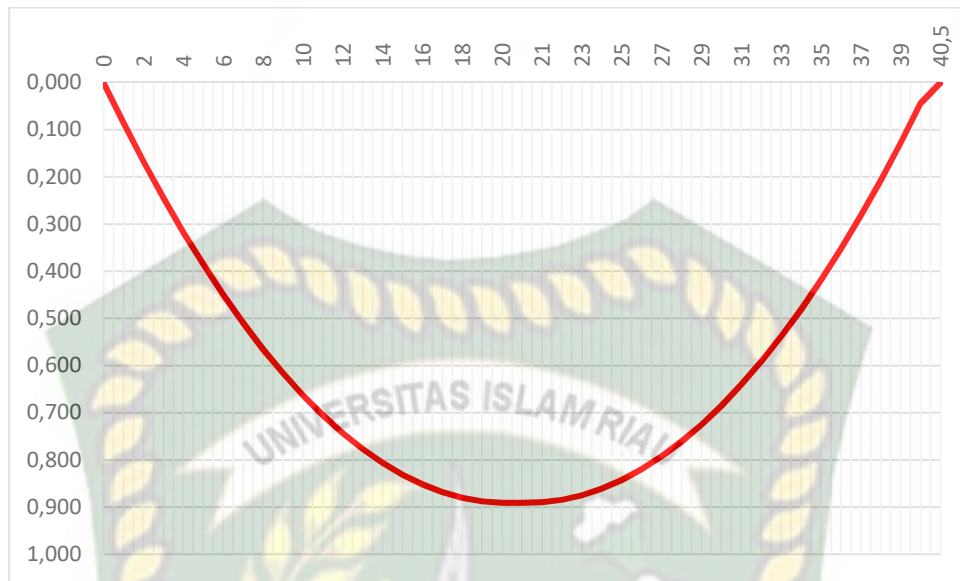
Lintasan inti tendon merupakan cara atau langkah untuk menentukan lintasan tendon. Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.33 - A.34, hasil perhitungan pada tabel 5.14.

Tabel 5.14 Lintasan Inti Tendon

| x (m) | Y (m) | x (m) | Y (m) | x (m) | Y (m) | x (m) | Y (m) |
|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -0,150 | -0,013 | 11,000 | 0,705 | 22,000 | 0,884 | 34,000 | 0,480 |
| 0,000 | 0,000 | 12,000 | 0,743 | 23,000 | 0,875 | 35,000 | 0,418 |
| 1,000 | 0,086 | 13,000 | 0,777 | 24,000 | 0,860 | 36,000 | 0,352 |
| 2,000 | 0,167 | 14,000 | 0,806 | 25,000 | 0,842 | 37,000 | 0,281 |
| 3,000 | 0,244 | 15,000 | 0,831 | 26,000 | 0,819 | 38,000 | 0,206 |
| 4,000 | 0,317 | 16,000 | 0,852 | 27,000 | 0,792 | 39,000 | 0,127 |
| 5,000 | 0,386 | 17,000 | 0,868 | 28,000 | 0,760 | 40,000 | 0,043 |
| 6,000 | 0,450 | 18,000 | 0,880 | 29,000 | 0,725 | 40,500 | 0,000 |
| 7,000 | 0,510 | 19,000 | 0,888 | 30,000 | 0,684 | 0,150 | 0,013 |
| 8,000 | 0,565 | 20,000 | 0,891 | 31,000 | 0,640 | | |
| 9,000 | 0,616 | 20,250 | 0,891 | 32,000 | 0,591 | | |
| 10,000 | 0,663 | 21,000 | 0,890 | 33,000 | 0,538 | | |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.14 menunjukkan bahwa nilai lintasan tendon semakin tengah bentang menjadi semakin besar di akibatkan oleh bentuk tendon parabola yakni sebesar 0,891 m. dan apa bila digambarkan akan seperti gambar 5.7.



Gambar 5.7 Diagram Lintasan Inti Tendon (Sumber : Analisa Penelitian, 2020)

4. Sudut Angkur

Sudut angkur merupakan langkah atau cara untuk mengetahui kelengkungan tendon. Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.35, hasil perhitungan pada tabel 5.15.

Tabel 5.15 Sudut Angkur

| No Tendon | Jumlah <i>strand</i> | Diameter selubung | Eksentrisitas (Fi) (m) | dY/dX | Sudut Angkur | |
|-----------|----------------------|-------------------|------------------------|-------|--------------|-------|
| | | | | | Rad | ° |
| 1 | 5 | 22 | 1,275 | 0,126 | 0,125 | 7,177 |
| 2 | 19 | 76 | 1,050 | 0,104 | 0,103 | 5,921 |
| 3 | 19 | 76 | 0,825 | 0,081 | 0,081 | 4,658 |
| 4 | 19 | 76 | 0,450 | 0,044 | 0,044 | 2,545 |
| 5 | 19 | 76 | 0,225 | 0,022 | 0,022 | 1,273 |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.15 menunjukkan bahwa sudut angkur yang terjadi pada tendon 1 membentuk sudut 7,177° dari titik awal 0°, kemudian berturut-turut sudut yang terjadi adalah 5,921°, 4,658°, 2,545°, dan 1,273°.

5. *Trace* masing-masing Tendon

Trace pada tendon merupakan tata letak dari masing-masing yang disebabkan oleh eksentrisitas tendon. Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.36 – A.37. Hasil Perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.16

Tabel 5.16 *Trace* Masing-Masing *Cable*

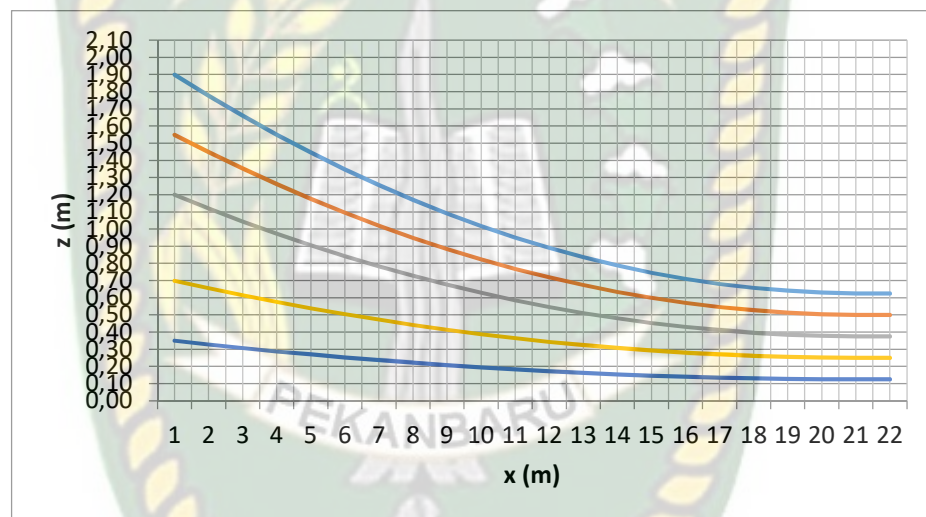
| jarak x (m) | Trace zo (m) | posisi masing-masing <i>cable</i> | | | | |
|----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | z1 (m) | z2 (m) | z3 (m) | z4 (m) | z5 (m) |
| 0 | 1,012 | 1,900 | 1,550 | 1,200 | 0,700 | 0,350 |
| 1 | 0,923 | 1,777 | 1,449 | 1,121 | 0,657 | 0,328 |
| 2 | 0,838 | 1,661 | 1,353 | 1,045 | 0,616 | 0,308 |
| 3 | 0,758 | 1,550 | 1,262 | 0,974 | 0,577 | 0,288 |
| 4 | 0,683 | 1,446 | 1,176 | 0,906 | 0,540 | 0,270 |
| 5 | 0,612 | 1,348 | 1,095 | 0,843 | 0,505 | 0,253 |
| 6 | 0,545 | 1,256 | 1,020 | 0,784 | 0,473 | 0,236 |
| 7 | 0,483 | 1,171 | 0,950 | 0,728 | 0,443 | 0,221 |
| 8 | 0,426 | 1,092 | 0,884 | 0,677 | 0,415 | 0,207 |
| 9 | 0,372 | 1,019 | 0,824 | 0,630 | 0,389 | 0,194 |
| 10 | 0,324 | 0,952 | 0,769 | 0,586 | 0,365 | 0,183 |
| 11 | 0,280 | 0,891 | 0,719 | 0,547 | 0,344 | 0,172 |
| 12 | 0,241 | 0,837 | 0,674 | 0,512 | 0,325 | 0,162 |
| 13 | 0,206 | 0,788 | 0,635 | 0,481 | 0,308 | 0,154 |
| 14 | 0,175 | 0,746 | 0,600 | 0,454 | 0,293 | 0,146 |
| 15 | 0,149 | 0,711 | 0,571 | 0,430 | 0,280 | 0,140 |
| 16 | 0,128 | 0,681 | 0,546 | 0,411 | 0,270 | 0,135 |
| 17 | 0,111 | 0,658 | 0,527 | 0,396 | 0,262 | 0,131 |
| 18 | 0,098 | 0,641 | 0,513 | 0,385 | 0,256 | 0,128 |
| 19 | 0,091 | 0,630 | 0,504 | 0,378 | 0,252 | 0,126 |
| 20 | 0,087 | 0,625 | 0,500 | 0,375 | 0,250 | 0,125 |

Tabel 5.16 *Trace* Masing-Masing *Cable* (Lanjutan)

| jarak x (m) | Trace zo (m) | posisi masing-masing <i>cable</i> | | | | |
|----------------|-----------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | z1 (m) | z2 (m) | z3 (m) | z4 (m) | z5 (m) |
| 20,25 | 0,087 | 0,625 | 0,500 | 0,375 | 0,250 | 0,125 |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.16 menunjukkan bahwa *Trace* masing-masing *cable* yang disebabkan oleh eksentristas tiap masing-masing tendon, untuk dapat melihat bentuk *trace* masing-masing tendon dapat dilihat pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 *Trace* masing-masing *Tendon* (Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Gambar 5.8 menunjukkan bahwa semakin kebawah tendonnya semakin datar diakibatkan dari perencanaan tendon yang berbentuk parabola dan perbedaan posisi tendon dan eksentristas masing-masing tendon.

5.10 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan tegangan adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan. Di dalam suatu system struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat system penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Dalam menentukan kehilangan prategang banyak factor yang mempengaruhi seperti karakteristik dari beton

dan baja, metode pengecoran, metode prategang, dan besarnya gaya prategang. Menurut Lin (1982) kehilangan prategang total yang terjadi untuk metode pasca tarik sebesar 20%. Rekomendasi tersebut didasari oleh penegangan lebih sementara (*temporary overstressing*) yang dilakukan. (Budiadi, 2008)

Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.37-A.41, hasil perhitungan pada tabel 5.17.

Tabel 5.17 Kehilangan Gaya Prategang

| No | Level Tegangan | Kehilangan Tegangan (kN) | Persentase (%) |
|----|--|--------------------------|----------------|
| | | Setelah Penegangan | |
| | Kehilangan tegangan : | | |
| 1 | Perpendekan elastis (<i>elastic shortening</i>) | 18,605 | 0,159% |
| 2 | Gesekan tendon (<i>jack friction</i>) | 491,459 | 4,2% |
| 3 | Slip pada angkur | 12,28 | 0,105% |
| 4 | Rangkak beton (<i>creep</i>) | 662,651 | 5,663% |
| 5 | Susut beton (<i>shrinkage</i>) | 326,469 | 2,79% |
| 6 | Relaksasi baja (<i>relaxation of strand</i>) | 335,021 | 3,034% |
| | Kehilangan Tegangan Total (<i>loss of prestressed</i>) | 1846,485 | 15,951% |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.17 menunjukkan bahwa kehilangan gaya prategang yang disebabkan oleh perpendekan elastis ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik sehingga didapatkan harga rata-rata kabel sebesar 18,605 kN (0,159%). Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsor sebesar 491,459 kN (4,2%). Slip pada angkur disebabkan sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan baji pada angkur sebesar 12,28 kN (0,105%). Kehilangan akibat rangkakan pada beton terjadi karena deformasi akibat adanya tegangan pada beton dipengaruhi oleh waktu sebesar 662,651 kN (5,663%). Kehilangan susut pada beton disebabkan oleh rasio volume terhadap luas permukaan, kelembaban relative dan waktu antara akhir pengecoran dan pemberian prategang, sehingga kehilangan prategang akibat susut pada beton sebesar 326,469 kN (2,79%). Kehilangan relaksasi baja terjadi pada prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang

mengalami pengurangan gaya prategang, sehingga kehilangan prategang akibat relaksasi baja sebesar 335,021 kN (3,034%). Sehingga kehilangan total gaya prategang sebesar 1846,485 kN (15,951%).

5.11 Tegangan Yang Terjadi Pada Penampang Balok

Menurut peraturan perencanaan Teknik Jembatan (*Bridge Design Code*), tegangan beton setelah penyaluran gaya prategang (sebelum kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut:

1. Tegangan serat tekan terluar $\leq 0,60 \times f_{ci}'$ dengan $f_{ci}' = 0,80^{(1)} f_c'$
2. Tegangan serat tarik terluar $\leq 0,50 \times f_{ci}'$ dengan $f_{ci}' = 0,80^{(1)} f_c'$

Tegangan beton pada kondisi beban layan (setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan) tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut :

1. Tegangan serat terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup, $\leq 0,45 \times f_c'$
2. Tegangan serat tarik terluar yang pada awalnya mengalami tekan, $\leq 0,45 \times f_c'$

Analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.41-A.44, hasil perhitungan pada tabel 5.18.

Tabel 5.18 Tegangan Pada Penampang Balok

| Tegangan pada penampang balok | Tegangan serat atas (kPa) | Tegangan serat bawah (kPa) | Kontrol tegangan (kPa) |
|------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|
| Saat transfer/awal | -131,718 | -25500 | -25500 (ok) |
| Setelah <i>loss of prestressed</i> | -1051,500 | -22270 | -22500 (ok) |
| komposit | -4947,256 | -18545,204 | -22500 (ok) |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.18 menunjukkan bahwa semua tegangan yang terjadi baik itu pada saat servis, setelah kehilangan prategang, dan balok menjadi komposit tidak ada yang melebihi dari nilai yang diizinkan yaitu sebesar 25500 kPa dan 22500 kPa.

5.12 Tegangan pada balok komposit

Tegangan yang terjadi akibat komposit bisa diartikan bahwa pembebanan yang direncanakan sudah dihitung terhadap balok prategang, dan dapat diketahui tegangan yang terjadi pada saat kondisi jembatan sudah dioperasikan. Analisa tegangan yang terjadi pada balok komposit dapat dilihat pada lampiran A.44 – A.51 hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.19.

Tabel 5.19 Tegangan Pada Penampang Balok Komposit

| Aksi/Beban | Simbol | fac (kPa) | f'ac (kPa) | fbc (kPa) |
|------------------------|--------|-----------|------------|------------|
| Aksi Tetap | | | | |
| Berat Sendiri | MS | -8347,013 | -6578,506 | 11836,464 |
| Beban Mati Tambahan | MA | -835,356 | -672,553 | 1230,494 |
| Susut dan Rangkak | SR | -1566,184 | -550,687 | 10137,942 |
| Prategang | PR | 5004,089 | 2355,894 | -25517,942 |
| Aksi Transien | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | 10806,724 | -8517,110 | 15582,801 |
| Gaya Rem | TB | -66,438 | -52,361 | 95,800 |
| Aksi Lingkungan | | | | |
| Pengaruh Temperatur | ET | -5147,321 | -5158,227 | 363,311 |
| Beban Angin | EW | -215,626 | -159,167 | 313,009 |
| Beban Gempa | EQ | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Untuk kombinasi pembebanan dibagi menjadi 5 jenis kombinasi pembebanan yaitu sebagai berikut :

Tabel 5.20 Macam-Macam Kombinasi Pembebanan

| Aksi/Beban | Simbol | Kombinasi Pembebanan | | | | |
|----------------------|--------|----------------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Aksi Tetap | | | | | | |
| Berat Sendiri | MS | √ | √ | √ | √ | √ |
| Beban Mati Tambahan | MA | √ | √ | √ | √ | √ |
| Susut dan Rangkak | SR | √ | √ | √ | √ | √ |
| Prategang | PR | √ | √ | √ | √ | √ |
| Aksi Transien | | | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | √ | √ | √ | √ | |
| Gaya Rem | TB | √ | √ | √ | √ | |

Tabel 5.20 Macam-Macam Kombinasi Pembebanan (Lanjutan)

| Aksi Lingkungan | | | | | | |
|---------------------|----|--|---|---|---|---|
| Pengaruh Temperatur | ET | | √ | | √ | |
| Beban Angin | EW | | | √ | √ | |
| Beban Gempa | EQ | | | | | √ |

Setelah dilakukan beberapa model pembebanan, maka didapatkan hasilnya pada tabel 5.21 – 5.25.

Tabel 5.21 Kontrol Tegangan Kombinasi 1

| Aksi/Beban | Simbol | fac (kPa) | f'ac (kPa) | fbc (kPa) |
|--------------------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Aksi Tetap | | | | |
| Berat Sendiri | MS | -9108,863 | -6723,813 | -13222,71 |
| Beban Mati Tambahan | MA | -715,210 | -527,940 | -1038,221 |
| Susut dan Rangkak | SR | -790,139 | 395,046 | -3791,381 |
| Prategang | PR | 5988,352 | 2196,777 | 12528,237 |
| Aksi Transien | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | -4171,614 | -3079,324 | 6055,644 |
| Gaya Rem | TB | -129,676 | -95,722 | 188,242 |
| Aksi Lingkungan | | | | |
| Pengaruh Temperatur | ET | | | |
| Beban Angin | EW | | | |
| Beban Gempa | EQ | | | |
| Tegangan Total Kombinasi | | -8927,150 | -7834,976 | 719,811 |
| | | < fcs = 22500 kPa | < fcs = 22500 kPa | < fcs = 22500 kPa |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.21 menunjukkan bahwa tegangan total kombinasi pembebanan 1 memenuhi standar izinnnya yaitu 22500 kPa. Dengan besar nilai f_{ac} sebesar $-8927,150$ kPa (mengalami tekan), kemudian f'_{ac} sebesar $-7834,976$ kPa (mengalami tekan), dan f_{bc} sebesar $719,811$ kPa (mengalami tarik).

Tabel 5.22 Kontrol Tegangan Kombinasi 2

| Aksi/Beban | Simbol | fac (kPa) | f'ac (kPa) | fbc (kPa) |
|---------------------|--------|-----------|------------|-----------|
| Aksi Tetap | | | | |
| Berat Sendiri | MS | -9108,863 | -6723,813 | -13222,71 |
| Beban Mati Tambahan | MA | -715,210 | -527,940 | -1038,221 |

Tabel 5.22 Kontrol Tegangan Kombinasi 2 (Lanjutan)

| Aksi/Beban | Simbol | fac (kPa) | f ⁺ ac (kPa) | fbc (kPa) |
|--------------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Susut dan Rangkak | SR | -790,139 | 395,046 | -3791,381 |
| Prategang | PR | 5988,352 | 2196,777 | 12528,237 |
| Aksi Transien | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | -4171,614 | -3079,324 | 6055,644 |
| Gaya Rem | TB | -129,676 | -95,722 | 188,242 |
| Aksi Lingkungan | | | | |
| Pengaruh Temperatur | ET | -5147,321 | -5158,227 | 363,311 |
| Beban Angin | EW | | | |
| Beban Gempa | EQ | | | |
| Tegangan Total Kombinasi | | - 14074,471 | - 12993,203 | 1083,122 |
| | | < f _{cs} = 22500 kPa | < f _{cs} = 22500 kPa | < f _{cs} = 22500 kPa |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.22 menunjukkan bahwa tegangan total kombinasi pembebanan 2 masih memenuhi standar (f_{cs}) sebesar 22500 kPa. Dengan nilai f_{ac} sebesar – 14074,471 kPa (mengalami tekan), nilai f_{ac}^+ sebesar – 12993,203 kPa (mengalami tekan), dan nilai f_{bc} sebesar 1083,122 kPa (mengalami tarik).

Tabel 5.23 Kontrol Tegangan Kombinasi 3

| Aksi/Beban | Simbol | fac (kPa) | f ⁺ ac (kPa) | fbc (kPa) |
|------------------------|--------|-----------|-------------------------|-----------|
| Aksi Tetap | | | | |
| Berat Sendiri | MS | -9108,863 | -6723,813 | -13222,71 |
| Beban Mati Tambahan | MA | -715,210 | -527,940 | -1038,221 |
| Susut dan Rangkak | SR | -790,139 | 395,046 | -3791,381 |
| Prategang | PR | 5988,352 | 2196,777 | 12528,237 |
| Aksi Transien | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | -4171,614 | -3079,324 | 6055,644 |
| Gaya Rem | TB | -129,676 | -95,722 | 188,242 |
| Aksi Lingkungan | | | | |
| Pengaruh Temperatur | ET | | | |
| Beban Angin | EW | -215,626 | -159,167 | 313,009 |
| Beban Gempa | EQ | | | |

Tabel 5.23 Kontrol Tegangan Kombinasi 3 (Lanjutan)

| Aksi/Beban | f_{ac} (kPa) | f'_{ac} (kPa) | f_{bc} (kPa) |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tegangan Total Kombinasi | -9142,776 | -7994,143 | 1032,820 |
| | $< f_{cs} =$ 22500 kPa | $< f_{cs} =$ 22500 kPa | $< f_{cs} =$ 22500 kPa |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2020)

Tabel 5.23 menunjukkan bahwa tegangan total kombinasi pembebanan 3 masih memenuhi standar (f_{cs}) sebesar 22500 kPa. Dengan nilai f_{ac} sebesar – 9142,776 kPa (mengalami tekan), nilai f'_{ac} sebesar – 7994,143 kPa (mengalami tekan), dan nilai f_{bc} sebesar 1032,820 kPa (mengalami tarik).

Tabel 5.24 Kontrol Tegangan Kombinasi 4

| Aksi/Beban | Simbol | f_{ac} (kPa) | f'_{ac} (kPa) | f_{bc} (kPa) |
|--------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Aksi Tetap | | | | |
| Berat Sendiri | MS | -9108,863 | -6723,813 | -13222,71 |
| Beban Mati Tambahan | MA | -715,210 | -527,940 | -1038,221 |
| Susut dan Rangkak | SR | -790,139 | 395,046 | -3791,381 |
| Prategang | PR | 5988,352 | 2196,777 | 12528,237 |
| Aksi Transien | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | -4171,614 | -3079,324 | 6055,644 |
| Gaya Rem | TB | -129,676 | -95,722 | 188,242 |
| Aksi Lingkungan | | | | |
| Pengaruh Temperatur | ET | -5147,321 | -5158,227 | 363,311 |
| Beban Angin | EW | -215,626 | -159,167 | 313,009 |
| Beban Gempa | EQ | | | |
| Tegangan Total Kombinasi | | - | - | |
| | | 14290,097 | 13152,370 | 1396,131 |
| | | $< f_{cs} =$ 22500 kPa | $< f_{cs} =$ 22500 kPa | $< f_{cs} =$ 22500 kPa |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2020)

Tabel 5.24 menunjukkan bahwa tegangan total kombinasi pembebanan 4 masih memenuhi standar (f_{cs}) sebesar 22500 kPa. Dengan nilai f_{ac} sebesar – 14290,097 kPa (mengalami tekan), nilai f'_{ac} sebesar – 13152,370 kPa (mengalami tekan), dan nilai f_{bc} sebesar 1396,131 kPa (mengalami tarik).

Tabel 5.25 Kontrol Tegangan Kombinasi 5

| Aksi/Beban | Simbol | fac (kPa) | f'ac (kPa) | fbc (kPa) |
|--------------------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Aksi Tetap | | | | |
| Berat Sendiri | MS | -9108,863 | -6723,813 | -13222,71 |
| Beban Mati Tambahan | MA | -715,210 | -527,940 | -1038,221 |
| Susut dan Rangkak | SR | -790,139 | 395,046 | -3791,381 |
| Prategang | PR | 5988,352 | 2196,777 | 12528,237 |
| Aksi Transien | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | -4171,614 | -3079,324 | 6055,644 |
| Gaya Rem | TB | -129,676 | -95,722 | 188,242 |
| Aksi Lingkungan | | | | |
| Pengaruh Temperatur | ET | | | |
| Beban Angin | EW | | | |
| Beban Gempa | EQ | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Tegangan Total Kombinasi | | -8927,150 | -7834,976 | 719,811 |
| | | < fcs = 22500 kPa | < fcs = 22500 kPa | < fcs = 22500 kPa |

(Sumber : Analisa Perhitungan, 2020)

Tabel 5.25 menunjukkan bahwa tegangan total kombinasi pembebanan 4 masih memenuhi standar (f_{cs}) sebesar 22500 kPa. Dengan nilai f_{ac} sebesar - 8927,150 kPa (mengalami tekan), nilai f'_{ac} sebesar - 7834,976 kPa (mengalami tekan), dan nilai f_{bc} sebesar 719,81189 kPa (mengalami tarik).

Dari beberapa kombinasi yang dilakukan, kombinasi 1, kombinasi 2, kombinasi 3, kombinasi 4, kombinasi 5, tegangan yang terjadi tiap-tiap kombinasi pembebanan terhadap tegangan izin balok komposit memenuhi persyaratan yaitu ≤ 22500 kPa

5.13 Kontrol Lendutan

Lendutan yang terjadi pada kombinasi tidak boleh lebih dari $= L/300$ dimana L adalah panjang balok girder yang ditinjau. Control lendutan dilakukan pada saat gelegar/balok girder menerima kombinasi pembebanan. Analisanya dapat dilihat pada lampiran A.52 - A.57, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26. Kontrol Lendutan Terhadap Beban Yang Bekerja

| Aksi/Beban | Simbol | Kombinasi Pembebanan | | | | |
|--------------------------|--------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | Kombinasi 1 (m) | Kombinasi 2 (m) | Kombinasi 3 (m) | Kombinasi 4 (m) | Kombinasi 5 (m) |
| Aksi Tetap | | | | | | |
| Berat Sendiri | MS | 0,026 | 0,026 | 0,026 | 0,026 | 0,026 |
| Beban Mati Tambahan | MA | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Susut dan Rangkak | SR | -0,006 | -0,006 | -0,006 | -0,006 | -0,006 |
| Prategang | PR | -0,079 | -0,079 | -0,079 | -0,079 | -0,079 |
| Aksi Transien | | | | | | |
| Beban Lajur "D" | TD | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | |
| Gaya Rem | TB | 0,00023 | 0,00023 | 0,00023 | 0,00023 | |
| Aksi Lingkungan | | | | | | |
| Pengaruh Temperatur | ET | | 0,00007 | | 0,00007 | |
| Beban Angin | EW | | | 0,0006 | 0,0006 | |
| Beban Gempa | EQ | | | | | 0,000 |
| Tegangan Total Kombinasi | | -0,037 m | -0,037 | -0,036 | -0,036 | -0,057 |
| | | $\leq L/300 = 0,135 \text{ m}$ | | | | |

Sumber : Analisa Perhitungan, 2020

Tabel 5.26 menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi akibat adanya beban yang bekerja pada jembatan masih memenuhi dari nilai yang disyaratkan yaitu sebesar 0,135, sedangkan untuk tegangan terbesar terjadi yaitu -0,057 meter dengan lendutan ke arah bawah.

5.14 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya

Dari hasil penelitian ini, maupun penelitian yang dilakukan oleh Annur (2013), Harmono (2005), Hardiwiyo (2013), Darmawan (2008), dan Rizkia (2017). Berdasarkan dari pembelajaran mata kuliah Beton Prategang dan beberapa literatur dari buku dijelaskan bahwa untuk kehilangan prategang dengan metode *Post-Tensioned* tidak melebihi dari 20% yang mana hanya penelitian dari Annur (2018) yang sesuai dengan persentase kehilangan prategang 19,138%. Dan pada penelitian ini didapatkan hasil persentase kehilangan prategang 15,951%.

Untuk melihat perbandingan penelitian ini dan penelitian ini dan penelitian terdahulu, dapat dilihat pada tabel 5.27.

Tabel 5.27 Perbandingan kehilangan gaya prategang penelitian sebelumnya

| Pembanding | Penelitian Penulis (2020) | Penelitian Harmono (2005) | Penelitian Annur (2013) | Penelitian Hardiwiyono (2013) | Penelitian Rizkia (2017) | Penelitian Batubara (2018) |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Tipe Girder | I Girder | I Girder | I Girder | Box Girder | I Girder | I Girder |
| Bentang Girder | 40,5 m | 39,8 m | 35,8 m | 40 m | 38 m | 24 m |
| Tinggi girder | 2,1 m | 2,1 m | 1,7 m | 2,5 m | 2,1 m | 1,6 m |
| Jenis Strand | <i>uncoated 7 wire super strand ASTM A-416 grade270</i> | <i>uncoated 7 wire super strand ASTM A-416 grade270</i> | <i>uncoated 7 wire super strand ASTM A-416 grade270</i> | <i>uncoated 7 wire super strand ASTM A-416 grade270</i> | <i>uncoated 7 wire super strand ASTM A-416 grade270</i> | <i>uncoated 7 wire super strand ASTM A-416 grade270</i> |
| Jumlah Strand | 81 strand | 76 strand | 57 strand | 196 strand | 64 Strand | 36 strand |
| Gaya Tarik Awal | 11701,409 kN | 9740,628 kN | 801690,75 kg | 621,45 Mpa | 8232,3214 kN | 5351,295 kN |
| Gaya Tarik Akhir | 9027,349 kN | 6855,309 kN | 648263,684 kg | 316,7874 Mpa | 7936,7386 kN | 3745,906 kN |
| Jenis Prategang | <i>post-tensioned</i> | <i>post-tensioned</i> | <i>post-tensioned</i> | <i>post-tensioned</i> | <i>post-tensioned</i> | <i>post-tensioned</i> |
| Total Kehilangan Prategang | 15,916% | 30% | 19,138% | 49,024% | 30,826% | 25,52% |
| Acuan | SNI 1725:2016 | SNI T-02 2005, <i>Bridge Management System (BMS), ACI</i> | SNI T-12-2004, SNI T-02-2005, <i>Bridge Management System (BMS), AASHTO 1992, ACI</i> | Bridge management system (BMS-1992) | SNI 1725:2016 | SNI 1725:2016, RSNI T-12-2004 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2020)

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Kehilangan gaya prategang yang digunakan sebagai asumsi awal rencana sebesar 20% dan setelah dilakukan perhitungan mendapatkan kehilangan prategang sebesar 15,915% pada balok *girder*.
2. Balok prategang dengan bentang 40,5 meter dalam perhitungan ini didapatkan gaya prategang awal sebesar 11701,409 kN dan gaya prategang akhir 9027,349 kN setelah mengalami *loss of prestressed*.
3. Untuk tegangan yang terjadi pada saat kondisi layan tegangan serat atas $f_a = - 131,718$ kPa lebih kecil dari tegangan yang diizinkan $f_{cs} = - 25500$ kPa dan tegangan pada serat bawah $f_b = - 25500$ kPa kecil sama dengan tegangan yang diizinkan $f_{cs} = - 25500$ kPa, maka struktur beton prategang memenuhi syarat yang diizinkan.
4. Pada keadaan transfer, balok mengalami lendutan sebesar -0,082 meter ke arah bawah, lendutan setelah *loss of prestressed* sebesar -0,052 meter ke arah bawah dan pada saat balok menjadi komposit lendutan yang dialami sebesar -0,028 meter ke arah bawah.
5. Setelah dilakukan control terhadap lendutan setelah balok prategang komposit, lendutan yang diizinkan yaitu sebesar 0,135 meter aman terhadap lendutan maksimum yang bekerja yaitu sebesar -0,057 meter dengan arah ke bawah.

6.2 Saran

1. Dalam setiap perencanaan hendaknya selalu mengacu pada peraturan, landasan ataupun standar baru yang dikeluarkan oleh pihak yang berwenang.

2. Diharapkan kepada perencana atau analisa berikutnya untuk menggunakan *software* dengan ketelitian yang lebih tinggi dalam perhitungan untuk lebih menjamin tingkat keamanan struktur.
3. Kepada peneliti yang ingin meneliti lebih lanjut penelitian ini bisa dilanjutkan dengan pembahasan tentang puntir dan momen geser pada balok prategang ini.
4. Penelitian ini bisa dilakukan peninjauan ulang dengan memasukkan beban analisis dinamik struktur jembatan dengan beban gempa, baik itu metode mode tunggal, analisis spectra multi mode, metode respon spectrum, dan metode time history.

Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR PUSTAKA

- Annur, Dini Fitria dan Johannes Tarigan. 2013. *Perencanaan Precast Concrete I Girder pada Jembatan Prestressed Post-tension dengan Bantuan Program MicrosoftExcel (Skripsi)*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Armin, H.Manalip, Banu Dwi Handono. 2018. *Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang*. Jurnal Sipil Statik, 6(1), (67-74)
- Batubara, Samsuardi, Larno Simatupang. 2018. *Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI)*. Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil, 6(1), (45-61).
- Budiadi, Andri. 2008. *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta : Andi Offset
- Budiono, Bambang. 2012. *Perilaku Struktur Beton Prategang*. Bandung : ITB Press
- Budiono, Bambang. 2012. *Rekayasa Jembatan*. Bandung : ITB Press
- Hardiwiyono, Sentot, Bagus Soebandono, dan Lukmanul Hakim. 2013. *Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan Menggunakan Box Girder*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, 16(1), (10-20)
- Harmono, Dwi, Rully Irawan, Widarto Sutrisno. 2005. *Analisis Gelagar Prestress Pada Perencanaan Jembatan Akses Pulau Balang I Menggunakan Software SAP 2000 v.14*. Yogyakarta : Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa.
- Hutama Karya. 2016. *Spesifikasi Umum Pelaksanaan Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Dumai Seksi 1 Pekanbaru – Minas (STA 0+000 S/D 9+500)*. Jakarta : Utama Karya
- Manu, Agus Iqbal. 1995. *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. Jawa Timur : PT. MEDIATAMA SAPTAKARYA
- Nawy, Edward G. 2011. *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar Volume I*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Lin, T. Y dan Burns, Ned. H. 2000. *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid I*. Jakarta : Binarupa Aksara.
- SNI 1725:2016. *Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar. 2000. *Jembatan*. Yogyakarta : Beta

Offset

Struyk, H.J. 1984. *Jembatan*. Jakarta : P.T Pradnya Paramita

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan

Wika CLT. 2019. *Bridge Concrete Products (brosur)*. Jakarta : Wika Beton

Wiyono, Sugeng. 2018. *Power Point Mata Kuliah Beton Prategang*. Pekanbaru : Universitas Islam Riau



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau