

TUGAS AKHIR

**ANALISIS LENDUTAN STRUKTUR JEMBATAN JALAN
RAYA DENGAN SISTEM BALOK BETON PRATEGANG
(Literatur)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

M.YUSRA ADRIAN
1407210111



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M.Yusra Adrian

NPM : 1407210111

Program Studi : Teknik Sipil

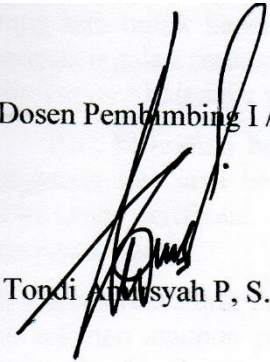


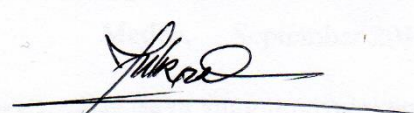
Judul Skripsi : Analisis Lendutan Struktur Jembatan Jalan Raya Dengan Sistem Balok Beton Prategang (Studi Literatur)

Bidang ilmu : Struktur

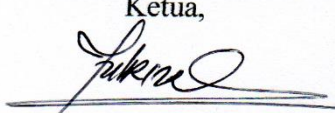
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2018

Mengetahui dan menyetujui:

| | |
|---|--|
| Dosen Pembimbing I / Penguji | Dosen Pembimbing II / Peguji |
|  |  |
| Tondi Amisyah P, S.T, M.T | Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T |
| Dosen Pembanding I / Penguji | Dosen Pembanding II / Peguji |
|  |  |
| Dr. Ade Faisal, ST, MSc | Dr. Fahrizal Zulkarnain |

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M.Yusra Adrian

Tempat /Tanggal Lahir: Lubuk Pakam / 15 April 1996

NPM : 1407210111

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Lendutan Struktur Jembatan Jalan Raya Dengan Sistem Balok Beton Prategang”,

bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

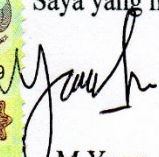
Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.


Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September

2018

menyatakan,

Saya yang menyatakan,

M. Yusra Adrian



ABSTRAK

ANALISIS LENDUTAN STRUKTUR JEMBATAN JALAN RAYA DENGAN SISTEM BALOK BETON PRATEGANG (LITERATUR)

M.Yusra Adrian

1407210111

Tondi Amirysah Putera P, S.T,MT

Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

Struktur jembatan merupakan bagian penting dan paling mahal dari suatu sistem transportasi. Sehingga dalam mendesain suatu perencanaan struktur jembatan diperlukan data-data pembebanan yang lengkap dan lokasi yang tepat dimana jembatan tersebut akan dibangun, serta memilih struktur yang tepat untuk digunakan untuk desain jembatan tersebut. Tugas akhir ini, bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur jembatan terhadap bentuk dari tiga jenis girder yang di gunakan yang berbeda. Analisis yang digunakan pada tugas akhir ini adalah analisis menggunakan metode statik ekuivalen untuk perhitungan beban gempa nantinya. Analisa pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016. Dalam tugas akhir ini, terdapat 3 Model dengan girder yang berbeda, yaitu *girder* Model 1 *girder persegmental*, Model 2 *I girder perkontinius* dan Model 3 *box girder perkontinius*. Jembatan memiliki panjang 100 m dan lebar 11 m. Dimensi untuk balok *girder* direncanakan berbeda karena penampang yang berbeda. Bangunan dimodelkan dengan menggunakan bantuan program CSI Bridge 2017. Hasil analisis, periode getar pada Model 1 sebesar 0,99247 (Detik), Model 2 sebesar 0,37337 (Detik), Model 3 sebesar 1,82245 (Detik), dan hasil analisis lendutan pada Model 1 sebesar -0,2819 m, Model 2 sebesar -0,0233 m, Model 3 sebesar -0,3337 m.

Kata kunci: Gempa, lendutan, jembatan, beton prategang.

ABSTRACT

DEFLECTION ANALYSIS OF HIGHWAY BRIDGE STRUCTURES WITH PRESTRESSED CONCRETE (LITERATURE)

M.Yusra Adrian

1407210111

Tondi Amirysah Putera P, S.T,MT

Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

The structure of the bridge is an important and most expensive part of a transportation system. So in designing a bridge structure planning, we need complete loading data and the exact location where the bridge will be built, as well as choosing the right structure to be used for the design of the bridge. This final project, aims to determine the behavior of the bridge structure to the shape of the three types of girder that are used differently. The analysis used in this final project is the analysis using equivalent static method for the calculation of earthquake load later. Load analysis based on SNI 1725: 2016. In this final project, there are 3 models with different girde, amely the girder model 1 of a segmental girder, Model 2 I girder contini system and Model 3 box girder contini system. The bridge has a length of 100 m and a width of 11 m. The dimensions for the girder beam are planned differently because of different sections Buildings are modeled with the help of the CSI Bridge 2017 program. Results of analysis, the period of vibration in Model 1 is -0.99247 (Seconds), the period of vibration in Model 2 is -0,0233 (Seconds), the period of vibration in Model 2 is -0,0233 (Seconds), the period of vibration in Model 3 is -1,82245 (Seconds), and the result of deflection analysis in Model 1 is -0.2819 m, Model 2 is -0.0233 m, Model 3 is -0.33337 m.

Keywords: Earthquake, deflection, bridge, prestressed concrete.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Lendutan Struktur Jembatan Jalan Raya Dengan Sistem Balok Beton Prategang” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera .P, S.T,M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Mizannudin Sitompul, S.T, M.T selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, MSc selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar,S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Adril, dan Yusliana, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Tri Setiawan, Arifin Ahmad Siregar, Ninda karisa, Adellia SS Nasution, Fichia Uhusna, Rizwan Anfa, Syaputra Baturbara, Rahmad Amin Pasaribu, terimakasih atas dukungan dan kerjasamanya selama ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, September 2018

M.Yusra Adrian

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| LEMBAR KEASLIAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| <i>ABSTRACT</i> | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR NOTASI | xviii |
| DAFTAR SINGKATAN | xxii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Ruang lingkup penelitian | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika Pembahasan | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Tinjauan Umum | 5 |
| 2.2 Komponen jembatan | 5 |
| 2.2.1 Struktur atas | 5 |
| 2.2.2 Struktur bawah | 6 |
| 2.2.3 Bangunan Pelengkap Dan Pengaman Jembatan | 8 |
| 2.3 Beton Prategang | 9 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3.1 | Konsep Dasar Beton Prategang | 9 |
| 2.3.2 | Temporary Tendon | 13 |
| 2.3.3 | Beton Prategang (<i>Prestressed Concrete</i>) | 14 |
| 2.4 | Pratarik | 14 |
| 2.5 | Pascatarik | 15 |
| 2.5.1 | Baja Prategang | 16 |
| 2.5.2 | <i>Grouting</i> | 19 |
| 2.5.3 | Metode Prategang | 19 |
| 2.5.4 | Perhitungan Struktur beton prategang | 23 |
| 2.5.4.1 | Tegangan pada penampang beton prategang | 24 |
| 2.5.4.2 | Tegangan izin pada beton prategang | 24 |
| 2.5.4.3 | Kehilangan prategang | 26 |
| 2.6 | Peraturan gempa yang di modifikasi | 31 |
| 2.6.1 | Cara analisis tahan gempa | 31 |
| 2.6.2 | Koefisien geser dasar | 34 |
| 2.7 | Prinsip analisis riwayat waktu | 37 |
| 2.7.1 | Umum | 37 |
| 2.7.2 | Cara analisis dinamis | 37 |
| 2.8 | Pengaruh gaya inersia | 38 |
| 2.9 | Perumusan perioda alami jembatan | 39 |
| 2.10 | Filosofi perencanaan | 41 |
| 2.10.1 | Pembebanan Jembatan | 41 |
| 2.10.2 | Keadaan batas layan | 42 |
| 2.10.3 | Keadaan batas faatik fraktur | 42 |
| 2.10.4 | Keadaan batas kekuatan | 43 |
| 2.10.5 | Daktilitas | 43 |
| 2.10.6 | Redundansi | 44 |
| 2.10.7 | Kepentingan operasional | 44 |
| 2.10.8 | Kelompok pembebanan dan simbol untuk beban | 45 |
| 2.11 | Faktor beban dan kombinasi | 46 |
| 2.11.1 | Faktor bebean dan kombinasi pembebanan | 46 |
| 2.11.2 | Faktor beban pada masa kontruksi | 51 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.11.2.1 | Evaluasi pada keadaan batas kekuatan | 51 |
| 2.11.2.2 | Evaluasi lendutan pada keadaan batas layan | 52 |
| 2.12 | Faktor beban untuk pendongkrakan dan gaya paska tarik | 52 |
| 2.12.1 | Gaya dongkrak | 52 |
| 2.12.2 | Gaya untuk perencanaan zona angkur tendon paska tarik | 52 |
| 2.13 | Beban permanen | 52 |
| 2.13.1 | Umum | 52 |
| 2.13.2 | Berat sendiri | 53 |
| 2.13.3 | Beban mati tambahan | 54 |
| 2.13.3.1 | Ketebalan diizinkan untuk pelapisan kembali | 55 |
| 2.13.3.2 | Sarana lain di jembatan | 55 |
| 2.13.4 | Pengaruh tetap pelaksanaan | 55 |
| 2.14 | Beban lalu lintas | 56 |
| 2.14.1 | Umum | 56 |
| 2.14.2 | Lajur lalu lintas rencana | 57 |
| 2.14.3 | Beban lajur | 57 |
| 2.14.3.1 | Intensitas beban “D” | 58 |
| 2.14.3.2 | Distribusi beban “D” | 58 |
| 2.14.3.3 | Respon terhadap beban lajur “D” | 60 |
| 2.14.4 | Beban truck “T” | 60 |
| 2.14.4.1 | Besarnya pembebanan truck “T” | 61 |
| 2.14.4.2 | Posisi dan penyebaran truck dalam arah melintang | 61 |
| 2.14.4.3 | Kondisi faktor kepadatan jalur | 62 |
| 2.14.4.4 | Bidang kontrak roda kendaraan | 63 |
| 2.14.4.5 | Penerapan kontak roda kendaraan | 63 |
| 2.14.4.6 | beban hidup untuk evaluasi lendutan | 64 |
| 2.14.4.7 | beban rencana untuk plat lantai kendaraan | 64 |
| 2.14.5 | klarifikasi pembebanan lalu lintas | 65 |
| 2.14.5.1 | pembebanan lalu lintas yang dikuragin | 65 |
| 2.14.5.2 | pembebanan lalu lintas yang berlebihan | 65 |
| 2.14.6 | Faktor beban dinamis | 65 |
| 2.15 | Gaya rem | 67 |

| | | |
|-----------------------------------|--|-----------|
| 2.16 | Pembebanan untuk pejalan kaki | 67 |
| 2.17 | Beban angin | 68 |
| 2.17.1 | Tekanan angin horizontal | 68 |
| 2.17.1.1 | Beban angin pada struktur | 68 |
| 2.17.1.2 | Beban dari struktur atas | 69 |
| 2.17.1.3 | Gaya angin yang langsung bekerja pada struktur bawah | 70 |
| 2.17.1.4 | Gaya angin pada kendaraan | 70 |
| 2.17.1.5 | Tekanan angin vertikal | 71 |
| BAB 3 PEMODELAN STRUKTUR | | 72 |
| 3.1 | Metodologi penelitian | 72 |
| 3.2 | Metode analisis | 73 |
| 3.3 | Pemodelan struktur | 73 |
| 3.3.1 | Data perencanaan struktur jembatan | 73 |
| 3.3.2 | Data material struktur jembatan | 74 |
| 3.4 | Konfigurasi struktur jembatan | 74 |
| 3.5 | Denah struktur jembatan | 74 |
| 3.6 | Analisa beban pada jembatan | 79 |
| 3.6.1 | Berat sendiri (MS) | 80 |
| 3.6.2 | Beban mati tambahan (MA) | 80 |
| 3.6.3 | Beban lajur (TD) | 80 |
| 3.6.4 | Gaya rem (TB) | 81 |
| 3.6.5 | Beban tumbukan kendaraan | 81 |
| 3.6.6 | Beban untuk pejalan kaki (TP) | 81 |
| 3.6.7 | Beban angin (EW) | 81 |
| 3.6.8 | Pengaruh temperatur (ET) | 82 |
| 3.6.9 | Beban akibat gempa (EQ) | 83 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 88 |
| 4.1 | Tinjauan umum | 88 |
| 4.2 | Hasil analisa | 88 |
| 4.2.1 | Hasil analisa periode getar Model 1 | 88 |

| | |
|---|---------|
| 4.2.2 Hasil analisa periode getar Model 2 | 89 |
| 4.2.3 Hasil analisa periode getar Model 3 | 90 |
| 4.2.4 Hasil analisa lendutan Model 1 | 91 |
| 4.2.5 Hasil analisa lendutan Model 2 | 91 |
| 4.2.6 Hasil analisa lendutan Model 3 | 92 |
| 4.2.7 Hasil analisa besarnya momen (M3) pada Model 1 | 92 |
| 4.2.8 Hasil analisa besarnya momen (M3) pada Model 2 | 93 |
| 4.2.9 Hasil analisa besarnya momen (M3) pada Model 3 | 94 |
| 4.2.10 Hasil analisa besarnya gaya geser (V2) arah X pada Model 1 | 95 |
| 4.2.11 Hasil analisa besarnya gaya geser (V2) arah X pada Model 2 | 95 |
| 4.2.12 Hasil analisa besarnya gaya geser (V2) arah X pada Model 3 | 95 |
| 4.2.13 Hasil analisa besarnya gaya geser (V3) arah Y pada Model 1 | 96 |
| 4.2.14 Hasil analisa besarnya gaya geser (V3) arah Y pada Model 2 | 96 |
| 4.2.15 Hasil analisa besarnya gaya geser (V3) arah Y pada Model 3 | 96 |
| 4.2.16 Hasil analisa besarnya gaya aksial (P) pada Model 1 | 97 |
| 4.2.17 Hasil analisa besarnya gaya aksial (P) pada Model 2 | 97 |
| 4.2.18 Hasil analisa besarnya gaya aksial (P) pada Model 3 | 98 |
| 4.2.19 Menghitung Analisa Besarnya Stressing Model 1 | 98 |
| 4.2.19.1 (Bobj 1) | 98 |
| 4.2.19.2 (Bobj 2) | 100 |
| 4.2.20 Menghitung Analisa Besarnya Stressing Model 2 | 102 |
| 4.2.21 Menghitung Analisa Besarnya Stressing Model 3 | 104 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 106 |
| 5.1 Kesimpulan | 106 |
| 5.1 Saran | 107 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 : nilai tipikal untuk $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$. | 17 |
| Tabel 2.2 : Kawat-Kawat Untuk Beton Prategang | 17 |
| Tabel 2.3 : Strand standar 7 kawat untuk beton prategang | 18 |
| Tabel 2.4 : spesifikasi strand 7 kawat | 19 |
| Tabel 2.5 : Nilai K_{sh} untuk komponen struktur post tension | 28 |
| Tabel 2.6 : Nilai K_{re} dan J | 29 |
| Tabel 2.7 : Nilai C | 29 |
| Tabel 2.8 : Koefisien <i>wobble</i> dan kelengkungan | 30 |
| Tabel 2.9 : Kategori kinerja seismic | 32 |
| Tabel 2.10 : Prosedur analisis berdasarkan kategori kinerja seismic (A-D) | 32 |
| Tabel 2.11 : Faktor modifikasi respon (R_d) untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah. | 33 |
| Tabel 2.12 : Kriteria panjang perletakan minimum (N) | 33 |
| Tabel 2.13 : Koefisien tanah (S) | 36 |
| Tabel 2.14 : Kombinasi beban dan faktor beban. | 50 |
| Tabel 2.15 : Berat isi untuk beban mati. | 53 |
| Tabel 2.16 : Faktor beban untuk berat sendiri. | 54 |
| Tabel 2.17 : Faktor beban untuk beban mati tambahan. | 54 |
| Tabel 2.18: Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan. | 55 |
| Tabel 2.19 : Jumlah lajur lalu lintas rencana. | 56 |
| Tabel 2.20 : Faktor beban untuk beban lajur “D”. | 57 |
| Tabel 2.21 : Faktor beban untuk “T” | 60 |
| Tabel 2.22 : Faktor kepadatan lajur (m) | 62 |

| | |
|---|----|
| Tabel 2.23 : Tekanan angin dasar. | 69 |
| Tabel 2.24 : Tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang. | 69 |
| Tabel 2.25 : Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan. | 70 |
| Tabel 3.1 : Berat isi untuk beban mati. | 89 |
| Tabel 4.1 : Data periode getar (T) <i>output software</i> CSI Bridge 2017 Model 1 | 88 |
| Tabel 4.2 : Data periode getar (T) <i>output software</i> CSI Bridge 2017 Model 2 | 89 |
| Tabel 4.3 : Data periode getar (T) <i>output software</i> CSI Bridge 2017 Model 3 | 90 |
| Tabel 4.4 : Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder Model 1. | 92 |
| Tabel 4.5 : Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder Model 2. | 93 |
| Tabel 4.6 : Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder Model 3. | 94 |
| Tabel 4.7 : Hasil output CSI Bridge 2017 gaya aksial (P) maksimum pada Model 1 | 97 |
| Tabel 4.8 : Hasil output CSI Bridge 2017 gaya aksial (P) maksimum pada Model 2 | 97 |
| Tabel 4.9 : Hasil output CSI Bridge 2017 gaya aksial (P) maksimum pada Model 2 | 98 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 : Komponen-Komponen Jembatan (Supriyadi). | 5 |
| Gambar 2.2 : Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris. | 10 |
| Gambar 2.3 : Momen Penahan Internal Pada Beton Prategang dan Beton Bertulang. | 11 |
| Gambar 2.4 : Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi | 11 |
| Gambar 2.5 : Balok prategang dengan tendon parabola | 12 |
| Gambar 2.6 : Proses Pengerjaan Beton Pratarik | 15 |
| Gambar 2.7 : Proses Pengerjaan Beton Pascatatik | 16 |
| Gambar 2.8 : Untaian Kawat Strand dan Strand 7 Kawat. | 19 |
| Gambar 2.9 : Metode <i>Pre – Tension</i> . | 20 |
| Gambar 2.10 : Metode <i>Post – Tension</i> | 21 |
| Gambar 2.11: Prinsip Tendon digunakan | 22 |
| Gambar 2.12: Distribusi tegangan pada penampang | 23 |
| Gambar 2.13 : Prosedur analisis tahan gempa | 32 |
| Gambar 2.14 : Dimensi panjang dudukan perletakan minimum | 34 |
| Gambar 2.15 : Faktor reduksi pengaruh daktilitas dan risiko(Z) | 35 |
| Gambar 2.16 : Koefisien geser dasar(C) elastis untuk analisi dinamis, priode ulang 500 tahun | 36 |
| Gambar 2.17 : Wilayah gempa indonesia priode 500 tahun | 37 |
| Gambar 2.18 : Arah gerakan gaya inersia | 39 |
| Gambar 2.19 : Model perhitungan prioda alami (mode tunggal) | 40 |
| Gambar 2.20 : Gambar 2.20: Beban lajur “D” | 58 |

| | |
|---|----|
| Gambar 2.21 : Momen lentur positif – bentang 1,3,5. | 59 |
| Gambar 2.22 : Momen lentur positif – bentang 2,4 | 69 |
| Gambar 2.23: Momen lentur negatif pada pilar | 60 |
| Gambar 2.24: Pembebanan truk “T” (500 kN) | 61 |
| Gambar 2.25: Penempatan beban truk untuk momen negatif maksimum | 63 |
| Gambar 2.26: Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur | 67 |
| Gambar 3.1 : Bagan alir | 72 |
| Gambar 3.2 : Tampak atas jembatan | 74 |
| Gambar 3.3 : Tampak samping jembatan Balok girder I sistem persegmental dengan bentang 100 m | 75 |
| Gambar 3.4 : Tampak samping jembatan Balok girder I sistem kontinuis dengan bentang 100 m. | 75 |
| Gambar 3.5 : Tampak samping jembatan Balok box girder sistem kontinuis dengan bentang 100 m. | 75 |
| Gambar 3.6 : Model 1 (Balok girder I sistem persegmental) | 76 |
| Gambar 3.7 : Tampak atas jembatan pemodelan dengan CSI bridge 2017 | 76 |
| Gambar 3.8 : Tampak depan jembatan (Model 1) pemodelan CSI bridge 2017 | 77 |
| Gambar 3.9 : Model 2 (Balok girder I sistem kontinuis) | 77 |
| Gambar 3.10 : Tampak atas jembatan pemodelan dengan CSI bridge 2017 | 77 |
| Gambar 3.11 : Tampak depan jembatan (Model 2) CSI bridge 2017 | 78 |
| Gambar 3.12 : Model 3 (Balok girder I sistem kontinuis) | 78 |
| Gambar 3.13 : Tampak atas jembatan pemodelan dengan CSI bridge 2017 | 79 |
| Gambar 3.14 : Tampak depan jembatan (Model 3) CSI bridge 2017 | 79 |
| Gambar 3.15 : Mode 1 arah melintang jembatan (arah Y) dengan waktu getar $T = 0,9497$ Detik | 83 |
| Gambar 3.16 : Mode 2 arah memanjang (X) jembatan dengan waktu getar $T = 0,83501$ Detik. | 83 |
| Gambar 3.17 : Mode 1 arah melintang jembatan (arah Y) dengan waktu getar $T = 0,54158$ Detik. | 84 |
| Gambar 3.18 : Mode 2 arah memanjang (X) jembatan dengan | |

| | |
|--|-----|
| waktu getar $T = 0,47304$ Detik. | 84 |
| Gambar 3.19 : Mode 1 arah melintang jembatan (arah Y) dengan waktu getar $T = 1,82245$ Detik. | 85 |
| Gambar 3.20 : Mode 2 arah memanjang (X) jembatan dengan waktu getar $T = 0,47304$ Detik. | 85 |
| Gambar 3.21 : Input beban gempa arah (Y) menggunakan CSI Bridge 2017 | 87 |
| Gambar 3.22: Input beban gempa arah (X) menggunakan CSI Bridge 2017 | 87 |
| Gambar 4.1 : Grafik perbandingan nilai perioda getar pada balok girder dari Model 1, Model 2 dan Model 3 | 91 |
| Gambar 4.2 : Grafik perbandingan nilai lendutan pada balok girder Model 1, Model 2 dan Model 3. | 93 |
| Gambar 4.3 : Grafik perbandingan nilai gaya geser untuk arah x pada balok girder Model 1, Model 2 dan Model 3.2017 | 96 |
| Gambar 4.4 : Grafik perbandingan nilai gaya geser untuk arah x pada balok girder Model 1, Model 2 dan Model 3. | 97 |
| Gambar 4.5 : Max value dan min value pada stress model 1 (bobj1) (Daya Layan 1) | 98 |
| Gambar 4.6 : Max value dan min value pada stress model 1 (bobj1) (Daya layan 3) | 99 |
| Gambar 4.7 : Max value dan min value pada stress model 1 (bobj2) (Daya layan 1) | 100 |
| Gambar 4.8 : Max value dan min value pada stress model 1 (bobj2) (Daya layan 3) | 101 |
| Gambar 4.9 : Max value dan min value pada stress model 2 (Daya layan 1) | 102 |
| Gambar 4.10 : Max value dan min value pada stress model 2 (Daya layan 3) | 103 |
| Gambar 4.11 : Max value dan min value pada stress model 3 (Daya layan 1) | 104 |
| Gambar 4.12 : Max value dan min value pada stress model 3 (Daya layan 3) | 105 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|-------------|---|
| E | = Modus elastisitas (Mpa) |
| G | = Modulus geser (Mpa) |
| H_{cp} | = Tinggi badan profil baja yang tertekan (mm) |
| t_w | = ketebalan pelat badan profil pelat baja (mm) |
| H_{cp} | = tinggi badan profil baja yang tertekan (mm) |
| t_p | = Ketebalan pelat lantai, dinyatakan dalam millimeter (mm) |
| H | = Tinggi total girder (mm) |
| t_h | = Tebal bantalan antara pelat lantai dengan serat atas profil baja (mm) |
| b_p | = Lebar pelat lantai efektif (mm) |
| y | = Garis netral dari serat atasprofil baja (mm) |
| t_f | = Ketebalan pelat baja pada serat atas (mm) |
| D | = Tinggi bersih badan profil baja(mm) |
| M_p | = Kekuatan lentur nominal (N-m) |
| M_s | = M_p |
| M_y | = Momen kapasitas pada saat terjadi leleh(N-m) |
| M_r | = Momen batas tekuk (N-m) |
| λ | = Parameter kelangsingan |
| λ_r | = Batas maksimum parameter kelangsingan penampang tidak kompak |
| λ_p | = Batas maksimum parameter kelangsingan penampang kompak |
| V_L | = Gaya geser longitudinal rencana persatuan panjang pada rencana beban tegangan kerja (N) |
| V | = Gaya geser rencana untuk keadaan batas sesuai akibat lentur(N) |
| V_L^* | = Gaya geser longitudinal rencana persatuan panjang pada salah satu keadaan batas ultimit (N) |
| A_t | = Luas transformasi dari lantai beton (mm ²) |

- Y_c = Jarak garis netral penampang komposit terhadap titik berat luas $A_t(\text{mm}^2)$
 I_t = Momen kedua dari luas penampang komposit transformasi
 \emptyset = Faktor reduksi
 n = Jumlah penghubung geser persatuan panjang
 V_{su} = Kekuatan geser statik (N)
 A_{ts} = Luas penampang dari tulangan melintang (mm^2/m)
 b_{sh} = Lebar bidang geser yang ditinjau (mm)
 f_{ry} = Kekuatan leleh karakteristik tulangan (Mpa)
 f_c' = Kekuatan karakteristik beton (Mpa)
 f_y = Kekuatan karakteristik baja (Mpa)
 N_t^* = Gaya tarik minimum tulangan melintang pada tepi atas lantai (N/m)
 d_s = Tinggi lantai beton yang membentuk flens gelagar komposit (mm)
 $C_{elastis}$ = Koefisien geser dasar tanpa faktor daktilitas dan risiko (Z)
 $C_{plastis}$ = Koefisien geser dasar termasuk daktilitas dan risiko (Z)
 A = Percepatan/akselerasi puncak PGA di batuan dasar (g)
 R = Respon batuan dasar
 S = Amplikasi dipermukaan sesuai tipe tanah
 Z = Faktor reduksi sehubungan daktilitas dan risiko
 T = Periode alami struktur (detik)
 c_d = Faktor modifikasi nilai redaman terhadap standar 5%
 S_o = Akselerasi wilayah gempa dari respon (g)
 h_i = Konstanta redaman moda
 W = Berat bangunan bawah jembatan dan bagian bangunan atas (tf)
 K = Konstanta kekakuan (tf/m)
 g = Gaya gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)
 δ = Simpangan pada kedudukan gaya inersia (m)

| | |
|------------|---|
| \int | = Integrasi dari seluruh unit getar rencana |
| γ_i | = Faktor beban ke-i |
| η_I | = Faktor pengubah respon berkaitan dengan klasifikasi operasional |
| η_D | = Faktor pengubah respon berkaitan dengan daktilitas |
| η_R | = Faktor pengubah respon berkaitan dengan redundansi |
| Q_i | = Pengaruh gaya |
| R_n | = Tahanan nominal |
| R_r | = Tahanan terfaktor |
| MS | = Beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan |
| MA | = Beban mati perkerasan dan utilitas |
| TA | = Gaya horizontal akibat tekanan tanah |
| PL | = Gaya akibat proses pelaksanaan |
| SH | = Gaya akibat susut/rangkak |
| TB | = Gaya akibat rem |
| TR | = Gaya sentrifugal |
| TC | = Gaya akibat tumbukan kendaraan |
| TV | = Gaya akibat tumpukan kapal |
| EQ | = Gaya gempa |
| BF | = Gaya friksi |
| TD | = Beban lajur "D" |
| TT | = Beban truk "T" |
| TP | = Beban pejalan kaki |
| SE | = Beban akibat penurunan |
| ET | = Gaya akibat temperatur gradien |
| EU_z | = Gaya akibat temperatur seragam |
| EF | = Gaya apung |

- EW_S = Beban angin struktural
- EW_L = Beban angin pada kendaraan
- EU = Beban arus dan hanyutan
- q = intensitas beban terbagi rata(BTR) dalam arah memanjang (Kpa)
- L = Panjang total jembatan yang dibebani (m)
- L_{av} = Panjang bentang rata-rata dari bentang yang disambungkan(m)
- L_{max} = Panjang bentang maksimum (m)
- P_B = Tekanan angin dasar
- E_Q = Gaya gempa hrizontal (kN)
- C_{sm} = Koefisien respon gempa elastis
- R_d = Faktor modifikasi respon
- W_t = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

DAFTAR SINGKATAN

SNI = Standar Nasional Indonesia

RSNI = Revisi Standar Nasional Indonesia

BSN = Badan Standarisai Nasional

PBKT = Perencanaan Beban dan Kekuatan Terfaktor

PBL = Perencanaan berdasarkan Batas Layan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). Jembatan yang merupakan bagian dari jalan, sangat diperlukan dalam sistem jaringan transportasi darat yang akan menunjang pembangunan pada daerah tersebut. Perencanaan pembangunan jembatan harus diperhatikan seefektif dan seefisien mungkin, sehingga pembangunan jembatan dapat memenuhi keamanan dan kenyamanan bagi para pengguna jembatan (Struyk,1984).

Struktur jembatan merupakan bagian penting dan paling mahal dari suatu sistem transportasi. Sehingga dalam mendesain suatu perencanaan struktur jembatan diperlukan data-data pembebanan yang lengkap dan lokasi yang tepat dimana jembatan tersebut akan dibangun, serta memilih struktur yang tepat untuk digunakan untuk desain jembatan tersebut.

Perkembangan ilmu Teknik Sipil pada saat ini sangat pesat dengan berbagai penemuan yang dilakukan oleh para ahli. Perkembangan itu juga ditunjukkan oleh berbagai material yang dipakai para desainer dalam mendesain strukturnya sehingga memperoleh material yang efisien dan optimal untuk menerima beban yang direncanakan.

Struktur yang sering dipakai dalam desain struktur jembatan jalan raya diantaranya adalah struktur beton bertulang dan struktur beton prategang dari berbagai pilihan yang ada, penulis akan menggunakan struktur beton prategang dengan balok girder I per segmental dengan balok girder I sistem kontinu dan balok box girder sistem kontinu dalam mendesain struktur jembatan jalan raya. Struktur beton prategang ini merupakan kombinasi pemakaian girder I per segmental dengan balok girder I sistem kontinu dan box girder sistem kontinu sehingga diperoleh material dengan kekuatan dan kekakuan yang maksimum.

Untuk menganalisis struktur beton prategang yang dapat menerima beban sesuai dengan spesifikasi pembebanan yang direncanakan dan disyaratkan maka direncanakan suatu perencanaan struktur jembatan balok girder I dan box girder dengan per segmental dan kontinu yang tepat sehingga mendapatkan kekuatan dan kestabilan struktur untuk menerima beban yang direncanakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana besarnya periode getar yang dialami jembatan jalan raya dengan menggunakan *beton prategang balok girder I persegmental dengan balok girder I sistem kontinu dan balok box girder sistem kontinu* ?
2. Bagaimana membandingkan lendutan dari ketiga jenis jembatan beton prategang tersebut ?
3. Bagaimana mengetahui penggunaan metode dinamik pada gempa terhadap jembatan ?
4. Bagaimana membandingkan kelebihan dan kekurangan dari tiga jenis jembatan balok girder tersebut ?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Struktur jembatan yang ditinjau adalah *balok girder persegmental dengan sistem kontinu dan box girder sistem kontinu*.
2. Perhitungan dan analisis struktur beton pada jembatan beton prategang RSNi T-12-2004
3. Pembebanan jembatan dilakukan dengan acuan (SNI 1725 : 2016)
4. Klarifikasi jembatan menggunakan direktoriat jendral bina marga.
5. Peraturan gempa berdasarkan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan SNI 2833 : 2008 serta Peta Wilayah Gempa Indonesia.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk merencanakan periode getar yang di alami struktur balok girder I per segmental dengan balok girder I sistem kontinu dan box girder sistem kontinu.
2. Untuk mengetahui perbedaan lendutan dengan menggunakan bantuan CSI Bridge 2017.
3. Untuk menganalisis pengaruh penggunaan metode dinamik yang digunakan untuk menghitung pengaruh gempa terhadap jembatan.
4. Untuk membandingkan kelebihan dan kekurangan dari tiga jenis jembatan balok girder tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengaplikasikan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil dan Lingkungan. Selain itu, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan atau alternatif pemilihan panjang bentang (variasi plat *beton prategang*).

1.6 Sistematika Penulisan

Proposal penelitian atau skripsi ini terdiri dari dari lima bab yang direncanakan dan diharapkan dapat menjelaskan perihal topik bahasan, yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang permasalahan, identifikasi dan rumusan permasalahan, ruang lingkup pembahasan, tujuan dilakukannya penelitian dan manfaat penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori tentang jembatan, metode analisa yang akan digunakan serta ketentuan dalam desain yang harus dipenuhi sesuai syarat.

BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN

Bab ini menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan sesuai dengan analisis terhadap studi literatur dan berisi saran untuk pengembangan lebih lanjut yang baik di masa yang akan datang.

BAB II

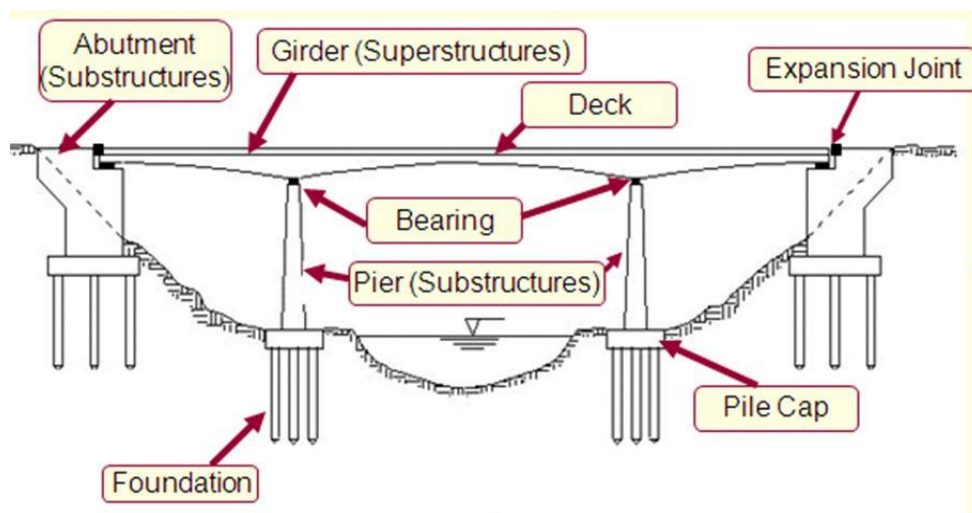
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Menurut Supriyadi (1997) jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang sungai/saluran air, lembah atau menyalang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Secara umum bentuk dan bagianbagian suatu struktur jembatan dapat dibagi dalam 4 bagian utama, yaitu: struktur atas, struktur bawah, bangunan pelengkap dan pengamanan jembatan, serta trotoar.

2.2. Komponen Jembatan

Menurut Supriyadi (1997) bagian pokok jembatan dapat dibagi dalam 2 (dua) bagian utama yaitu bagian struktur atas dan struktur bawah. Untuk setiap bagian jembatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Komponen-Komponen Jembatan (Supriyadi).

2.2.1. Struktur Atas

Struktur atas jembatan adalah bagian-bagian jembatan yang memindahkan beban-beban lantai jembatan ke perletakan arah horisontal. Lantai jembatan adalah bagian dari suatu jembatan yang langsung menerima beban lalu lintas

kendaraan, pejalan kaki dan beban yang membebaninya secara langsung. Secara umum bangunan atas pada jembatan terdiri dari yaitu:

A. Gelagar Induk

Komponen ini terletak pada jembatan yang letaknya memanjang arah jembatan atau tegak lurus arah aliran sungai. Komponen ini merupakan suatu bagian struktur yang menahan beban langsung dari pelat lantai kendaraan.

B. Gelagar Melintang Atau Diafragma

Komponen ini terletak pada jembatan yang letaknya melintang arah jembatan yang mengikat balok-balok gelagar induk. Komponen ini juga mengikat beberapa balok gelagar induk agar menjadi suatu kesatuan supaya tidak terjadi pergeseran antar gelagar induk.

C. Lantai Jembatan

Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan yang menahan langsung beban lalu lintas yang melewati jembatan. Komponen ini menahan suatu beban yang langsung dan ditransferkan secara merata keseluruh lantai kendaraan.

D. Perletakan Atau Andas

Terletak menumpu pada *abutment* dan pilar yang berfungsi menyalurkan semua beban langsung jembatan ke *abutment* dan diteruskan ke bagian fondasi.

E. Plat Injak

Plat injak berfungsi menghubungkan jalan dan jembatan sehingga tidak terjadi perbedaan tinggi keduanya, juga menutup bagian sambungan agar tidak terjadi keausan antara jalan dan jembatan pada pelat lantai jembatan.

2.2.2. Struktur Bawah

Struktur bawah suatu jembatan adalah merupakan suatu pengelompokan bagian-bagian jembatan yang menyangga jenis-jenis beban yang sama dan memberikan jenis reaksi yang sama, atau juga dapat disebut struktur yang langsung berdiri di atas dasar tanah.

A. Fondasi

Fondasi merupakan perantara dalam penerimaan beban yang bekerja pada bangunan ke tanah dasar dibawahnya. Maka bentuk bangunan fondasi sangat tergantung dari tanahdasar dibawahnya atau tergantung dari jenis tanah bawah dasar fondasi, yang menentukan besarnya kuat dukung tanah dan penurunan yang terjadi.

Berikut beberapa jenis fondasi yang sering digunakan yaitu:

1. Fondasi Dangkal

Fondasi dangkal digunakan bila lapisan tanah dibawah fondasi yang telah diperhitungkan dan diperkirakan mampu memikul beban bangunan diatasnya. Fondasi dangkal mempunyai kedalaman berkisar 0-12 m, tetapi dalam pemilihan jenis fondasi pun berbeda-beda, tergantung dari struktur tanah yang cocok untuk fondasi yang telah direncanakan, dan biasanya menggunakan jenis fondasi telapak atau sumuran (*caisson*) serta.

2. Fondasi Dalam

Fondasi yang mempunyai kedalaman berkisar >12 m dan biasanya berupa tiang pracetak, tiang kayu, tiang beton yang dicor ditempat dengan pipa *cassing* baja yang ditekan dan dipuntir kedalam tanah atau dengan pengeboran tanah. Pada umumnya digunakan jenis fondasi tiang pancang.

B. *Abutment*

Abutment terletak pada ujung jembatan. Maka *abutment* ini juga berfungsi sebagai penahan tanah dan menahan bagian ujung dari balok gelagar induk. Umumnya *abutment* dilengkapi dengan konstruksi sayap yang berfungsi untuk menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan dari tekanan lateral (menahan tanah ke samping).

C. Pilar

Berbeda dengan *abutment* yang jumlahnya ada 2 (dua) dalam satu Jembatan. Bentuk pilar suatu jembatan harus mempertimbangkan pola

pergerakan aliran sungai, sehingga dalam perencanaannya selain pertimbangan dari segi kekuatan juga memperhitungkan masalah keamanannya. Dalam segi jumlah pun bermacam-macam tergantung dari jarak bentangan yang tersedia, keadaan sungai dan keadaan tanah.

2.2.3. Bangunan Pelengkap Dan Pengaman Jembatan

Bangunan pelengkap pada jembatan adalah bangunan yang merupakan pelengkap dari konstruksi jembatan yang fungsinya untuk pengamanan terhadap struktur jembatan secara keseluruhan dan keamanan terhadap pemakai jalan. Macam-macam bangunan pelengkap:

a. Saluran Drainase

Terletak di kanan-kiri *abutment* dan di sisi kanan-kiri perkerasan jembatan. Saluran drainase berfungsi untuk saluran pembuangan air hujan pada jembatan.

b. Jalan Pendekat

Jalan pendekat/oprit jembatan adalah jalan yang berfungsi sebagai jalan masuk bagi kendaraan yang akan lewat jembatan agar terasa nyaman. terletak di kedua ujung jembatan.

c. Talud

Talud mempunyai fungsi utama sebagai pelindung *abutment* dari aliran air sehingga sering disebut talud pelindung terletak sejajar dengan arah arus sungai.

d. *Guide Post*/Patok Penuntun

Berfungsi sebagai penunjuk jalan bagi kendaraan yang akan melewati jembatan, biasanya diletakkan sepanjang panjang oprit jembatan.

e. Lampu Penerangan

Selain berfungsi untuk penerangan di daerah jembatan pada malam hari juga berfungsi untuk estetika.

Perencanaan harus memperhatikan faktor komponen struktur maupun keseluruhan jembatan dengan mempertimbangkan faktor – faktor berikut (Masnul, 2009):

1. Kontinuitas dan redundansi.
2. Semua komponen struktur jembatan harus mempunyai ketahanan yang terjamin terhadap kerusakan dan instabilitas sesuai umur yang direncanakan.
3. Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau beban berlebihan.

2.3. Beton Prategang

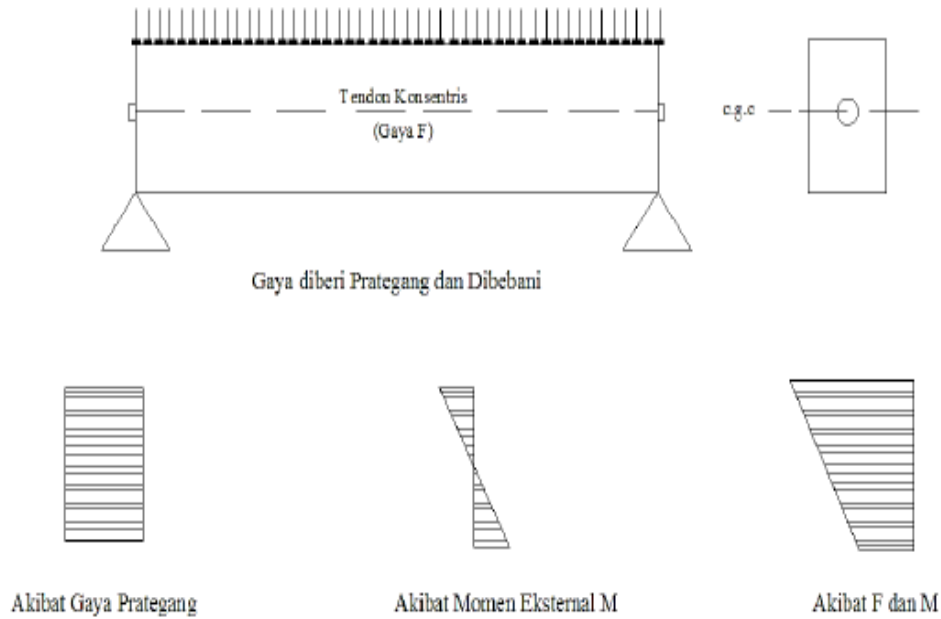
2.3.1. Konsep Dasar Beton Prategang

Beton adalah bahan yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi kekuatan tariknya relatif rendah. Kuat tariknya bervariasi dari 8% sampai 14% dari kuat tekannya (Nawy, 2001). Sedangkan baja adalah suatu material yang mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Dengan mengkombinasikan beton dan baja sebagai bahan struktur maka tegangan tekan akan dipikul pada beton sedangkan tegangan tarik akan dipikul kepada baja. Konsep inilah yang digunakan pada struktur beton bertulang biasa yang menjadi dasar dari konsep Beton Prategang.

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut:

1. Konsep pertama, Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan Yang Elastis. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Ini merupakan sebuah pemikiran dari Eugene Freyssnet yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beban yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan bahan yang elastis. Dalam bentuk yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon

melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal, lihat Gambar 2.2.



Gambar 2.2: Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris.

Gaya prategang F pada tendon menghasilkan gaya tekan F yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon. Akibatnya gaya prategang tekan secara merata sebesar, Pers. 2.1.

$$F = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

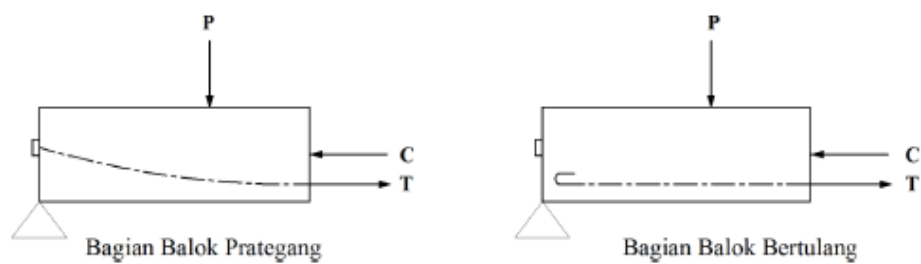
akan timbul pada penampang seluas A . jika M adalah momen eksternal pada penampang akibat beban dan berat sendiri balok, maka tegangan pada setiap titik sepanjang penampang akibat sebesar, Pers. 2.2.

$$f_1 = \frac{My}{I} \quad (2.2)$$

dimana y adalah jarak dari sumbu yang melalui titik berat dan I adalah momen inersia penampang. Jadi distribusi tegangan yang dihasilkan, Pers. 2.3.

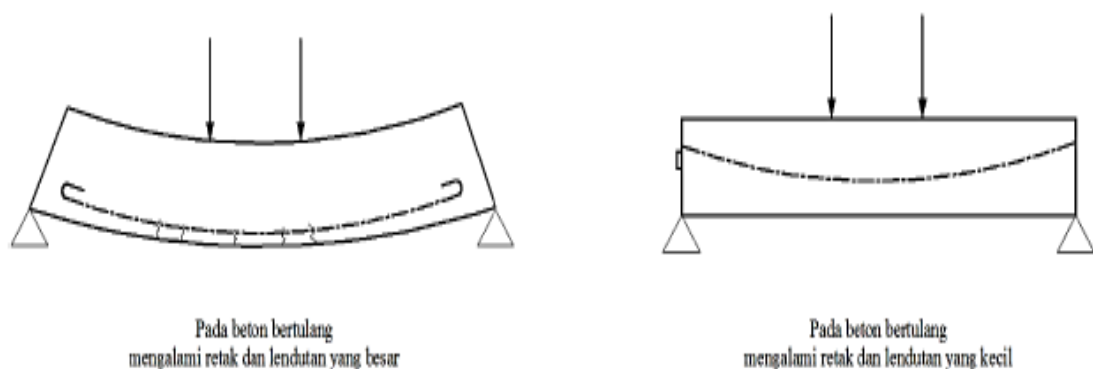
$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{my}{I} \quad (2.3)$$

2. Konsep kedua, Sistem Prategang Untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi Dengan Beton. Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan teknan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal, Gambar 2.3. Hal ini merupakan konsep yang mudah. Dengan beton bertulang, dimana baja menahan gaya tarik dan beton menahan gaya tekan, dan kedua gaya membentuk momen kopel dengan momen diantarnya.



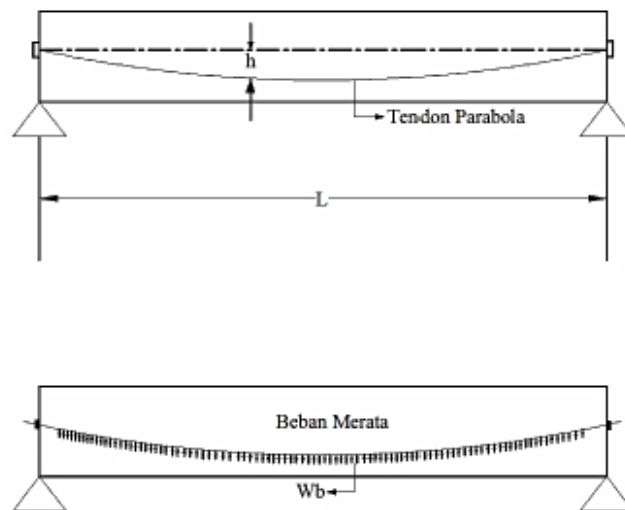
Gambar 2.3: Momen Penahan Internal Pada Beton Prategang dan Beton Bertulang.

Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan, Gambar 2.4:



Gambar 2.4: Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi.

3. Konsep ketiga, Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan Beban. Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat (slab), balok, dan gelagar (girder) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batan lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisis dan struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebans dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang. Sebagai contoh, sebuah balok prategang diatas dua tumpuan (simple beam) dengan tendon berbentuk parabola seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Balok Prategang dengan Tendon Parabola.

Keuntungan penggunaan beton prategang (Andri Budiadi, 2008) adalah:

1. Dapat memikul beban lentur yang lebih besar dari beton bertulang.
2. Dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang dengan mengatur defleksinya.
3. Ketahanan geser dan puntirnya bertambah dengan adanya penegangan.

4. Dapat dipakai pada rekayasa konstruksi tertentu, misalnya pada konstruksi jembatan segmen.
5. Berbagai kelebihan lain pada penggunaan struktur khusus, seperti struktur pelat dan cangkang, struktur tangki, struktur pracetak, dan lain-lain.
6. Pada penampang yang diberi penegangan, tegangan tarik dapat dieliminasi karena besarnya gaya tekan disesuaikan dengan beban yang akan diterima.

Adapun kelebihan dari beton prategang tak memungkinkan untuk tidak memiliki kekurangan walaupun kekurangan dari beton prategang ini relatif lebih sedikit dari keuntungannya, di antaranya:

1. Memerlukan peralatan khusus seperti tendon, angkur, mesin penarik kabel, dll.
2. Memerlukan keahlian khusus baik dalam perencanaan maupun pelaksanaannya.

2.3.2. Temporary Tendon

Temporary tendon atau tendon sementara hanya digunakan pada girder jembatan dengan sistem pelaksanaan pemasangan *balanced cantilever*. *Temporary tendon* berfungsi sebagai penghubung antar segmen girder yang bersifat sementara sampai seluruh segmen *girder* terpasang. Kemudian baru dimasukkannya tendon permanen untuk pelaksanaan *stressing*.

a. Precast Concrete I Girder

Precast Concrete I Girder merupakan bentuk yang paling banyak digunakan untuk pekerjaan balok jembatan. Profil PCI girder berbentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing dari bagian pinggirnya. PCI girder memiliki penampang yang kecil dibandingkan jenis girder lainnya, sehingga biasanya dari hasil analisis merupakan penampang yang ekonomis.

b. Jembatan Gelagar Kotak (Box Girder)

Jembatan gelagar kotak (box girder) tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (hollow) atau gelagar kotak. Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang. Bentang sederhana sepanjang 40 ft (\pm 12 m) menggunakan tipe ini, akan tetapi biasanya

bentang gelagar kotak beton bertulang lebih ekonomis antara 60 ft sampai dengan 100 ft (± 18 m sampai dengan 30 m) dan biasanya didesain sebagai struktur menerus di atas pilar atau kolom. Gelagar kotak beton prategang dalam desain biasanya lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang ± 300 ft (± 100 m). Keunggulan dari gelagar kotak adalah tahan terhadap beban torsi. Pada kondisi lapangan, dimana tinggi struktur tidak dibatasi, penggunaan gelagar kotak dan balok T kurang lebih mempunyai nilai yang sama pada bentang 80 ft (± 25 m). Untuk bentang yang lebih pendek, tipe balok T biasanya lebih murah. Sedangkan untuk bentang yang lebih panjang, gelagar kotak lebih sesuai untuk digunakan.

2.3.3. Beton Prategang (*Prestressed Concrete*)

Beton prategang adalah beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja (SNI 03-2847-2002). Pemberian tegangan tekan dalam beton dilakukan dengan cara menarik/menegangkan tulangan bajanya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar.

Cara yang biasa dilakukan untuk penerapan gaya prategang pada komponen struktur beton adalah dengan menggunakan tendon baja. Terdapat 2 macam cara pelaksanaan pemberian prategangan (Imran, 2002).

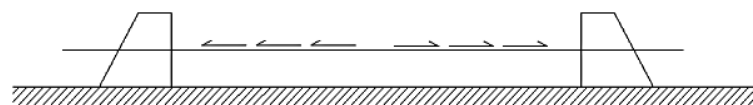
Untuk memberikan tekanan pada beton pratekan dilakukan sebelum atau sesudah beton dicetak/dicor. Kedua kondisi tersebut membedakan sistem pratekan, yaitu *Pre-tension* (pratarik) dan *Post-tension* (pascatarik).

2.4. Pratarik

Di dalam sistem pratarik, tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok angkur yang tegar (*rigid*) yang dicetak di atas tanah atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik, dan beton selanjutnya di cor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang

badan. Setelah beton mengering, tendon dilepaskan dari alas preapenarikan dan prategang ditransfer ke beton.

Transfer prategang beton biasanya dilaksanakan dengan dongkrak hidrolik atau dongkrakan sekrup yang besar, dengan mana semua kawat dilepaskan secara bersamaan setelah beton mencapai kekuatan tekan yang disyaratkan. Pada umumnya strand dengan diameter sampai 18 mm dan kawat bermutu tinggi dengan diameter sampai 7 mm mengikatkan diri secara memaskan dengan gaya rekat permukaan serta daya pengikatan di dalam bahan-bahan itu sendiri. Daya rekat kawat prategang dapat lebih ditingkatkan dengan membentuk ciri-ciri khusus pada permukaan dan kerutan spiral pada kawat. Strand mempunyai daya rekat yang jauh lebih baik daripada kawat tunggal dengan luas penampang yang sama, Gambar 2.6.



Kabel tendon ditarik diantara kedua angkur



Kabel tendon ditahan angkur, sementara beton dicor



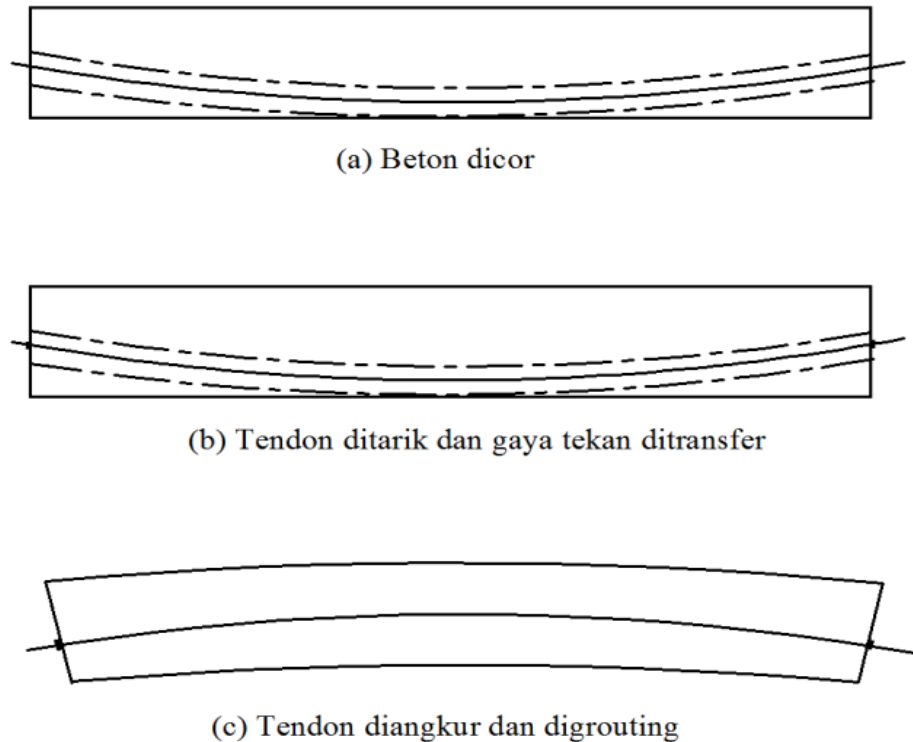
Kabel tendon dilepaskan dan gaya tekan berpindah pada beton

Gambar 2.6: Proses Pengerjaan Beton Pratarik (Andri Budiadi, 2008).

2.5. Pascatarik

Dalam sistem pascatarik, unit beton terlebih dahulu dicetak dengan memasukkan saluran atau alur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau

mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh angkur ujung dan juga apabila kabel melengkung, melalui tekanan radial antara kabel dan saluran. Ruang antara tendondan saluran pada umumnya di *grout* setelah penarikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Proses Pengerjaan Beton Pascatitik (Andri Budiadi, 2008).

2.5.1. Baja prategang

Baja yang dipakai untuk prategangan biasanya merupakan baja mutu tinggi dan disebut tendon prategang. Tendon prategang umumnya berupa strand (untaian kawat), kawat (wire) dan batang baja (bar). Jenis-jenis tendon yang ada misalnya 7-wire monostrand tendon, multi strand tendon, single bar tendon dan multi wire tendon. Jenis tendon yang sering digunakan adalah jenis seven wire strand. Jenis ini dapat digunakan baik pada sistem pre tension maupun post tension. Nilai kuat tarik ultimitnya (f_{pu}) berkisar antara 1720 MPa hingga 1860 MPa. Jenis tendon seven wire strand dapat berupa strand tegang lepas (stress relieved strand) atau strand relaksasi rendah (low relaxation strand). Berikut ini disajikan jenis-jenis tendon prategang beserta nilai tipikal untuk $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$ berdasarkan ASTM A-416, Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Nilai tipikal untuk $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$.

| Tipe Tendon | Derajat f_{pu} (Mpa) | Ukuran Batang | Dimensi nominal | | Berat (kg/m) |
|-----------------------------------|------------------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------|
| | | | Diameter (mm) | Luas (mm^2) | |
| <i>Seven wire Strand</i> | 1860 | 9 | 9,53 | 54,84 | 0,432 |
| | 1860 | 11 | 11,13 | 74,19 | 0,582 |
| | 1860 | 13 | 12,70 | 98,71 | 0,775 |
| | 1860 | 15 | 15,24 | 140 | 1,109 |
| | 1760 | 16 | 15,47 | 148 | 1,173 |
| <i>Prestressing wire</i> | 1720 | 5 | 5,00 | 19,6 | 0,154 |
| | 1620 | 7 | 7,00 | 38,5 | 0,302 |
| | 1760 | 7 | 7,00 | 38,5 | 0,302 |
| <i>Deformed Prestressing bars</i> | 1080 | 15 | 15,0 | 177 | 1,44 |
| | 1030 | 26 | 26,5 | 551 | 4,48 |
| | 1030 | 32 | 32,0 | 804 | 6,53 |
| | 1030 | 36 | 36,0 | 1014 | 8,27 |

Baja prategang dapat berbentuk kawat-kawat tunggal, *strand* yang terdiri dari atas beberapa kawat yang dipuntir membentuk elemen tunggal dan batangbatang bermutu tinggi, Tabel 2.2-2.3.

Tabel 2.2: Kawat-Kawat Untuk Beton Prategang (Nawy, 2001).

| Diam nominal (m) | Kuat tarik minimum (psi) | | Tegangan minimum pada ekstensi 1 % (psi) | |
|------------------|--------------------------|---------|--|---------|
| | Tipe BA | Tipe WA | Tipe BA | Tipe WA |
| 0.192 | | 250.000 | | 212.500 |
| 0.196 | 240.000 | 250.000 | 204.000 | 212.500 |
| 0.25 | 240.000 | 240.000 | 204.000 | 204.000 |
| 0.276 | 235.000 | 235.000 | 199.750 | 199.750 |

Tabel 2.3: Strand standar 7 kawat untuk beton prategang (Nawy, 2001).

| Diameter nominal (in) | Kuat patah strand (min. lb) | Luas baja nominal strand (in ²) | Berat nominal strand (lb 1000 ft)* | Beban minimum pada ekstensi 1% (lb) |
|-----------------------|-----------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|
| Mutu 250 | | | | |
| ¼(0.250) | 9.000 | 0.036 | 122 | 7.650 |
| 5/16(0.313) | 14.500 | 0.058 | 197 | 12.300 |
| 3/8(0.375) | 20.000 | 0.08 | 272 | 17.000 |
| 7/16(0.438) | 27.000 | 0.108 | 367 | 23.000 |
| ½(0.500) | 36.000 | 0.144 | 490 | 30.600 |
| 3/5(0.600) | 54.000 | 0.216 | 737 | 45.900 |
| Mutu 270 | | | | |
| 3/8(0.375) | 23.000 | 0.058 | 290 | 19.550 |
| 7/16(0.438) | 31.000 | 0.115 | 390 | 26.350 |
| ½(0.500) | 41.300 | 0.153 | 520 | 35.100 |
| 3/5(0.600) | 58.600 | 0.217 | 740 | 49.800 |

Note: *100,000 psi = 689.5 Mpa

1000 lb = 4,448 N

Baja (tendon) yang dipakai untuk beton prategang dalam prakteknya ada tiga macam, yaitu:

1. Kawat tunggal (*wire*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik (*pretension*).
2. Kawat untaian (*strand*), pada Tabel 2.4. biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pascatarik (*post tension*).
3. Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik (*pretension*).

Kawat tunggal yang dipakai untuk beton prategang adalah yang sesuai dengan spesifikasi seperti ASTM A 421. Untaian kawat (*strand*) banyak digunakan untuk beton prategang dengan sistem pasca tarik. Untaian kawat yang dipakai harus memenuhi syarat seperti yang terdapat ASTM A 416. Untaian kawat yang banyak digunakan adalah untaian tujuh kawat. Gambar penampang *strand* 7 kawat dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Untaian Kawat Strand dan Strand 7 Kawat.

Tabel 2.4: Spesifikasi strand 7 kawat.

| Ø Nominal (mm) | Luas Nominal mm^2 | Kuat Putus (kN) |
|----------------|---------------------|-----------------|
| 6,35 | 23,22 | 40 |
| 7,94 | 37,42 | 64,5 |
| 9,53 | 51,61 | 89 |
| 11,11 | 69,68 | 120,1 |
| 12,70 | 92,9 | 160,1 |
| 15,24 | 139,35 | 240,2 |

2.5.2. Grouting

Grouting dibutuhkan sebagai bahan pengisi selubung baja prategang (tendon) untuk metode pasca tarik. Untuk metode pratarik tidak dibutuhkan selubung sehingga tidak dibutuhkan *grouting*. Selubung terbuat dari logam yang digalvanisir. Bahan *grouting* berupa pasta semen.

2.5.3. Metode Prategang

Berbagai metode dengan mana pratekanan diberikan kepada beton. Dalam tulisan ini hanya membahas metoda yang paling luas dipakai untuk memberikan pratekanan pada unsur-unsur beton struktural adalah dengan menarik baja ke arah longitudinal dengan alat menarik. Menegangkan tendon tidak mudah, sebab mengingat gaya yang cukup besar (sampai ratusan ton). Terdapat 2 (dua) prinsip yang berbeda:

Konstruksi dimana tendon ditegangkan dengan pertolongan alat pembantu sebelum beton di cor atau sebelum beton mengeras dan gaya prategang dipertahankan sampai beton cukup keras. Untuk ini dipakai istilah, Pre-tensioning. Dalam hal ini beton melekat pada baja prategang. Setelah beton mencapai kekuatan yang diperlukannya, tegangan pada jangkar dilepas perlahan-lahan dan baja akan mentransfer tegangannya ke beton melalui panjang transmisi baja, yang tergantung pada kondisi permukaan serta profil dan diameter baja, juga tergantung pada mutu beton.

Langkah-langkah pelaksanaannya:

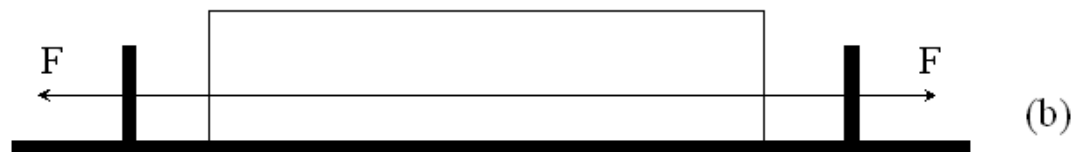
Langkah 1, Kabel ditegangkan pada alat pembantu, (*Gambar 2.9a*)

Langkah 2, Beton di cor (*Gambar 2.9 b*)

Langkah 3, Setelah beton mengeras (umur cukup) baja di putus perlahan-lahan, tegangan baja ditransfer ke beton melalui transmisi baja (*Gambar 2.9c*).



Gbr a. Kabel ditegangkan pada alat bantu



Gbr b. Beton di cor



Gbr c. Pentransferan tegangan baja ke beton

Gambar 2.9: Metode *Pre – Tension*.

Konstruksi dimana setelah betonnya cukup keras, barulah bajanya yang tidak terikat pada beton diberi tegangan. Untuk konstruksi in disebut: Post - Tensioning.

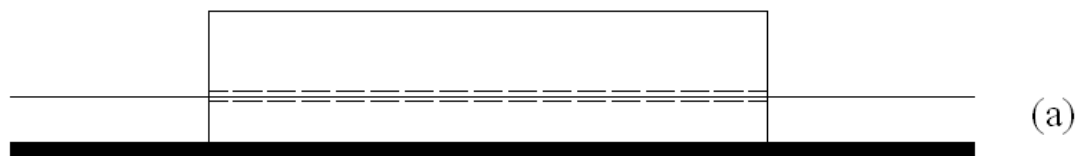
Pada sistem Post-Tensioning, beton di cor dahulu dan dibiarkan mengeras sebelum diberi gaya prategang. Baja dapat ditempatkan seperti profil yang ditentukan, lalu beton di cor, letakan dihindarkan dengan menyelubungi baja yaitu dengan membuat selubung/sheat. Bila kekuatan beton yang diperlukan telah tercapai, maka baja ditegangkan di ujung-ujungnya dan dijangkar. Gaya prategang ditransfer ke beton melalui jangkar pada saat baja ditegangkan, jadi dengan demikian beton ditekan.

Langkah-langkah pelaksanaan Sistem Post-tensioning:

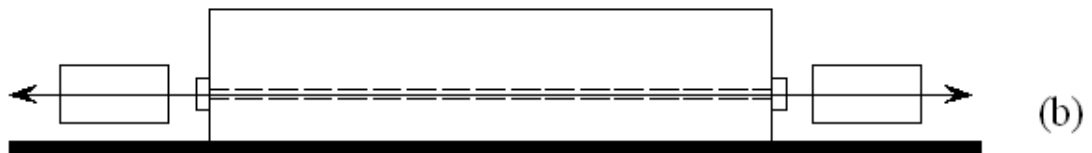
Langkah 1, Beton di cor dan tendon diatur sedemikian dalam sheat, sehingga tidak ada letakan antara beton dan baja (*Gambar 2.10a*)

Langkah 2, Tendon di tarik pada salah satu/kedua ujungnya dan menekan beton langsung (*Gambar 2.10b*)

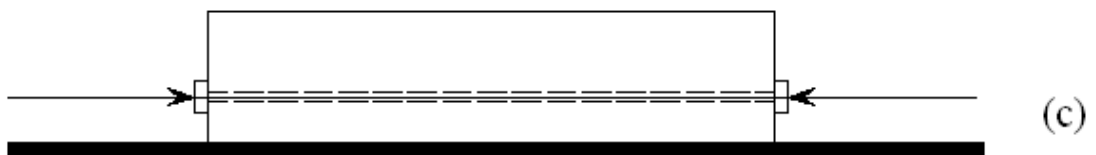
Langkah 3, Setelah tendon ditarik, kemudian di jangkarkan pada ujung-ujungnya. Pretegang ditransfer ke beton melalui jangkar ujung tersebut. Jika diinginkan baja terikat pada beton, maka langkah selanjutnya adalah grouting (penyuntikan) pasta semen ke dalam sheat (*Gambar 2,10c*)
Penjangkaran ujung.



Gbr a. Beton di cor dan tendon diatur.



Gbr b. Penarikan tendon dan penekanan beton.

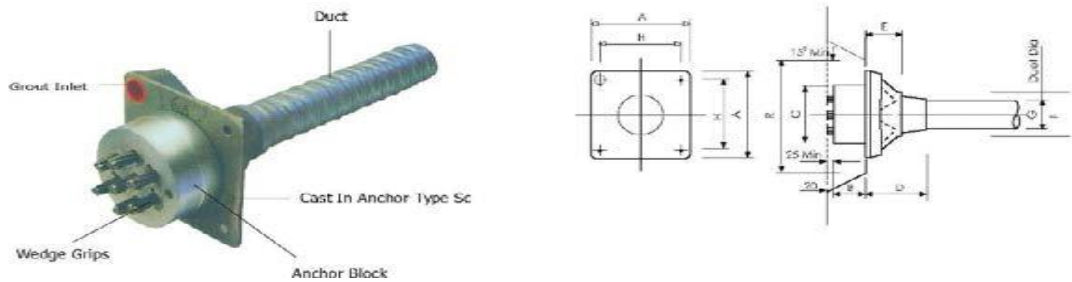


Gbr c. Pentransferan tegangan baja ke beton dan penyuntikan grouting

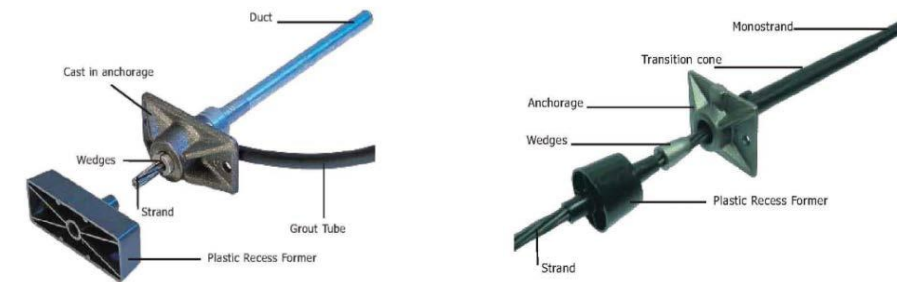
Gambar 2.10: Metode Post – Tension.

Pada dasarnya ada 3 (tiga) prinsip tendon dengan mana baja atau strand (untaian kawat) di angkurkan ke beton:

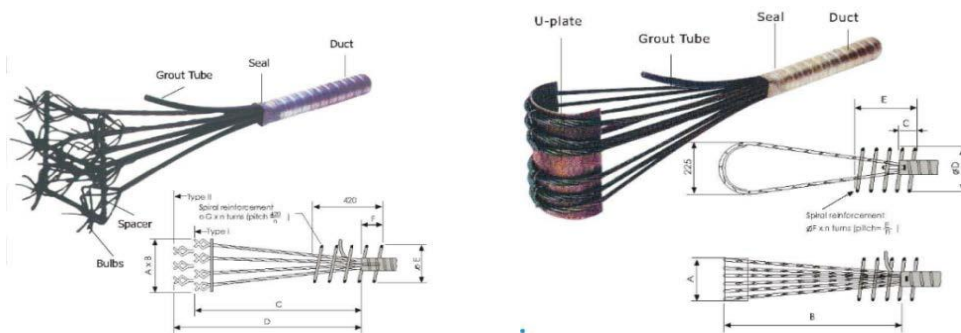
- Dengan prinsip kerja pasak yang menghasilkan penjepit gesek pada tendon (lihat *Gambar 2.11a*)
- Dengan perletakan langsung dari kepala paku keeling atau baut yang di buat pada ujung tendon (*Gambar 2.11b*)
- Dengan membelitkan tendon kesekeliling beton (*Gambar 2.11c*)



Gambar 2.11a: Prinsip kerja pasak.



Gambar 2.11b: Angker mati, dengan memberikan tendon pada beton.



Gambar 2.11c: membelitkan tendon kesekeliling beton .

Gambar 2.11: Prinsip Tendon digunakan

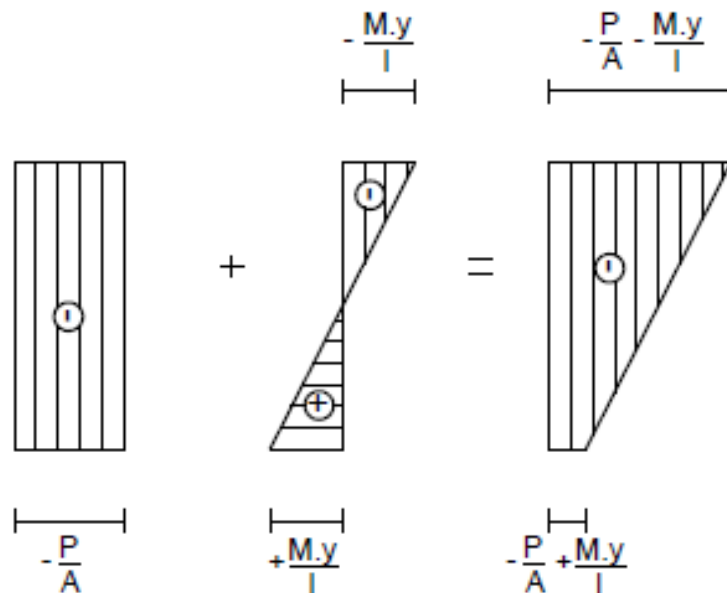
2.5.4. Perhitungan Struktur Beton Prategang

2.5.4.1. Tegangan Pada Penampang Beton Prategang

Prinsip dasar beton prategang dimaksudkan memaksimalkan sifat beton yang kuat dalam menerima gaya tekan. Pada kasus sederhana untuk balok beton berpenampang persegi dengan perletakan sendi-rol. Tegangan pada penampang beton akibat berat sendiri, untuk serat atas mengalami tekan dan untuk serat bawah mengalami tarik. Kehadiran pemberian prategang pada beton bertujuan untuk menghilangkan serat tarik pada penampang bahkan menjadikannya serat tekan.

Konsep pemberian prategang pada beton merupakan penemuan Freyssinet, dimana pada konsep ini tidak ada tegangan tarik pada beton, beton mengalami dua sistim pembebanan yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal.

Gambar distribusi tegangan pada penampang balok dengan diberikannya gaya prategang sebesar P pada pusat penampang (konsentris) dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12: Distribusi tegangan pada penampang

Misalnya gaya prategang sebesar P dengan eksentrisitas e diberikan pada beton sehingga menimbulkan tegangan sebesar, Pers. 2.4.

$$\sigma = -\frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \quad (2.4)$$

Dengan:

σ = Tegangan (MPa)

P = Gaya prategang (N)

A = Penampang beton (mm²)

e = Jarak titik pusat tendon dengan sumbu netral penampang beton (mm)

y = Jarak sumbu netral penampang beton dengan serat terluar (mm)

I = Inersia penampang beton (mm⁴)

Dan jika momen yang diakibatkan baik akibat sendiri maupun beban lain sebesar M, maka timbul tegangan pada penampang beton sebesar, Pers.2.5.

$$\sigma = \pm \frac{M.y}{I} \quad (2.5)$$

Dengan:

σ = Tegangan (MPa)

M = Momen (Nmm)

I = Inersia penampang beton (mm⁴)

Sehingga tegangan maksimum pada serat penampang dapat dihitung dengan rumus, Pers.2.6.

$$\sigma = -\frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I} \quad (2.6)$$

2.5.4.2. Tegangan Izin pada Beton Prategang

Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. Tegangan serat tekan terluar $0,60f_{ci}$
- b. Tegangan serat tarik terluar $(1/4) f'_{ci}$
- c. Tegangan serat tarik terluar pada ujung-ujung komponen struktur diatas perletakan sederhana $(1/2) f'_{ci}$

Bila tegangan tarik terhitung melampaui nilai tersebut di atas, maka harus dipasang tulangan tambahan (non-prategang atau prategang) dalam daerah tarik untuk memikul gaya tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi suatu penampang utuh yang belum retak.

Tegangan beton pada kondisi beban layan (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup tetap $0,45f'c$
- b. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup total $0,6f'c$
- c. Tegangan serat tarik terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan $(1/2) f'c$
- d. Tegangan serat tarik terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan dari komponen-komponen struktur (kecuali pada sistem pelat dua-arah), dimana analisis yang didasarkan pada penampang retak transformasi dan hubungan momen-lendutan bilinear menunjukkan bahwa lendutan seketika dan lendutan jangka panjang memenuhi persyaratan, dan dimana persyaratan selimut beton memenuhi $f'c$

Tegangan tarik pada tendon prategang tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. Akibat gaya pengangkutan tendon $0,94 f_{py}$, tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari $0,80 f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon prategang atau perangkat angkut.
- b. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang $0,82 f_{py}$, tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.
- c. Tendon pasca tarik, pada daerah angkut dan sambungan, segera setelah penyaluran gaya $0,70 f_{pu}$.

2.5.4.3. Kehilangan Prategang

Besarnya gaya prategang sebenarnya yang ada dalam suatu balok beton prategang tidak dapat diukur dengan mudah. Gaya total pada tendon pada saat penarikan dapat ditentukan dengan *pressure gage* pada dongkrak. Berbagai macam kehilangan gaya prategang akan menurunkan gaya prategang menjadi harga yang lebih rendah, sehingga beban yang dipikul balok prategang menjadi lebih rendah pula. Selisih antara gaya prategang akhir dengan gaya prategang awal dinamakan “kehilangan prategang”.

Gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton akan mengalami proses reduksi yang progresif selama kurun waktu tertentu. Dengan demikian, tahapan gaya prategang perlu ditentukan pada setiap tahap pembebanan, dari tahap transfer gaya prategang ke beton, sampai berbagai tahap prategang yang terjadi pada kondisi beban kerja, hingga mencapai ultimit.

Berikut jenis-jenis kehilangan prategang yang perlu diperhitungkan:

a. Perpendekan elastis beton

Ketika gaya prategang disalurkan ke beton, maka beton akan menerima tekanan dan memendek sehingga terjadi pengenduran pada beton. Beton memendek pada saat gaya prategang bekerja padanya. Karena tendon yang melekat pada beton di sekitarnya secara simultan juga memendek, maka tendon tersebut akan kehilangan sebagian dari gaya prategang yang dipikulnya.

Regangan tekan pada beton akibat prategang harus sama dengan pengurangan regangan pada baja, sehingga dapat dirumuskan, Pers. 2.7-2.9.

$$\epsilon_c = \Delta \epsilon_s \quad (2.7)$$

$$\frac{f_c}{E_c} = \frac{\Delta f_s}{E_s} \quad (2.8)$$

$$\Delta f_s = \frac{E_s f_c}{E_c} = n f_c \quad (2.9)$$

Dengan:

f_c = tegangan pada beton setelah penyaluran tegangan dari tendon berlangsung.

Δf_s merupakan tegangan tendon awal f_{si} dikurangi dengan tegangan tendon setelah penyaluran f_s , dapat dilihat pada rumus, Pers. 2.10.

$$\Delta f_s = f_{si} - f_s = n f_c \quad (2.10)$$

Apabila P_o adalah gaya awal tendon dan P_f adalah gaya sesudahnya maka, Pers 2.11-2.14.

$$P_o - P_f = n \frac{P_f}{A_c} A_{ps} \quad (2.11)$$

$$P_o = n \frac{P_f}{A_c} A_{ps} + P_f \quad (2.12)$$

$$P_o = P_f \left(\frac{n A_{ps}}{A_c} + 1 \right) = \frac{P_f}{A_c} (n A_{ps} + A_c) \quad (2.13)$$

$$P_o = f_c (n A_{ps} + A_c) \quad (2.14)$$

$$f_c = \frac{P_o}{A_c + n A_{ps}} \text{ di perkirakan sama dengan } \frac{P_o}{A_g}$$

Sehingga, Pers 2.15-2.16

$$\Delta f_s = n f_c = \frac{n P_o}{A_g} \quad (2.15)$$

$$\text{Untuk beban eksentris } f_c = -\frac{P_o}{A_g} \pm \frac{P_o \cdot e \cdot y}{1} \pm \frac{M \cdot y}{1} \quad (2.16)$$

Dengan:

M = momen akibat berat sendiri

Berhubung yang dihitung adalah tegangan pada pusat tendon maka nilai $y = e$.

b. Rangkak dalam beton

Rangkak merupakan deformasi yang terjadi pada beton dalam keadaan tertekan akibat beban mati permanen. Deformasi atau regangan yang berasal dari perilaku yang bergantung pada waktu ini merupakan fungsi dari besarnya beban yang bekerja, lamanya, serta sifat beton yang meliputi proporsi campurannya, kondisi perawatannya, umur elemen pada saat dibebani pertama kali, dan kondisi lingkungan. Kehilangan tegangan pada tendon akibat rangkakan pada beton, Pers.2.17

$$\Delta f_s = C_t n f_c \quad (2.17)$$

Dengan:

$C_t = 2$ untuk struktur pre tension

$C_t = 1,6$ untuk struktur post tension

f_c = tegangan pada beton yang melekat pada titik berat tendon akibat gaya prategang awal.

c. Susut dalam beton

Susut merupakan perubahan volume pada beton. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya susut dalam beton meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, waktu perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian prategang, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan. Kehilangan tegangan pada tendon dapat dihitung menggunakan rumus, Pers. 2.18.

$$\epsilon_{sh} = 8.2 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,006 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \quad (2.18)$$

Dengan:

ϵ_{sh} = regangan susut dalam beton

V = volume beton (dalam inch)

S = luas permukaan beton

RH = kelembaban relatif udara

$\Delta f_s = K_{sh} \epsilon_{sh} E_s$

K_{sh} = factor susut yang tergantung waktu

$K_{sh} = 1$ untuk prategang pretension

Tabel 2.5: Nilai K_{sh} untuk komponen struktur post tension.

| Selisih waktu antara pengecoran dengan prategang(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 |

d. Relaksasi dari tegangan baja

Relaksasi diartikan sebagai kehilangan dari tegangan tendon secara perlahan seiring dengan waktu dan besarnya gaya prategang yang diberikan dibawah regangan yang hampir konstan. Tendon mengalami kehilangan pada gaya prategang sebagai akibat dari perpanjangan konstan terhadap waktu, Tabel.2.6-2.7.

Besarnya kehilangan tegangan pada baja akibat relaksasi baja prategang dapat dihitung dengan rumus, Pers. 2.19.

$$\Delta f_{re} = [K_{re} - J(\Delta f_{SH} + \Delta f_{CR} + \Delta f_{ES})] C \quad (2.19)$$

Dengan:

Δf_{re} = kehilangan tegangan akibat relaksasi baja prategang

Kre = Koefisien relaksasi

J = Faktor waktu

Δf_{SH} = Kehilangan tegangan akibat susut

Δf_C = Kehilangan tegangan akibat rangkak

Δf_E = Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton

Tabel 2.6 Nilai Kre dan J (Nawy, 2001)

| Jenis Tendon | KRE | J |
|---|--------|-------|
| Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 270 | 20.000 | 0,15 |
| Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 250 | 18.500 | 0,14 |
| Kawat <i>stress-relieved</i> mutu 240 atau 235 | 17.600 | 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</i> mutu 145 atau 160 | 6000 | 0,05 |

Tabel 2.7 Nilai C (Nawy, 2001)

| fsi/fpu | kawat atau <i>strand stress-relieved</i> | kawat atau <i>strand</i> relaksasi 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 |
| 0,74 | 1,36 | 0,95 |
| 0,73 | 1,27 | 0,9 |
| 0,72 | 1,18 | 0,85 |
| 0,71 | 1,09 | 0,8 |
| 0,70 | 1 | 0,75 |
| 0,69 | 0,94 | 0,7 |
| 0,68 | 0,89 | 0,66 |
| 0,67 | 0,83 | 0,61 |
| 0,66 | 0,78 | 0,57 |
| 0,65 | 0,73 | 0,53 |

Tabel 2.7: Nilai C (Nawy, 2001) (lanjutan) .

| fsi/fpu | kawat atau <i>strand stress-relieved</i> | kawat atau <i>strand</i> relaksasi rendah atau batang <i>stress relieved</i> |
|---------|--|--|
| 0,63 | 0,63 | 0,45 |
| 0,62 | 0,58 | 0,41 |
| 0,61 | 0,53 | 0,37 |
| 0,6 | 0,49 | 0,33 |

e. Gesekan (*Post tension*)

Kehilangan ini terjadi akibat gesekan antara tendon dengan bahan sekitarnya (selubung tendon). Kehilangan ini langsung dapat diatasi dari penarikan tendon pada jack. Kehilangan prategang terjadi pada komponen struktur pascatarik (*post tension*) yang dipengaruhi oleh besarnya sudut kelengkungan tendon, Tabel 2.8.

Kehilangan prategang akibat gesekan dapat dihitung dengan rumus, Pers 2.20.

$$P_s = P_o e^{-\mu(\alpha + KL)} \quad (2.20)$$

Dengan:

K = koefisien *wobble*

Po = Prategang awal

μ = koefisien kelengkungan

α = sudut kelengkungan tendon

Tabel 2.8: Koefisien *wobble* dan kelengkungan (Nawy,2001).

| Jenis tendon | Koefisien <i>wobble</i> , L perfoot | Koefisien kelengkungan, μ |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tendon kawat | 0,0010-0,0015 | 0,15-0,25 |
| <i>Strand</i> 7 kawat | 0,0005-0,0020 | 0,15-0,25 |
| Batang mutu tinggi | 0,0001-0,0006 | 0,08-0,3 |
| Tendon di saluran metal yang rigid | | |
| <i>Strand</i> 7 kawat | 0,0002 | 0,15-0,25 |

Tabel 2.8: *lanjutan.*

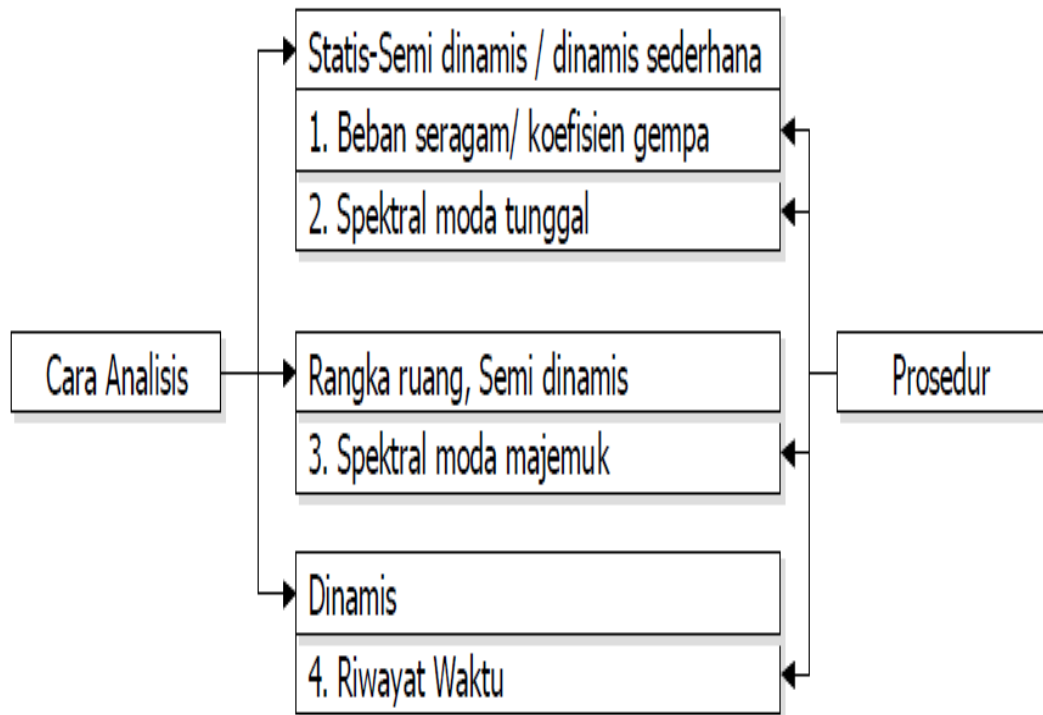
| Jenis tendon | Koefisien wobble, L perfoot | Koefisien kelengkungan, μ |
|---|--------------------------------|----------------------------------|
| Tendon kawat dan <i>strand</i> 7 kawat | 0,0010-0,0020 | 0,05-0,15 |
| Tendon yang dilumasi dahulu | | |
| Tendon kawat dan <i>strand</i> 7 kawat | 0,0003-0,0020 | 0,05-0,15 |

2.6. Peraturan gempa yang dimodifikasi

2.6.1. Cara Analisis Tahan Gempa

Analisis seismik rinci tidak harus dilakukan untuk jembatan dengan bentang tunggal sederhana. Bagaimanapun disyaratkan panjang perletakan minimum (lihat Tabel 4 dan Gambar 2.13) serta hubungan antara bangunan atas dan bangunan bawah direncanakan menahan gaya inersia yaitu perkalian antara reaksi beban mati dan koefisien gempa.

Berdasarkan SNI 2833:2008, pilihan prosedur perencanaan tergantung pada tipe jembatan, besarnya koefisien akselerasi gempa dan tingkat kecermatan. Terdapat empat prosedur analisis (lihat Gambar 2.13), dimana prosedur 1 dan 2 sesuai untuk perhitungan tangan dan digunakan untuk jembatan beraturan yang terutama bergetar dalam moda pertama. Prosedur 3 dapat diterapkan pada jembatan tidak beraturan yang bergetar dalam beberapa moda sehingga diperlukan program analisis rangka ruang dengan kemampuan dinamis (lihat Tabel 2.9, Tabel 2.10 dan 2.11). Prosedur 4 diperlukan untuk struktur utama dengan geometrik yang rumit dan atau berdekatan dengan patahan gempa aktif.



Gambar 2.13: Prosedur analisis tahan gempa.

Tabel 2.9: Kategori kinerja seismik.

| Koefisien percepatan puncak di batuan dasar (a/g) | Klasifikasi kepentingan I (jembatan utama dengan faktor keutamaan 1,25) | Klasifikasi kepentingan II (jembatan utama dengan faktor keutamaan 1) |
|---|---|---|
| >0,30 | D | C |
| 0,20-0,29 | C | B |
| 0,11-0,19 | B | B |
| <0,10 | A | A |

Tabel 2.10: Prosedur analisis berdasarkan kategori kinerja seismik (A-D).

| Jumlah bentang | D | C | B | A |
|--|---|---|---|---|
| Tunggal sederhana | 1 | 1 | 1 | - |
| 2 atau lebih menerus | 2 | 1 | 1 | - |
| 2 atau lebih dengan 1 sendi | 3 | 2 | 1 | - |
| 2 atau lebih dengan 2 atau lebih sendi | 3 | 3 | 1 | - |
| Struktur rumit | 4 | 3 | 2 | 1 |

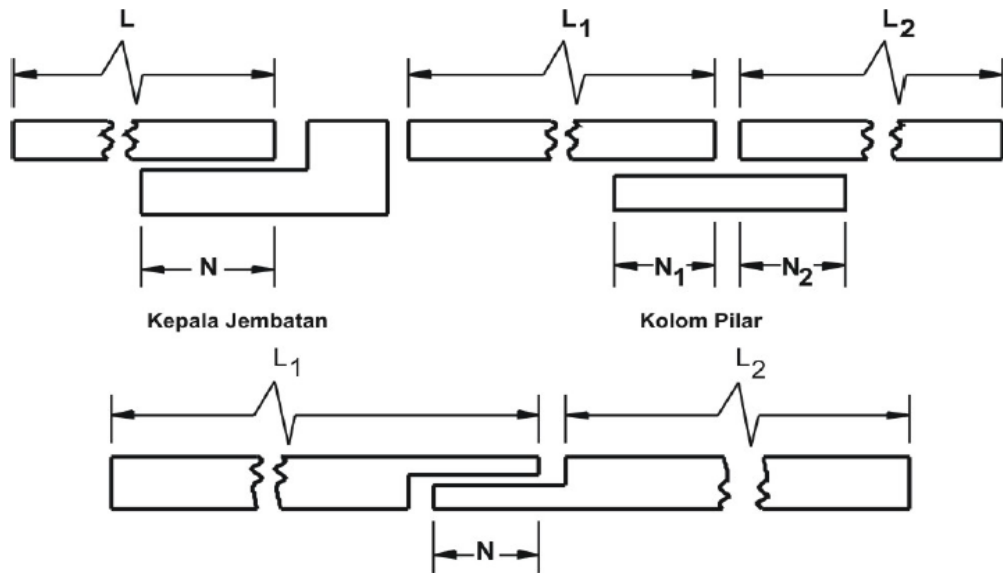
Tabel 2.11: Faktor modifikasi respon (R_d) untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah.

| | Kolom atau pilar | Penghubung (connection) bangunan atas pada | | |
|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|--------------------|
| | | Kepala jembatan (b) | Kolom, pilar atau tiang (c) | Sambungan dilatasi |
| pilar tipe dinding (a) | 2 (sumbu kuat) 3 (sumbu lemah) | 0,8 | 1 | 0,8 |
| kolom tunggal | 3-4 | | | |
| kolom majemuk | 5-6 | | | |
| pile cap beton | 2-3 | | | |
| Catatan: a. pilar tipe dinding tepat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar. b. Untuk jembatan bentang tunggal digunakan faktor $R_d = 2,5$ untuk hubungan pada kepala jembatan c. Sebagai alternatif hubungan kolom dapat direncanakan untuk gaya maksimum yang dikembangkan oleh sendi plastis kolom | | | | |

Berdasarkan SNI 2833:2008, gaya seismik rencana ditentukan dengan membagi gaya elastis dengan faktor modifikasi respon R_d sesuai tingkatan daktilitas (lihat Tabel 2.12). Untuk pilar kolom majemuk $R_d = 5$ untuk kedua sumbu ortogonal. Faktor $R_d = 0,8$ untuk hubungan bangunan atas pada kepala jembatan, $R_d = 1,0$ untuk hubungan kolom pada *cap* atau bangunan atas dan kolom pada fondasi, pada Gambar 2.14.

Tabel 2.12: Kriteria panjang perletakan minimum (N).

| Panjang perletakan minimum, N (mm) | Kategori kinerja seismik |
|--|--------------------------|
| $N = (203 + 1,67 L + 6,66 H) (1 + 0,00125 S^2)$ | A Dan B |
| $N = (305 + 2,5 L + 10H) (1 + 0,00125 S^2)$ | C Dan D |
| Catatan: - L adalah panjang lantai jembatan (m) - H adalah tinggi rata-rata dari kolom (m), sama dengan nol untuk bentang tunggal sederhana. - S adalah sudut kemiringan / skew perletakan (derajat). | |



Sambungan antar bentang
 Hubungan dilatasi atau ujung pelat lantai jembatan

Gambar 2.14: Dimensi panjang dukungan perletakan minimum.

2.6.2. Koefisien geser dasar (base shear)

Koefisien geser dasar elastis dan plastis berdasarkan program ‘Shake’ dari *California Transportation Code* ditentukan dengan rumus (1.a, 1.b) dan Gambar 2.15, rumus Pers. 2.21-2.22z

$$C_{\text{elastis}} = A.R.S \quad (2.21)$$

$$C_{\text{plastis}} = \frac{A.R.S}{Z} \quad (2.22)$$

Dengan pengertian:

C_{elastis} = Koefisien geser dasar tanpa faktor daktilitas dan risiko (Z)

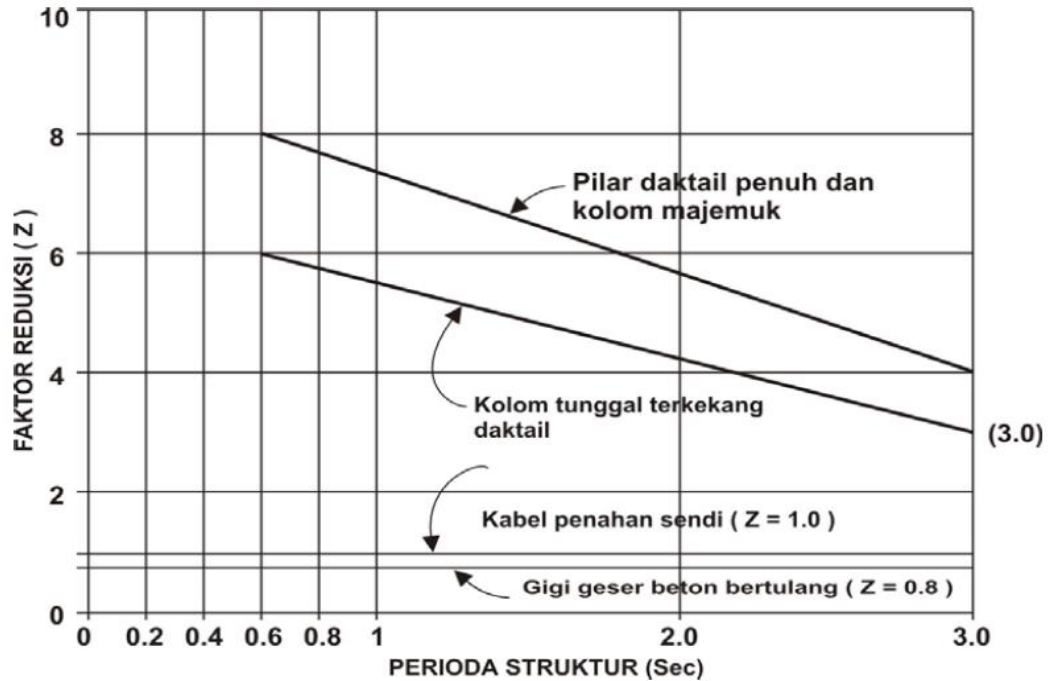
C_{plastis} = Koefisien geser dasar termasuk faktor daktilitas dan risiko (Z)

A = Percepatan/akselerasi puncak *PGA* di batuan dasar (g)

R = Respon batuan dasar

S = Amplifikasi di permukaan sesuai tipe tanah

Z = Faktor reduksi sehubungan daktilitas dan risiko



Gambar 2.15: Faktor reduksi pengaruh daktilitas dan risiko(Z).

Dengan menghilangkan faktor Z dari spektra respon, diperoleh koefisien geser dasar elastis yang memberikan kebebasan untuk menentukan tingkat daktilitas serta tingkat plastis. Spektra tanpa faktor Z digunakan dalam analisis dinamis, karena versi spektra yang telah direduksi akan membingungkan. Analisis dinamis menggunakan faktor reduksi R_d (lihat Tabel 2.10) sebagai pengganti faktor Z .

Berdasarkan SNI 2833-2008, koefisien geser dasar elastis (A.R.S) diturunkan untuk percepatan/akselerasi puncak (PGA) wilayah gempa Indonesia dari respon spektra “Shake” sesuai konfigurasi tanah (lihat Gambar 2.15). Perkalian tiga faktor A, R dan S menghasilkan spektra elastis dengan 5% redaman. Konfigurasi tanah terbagi dalam tiga jenis: tanah teguh dengan kedalaman batuan (0 m sampai dengan 3 m), tanah sedang dengan kedalaman batuan (3 m sampai dengan 25 m), tanah lembek dengan kedalaman batuan melebihi 25 m, (Tabel 2.13). Fondasi pada tanah lembek harus direncanakan lebih aman dari fondasi pada tanah baik. Koefisien geser dasar C elastis juga dapat ditentukan dengan rumus, Pers 2.23.

$$C_{\text{elastis}} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} \text{ dengan syarat } C_{\text{elastis}} < 2,5 \cdot A \quad (2.23)$$

Dengan pengertian:

A = Akselerasi puncak dibatuan dasar (g)

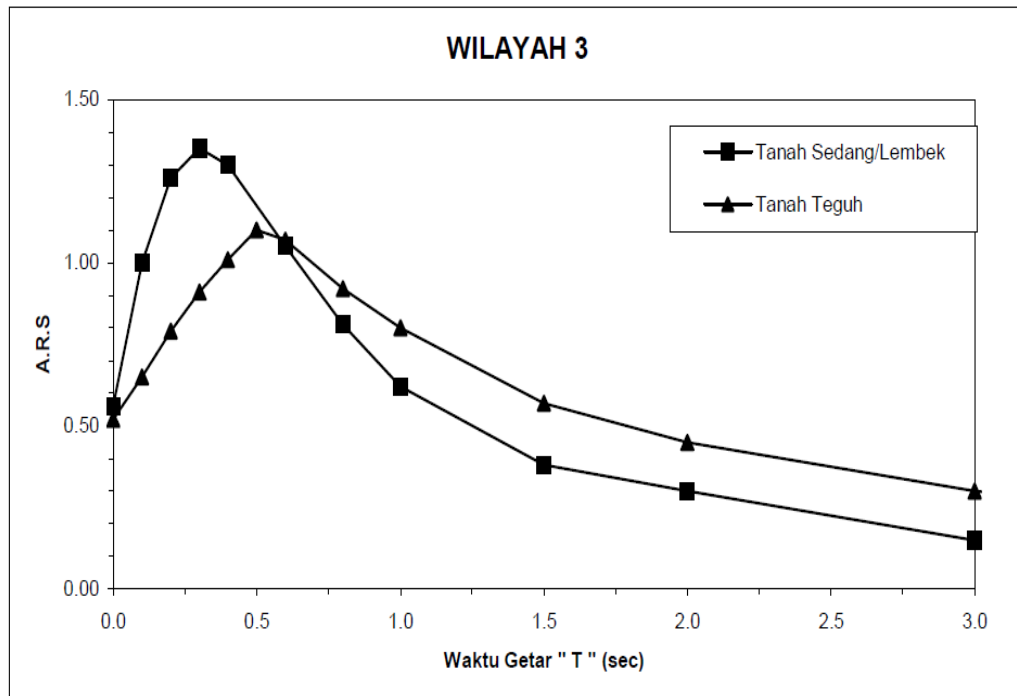
T = Prioda alami struktur (detik)

S = Koefisien tanah

Tabel 2.13: Koefisien tanah (S).

| S (tanah teguh) | S (tanah sedang) | S (tanah lembek) |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| $S_1 = 1,0$ | $S_2 = 1,2$ | $S_3 = 1,5$ |

Peraturan gempa yang selama ini berlaku, menggunakan koefisien geser dasar plastis (A.R.S/Z) dimana termasuk faktor daktilitas rata-rata sebesar 4 dan faktor risiko 1 serta redaman 5%, sehingga langsung dapat digunakan oleh perencana dalam menentukan nilai koefisien gempa untuk analisis statis, Gambar 2.16-2.17.



Gambar 2.16: Koefisien geser dasar(C) elastis untuk analisis dinamis, priode ulang 500 tahun.



Gambar 2.17: Wilayah gempa indonesia periode 500 tahun.

2.7. Prinsip analisis riwayat waktu

2.7.1. Umum

Analisis dinamis diperlukan sebagai verifikasi, bila kinerja struktur terhadap gempa tidak diwakili sepenuhnya oleh prosedur perhitungan statis dan semi dinamis (lihat Tabel 2.8).

Analisis dinamis perlu dipertimbangkan untuk tipe jembatan dengan kinerja rumit sebagai berikut:

- bentang utama melebihi 200 m;
- jembatan fleksibel dengan periode panjang yang melebihi 1,5 detik;
- jembatan dengan pilar tinggi yang melebihi 30 m;
- jembatan pelengkung dengan lantai di atas, struktur kabel (*cable-stayed*), jembatan gantung, jembatan yang menggunakan isolasi dasar.

2.7.2. Cara analisis dinamis

Berdasarkan SNI 2833:2008, cara yang digunakan untuk analisis dinamis adalah cara respon spektra berdasarkan analisis riwayat waktu dan analisis moda,

serta cara integral langsung yang menggunakan rumus pergerakan *equation of motion*.

Untuk analisis riwayat waktu diperlukan data gempa besar tipikal yang umumnya terjadi di luar lokasi jembatan. Gerakan gempa masukan berupa gelombang akselerasi dengan amplitudo yang dimodifikasi berdasarkan wilayah frekuensi (*frequency zone*) sehingga sesuai akselerasi standar respon spektra. Gempa tipikal harus dipilih berdasarkan kondisi tanah dan topografi yang serupa dengan lokasi jembatan, sehingga dapat dilakukan modifikasi amplitudo.

Gempa masukan di permukaan tanah anggapan dimodifikasi dengan rumus, Pers. 2.24-2.25.

$$S = c_D \cdot S_0 \quad (2.24)$$

Dengan pengertian:

S = Akselerasi gempa masukan (g)

c_D = Faktor modifikasi nilai redaman terhadap standar 5% sesuai konstanta redaman moda h_i ,

S_0 = Akselerasi wilayah gempa dari respon spektra (g).

$$c_D = \frac{1,5}{40^{h_i+1}} + 0,5 \quad (2.25)$$

Dengan pengertian:

h_i = Konstanta redaman moda

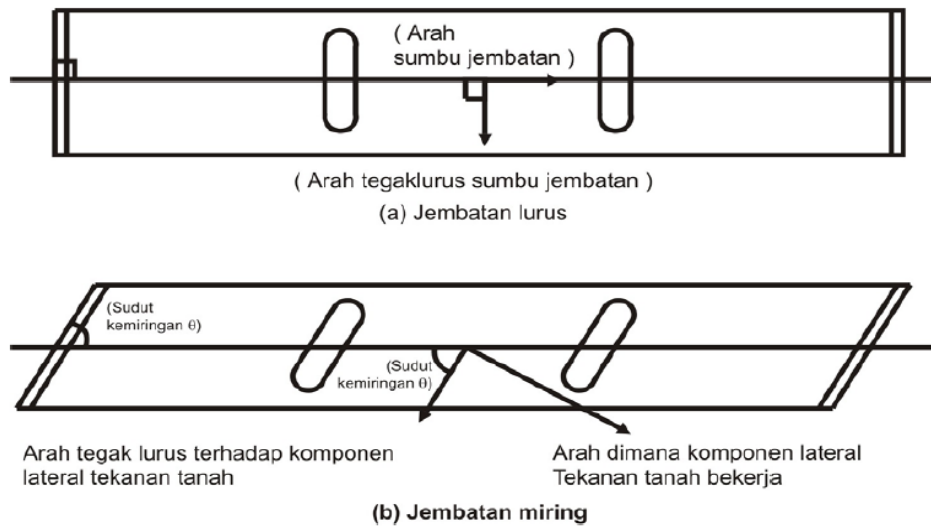
Bilamana analisis dinamis menunjukkan hasil yang jauh lebih kecil dari analisis statis, maka perencanaan seismik umumnya didasarkan pada hasil analisis statis.

2.8. Pengaruh gaya inersia

Gaya inersia diperhitungkan pada setiap unit getar rencana (*vibration unit*) yang sesuai dengan anggapan struktur untuk periode alami (T) yang dibahas lebih lanjut dalam sub-bab 2.18.

Perencanaan tahan gempa secara plastis (dengan koefisien gempa horizontal rencana) dan secara elasto-plastis (dengan tingkat daktilitas pilihan) menggunakan gaya inersia dalam dua arah horizontal yang saling tegak lurus. Untuk perencanaan tumpuan juga ditinjau gaya inersia dalam arah vertikal. Gaya inersia dalam dua arah

horizontal bekerja umumnya dalam arah sumbu jembatan dan arah tegak lurus sumbu jembatan. Tetapi bila arah komponen horizontal tekanan tanah berlainan dengan arah sumbu jembatan dalam perencanaan bangunan bawah, gaya inersia harus mengikuti arah komponen horizontal tekanan tanah dan arah yang tegak lurus padanya (lihat Gambar 2.18).



Gambar 2.18: Arah gerakan gaya inersia.

Gaya gempa dalam arah ortogonal dikombinasikan sebagai berikut:

- Kombinasi beban 1: 100% gaya gerakan memanjang ditambah 30% gaya gerakan melintang.
- Kombinasi beban 2: 100% gaya gerakan arah melintang ditambah 30% gerakan arah memanjang.

2.9. Perumusan prioda alami jembatan

Berdasarkan SNI 2833:2008, rumus prioda alami ditentukan berdasarkan sistem dinamis dengan satu derajat kebebasan tunggal, Pers. 2.26

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \quad (2.26)$$

Dengan pengertian:

W = Berat bangunan bawah jembatan dan bagian bangunan atas yang dipikul (tf),

K = Konstanta kekakuan (tf/m),

$g = \text{Gravitasi } (9,8 \text{ m/s}^2),$

Bila gaya W bekerja dalam arah horizontal, deformasi simpangan horizontal δ pada bangunan atas menjadi, Pers. 2.27.

$$\Delta = \frac{W}{K}$$

$$\text{Sehingga } T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} = 2\pi \sqrt{\frac{\delta}{g}} = 2,01 \sqrt{\delta} \quad (2.27)$$

Bila unit getar rencana terdiri dari satu bangunan bawah dan bagian bangunan atas yang didukungnya, prioda alami dihitung dengan rumus empiris, Pers. 2.28.

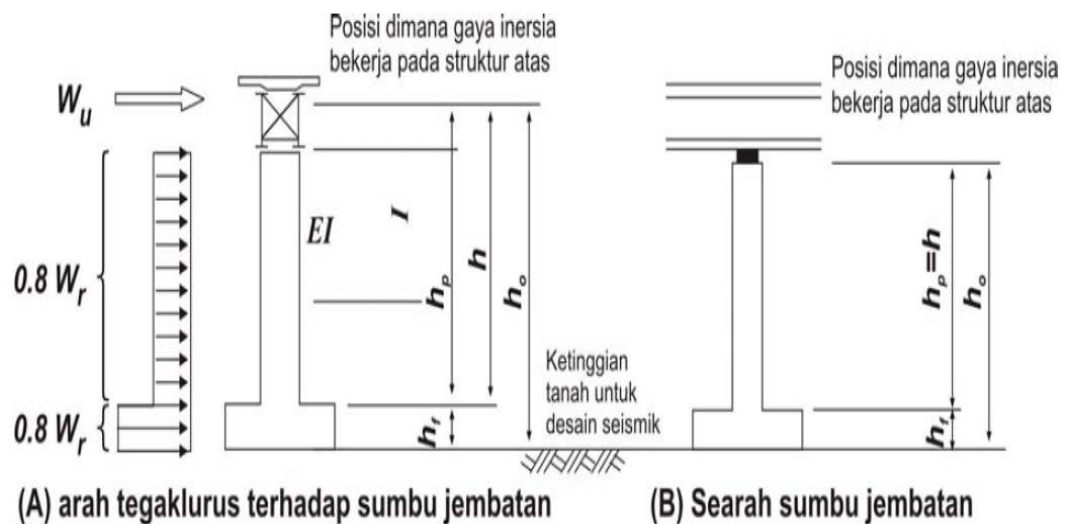
$$T = 2,01 \sqrt{\delta} \quad (2.28)$$

Dengan pengertian:

$T = \text{Prioda alami dari unit getar rencana (detik),}$

$\delta = \text{Simpangan pada kedudukan gaya inersia bangunan atas, bila gaya sesuai 80\% berat bangunan bawah diatas permukaan tanah untuk perencanaan tahan gempa dan berat bagian bangunan atas yang dipikul olehnya dianggap bekerja dalam arah gaya inersia (m),}$

Dalam perhitungan prioda alami digunakan teori getaran moda tunggal (Gambar 2.19):



Gambar 2.19: Model perhitungan prioda alami (mode tunggal).

2.10. Filosofi perencanaan (Pembebanan)

2.10.1. Pembebanan jembatan

Perencanaan pembebanan jembatan jalan raya didasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJR, 1987). Beban-beban yang ada pada struktur jembatan adalah sebagai berikut:

1. Beban primer

Beban primer merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban primer meliputi beban mati (berat sendiri jembatan), beban hidup (beban bergerak seperti kendaraan, pejalan kaki), beban kejut dan gaya akibat tekanan tanah.

2. Beban sekunder

Beban sekunder merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban sekunder meliputi beban angin, gaya akibat perbedaan suhu, gaya akibat rangkai susut, gaya rem, gaya akibat gempa bumi, gaya gesekan pada tumpuan yang bergerak.

3. Beban khusus

Beban khusus merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan. Beban khusus meliputi gaya sentrifugal, gaya tumbuk pada jembatan layang, gaya dan beban selama pelaksanaan, gaya aliran air.

Berdasarkan SNI 1725-2016, jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.

Dalam perencanaan, persamaan dibawah harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya, tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan. Setiap komponen dan sambungan harus memenuhi persamaan untuk setiap keadaan batas. Untuk keadaan batas layan dan ekstrem, faktor tahanan harus diambil sebesar 1, kecuali untuk baut yang ditentukan dalam perencanaan jembatan baja, serta kolom-kolom beton pada zona gempa 2, 3, dan 4 yang ditentukan dalam

perencanaan jembatan beton. Seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar, Pers. 2.29.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i < \phi R_n = R_r \quad (2.29)$$

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

Untuk beban-beban dengan nilai maksimum γ_i lebih sesuai maka, Pers 2.30.

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I > 0,95 \quad (2.30)$$

Untuk beban-beban dengan nilai minimum γ_i lebih sesuai maka, Pers 2.31.

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} < 1 \quad (2.31)$$

Keterangan:

γ_i = Faktor beban ke -i

η_I = Faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas, redundansi, dan klasifikasi operasional

η_D = Faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas

η_R = Faktor pengubah respons berkaitan dengan redundansi

η_I = Faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional

Q_i = Pengaruh gaya

R_n = Tahanan nominal

R_r = Tahanan terfaktor

2.10.2. Keadaan batas layan

Keadaan batas daya layan disyaratkan dalam perencanaan dengan melakukan pembatasan pada tegangan, deformasi, dan lebar retak pada kondisi pembebanan layan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik selama umur rencana.

2.10.3. Keadaan batas fatik dan fraktur

Keadaan batas fatik disyaratkan agar jembatan tidak mengalami kegagalan akibat fatik selama umur rencana. Untuk tujuan ini, perencana harus membatasi

rentang tegangan akibat satu beban truk rencana pada jumlah siklus pembebanan yang dianggap dapat terjadi selama umur rencana jembatan. Keadaan batas fraktur disyaratkan dalam perencanaan dengan menggunakan persyaratan kekuatan material sesuai spesifikasi.

Berdasarkan SNI 1725-2016, keadaan batas fatik dan fraktur dimaksudkan untuk membatasi penjaralan retak akibat beban siklik yang pada akhirnya akan menyebabkan terjadinya kegagalan fraktur selama umur desain jembatan.

2.10.4. Keadaan batas kekuatan

Keadaan batas kekuatan disyaratkan dalam perencanaan untuk memastikan adanya kekuatan dan kestabilan jembatan yang memadai, baik yg sifatnya lokal maupun global, untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara statistik mempunyai kemungkinan cukup besar untuk terjadi selama masa layan jembatan. Pada keadaan batas ini, dapat terjadi kelebihan tegangan ataupun kerusakan struktural, tetapi integritas struktur secara keseluruhan masih terjaga.

2.10.5. Keadaan batas ekstrem

Keadaan batas ekstrem diperhitungkan untuk memastikan struktur jembatan dapat bertahan akibat gempa besar. Keadaan batas ekstrem merupakan kejadian dengan frekuensi kemunculan yang unik dengan priode ulang yang lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan umur rencana jembatan.

2.10.6. Daktilitas

Sistem struktur jembatan harus diproporsi dan didetailkan agar diperoleh perilaku deformasi inelastik pada keadaan batas ultimit dan ekstrem sebelum mengalami kegagalan. Perangkat disipasi (energi yang hilang dari suatu sistem, berubah menjadi energi lain yang tidak menjadi tujuan suatu sistem) energi gempa dapat digunakan untuk menggantikan sistem pemikul beban gempa konvensional beserta metodologi perencanaan tahan gempa yang dimuat dalam Peraturan Perencanaan Gempa untuk Jembatan.

Untuk keadaan batas ultimit maka:

$\eta_D = 1,05$ untuk komponen tidak daktail dan sambungan

$\eta_D = 1,00$ untuk perencanaan konvensional serta pendetailan yang mengikuti peraturan ini.

$\eta_D = 0,95$ untuk komponen-komponen dan sambungan yang telah dilakukan tindakan tambahan untuk meningkatkan daktilitas lebih dari yang disyaratkan oleh peraturan ini.

Untuk keadaan batas lain termasuk keadaan batas ekstrem (gempa) maka: $\eta_D = 1$

2.10.7. Redundansi (prediksi)

Alur gaya mejemuk dan struktur menerus harus digunakan kecuali terdapat alasan kuat yang mengharuskan untuk tidak menggunakan struktur tersebut.

Untuk keadaan batas ultimit maka:

$\eta_R = 1,05$ untuk komponen non redundan

$\eta_R = 1,00$ untuk komponen redundansi konvensional

$\eta_R = 0,95$ untuk komponen dengan redundansi melampaui kontinuitas girder dan penampang torsi tertutup

Untuk keadaan batas lain termasuk keadaan batas ekstrem (gempa) maka: $\eta_R = 1$

2.10.8. Kepentingan operasional

Pemilik pekerjaan dapat menetapkan suatu jembatan atau elemen struktur dan sambungannya sebagai prioritas operasional. Pengklasifikasian harus dilakukan oleh otoritas yang berwenang terhadap jaringan transportasi dan mengetahui kebutuhan operasional.

Untuk keadaan batas ultimit maka:

$\eta_I = 1,05$ untuk jembatan penting atau sangat penting

$\eta_I = 1,00$ untuk jembatan tipikal

$\eta_I = 0,95$ untuk jembatan kurang penting

Untuk keadaan batas lain termasuk keadaan batas ekstrem (gempa) maka: $\eta_I = 1$

2.10.9. Kelompok pembebanan dan simbol untuk beban

Berdasarkan SNI 1725-2016, beban permanen dan transien sebagai berikut harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan:

- Beban permanen

MS = Beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan

MA = Beban mati perkerasan dan utilitas

TA = Gaya horizontal akibat tekanan tanah

PL = Gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental

- Beban transien

SH = Gaya akibat susut/rangkak

TB = Gaya akibat rem

TR = Gaya sentrifugal

TC = Gaya akibat tumbukan kendaraan

TV = Gaya akibat tumbukan kapal

EQ = Gaya gempa

BF = Gaya friksi

TD = Beban lajur "D"

TT = Beban truk "T"

TP = Beban pejalan kaki

SE = Beban akibat penurunan

ET = Gaya akibat temperatur gradien

EU_z = Gaya akibat temperatur seragam

EF = Gaya apung

EW_s = Beban angin struktural

EW_L = Beban angin pada kendaraan

EU = Beban arus dan hanyutan

2.11. Faktor beban dan kombinasi

2.11.1. Faktor beban dan kombinasi pembebanan

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan, Pers. 2.32.

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (2.32)$$

Keterangan:

η_i = Faktor pengubah respon

γ_i = Faktor beban

Q_i = Gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut:

- Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
- Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
- Kuat V : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- Ekstrem I : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γ_{EQ} yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

- Ekstrem II : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
- Layan I : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
- Layan II : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
- Layan III : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.
- Layan IV : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
- Fatik : Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Faktor beban untuk setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti yang ditentukan. Perencana harus menyelidiki bagian parsial dari kombinasi pembebanan yang dapat terjadi harus diinvestigasi dimana setiap beban yang

diindikasikan untuk diperhitungkan dalam kombinasi pembebanan harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai. Hasil perkalian harus dijumlahkan sebagaimana ditentukan dalam persamaan diatas dan dikalikan dengan faktor pengubah seperti yang ditentukan.

Faktor beban harus dipilih sedemikian rupa untuk menghasilkan kondisi ekstrem akibat beban yang bekerja. Untuk setiap kombinasi pembebanan harus diselidiki kondisi ekstrem maksimum dan minimum. Dalam kombinasi pembebanan dimana efek salah satu gaya mengurangi efek gaya yang lain, maka harus digunakan faktor beban terkurangi untuk gaya yang mengurangi tersebut. Untuk beban permanen, harus dipilih faktor beban yang menghasilkan kombinasi pembebanan kritis. Jika pengaruh beban permanen adalah meningkatkan stabilitas atau kekuatan komponen jembatan, maka perencana harus memperhitungkan pengaruh faktor beban terkurangi (minimum).

Untuk beban akibat temperatur seragam (EU_n), terdapat dua faktor beban. Dalam hal ini nilai terbesar digunakan untuk menghitung deformasi sedangkan nilai terkecil digunakan untuk menghitung semua efek lainnya. Perencana dapat menggunakan $\gamma_{EU_n} = 0,50$ untuk keadaan batas kekuatan asalkan perhitungan dilakukan dengan memakai momen inersia bruto untuk menghitung kekakuan kolom atau pilar. Jika perencana melakukan jenis analisis yang lebih rinci dimana perhitungan dilakukan dengan memakai momen inersia penampang retak yang diperoleh dari hasil analisis untuk menghitung kekakuan kolom atau pilar, maka perencana harus menggunakan $\gamma_{EU_n} = 1,00$ untuk keadaan batas kekuatan. Sama halnya seperti sebelumnya, untuk keadaan batas kekuatan perencana dapat menggunakan faktor beban = 0,50 untuk γ_{PR} dan γ_{SH} saat menghitung pengaruh masing-masing gaya pada jembatan non-segmental jika perencana menggunakan momen inersi bruto pada waktu menghitung kekakuan kolom atau pilar yang menggunakan struktur beton. Jika kolom atau pilar menggunakan struktur baja, maka harus digunakan faktor beban= 1,00 untuk γ_{EU_n} , γ_{Pr} dan γ_{SH} . Evaluasi global timbunan, serta lereng dengan atau tanpa pondasi dangkal atau pondasi dalam harus diselidiki pada Kondisi Layan I dengan menggunakan faktor tahanan yang berlaku.

Untuk jembatan box girder baja yang memenuhi ketentuan pada Peraturan Perencanaan Jembatan Baja, faktor beban untuk beban kendaraan TT dan TD harus diambil sebesar 2,0.

Faktor beban gradien temperatur (γ_{TG}) ditentukan berdasarkan kondisi pekerjaan. Jika tidak ada hal yang bisa menyebabkan perubahan nilai, maka γ_{TG} dapat diambil sebagai berikut:

0,00 : untuk keadaan batas kekuatan dan keadaan batas ekstrem.

1,00 : untuk keadaan batas daya layan dimana beban hidup tidak ada, dan

0,50 : pada keadaan batas daya layan dimana beban hidup bekerja.

Faktor beban untuk beban akibat penurunan (γ_{SE}) ditentukan berdasarkan kondisi proyek. Jika tidak ada hal yang bisa menyebabkan perubahan nilai, maka γ_{SE} dapat diambil sebesar 1,0. Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan penurunan pondasi juga harus memperhitungkan kondisi bila penurunan tidak terjadi. Untuk jembatan yang dibangun secara segmental, maka kombinasi pembebanan sebagai berikut harus diselidiki pada keadaan batas daya layan yaitu kombinasi antara beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), tekanan tanah (TA), beban arus dan hanyutan (EU), susut (SH), gaya akibat pelaksanaan (PL), dan prategang (PR), Tabel 2.14.

Tabel 2.14: Kombinasi beban dan faktor beban.

| Keadaan Batas | MS MA TA PR PL SH | TT TD TB TR TP | EU | EWS | EWL | BF | EUN | TG | ES | Gunakan salah satu | | |
|----------------|----------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|-----------|---------------|---------------|--------------------|------|------|
| | | | | | | | | | | EQ | TC | TV |
| Kuat I | γ_P | 1,80 | 1,00 | - | - | 1,00 | 0,50/1,20 | γ_{TG} | γ_{ES} | - | - | - |
| Kuat II | γ_P | 1,40 | 1,00 | - | - | 1,00 | 0,50/1,20 | γ_{TG} | γ_{ES} | - | - | - |
| Kuat III | γ_P | - | 1,00 | 1,40 | - | 1,00 | 0,50/1,20 | γ_{TG} | γ_{ES} | - | - | - |
| Kuat IV | γ_P | - | 1,00 | - | - | 1,00 | 0,50/1,20 | - | - | - | - | - |
| Kuat V | γ_P | - | 1,00 | 0,40 | 1,00 | 1,00 | 0,50/1,20 | γ_{TG} | γ_{ES} | - | - | - |
| Ekstrem I | γ_P | γ_{EQ} | 1,00 | - | - | 1,00 | - | - | - | 1,00 | - | - |
| Ekstrem II | γ_P | 0,50 | 1,00 | - | - | 1,00 | - | - | - | - | 1,00 | 1,00 |
| Daya layan I | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00/1,20 | γ_{TG} | γ_{ES} | - | - | - |
| Daya layan II | 1,00 | 1,30 | 1,00 | - | - | 1,00 | 1,00/1,20 | - | - | - | - | - |
| Daya layan III | 1,00 | 0,80 | 1,00 | - | - | 1,00 | 1,00/1,20 | γ_{TG} | γ_{ES} | - | - | - |
| Daya layan IV | 1,00 | - | 1,00 | 0,70 | - | 1,00 | 1,00/1,20 | - | 1,00 | - | - | - |

Catatan: - γ_P dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , γ_{SH} , tergantung beban yang ditinjau, γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa.

Jika komponen pracetak dan prategang digunakan dan dikombinasikan dengan balok baja, pengaruh dari hal-hal berikut harus diperhitungkan sebagai beban konstruksi (*PL*):

- Friksi antara dek pracetak dan balok baja jika penarikan *strand* longitudinal pada pelat disatukan dengan balok menjadi penampang komposit.
- Gaya induksi pada balok baja dan *shear connector* jika penarikan tendon/*strand* longitudinal pada pelat pracetak dilakukan setelah dek disatukan dengan balok menjadi penampang komposit.
- Pengaruh adanya rangkai dan susut yang berbeda pada balok baja dan pelat beton.
- Pengaruh efek *poisson* yang berbeda pada balok baja dan pelat beton.

Faktor beban γ_{EQ} untuk beban hidup pada keadaan batas ekstrem I harus ditentukan berdasarkan kondisi spesifik jembatan. Sebagai pedoman dapat digunakan faktor γ_{EQ} sebagai berikut:

$$\gamma_{EQ} = 0,5 \text{ (jembatan sangat penting)}$$

$$\gamma_{EQ} = 0,3 \text{ (jembatan penting)}$$

$$\gamma_{EQ} = 0 \text{ (untuk standar)}$$

2.11.2. Faktor beban pada masa konstruksi

2.11.2.1 Evaluasi pada keadaan batas kekuatan

Perencana harus menyelidiki semua kombinasi pembebanan pada keadaan batas kekuatan yang dimodifikasi pada pasal ini. Faktor beban untuk berat sendiri struktur dan kelengkapannya *MS* dan *MA*, tidak boleh diambil kurang dari 1,25 pada waktu melakukan pemeriksaan keadaan batas kekuatan kombinasi I, III dan V selama masa konstruksi. Kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan, faktor beban untuk beban pelaksanaan dan setiap efek dinamis yang terkait harus diambil tidak kurang dari 1,5 untuk keadaan batas kekuatan kombinasi I. Faktor beban untuk beban angin pada Keadaan Batas Kekuatan Kombinasi III tidak boleh kurang dari 1,25.

2.11.2.2 Evaluasi lendutan pada keadaan batas layan

Jika dalam kontrk disebutkan bahwa harus dilakukan evaluasi lendutan selm masa pembangunan, maka harus digunakan keadaan batas daya layan kombinasi I untuk menghitung besarnya lenduutan yang terjadi, kecuali ada ditentukan khusus yang merubah ketentuan ini.

Beban mati akibat peralatan konstruksi harus dianggap sebagai bagian dari beban permanen dan beban hidup yang terjadi selama pelaksanaan harus dianggap sebagai bagian dari beban hidup.

2.12. Faktor beban untuk pendongkrakan dan gaya paska tarik

2.12.1 Gaya dongkrak

Kecuali ditentukan oleh pemilik pekerjaan, besarnya gaya rencana minimum untuk pendongkrakan adalah 1,3 kali besarnya reaksi akibat beban permanen pada perletakan, diberlakukan pada posisi dengan dongkrak dipasang.

Jika jembatan tidak ditutup untuk lalu lintas selama proses pengangkatan, maka gaya pendongkrakan harus memperhitungkan reaksi yang timbul akibat beban hidup tersebut, konsisten dengan pengaturan lalu lintas selama masa pengangkatan , dikalikan dengan faktor beban untuk beban hidup.

2.12.2 Gaya untuk perencanaan zona angkur tendon paska tarik

Gaya rencana minimum yang digunakan dalam perencanaan zona angkur tendon paska tarik adalah 1,2 kali gaya pendongkrakan maksimum.

2.13 Beban permanen

2.13.1 Umum

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam Gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g).

Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/detik m}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat ini untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.15.

Tabel 2.15: Berat isi untuk beban mati.

| No | Bahan | Berat isi (kN/m ³) | Kerapatan massa (kg/m ³) |
|----|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>) | 22,00 | 2245 |
| 2 | Besi tuang (<i>cast iron</i>) | 71,00 | 7240 |
| 3 | Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>) | 17,20 | 1755 |
| 4 | Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>) | 18,8 - 22,7 | 1920-2315 |
| 5 | Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>) | 22,00 | 2245 |
| 6 | Beton ringan (<i>low density</i>) | 12,5 - 19,6 | 1250-2000 |
| 7 | Beton $fc' < 35 \text{ Mpa}$ | 22,0 - 25,0 | 2320 |
| | $35 < fc' < 105 \text{ Mpa}$ | $22 + 0,022 fc'$ | $2240 + 2,29 fc'$ |
| 8 | Baja (<i>steel</i>) | 78,50 | 7850 |
| 9 | Kayu (<i>ringan</i>) | 7,80 | 800 |
| 10 | Kayu keras (<i>hard wood</i>) | 11,00 | 1125 |

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, perencana harus memilih diantara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor faktor beban normal dan faktor beban terkurangi.

2.13.2 Berat sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan 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 2.16.

Tabel 2.16: 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 Di Cor Di Tempat | 1,00 | 1,30 | 0,75 |
| | Kayu | 1,00 | 1,40 | 0,70 |

2.13.3 Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.17 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Tabel 2.17: Faktor beban untuk beban mati tambahan.

| Tipe beban | Faktor beban(γ_{MA}) | | | |
|--|--|------|--|------------|
| | Keadaan Batas Layan(γ_{MA}^S) | | Keadaan Batas Ultimit(γ_{MA}^U) | |
| | Keadaan | | Biasa | Terkurangi |
| tetap | Umum | 1,00 | 1,10 | 0,90 |
| | Khusus (terawasi) | 1,00 | 1,10 | 0,90 |
| Catatan: faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas | | | | |

2.13.3.1 Ketebalan yang diizinkan untuk pelapisan kembali permukaan

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. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam Gambar rencana.

2.13.3.2 Sarana lain di jembatan

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung seakurat mungkin. Berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

2.13.4 Pengaruh tetap pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penengangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.18.

Tabel 2.18: Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan.

| Tipe beban | Faktor beban(γ_{PL}) | | |
|------------|--|--|------------|
| | Keadaan Batas Layan(γ_{PL}^S) | Keadaan Batas Ultimit(γ_{PL}^U) | |
| | | Biasa | Terkurangi |
| Tetap | 1 | 1 | 1 |

2.14 Beban lalu lintas

2.14.1 Umum

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur 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 itu sendiri.

Beban truk “T” satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk beban pendek dan rantai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban “D” yang nilai telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan (lihat pasal 8.5, SNI 1725-2016).

2.14.2 Lajur lalu lintas rencana

Secara umum, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar jalur rencana sebesar 2750 mm. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.19. Lajur lalu lintas harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.19: Jumlah lajur lalu lintas rencana.

| Tipe jembatan (1) | Lebar bersih jembatan | Jumlah Lajur lalu lintas rencana (n) |
|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Satu jalur | $3,000 < w < 5,250$ | 1 |
| Dua arah, tanpa median | $5,250 < w < 7,500$ | 2 |

Tabel 2.19: *lanjutan.*

| Tipe jembatan (1) | Lebar bersih jembatan | Jumlah Lajur rencana (n) | lalu lintas |
|---|-----------------------|--------------------------|-------------|
| Dua arah, tanpa media | $7.500 < w < 10.000$ | 3 | |
| | $10.000 < w < 12.500$ | 4 | |
| | $12.500 < w < 15.250$ | 5 | |
| | $w > 15.250$ | 6 | |
| Dua arah, dengan median | $5.500 < w < 8.000$ | 2 | |
| | $8.250 < w < 10.000$ | 3 | |
| | $11.000 < w < 13.500$ | 4 | |
| | $13.750 < w < 16.250$ | 5 | |
| | $w > 16.500$ | 6 | |
| Catatan (1): Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang | | | |
| Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah. | | | |

Berdasarkan Tabel 2.19, bila lebar bersih jembatan antara 3.000 mm sampai 5.000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana dan lebar jalur rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 5.250 mm dan 7.500 mm,. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7.750 mm dan 10.000 mm.

2.14.3 Beban lajur “D”(TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada Gambar 2.20. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20: Faktor beban untuk beban lajur “D”.

| Tipe beban | Jembatan | Faktor beban (γ_{TD}) | |
|------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Keadaan batas layan γ_{TD}^s | Keadaan batas ultimit γ_{TD}^U |
| Transien | Beton | 1 | 1,8 |
| | Boks girder baja | 1 | 2 |

2.14.3.1 Intensitas beban “D”

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu, Pers. 2.33-2.34

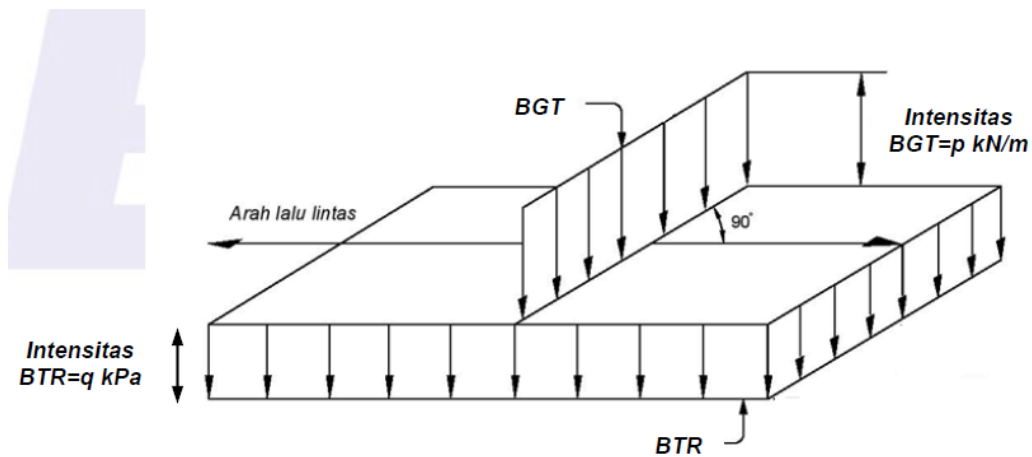
Jika $L < 30$ m: $q = 9,0$ kPa (2.33)

Jika $L > 30$ m: $q = 9,0 \left(0,5 \frac{15}{L}\right)$ kPa (2.34)

Keterangan:

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

L = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)



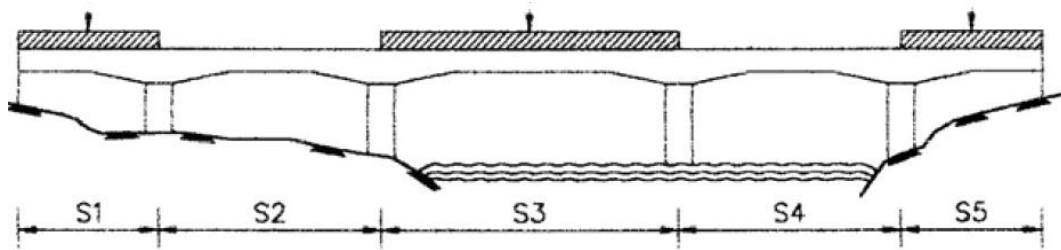
Gambar 2.20: Beban lajur “D”.

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

2.14.3.2 Distribusi beban “D”

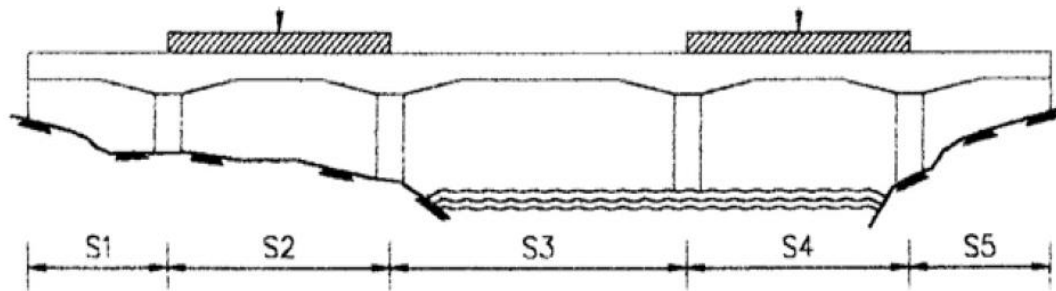
Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan

BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.21. kemudian alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.22.



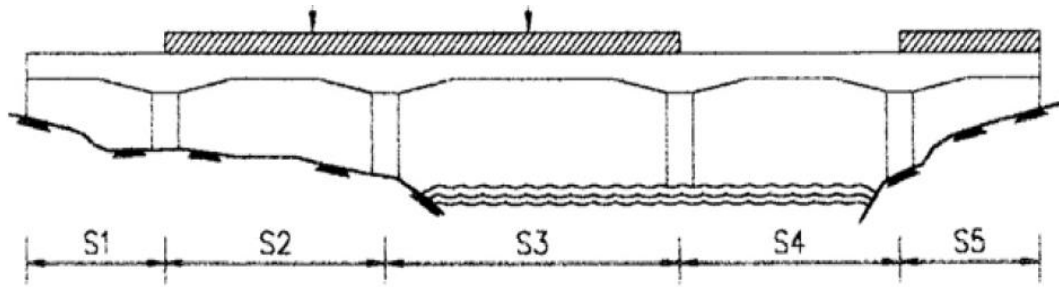
Gambar 2.21: Momen lentur positif – bentang 1,3,5.

Untuk momen maksimum di bentang 1: tempatkan BGT di bentang 1 (bentang 5 serupa) ambil $L =$ pengaruh terburuk dari S_1 ; S_1+S_3 ; atau $S_1+S_3+S_5$. Untuk momen lentur maksimum di bentang 3, tempatkan BGT di bentang 3, ambil $L =$ pengaruh terburuk dari S_3 ; S_1+S_3 atau S_3+S_5



Gambar 2.22: Momen lentur positif – bentang 2,4.

Untuk momen lentur maksimum di bentang 2: tempatkan BGT di bentang 2, ambil $L =$ pengaruh terburuk dari S_2 ; atau $S_2 + S_4$. Untuk momen lentur maksimum di bentang 4: tempat BGT di bentang 4. Ambil $L =$ pengaruh terburuk dari S_4 atau $S_2 + S_4$, Gambar 2.23.



Gambar 2.23: Momen lentur negatif pada pilar .

Untuk momen lentur maksimum di pilar 2: tempatkan BGT di bentang 2 dan 3 ; ambil $L =$ pengaruh terburuk dari $S_2 + S_3$ atau $S_2 + S_3 + S_5$

2.14.3.3 Respon terhadap beban lajur “D”

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

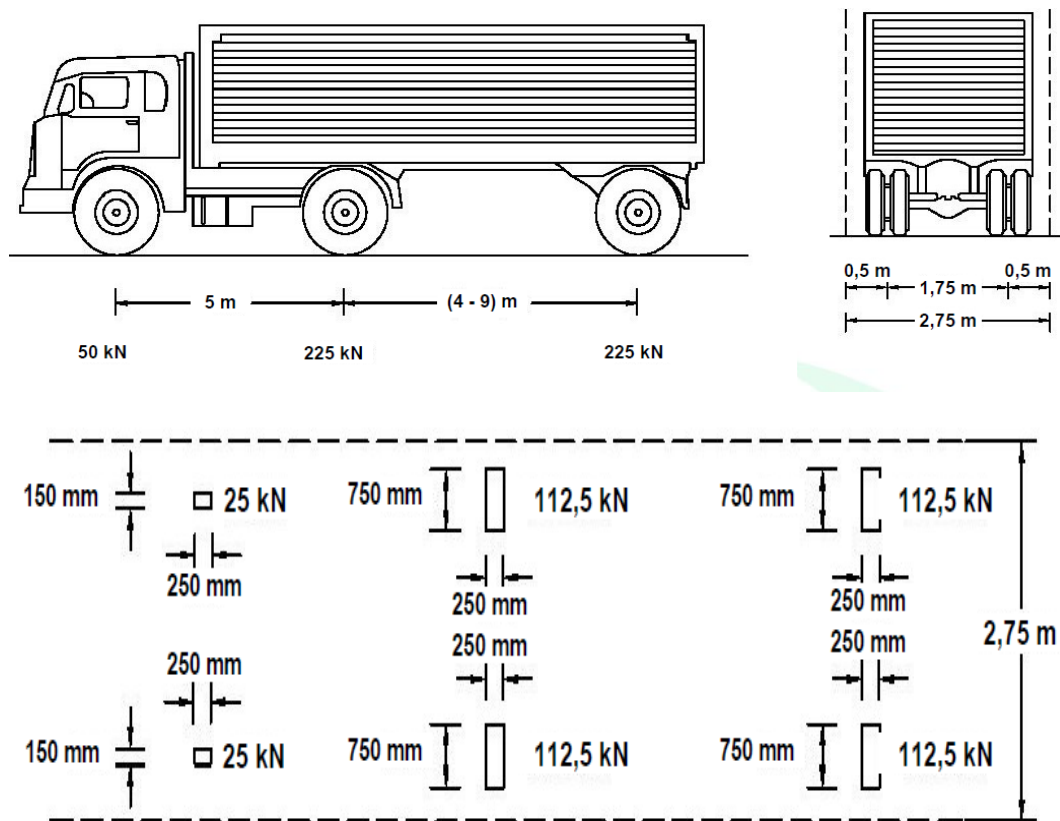
2.14.4 Beban truk “T”

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D” (Gambar 2.24). Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. adapun faktor untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21: Faktor beban untuk “T”.

| Tipe beban | Jembatan | Faktor beban (γ_{TT}) | |
|------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| | | Keadaan batas layan γ^s_T | Keadaan batas ultimit γ^U_{TT} |
| Transien | Beton | 1 | 1,8 |
| | Boks girder baja | 1 | 2 |

2.14.4.1 Besarnya pembebanan truk "T"



Gambar 2.24: Pembebanan truk "T" (500 kN).

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada Gambar 2.24. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut diubah—ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

2.14.4.2 Posisi dan penyebaran pembebanan truk "T" dalam arah melintang

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu jalur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan ditengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat pada Gambar 2.24. Jumlah maksimum lajur

lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Tabel 2.22, tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan dimana saja pada lajur jembatan.

2.14.4.3 Kondisi faktor kepadatan lajur

Ketentuan pasal ini tidak boleh digunakan untuk perencanaan keadaan batas fatik dan fraktur, dimana hanya satu jalur rencana yang diperhitungkan dan tidak tergantung dari jumlah total lajur rencana. Jika perencana menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu jalur, maka pengaruh beban truk harus direduksi dengan faktor 1,20. Tetapi jika perencana menggunakan *lever rule* atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.

Kecuali ditentukan lain pada pasal ini, pengaruh beban hidup harus ditentukan dengan mempertimbangkan setiap kemungkinan kombinasi jumlah jalur yang terisi dikalikan dengan faktor kepadatan lajur yang sesuai untuk memperhitungkan kemungkinan terisinya jalur rencana oleh beban hidup. Jika perencana tidak mempunyai data yang diperlukan maka nilai-nilai Tabel 2.22.

- Dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu jalur terisi,
- Boleh digunakan saat meneliti pengaruh beban hidup jika ada tiga atau lebih jalur terisi.

Tabel 2.22: Faktor kepadatan lajur (m).

| Jumlah lajur yang dibebani | Faktor kepadatan lajur |
|----------------------------|------------------------|
| 1 | 1,2 |
| >2 | 1 |

Untuk tujuan menentukan jumlah lajur ketika kombinasi pembebanan mencakup beban pejalan kaki seperti yang ditentukan pada SNI 1725-2016) dengan satu atau lebih lajur kendaraan, maka perencana harus menentukan bahwa beban pejalan kaki akan mengisi salah satu lajur kendaraan.

Faktor-faktor yang ditentukan dalam Tabel 2.22 tidak boleh digunakan untuk menentukan faktor distribusi beban kendaraan. Dalam hal ini perencana harus menggunakan *lever rule* untuk menentukan beban yang bekerja pada balok eksterior.

2.14.4.4 Bidang kontak roda kendaraan

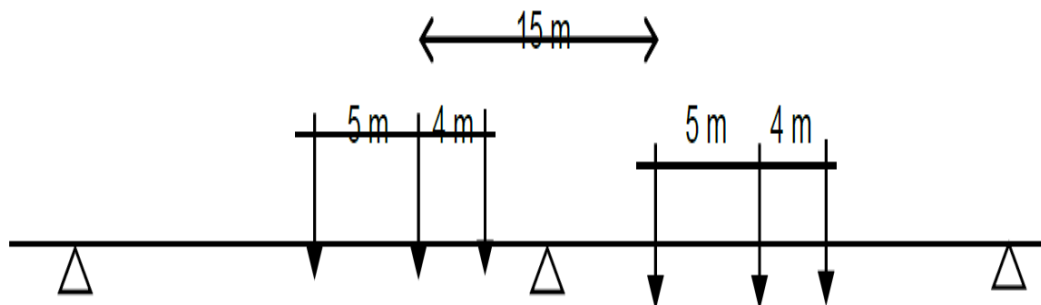
Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi panjang dengan panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan ban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak.

2.14.4.5 Penerapan beban hidup kendaraan

Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari:

- Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
- Pengaruh beban terdistribusi “D” dan beban KEL dikalikan FBD

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m (Gambar 2.25), dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.



Gambar 2.25: Penempatan beban truk untuk momen negatif maksimum.

Gandar yang tidak memberikan kontribusi pada gaya total harus diabaikan dalam perencanaan. Beban kendaraan dimuat pada masing-masing jalur dan harus diposisikan untuk mendapatkan pengaruh yang terbesar dalam perencanaan. Beban truk harus diposisikan pada lebar jembatan sehingga sumbu roda mempunyai jarak sebagai berikut:

- Untuk perencanaan pelat kantilever: 250 mm dari tepi parapet atau *railing*, dan
- Untuk perencanaan komponen lainnya: 1000 mm dari masing-masing sumbu terluar roda truk. Kecuali ditentukan lain, panjang lajur rencana atau sebagian dari panjang lajur rencana harus dibebani dengan beban terdistribus “D”.

2.14.4.6 Beban hidup untuk evaluasi lendutan

Jika pemilik pekerjaan menginginkan agar jembatan memenuhi kriteria lendutan akibat beban hidup, maka beban hidup harus diambil sebagai nilai terbesar dari:

- Lendutan akibat beban satu truk, atau
- Lendutan akibat BTR

2.14.4.7 Beban rencana untuk pelat lantai kendaraan, sistem lantai kendaraan

Ketentuan pada pasal ini tidak berlaku jika pelat direncanakan berdasarkan perencanaan empiris. Jika perencana menggunakan metode strip untuk menganalisis pelat lantai kendaraan dan pelat atap gorong-gorong, maka gaya-gaya rencana harus dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

- Jika pelat membentang dalam arah melintang tegak lurus terhadap arus lalu lintas, maka hanya satu gandar dari beban truk yang digunakan untuk menghitung gaya geser atau momen lentur rencana.

Beban roda harus diasumsikan sama besarnya pada setiap gandar, amplifikasi beban gandar akibat gaya sentrifugal dan pengereman tidak perlu dipertimbangkan untuk perencanaan pelat lantai kendaraan.

2.14.5 Klasifikasi pembebanan lalu lintas

2.14.5.1 Pembebanan lalu lintas yang dikurangi

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi 70% bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau semipermanen.

Faktor sebesar 70% ini diterapkan untuk BTR dan BGT yang tercantum pada pasal 3.7.3. Faktor pengurangan sebesar 70% tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

2.14.5.2 Pembebanan lalu lintas yang berlebih

Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” dapat diperbesar di atas 100% untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat. Faktor pembesaran 100% ini diterapkan untuk BTR dan BGT yang tercantum pada pasal 3.7.3. Faktor pembesaran di atas 100% tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

2.14.6 Faktor beban dinamis

Kecuali diperbolehkan pada pasal 3.7.6.1, beban statik truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar. Gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR.

Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk:

- Dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan, dan
- Komponen fondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat dan frekuensi getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Besarnya BGT dari pembebanan “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur “D” tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan “D”, FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus, Pers. 2.35.

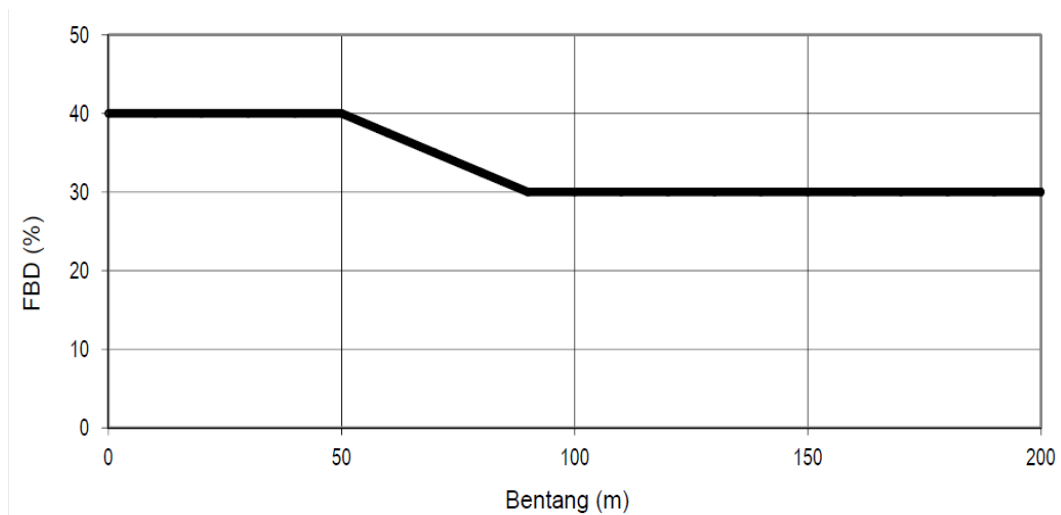
$$L_E = \sqrt{L_{av} L_{max}} \quad (2.35)$$

Keterangan:

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

L_{max} = Panjang bentang maksimum

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD (Gambar 2.26) harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m.



Gambar 2.26: Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”.

2.15 Gaya rem (*TR*)

Gaya rem harus diambil terbesar dari:

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan pasal 2.17 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada pasal 2.17.4.3 berlaku untuk menghitung gaya rem.

2.16 Pembebanan untuk pejalan kaki (*TP*)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah

fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

2.17 Beban angin

2.17.1 Tekanan angin horizontal

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Berdasarkan SNI 1725-2016, beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luas yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

2.17.1.1 Beban angin pada struktur (E_W)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah rencana kendaraan harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain pada pasal 2.20.3. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan, Pers. 2.36.

$$P_D = P_B \left(\frac{VDZ}{V_B} \right)^2 \quad (2.36)$$

Keterangan:

P_B = Tekanan angin dasar, Tabel 2.23.

Tabel 2.23: Tekanan angin dasar.

| Komponen bangunan atas | Angin tekan (MPa) | Angin hisap (MPa) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Rangka, kolom, dan pelengkung | 0,0024 | 0,0012 |
| Balok | 0,0024 | N/A |
| Permukaan datar | 0,0019 | N/A |

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

2.17.1.2 Beban dari struktur atas

Kecuali jika ditentukan lain pada pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar P_B untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.24 dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Tabel 2.24: Tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang.

| Sudut serang | Rangka, kolom, dan pelengkung | | Gelagar | |
|--------------|-------------------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | Derajat | Beban lateral | Beban longitudinal | Beban lateral |
| 0 | 0,0036 | 0,0000 | 0,0024 | 0,0000 |
| 15 | 0,0034 | 0,0006 | 0,0021 | 0,0003 |
| 30 | 0,0031 | 0,0013 | 0,0020 | 0,0006 |
| 45 | 0,0023 | 0,0020 | 0,0016 | 0,0008 |
| 60 | 0,0011 | 0,0024 | 0,0008 | 0,0009 |

2.17.1.3 Gaya angin yang langsung bekerja pada struktur bawah

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersebut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

2.17.1.4 Gaya angin pada kendaraan (*EW_i*)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali ditentukan pada pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.25. dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.25: Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan.

| Sudut | Komponen tegak lurus | Komponen sejajar |
|---------|----------------------|------------------|
| Derajat | N/mm | N/mm |
| 0 | 1,46 | 0,00 |
| 15 | 1,28 | 0,18 |
| 30 | 1,20 | 0,35 |
| 45 | 0,96 | 0,47 |
| 60 | 0,50 | 0,55 |

2.17.1.5 Tekanan angin vertikal

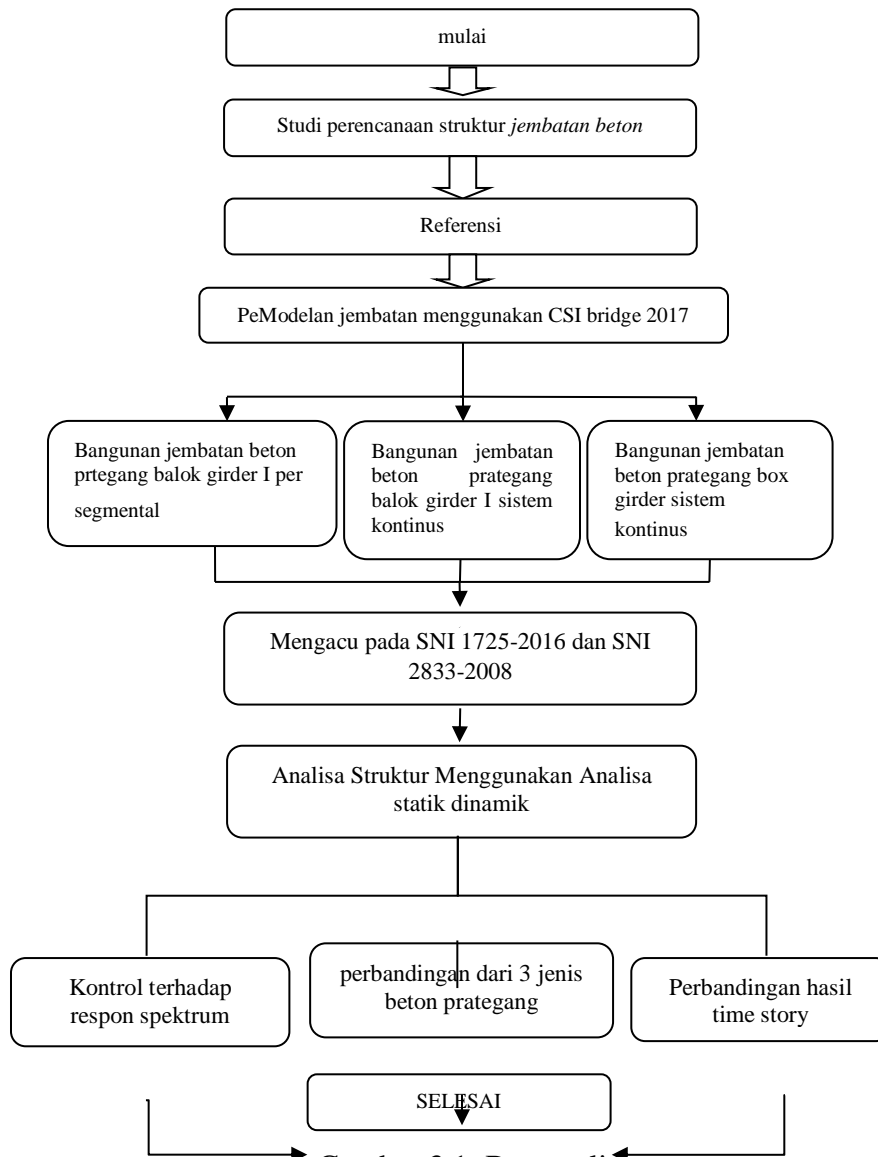
Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang mempresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar 9.6×10^{-4} MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan di mana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal yang ditentukan dalam pasal 2.20.1.

BAB 3

PEMODELAN STRUKTUR

3.1 Metodologi penelitian

Langkah-langkah dalam perencanaan dan analisis struktur jembatan pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan, seperti tujuan perencanaan struktur jembatan hingga pemodelan atau pendesainan struktur jembatan. Langkah-langkah perencanaan struktur jembatan dapat dilihat pada Gambar bagan alir Gambar 3.1:



Gambar 3.1: Bagan alir.

3.2 Metode analisis

a. Start analisis

Start analisis merupakan langkah awal dari analisis struktur jembatan Beton Prategang. Dalam langkah awal ini kita melaksanakan perencanaan Gambar struktur jembatan beton prategang dengan mempertimbangkan berbagai peraturan yang harus dilaksanakan dalam desain suatu struktur jembatan.

b. Analisis awal

Langkah selanjutnya dari Gambar struktur jembatan yang ada kita bisa melanjutkan dengan analisis awal yaitu: pemilihan bahan struktur, type struktur jembatan, dimensi struktur dan pembebanan yang harus diterima struktur tersebut sesuai peraturan yang berlaku.

c. Analisis struktur jembatan prategang

Analisis struktur jembatan prategang merupakan langkah lanjutan dari perhitungan awal yang sudah dilakukan untuk menentukan type struktur yang tepat dan aman dengan di bantu aplikasi analisis.

d. Hasil akhir analisis jembatan komposit

Langkah akhir dalam analisis ini adalah menyusun hasil analisis yang ada dalam bentuk tabel yang menunjukkan hasil akhir dari analisis.

3.3 Pemodelan struktur

3.3.1 Data perencanaan struktur jembatan

Data struktur jembatan yang digunakan dalam analisis ini antara lain:

- Panjang struktur jembatan : 100 meter
- Lebar struktur jembatan : 11 meter
- Jarak gelagar melintang : 4,38 meter
- Jarak gelagar memanjang : 1,25 meter
- Tebal slab : 0,2 meter
- Tebal lapisan finishing (aspal) : 0,05 meter
- Lebar jalur lalu lintas : 10 m
- Lebar trotoar : 1 m
- Tebal trotoar : 0,2 m

- Kondisi tanah : Tanah sedang
- Letak geografis : Zona 3, Perkotaan

3.3.2 Data material struktur jembatan

Data material yang digunakan dalam struktur jembatan ini antara lain:

- Berat jenis beton : 2400 kg/m³
- Berat jenis aspal : 2240 kg/m³
- Berat jenis baja : 7850 kg/m³
- Kuat tekan beton (f^c) : 40 MPa
- Tegangan leleh baja(fy) : BJ 50

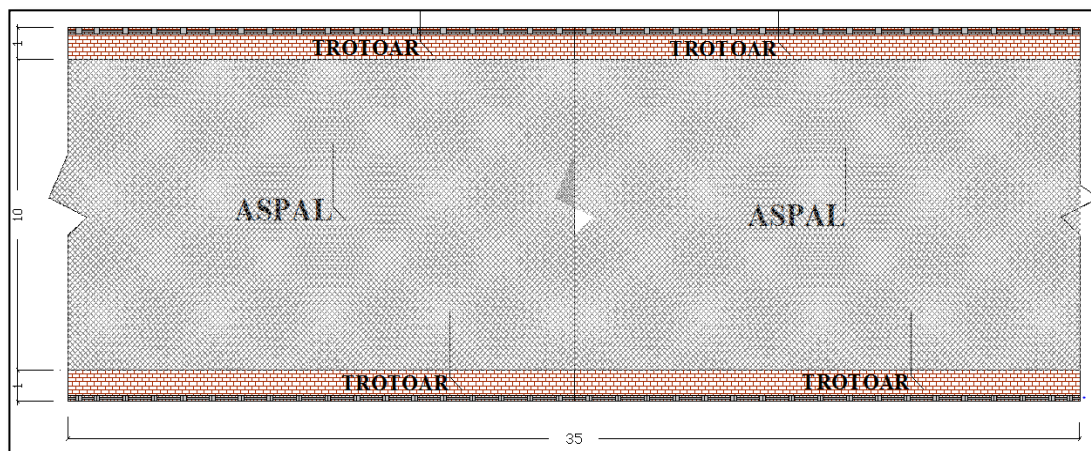
3.4 Konfigurasi struktur jembatan

Pada tugas akhir ini , struktur yang direncanakan adalah struktur jembatan dengan 3 sistem. Adapun model yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

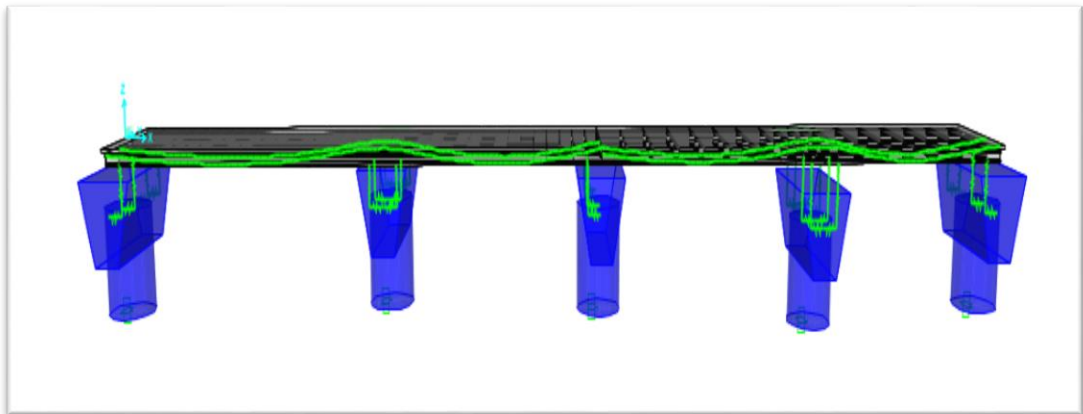
1. Balok girder I sistem persegmental.
2. Balok girder I sistem kontinuis.
3. Balok box girder sistem kontinuis.

3.5 Denah struktur jembatan

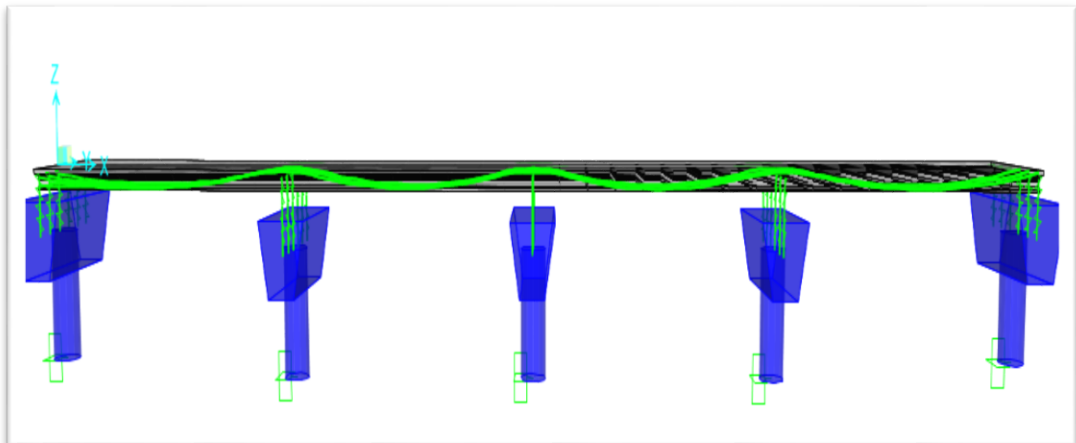
Berikut ini adalah denah jembatan yang direncanakan, Gambar 3.2-3.5.



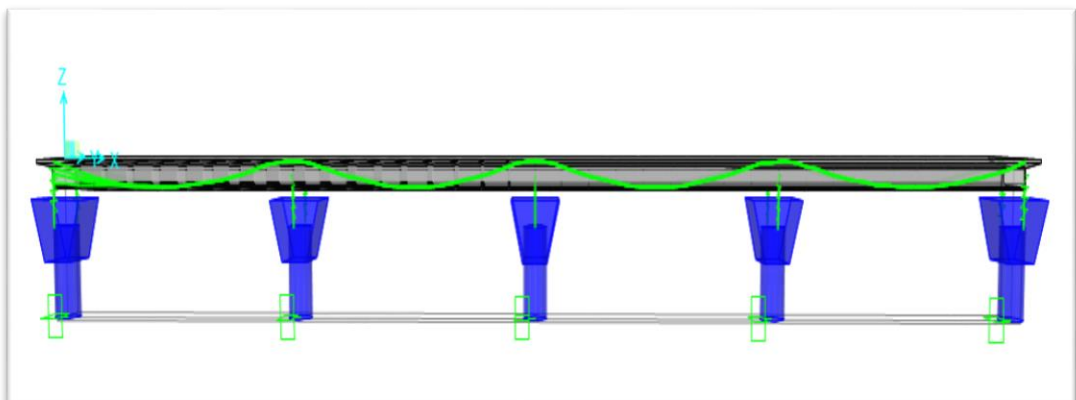
Gambar 3.2: Tampak atas jembatan.



Gambar 3.3: Tampak samping jembatan Balok girder I sistem persegmental dengan bentang 100 m.



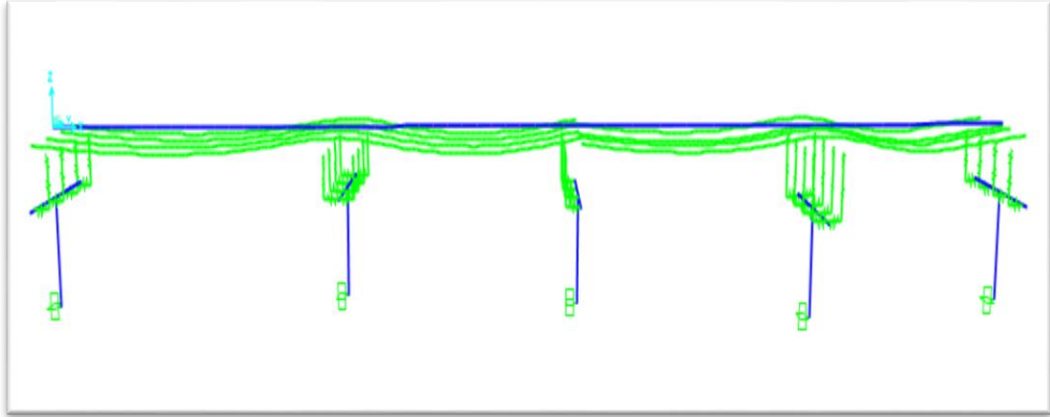
Gambar 3.4: Tampak samping jembatan Balok girder I sistem kontinuis dengan bentang 100 m.



Gambar 3.5: Tampak samping jembatan Balok box girder sistem kontinuis dengan bentang 100 m.

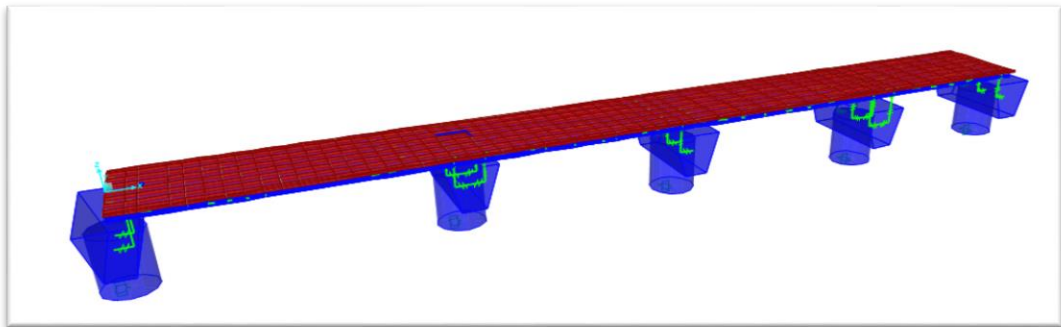
a. Model 1 (Balok girder I sistem persegmental)

Berikut ini adalah tampak potongan jembatan beton prategang, Gambar 3.6.

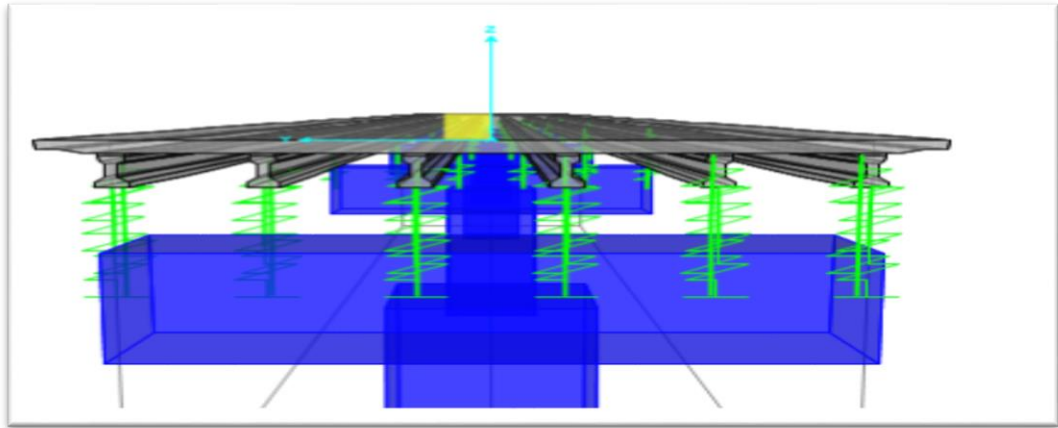


Gambar 3.6: Model 1 (Balok girder I sistem persegmental)

Pemodelan struktur jembatan beton prategang dengan menggunakan aplikasi CSI bridge 2017 seperti terlihat pada Gambar 3.7-3.8.



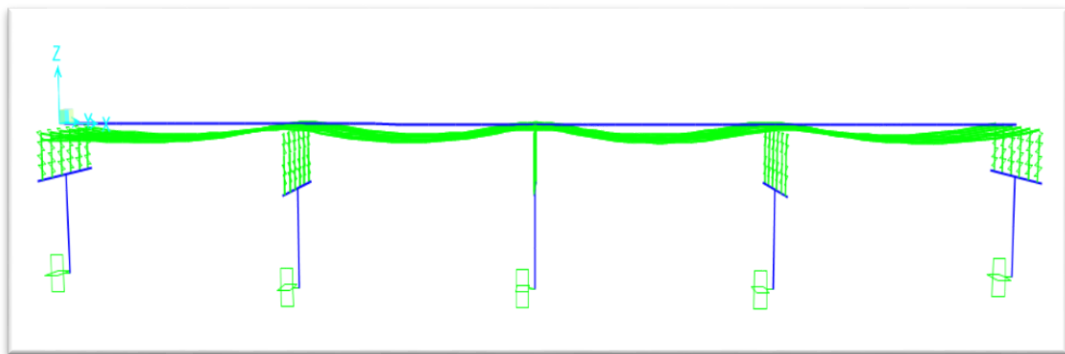
Gambar 3.7: Tampak atas jembatan pemodelan dengan CSI bridge 2017



Gambar 3.8: Tampak depan jembatan (Model 1) pemodelan CSI bridge 2017

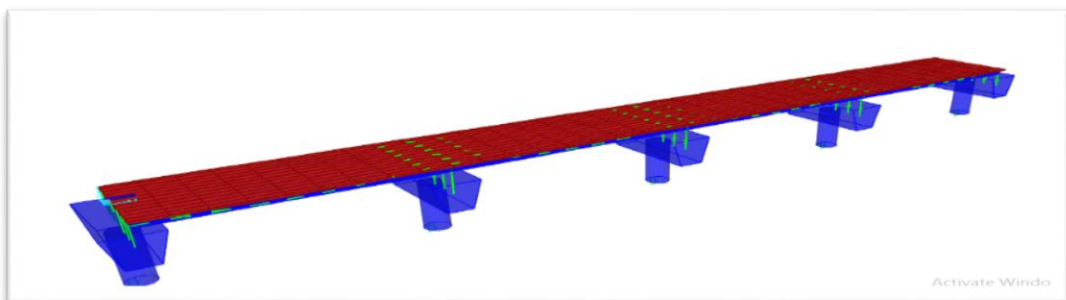
b. Model 2 (Balok girder I sistem kontinuis)

Berikut ini adalah tampak potongan jembatan beton prategang, Gambar 3.9.

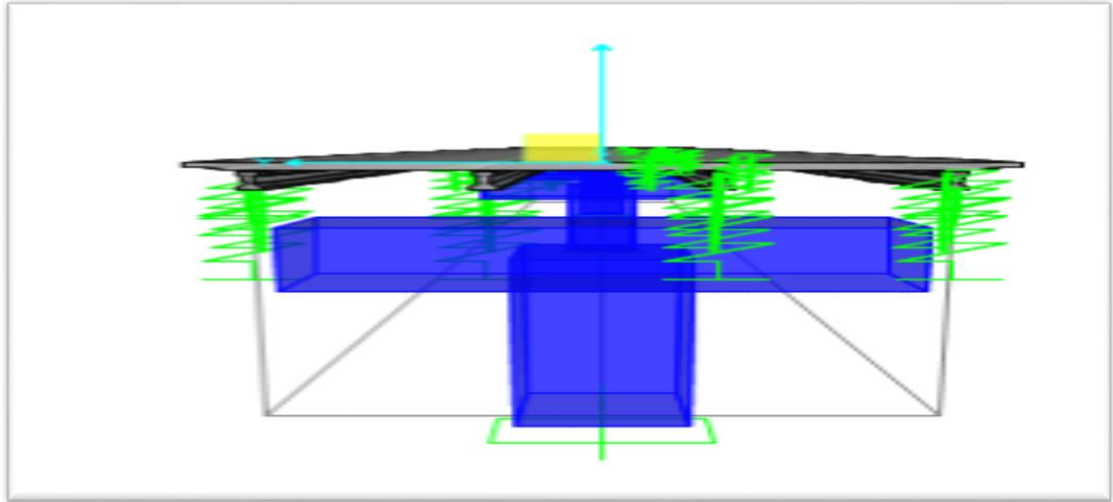


Gambar 3.9: Model 2 (Balok girder I sistem kontinuis)

Pemodelan struktur jembatan beton prategang dengan menggunakan aplikasi CSI bridge 2017 seperti terlihat pada Gambar 3.10-3.11.



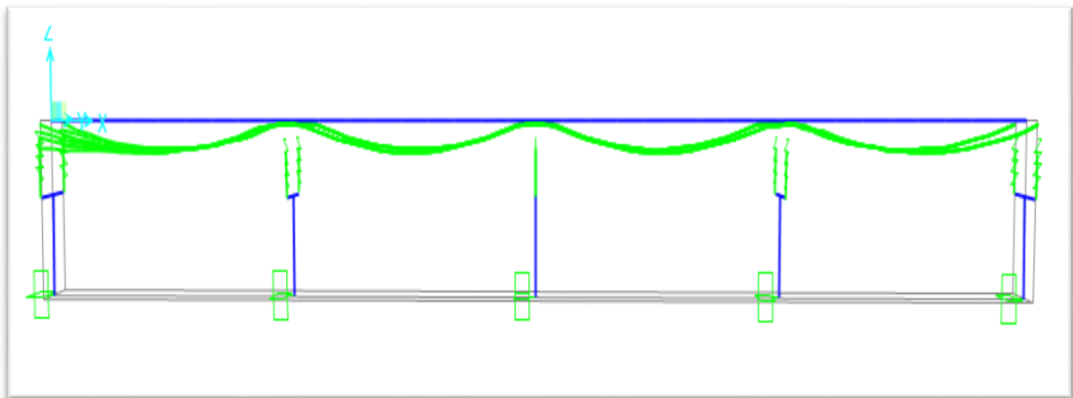
Gambar 3.10: Tampak atas jembatan pemodelan dengan CSI bridge 2017



Gambar 3.11: Tampak depan jembatan (Model 2) pemodelan CSI bridge 2017

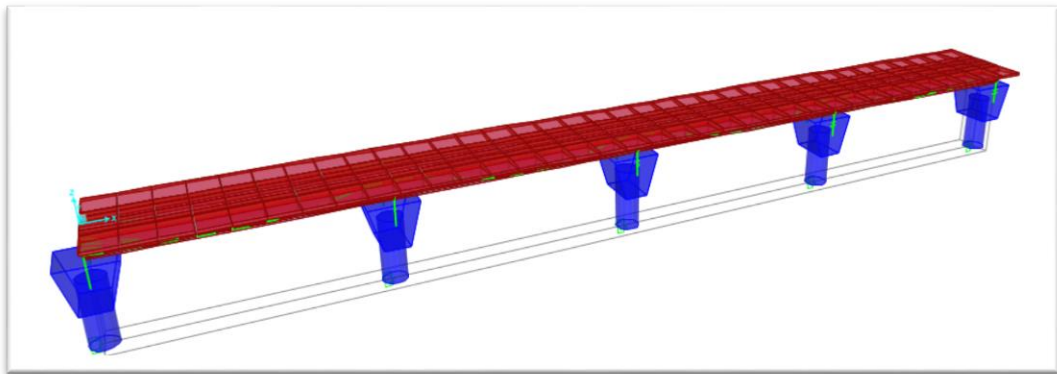
c. Model 3 (Balok box girder sistem kontinuis)

Berikut ini adalah tampak potongan jembatan beton prategang, Gambar 3.12.

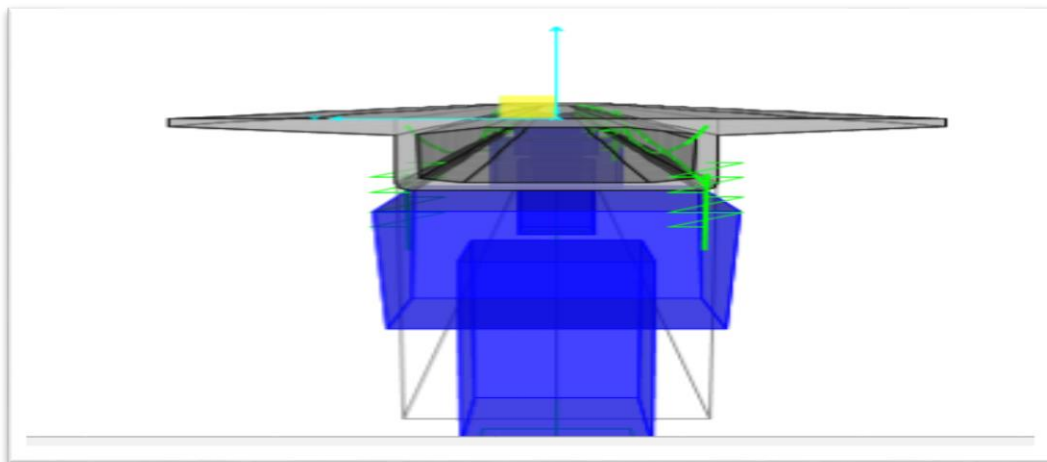


Gambar 3.12: Model 3 (Balok girder I sistem kontinuis)

Pemodelan struktur jembatan beton prategang dengan menggunakan aplikasi CSI bridge 2017 seperti terlihat pada Gambar 3.13-3.14.



Gambar 3.13: Tampak atas jembatan pemodelan dengan CSI bridge 2017



Gambar 3.14: Tampak depan jembatan (Model 3) pemodelan CSI bridge 2017

3.6 Analisis beban pada jembatan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur jembatan adalah beban mati dan beban hidup. Beban mati adalah beban yang berhubungan dengan komponen material jembatan yang diambil dari SNI 1725-2016. Adapun nilai beban mati komponen jembatan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Berat isi untuk beban mati.

| Beban Mati | Besarnya Beban |
|-----------------|------------------------|
| Beton Bertulang | 2400 kg/m ³ |
| Baja | 7850 kg/m ³ |

3.6.1 Berat sendiri (MS)

a. Berat sendiri trotoar

- Lebar = 1 m
- Tebal = 0,20 m

$$\begin{aligned}\text{Rumus berat sendiri trotoar} &= \text{lebar} \times \text{tebal} \times \text{berat jenis} \\ &= 1 \times 0,20 \times 2400 \\ &= 480 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

b. Berat pipa railing

Untuk berat sendiri pipa railing diambil 125 kg/m

3.6.2 Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan yang ada pada lantai jembatan yaitu:

- a. Lapisan aspal dengan tebal 0,1 m + overlay = $0,1 \times 2245$
= 224,5 kg/m
- b. Lapisan genangan air tebal 0,05 = $980 \times 0,05$
= 49 kg/m

3.6.3 Beban lajur (TD)

Beban lajur terdiri atas "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

- $q = 9,0 \times (0,5 + 15 / L)$ kPa untuk $L > 30$ m
= $9,0 \times (0,5 + 15 / 100)$
= 585 kg/m^2
- $p = 4900 \text{ kg/m}$
- faktor beban dinamis untuk BGT = 0,4

a. Beban terbagi rata (BTR)

$$\begin{aligned}\text{BTR} &= [(5,5 \times q \times 1) + (12-5,5) \times q \times 0,5] / 12 \\ &= [(5,5 \times 585 \times 1) + (12-5,5) \times 585 \times 0,5] / 12 \\ &= 426,563 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

b. Beban garis terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
\text{BGT} &= [(5,5 \times p \times 1) + (12-5,5) \times p \times 0,5]/12] \\
&= [(5,5 \times 4900 \times 1) + (12-5,5) \times 4900 \times 0,5)/12] \\
&= 3797,5 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

3.6.4 Gaya rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan sebagai berikut:

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25 % dari berat gandar truk desain = $0,25 \times 45.000 = 1.250 \text{ Kg}$
- 5% dari berat truk rencana + BTR = $0,05 \times 50.000 + (\text{BTR} \times 12 \times 35)$
 $= 0,05 \times 50.000 + (426,563 \times 12 \times 35)$
 $= 181.656,46 \text{ kg}$

3.6.5 Beban Tumbukan kendaraan (TC)

Beban akibat tumbukan kendaraan pada pilar jembatan jalan layang di tentukan sebesar 1000 KN pada arah tegak lurus jembatan dan sebesar 500 KN pada arah memanjang jembatan.

3.6.6 Beban untuk pejalan kaki (TP)

Berdasarkan SNI 1725-2016, semua komponen trotoar yang lebih dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa (500 kg/m) dan diamsusikan diletakan pada girder yang berada di ujung.

3.6.7 Beban angin

Beban angin terbagi atas beban angin struktur (Ews) dan beban angin kendaraan (EW_L) . Untuk perhitungan beban angin dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Beban angin struktur (Ews)
 - Angin tekan untuk permukaan datar = $0,0019 \times 1,2 = 0,0028 \text{ Mpa}$
 - Beban angin stuktur = $400 \times 0,00228$

$$= 0,912 \text{ N/mm}$$

$$= 91,2 \text{ Kg/m}$$

b. Beban angin kendaraan (E_{WL})

$$\begin{aligned} \text{- Beban angin kendaraan} &= ((0,5 \times 1800)/1750) \times 1,46 \\ &= 0,7508 \text{ N/mm} \\ &= ((0,7508/10) \times 1000) \times 2/4,32 \\ &= 34,761 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

3.6.8 Pengaruh temperatur (ET)

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (ΔT) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

- Temperatur maksimum: 40°C
- Temperatur minimum : 15°C

Setelah semua beban di input, hal selanjutnya yang dilakukan adalah pengecekan syarat lendutan dan periode getar yang didapat. Hal ini dilakukan untuk memenuhi hasil nilai yang diperlukan untuk menghitung beban gempa. Dari analisis menggunakan CSI bridge di dapat nilai lendutan yaitu:

1. Lendutan jembatan beton prategang I girder persegmental: 0,0697
2. Lendutan jembatan beton prategang I girder kontinuis: 0,0247
3. Lendutan jembatan beton prategang box girder kontinuis: 0,3161

Syarat lendutan maksimum adalah $L/800$.

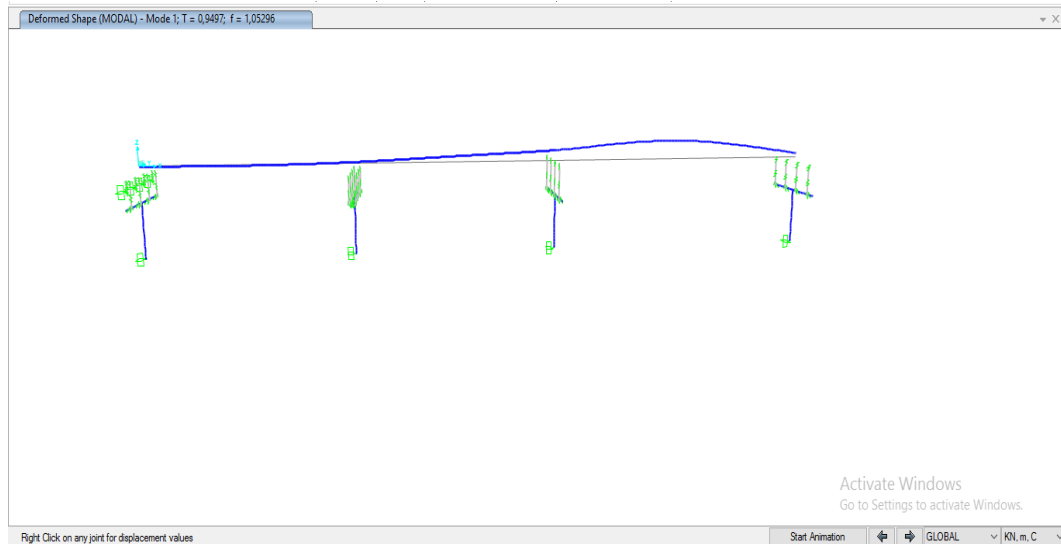
$$L/800 = 100/800 = 0,125 \text{ m}$$

| | |
|------------------------|-------|
| Jadi, $0,2819 < 0,125$ | NO OK |
| $0,0233 < 0,125$ | OK |
| $0,3337 < 0,125$ | NO OK |

3.6.9 Beban akibat gempa (EQ)

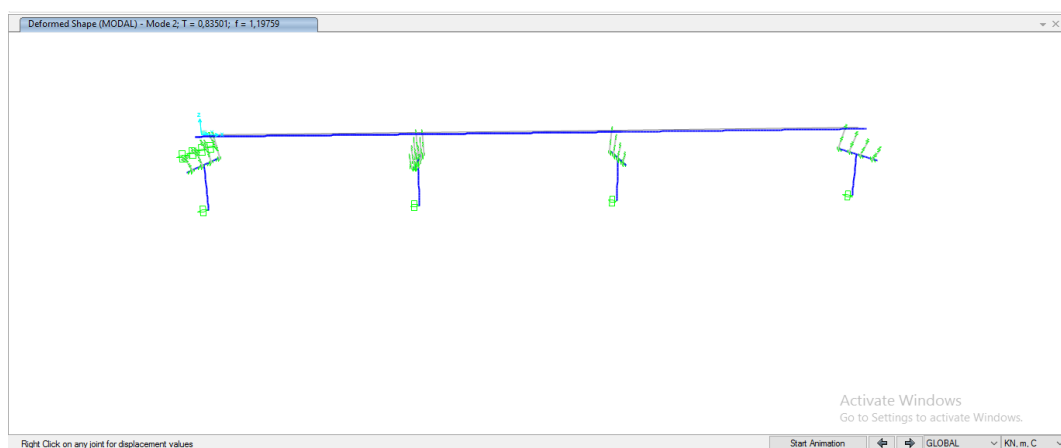
Dari analisis menggunakan CSI Bridge 17 maka diperoleh hasil waktu getar untuk Model 1, Model 2 dan Model 3 dapat dilihat pada Gambar berikut ini:

- Model 1 (Beton prategang I girder perkontinuis), Gambar 3.15.



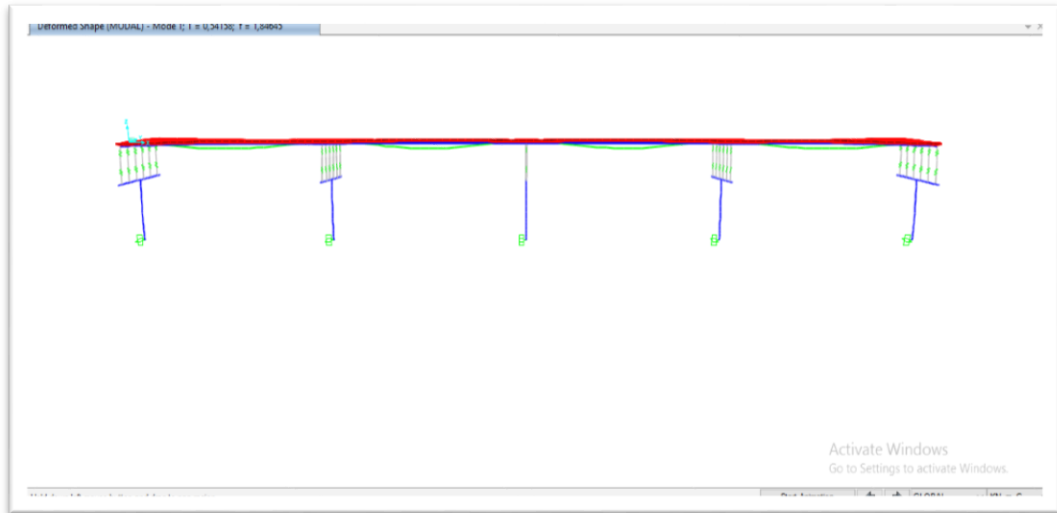
Gambar 3.15: Mode 1 arah melintang jembatan (arah Y) dengan waktu getar $T = 0,9497$ Detik.

Sedangkan untuk arah memanjang (X) jembatan diperoleh hasil waktu getar sebagai berikut, Gambar 3.16.



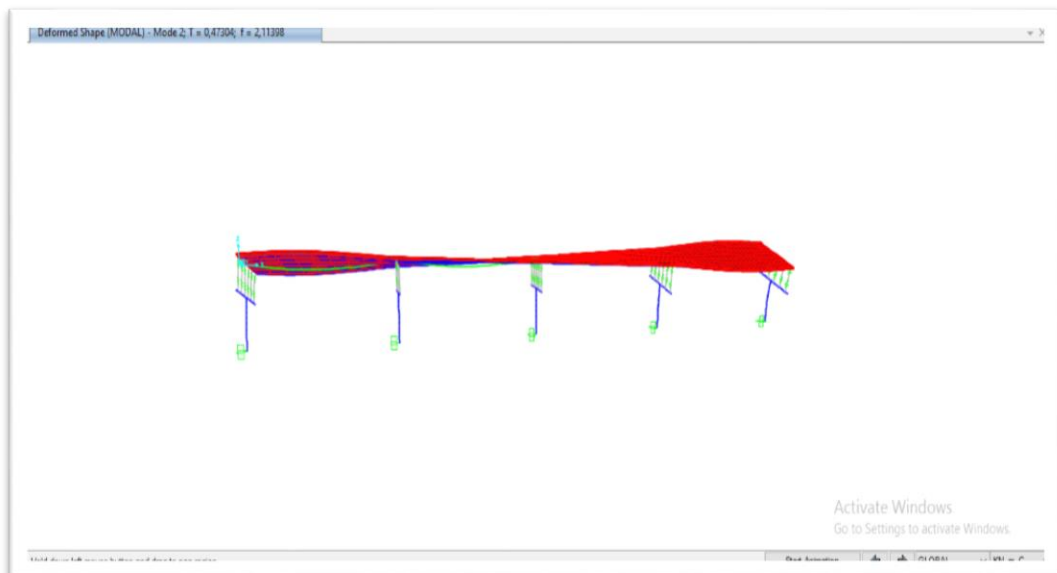
Gambar 3.16: Mode 2 arah memanjang (X) jembatan dengan waktu getar $T = 0,83501$ Detik.

- b. Model 2 (Beton prategang I girder kontinuis), Gambar 3.17.



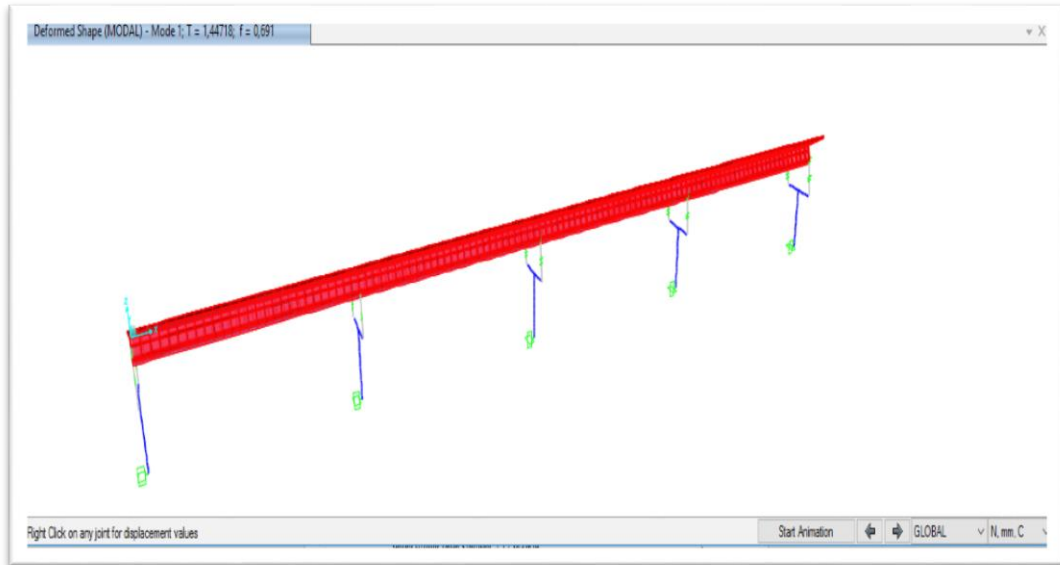
Gambar 3.17: Mode 1 arah melintang jembatan (arah Y) dengan waktu getar $T = 0,54158$ Detik.

Sedangkan untuk arah memanjang jembatan (arah X) diperoleh hasil waktu getar dapat dilihat pada Gambar 3.19 berikut:



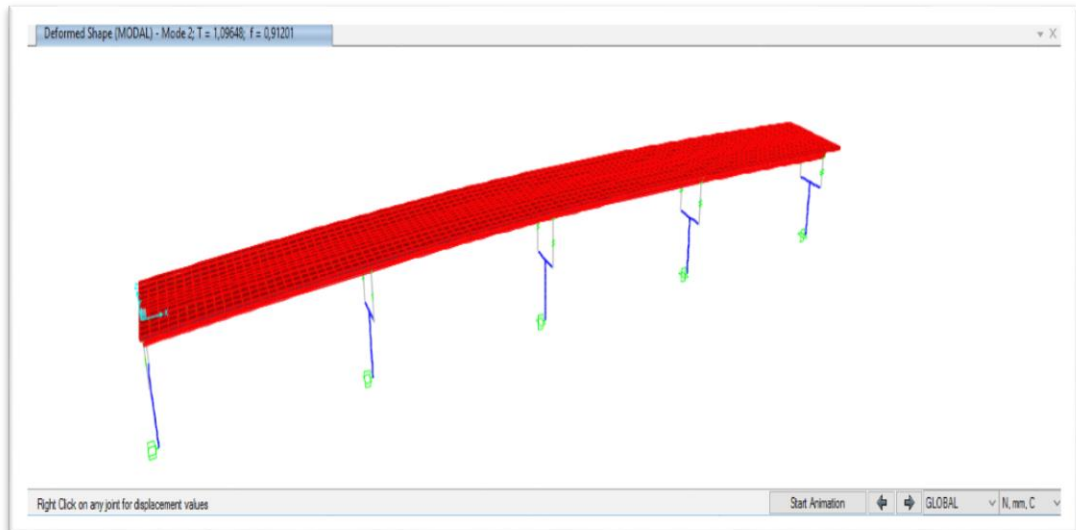
Gambar 3.18: Mode 2 arah memanjang (X) jembatan dengan waktu getar $T = 0,47304$ Detik.

- c. Model 3 (Beton prategang box girder kontinuis), Gambar 3.19.



Gambar 3.19: Mode 1 arah melintang jembatan (arah Y) dengan waktu getar $T = 1,82245$ Detik.

Sedangkan untuk arah memanjang jembatan (arah X) diperoleh hasil waktu getar dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.20: Mode 2 arah memanjang (X) jembatan dengan waktu getar $T = 0,47304$ Detik.

Dari hasil analisis yang didapat, maka besarnya beban gempa dapat dihitung dengan rumus: $T_{EQ} = K_h * I * W_t$

- Wilayah gempa: Zona 3, maka dari kurva spektrum diperoleh $C = 0,18$

- S tipe struktur bangunan = $1,0 \times F$

$F = 1,23 - 0,025 \times N$; $F > 1$ $N = 1$

Jadi S tipe struktur bangunan = $(1,23 - 0,025) \times 1 = 1,205$

- Koefisien beban gempa horizontal

$$K_h = C \times S = 0,18 \times 1,205 = 0,2169$$

Untuk memenuhi persyaratan perhitungan beban gempa terlebih dahulu harus menghitung berat total MA dan MS (W_t)

- Berat total MS dan MA (W_t)

Volume MS dan MA dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- Berat girder = jumlah girder x panjang bentang x berat jenis baja x Tinggi

$$\begin{aligned} & \text{profil x Lebar profil x tebal badan x tebal sayap} \\ & = 4 \times 50 \times 7850 \times 1,5 \times (0,45 \times 2) \times 0,026 \times (0,045 \times 2) \\ & = 4959,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Berat diafragma = jumlah girder x lebar bersih jembatan x bj baja x tinggi

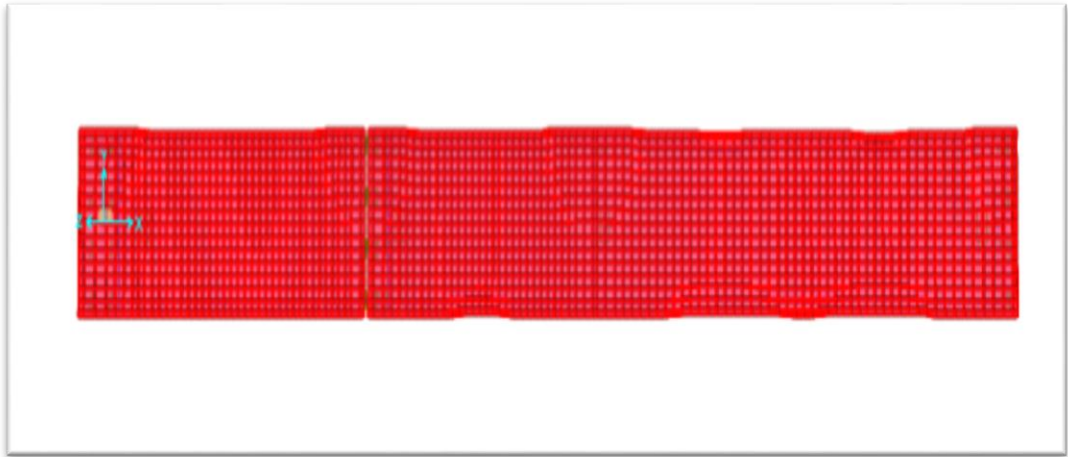
$$\begin{aligned} & \text{profil x lebar profil x tebal badan x tebal sayap} \\ & = 4 \times 11 \times 0,7 \times 7850 \times (0,4 \times 2) \times (0,028 \times 2) \times 0,012 \\ & = 129,981 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Berat aspal = tebal aspal x panjang jembatan x lebar jalan bersih x

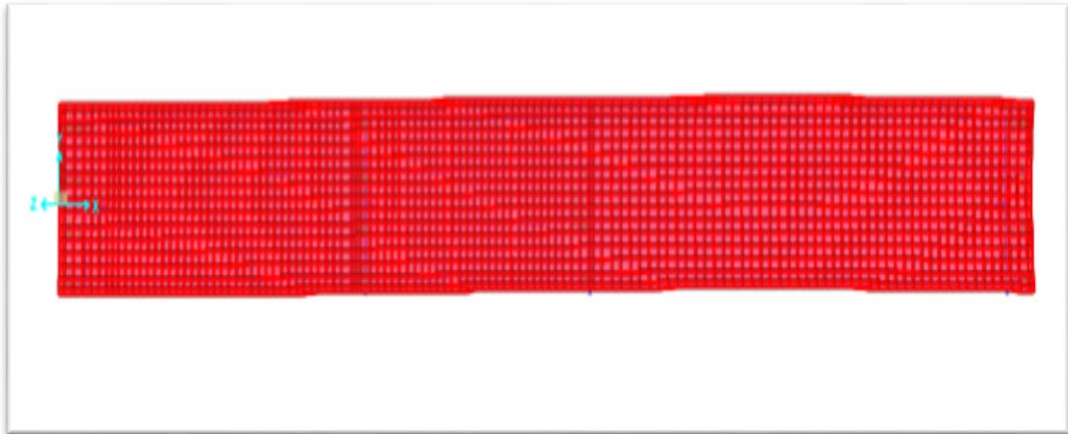
$$\begin{aligned} & \text{BJ aspal} \\ & = 0,05 \times 100 \times 11 \times 2245 \\ & = 123475 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka berat total untuk MS dan MA(W_t) = $4959,63 + 129,981 + 123475$

$$= 128.564,611 \text{ kg}$$



Gambar 3.21: Input beban gempa arah (Y) menggunakan CSI Bridge 2017.



Gambar 3.22: Input beban gempa arah (X) menggunakan CSI Bridge 2017.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan umum

Pada Bab ini akan membahas tentang hasil studi dan membandingkan hasil analisa dari CSI bridge 2017 berdasarkan tiga jenis struktur jembatan yaitu, balok I girder perkontinuis, balok I girder persegmental, dan box girder perkontinuis dengan menggunakan analisa respon spektrum.

4.2 Hasil analisa

Dari hasil analisa program CSI Bridge 2017 terhadap struktur jembatan beton prategang akibat pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016 pembatasan pada deformasi pada kondisi pembebanan dilakukan pada keadaan batas layan.

4.2.1 Hasil analisa periode getar Model 1

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem komposit slab berada diatas profil baja menghasilkan nilai priode getar (T) sebagai berikut, Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data periode getar (T) *output software* CSI Bridge Model 1

| Case | Mode | Priode (T) Sec |
|-------|--------|----------------|
| Modal | Mode 1 | 0,95671 |
| Modal | Mode 2 | 0,81656 |
| Modal | Mode 3 | 0,64231 |
| Modal | Mode 4 | 0,62458 |
| Modal | Mode 5 | 0,59005 |
| Modal | Mode 6 | 0,54789 |
| Modal | Mode 7 | 0,46109 |
| Modal | Mode 8 | 0,42943 |

Tabel 4.1 *lanjutan.*

| Case | Mode | Priode (T) Sec |
|-------|---------|-------------------|
| Modal | Mode 9 | 0,41639 |
| Modal | Mode 10 | 0,35429 |
| Modal | Mode 11 | 0,32202 |
| Modal | Mode 12 | 0,28599 |

Dari hasil analisa di atas didapat nilai mode yang terbesar berada pada Mode 1 yaitu sebesar: 0,99247 detik.

4.2.2 Hasil analisa periode getar Model 2

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem komposit slab berada terbenam sebagian dengan profil baja menghasilkan nilai priode getar (T) sebagai berikut, Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data periode getar (T) *output software* CSI Bridge 2017 Model 2.

| Case | Mode | Periode (T) Sec |
|-------|---------|--------------------|
| Modal | Mode 1 | 0,37337 |
| Modal | Mode 2 | 0,36248 |
| Modal | Mode 3 | 0,3283 |
| Modal | Mode 4 | 0,31915 |
| Modal | Mode 5 | 0,27815 |
| Modal | Mode 6 | 0,26355 |
| Modal | Mode 7 | 0,26188 |
| Modal | Mode 8 | 0,25464 |
| Modal | Mode 9 | 0,22053 |
| Modal | Mode 10 | 0,21957 |
| Modal | Mode 11 | 0,21212 |
| Modal | Mode 12 | 0,18874 |

Dari hasil analisa di atas didapat nilai mode yang terbesar berada pada Mode 2 yaitu sebesar: 0,37337 detik.

4.2.3 Hasil analisa periode getar Model 3

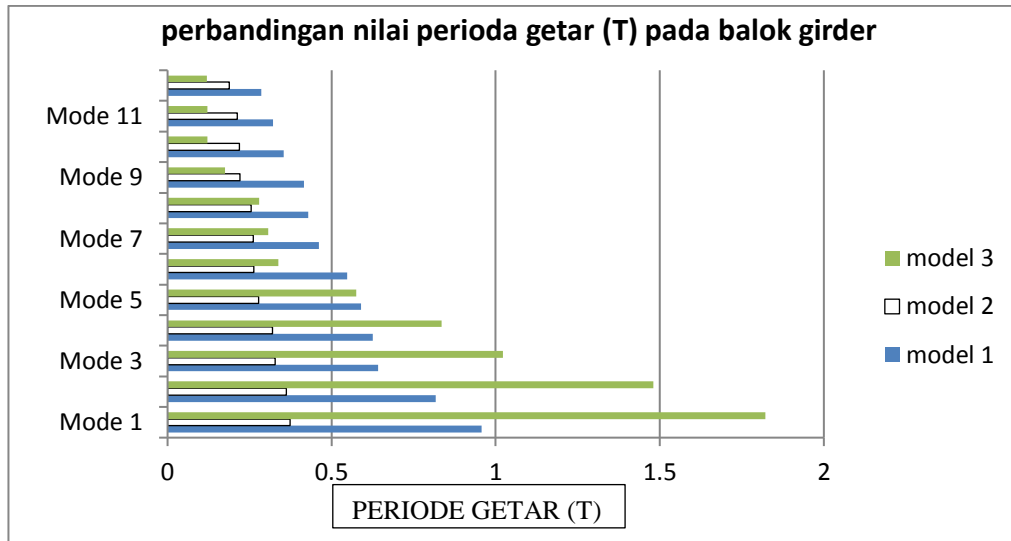
Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem komposit slab berada terbenam sebagian dengan profil baja menghasilkan nilai priode getar (T) sebagai berikut, Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data periode getar (T) *output software* CSI Bridge 2017 Model 3.

| Case | Mode | Periode (T) Sec |
|-------------|-------------|----------------------------|
| Modal | Mode 1 | 1,82245 |
| Modal | Mode 2 | 1,48032 |
| Modal | Mode 3 | 1,02163 |
| Modal | Mode 4 | 0,83449 |
| Modal | Mode 5 | 0,57454 |
| Modal | Mode 6 | 0,33815 |
| Modal | Mode 7 | 0,30636 |
| Modal | Mode 8 | 0,2793 |
| Modal | Mode 9 | 0,17553 |
| Modal | Mode 10 | 0,12137 |
| Modal | Mode 11 | 0,1213 |
| Modal | Mode 12 | 0,12054 |

Dari hasil analisa di atas didapat nilai mode yang terbesar berada pada Mode 3 yaitu sebesar: 1,82245 detik.

Berikut ini adalah grafik perbandingan nilai perioda getar (T) dari Model 1, Model 2 dan Model 3 yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1: Grafik perbandingan nilai perioda getar pada balok girder dari Model 1, Model 2 dan Model 3.

Dari grafik tersebut diperoleh perbedaan nilai perioda getar (T) antara Model 1, Model 2 dan Model 3, perbedaan tersebut diakibatkan oleh bentuk dari ketiga jembatan yang berbeda yang mempengaruhi kekakuan balok girder jembatan, dimana Model 3 memiliki kekakuan yang melebihi kekakuan pada Model 1 melebihi kekakuan pada Model 2, yang dibuktikan pada hasil analisa CSI Bridge 2017

4.2.4 Hasil analisa lendutan Model 1

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem pergegment dan perkontinius menghasilkan nilai lendutan sebagai berikut:

-0,2819 m

4.2.5 Hasil analisa lendutan Model 2

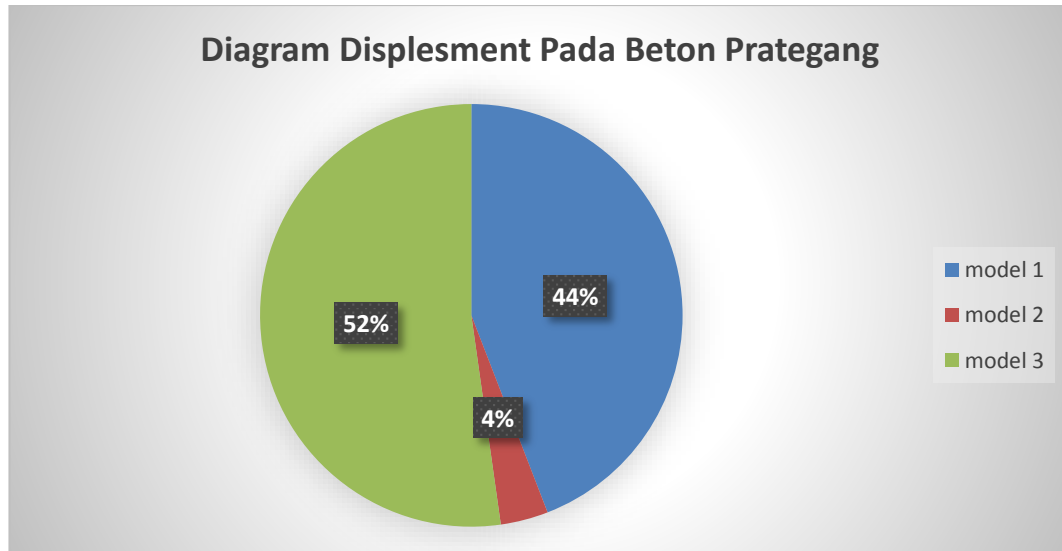
Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem pergegment dan perkontinius menghasilkan nilai lendutan sebagai berikut:

-0,0233 m

4.2.6 Hasil analisa lendutan Model 3

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem pergegment dan perkontinius menghasilkan nilai lendutan sebagai berikut:

-0,3337 m, Grafik perbedaan pada ketiga model bisa di lihat di Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik perbandingan nilai lendutan pada balok girder Model 1, Model 2 dan Model 3.

4.2.7 Hasil analisa besarnya momen (M3) pada Model 1

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai momen maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut, Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder Model 1.

| Layout Line Distance (m) | Kombinasi Kuat I (Kgf-m) | Kombinasi Kuat II (Kgf-m) | Kombinasi Kuat III (Kgf-m) | Kombinasi Kuat IV (Kgf-m) | Kombinasi Kuat V (Kgf-m) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 7,62 | 263540,31 | 132500,45 | 120966,72 | 119508,65 | 119925,24 |
| 9.144 | 489555,55 | 247017,93 | 225670,49 | 222971,79 | 223742,85 |
| 10.668 | 661539,34 | 334155,25 | 305339,87 | 301697,1 | 302737,89 |
| 12.192 | 779491,68 | 393912,41 | 359974,87 | 355684,56 | 356910,36 |
| 13.716 | 843412,56 | 426289,41 | 389575,47 | 384934,18 | 386260,27 |
| 15,24 | 853302 | 431286,26 | 394141,69 | 389445,96 | 390787,6 |

Tabel 4.4: *lanjutan.*

| Layout Line Distance (m) | Kombinasi Kuat I (Kgf-m) | Kombinasi Kuat II (Kgf-m) | Kombinasi Kuat III (Kgf-m) | Kombinasi Kuat IV (Kgf-m) | Kombinasi Kuat V (Kgf-m) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 16.764 | 809159,98 | 408902,95 | 373673,52 | 369219,9 | 370492,36 |
| 18.288 | 710986,52 | 359139,49 | 328170,96 | 324255,99 | 325374,55 |
| 19.812 | 558781,6 | 281995,87 | 257634,01 | 254554,24 | 255434,18 |
| 21.336 | 352545,23 | 177472,09 | 162062,67 | 160114,65 | 160671,23 |
| 22,86 | 92277,41 | 45568,16 | 41456,95 | 40937,22 | 41085,71 |
| 38,1 | 107460,25 | 27459,43 | 20418, | 19527,83 | 19782,17 |
| 39.624 | 288674,63 | 122338,86 | 107698,48 | 105847,67 | 106376,47 |
| 41.148 | 415857,56 | 189838,13 | 169944,57 | 167429,67 | 168148,21 |
| 42.672 | 489009,03 | 229957,24 | 207156,27 | 204273,82 | 205097,38 |
| 44.196 | 508129,06 | 242696,19 | 219333,58 | 216380,13 | 217223,98 |
| 45,72 | 473217,64 | 228054,99 | 206476,51 | 203748,6 | 204528, |
| 47.244 | 384274,76 | 186033,64 | 168585,04 | 166379,23 | 167009,46 |
| 48.768 | 241300,43 | 116632,12 | 105659,19 | 104272,02 | 104668,35 |
| 50.292 | 44294,65 | 19850,45 | 17698,95 | 17426,96 | 17504,67 |

Hasil analisa diatas didapat nilai momen (M3) maksimum yaitu sebesar: 853302 Kgf-m.

4.2.8 Hasil analisa besarnya momen (M3) pada Model 2

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai momen maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut, Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder Model 2.

| Layout Line Distance (m) | Kombinasi Kuat I (Kgf-m) | Kombinasi Kuat II (Kgf-m) | Kombinasi Kuat III (Kgf-m) | Kombinasi Kuat IV (Kgf-m) | Kombinasi Kuat V (Kgf-m) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 8,17 | 1352042,96 | 569234,61 | 533867,94 | 301697,1 | 452361,59 |
| 10,89 | 1422625,17 | 612366,8 | 575759,95 | 355684,56 | 468043,54 |
| 13,61 | 1253729,23 | 563642,75 | 532465,18 | 384934,18 | 398538,7 |
| 16,33 | 845355,11 | 423062,48 | 403983,63 | 389445,96 | 243847,08 |

Tabel 4.5: *lanjutan.*

| Layout Line Distance (m) | Kombinasi Kuat I (Kgf-m) | Kombinasi Kuat II (Kgf-m) | Kombinasi Kuat III (Kgf-m) | Kombinasi Kuat IV (Kgf-m) | Kombinasi Kuat V (Kgf-m) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 19,06 | 197502,84 | 190625,98 | 190315,29 | 369219,9 | 3968,68 |
| 30,06 | 10403,71 | 86384,31 | 89817,06 | 324255,99 | 150404,15 |
| 32,83 | 528916,27 | 268083,7 | 256299,49 | 254554,24 | 256088,6 |
| 35,61 | 798076,31 | 354139,36 | 334082,64 | 160114,65 | 273073,79 |
| 38,39 | 817883,82 | 344551,31 | 323166,52 | 40937,22 | 201359,7 |
| 41,17 | 588338,81 | 239319,54 | 223551,12 | 19527,83 | 40946,33 |
| 43,94 | 109441,27 | 38444,05 | 35236,45 | 105847,67 | 38124,71 |
| 55,06 | 80708,93 | 14710,03 | 11728,25 | 167429,67 | 197011,67 |
| 57,83 | 532243,31 | 190888,52 | 175466,37 | 204273,82 | 267199,35 |
| 60,61 | 734425,18 | 271423,28 | 250505,21 | 216380,13 | 248687,75 |
| 63,39 | 687254,51 | 256314,32 | 236844,78 | 203748,6 | 141476,88 |
| 82,83 | 736717,73 | 286791,66 | 266464,35 | 266464,35 | 419548,39 |
| 85,61 | 1183500,75 | 456446,64 | 423598,9 | 423598,9 | 490762,18 |
| 88,39 | 1380931,25 | 530457,9 | 492034,18 | 492034,18 | 473276,7 |
| 91,17 | 1329009,23 | 508825,44 | 471770,17 | 471770,17 | 367091,95 |
| 93,94 | 1027734,68 | 391549,26 | 362806,9 | 362806,9 | 172207,91 |

Hasil analisa diatas didapat nilai momen (M3) maksimum yaitu sebesar: 1422625,17 Kgf-m.

4.2.9 Hasil analisa besarnya momen (M3) pada Model 3

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai momen maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut, Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Hasil output CSI Bridge 2017 Momen (M3) maksimum pada setiap girder Model 3.

| Layout Line Distance (m) | Kombinasi Kuat I (Kgf-m) | Kombinasi Kuat II (Kgf-m) | Kombinasi Kuat III (Kgf-m) | Kombinasi Kuat IV (Kgf-m) | Kombinasi Kuat V (Kgf-m) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 2,7778 | 403299,09 | 373835,65 | 349729,2 | 330979,73 | 336336,7 |

Tabel 4.6 lanjutan.

| Layout Line Distance (m) | Kombinasi Kuat I (Kgf-m) | Kombinasi Kuat II (Kgf-m) | Kombinasi Kuat III (Kgf-m) | Kombinasi Kuat IV (Kgf-m) | Kombinasi Kuat V (Kgf-m) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 5,5556 | 698393,67 | 647371,05 | 605625,26 | 573156,32 | 582433,16 |
| 8,33 | 852907,45 | 790595,7 | 739613,36 | 699960,43 | 711289,84 |
| 11,11 | 866840,42 | 803509,61 | 751693,49 | 711392,06 | 722906,75 |
| 13,89 | 740192,58 | 686112,76 | 641865,64 | 607451,22 | 617283,91 |
| 16,67 | 472963,93 | 438405,17 | 410129,83 | 388137,89 | 394421,3 |
| 19,444 | 65154,46 | 60386,83 | 56486,04 | 53452,1 | 54318,94 |
| 33,33 | 203022,16 | 188185,07 | 176045,63 | 166603,84 | 169301,5 |
| 36,11 | 376279,28 | 348786,52 | 326292,45 | 308797,06 | 313795,74 |
| 38,89 | 408955,6 | 379077,23 | 354631,3 | 335617,8 | 341050,23 |
| 41,67 | 301051,1 | 279057,19 | 261062,18 | 247066,06 | 44364,59 |
| 58,33 | 302604,96 | 280500,05 | 262414,22 | 248347,46 | 252366,53 |
| 61,11 | 411438,41 | 381382,15 | 356790,66 | 337663,94 | 343128,72 |
| 63,89 | 379691,05 | 351953,49 | 329259,13 | 311607,95 | 172933,8 |
| 80,56 | 65828,21 | 61017,73 | 57081,88 | 54020,66 | 393125,99 |
| 83,33 | 471395,94 | 436957,16 | 408779,98 | 386864,39 | 614116,92 |
| 86,11 | 736382,86 | 682585,84 | 638570,1 | 604335,64 | 717868,08 |
| 88,89 | 860788,97 | 797903,78 | 746452,26 | 706434,41 | 704379,49 |
| 91,67 | 844614,26 | 782910,96 | 732426,45 | 693160,71 | 573651,14 |
| 94,44 | 687858,75 | 637607,4 | 596492,66 | 564514,53 | 325683,02 |

Hasil analisa diatas didapat nilai momen (M3) maksimum yaitu sebesar: 866840,42 Kgf-m.

4.2.10 Hasil analisa besarnya gaya geser (V2) untuk arah X pada Model 1

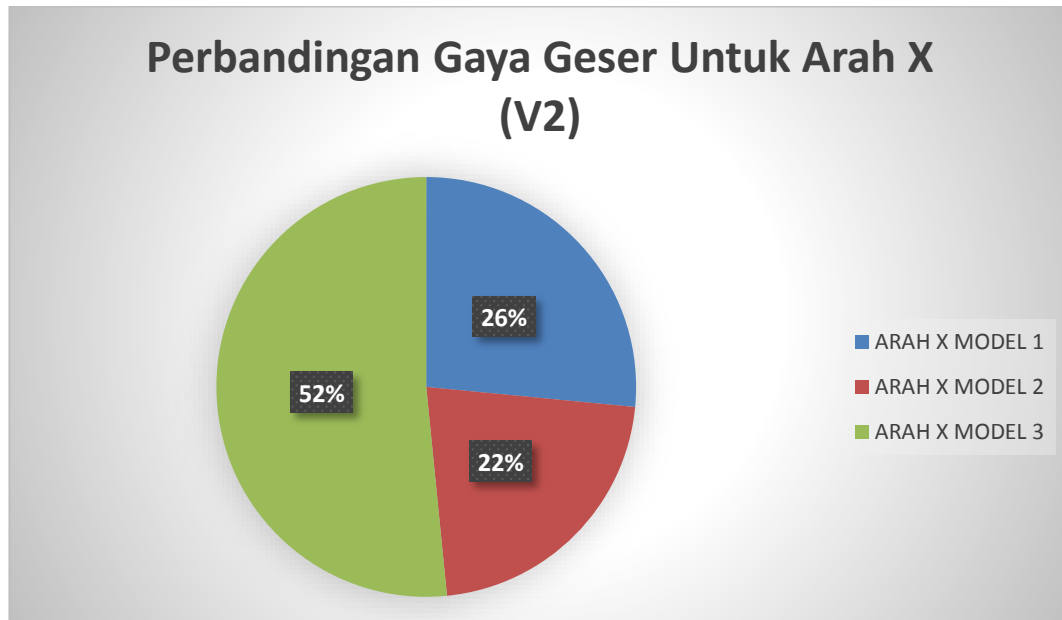
Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya geser maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut: 445789,8 Kgf

4.2.11 Hasil analisa besarnya gaya geser (V2) untuk arah X pada Model 2

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya geser maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut: 367954,3 Kgf

4.2.12 Hasil analisa besarnya gaya geser (V2) untuk arah X pada Model 3

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya geser maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut: 578257,2 Kgf, lihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Grafik perbandingan nilai gaya geser untuk arah x pada balok girder Model 1, Model 2 dan Model 3.

4.2.13 Hasil analisa besarnya gaya geser (V3) untuk arah Y pada Model 1

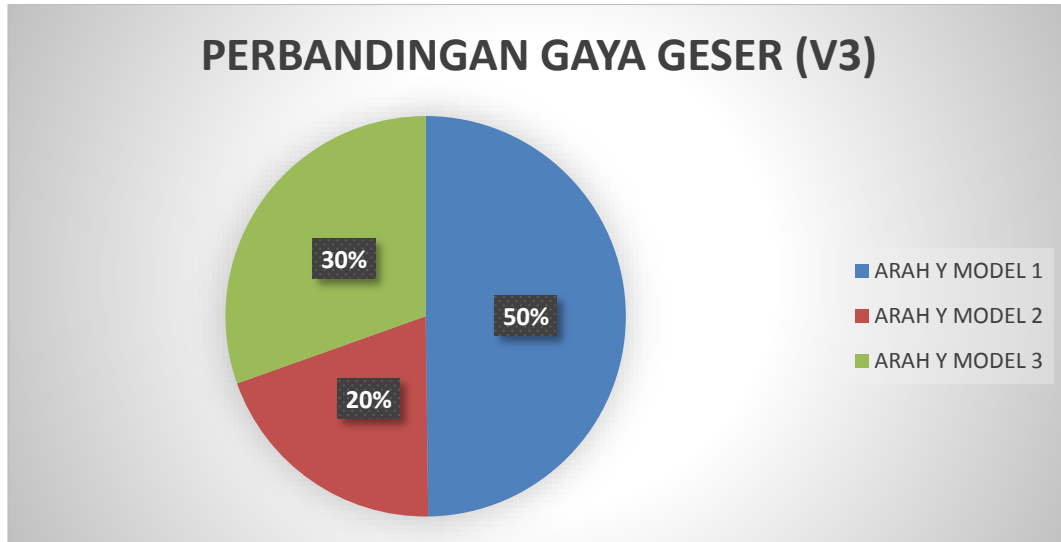
Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya geser maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut; 230383,9 Kgf.

4.2.14 Hasil analisa besarnya gaya geser (V3) untuk arah Y pada Model 2

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya geser maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut; 91423,32 Kgf.

4.2.15 Hasil analisa besarnya gaya geser (V3) untuk arah Y pada Model 3

Hasil analisa CSI Bridge 2017 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya geser maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut; 140877,2 Kgf, lihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Grafik perbandingan nilai gaya geser untuk arah x pada balok girder Model 1, Model 2 dan Model 3.

4.2.16 Hasil analisa besarnya gaya aksial (P) pada Model 1

Hasil analisa SAP2000 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya aksial maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut, Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil output CSI Bridge 2017 gaya aksial (P) maksimum pada Model 1.

| KOMPONEN | DAYA LAYAN 1 (Kgf) | DAYA LAYAN 2 (Kgf) |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| I Girder Persegment | -2368675 | -2723133 |

4.2.17 Hasil analisa besarnya gaya aksial (P) pada Model 2

Hasil analisa SAP2000 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem beton prategang menghasilkan nilai gaya aksial maksimum pada setiap balok girder sebagai berikut, Tabel.4.8.

Tabel 4.8 Hasil output CSI Bridge 2017 gaya aksial (P) maksimum pada Model 2.

| KOMPONEN | DAYA LAYAN 1 (Kgf) | DAYA LAYAN 2 (Kgf) |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| I Girder Perkontinius | -1540996 | -1772679 |

4.2.18 Hasil analisa besarnya gaya aksial (P) pada Model 3

Hasil analisa SAP2000 terhadap pemodelan struktur jembatan dengan sistem komposit slab berada diatas profil baja menghasilkan nilai gaya aksial maksimum pada setiap balok girder sebgai berikut, Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil output CSI Bridge 2017 gaya aksial (P) maksimum pada Model 3.

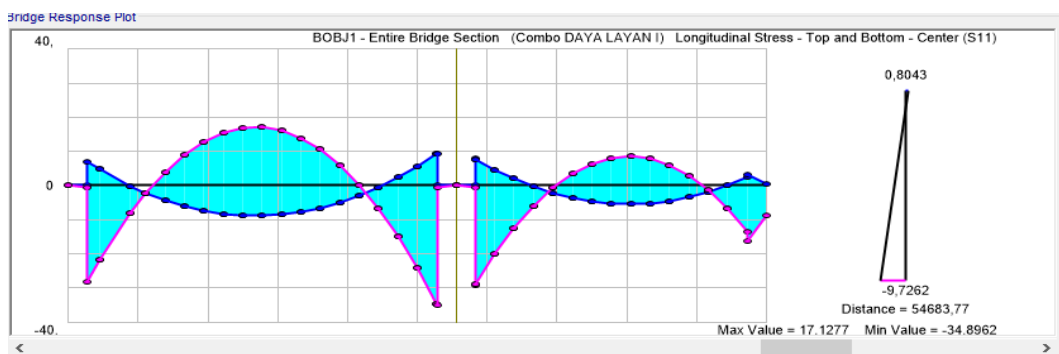
| KOMPONEN | DAYA LAYAN 1 (Kgf) | DAYA LAYAN 2 (Kgf) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Box Girder Perkontinius | -3822731 | -2885811 |

Dari grafik diatas bisa diambil kesimpulan bahwa nilai gaya aksial (P) yang terbesar berada pada Model 3 (Kombinasi daya layan I) yaitu sebesar -3822731 Kgf.

4.2.19 Menghitung Analisa Besarnya Stressing Model 1

4.2.19.1 (Bobj 1)

1. Pada Model 1 (layan 1), Bisa di liat pada Gambar 4.5.
 - a. Memiliki serat atas sebesar : 17,1277 N,mm
 - b. Memiliki serat bawah sebesar : -34,8962 N,mm.



Gambar 4.5:Max value dan min value pada stress (Daya Layan 1).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$f_c' = 41,5 \text{ N/mm}^2$

$F_a = 17,1277 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

$F_b = -34,8962 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_a' &= 0,5 \times f_c' \\ &= 0,5 \times 41,5 \\ &= 18,675 \end{aligned}$$

Oke,

Syarat : $F_a' > F_a$

Oke,

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_b' &= 0,5 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,5 \times \sqrt{41,5} \\ &= 3,221025 \end{aligned}$$

Oke,

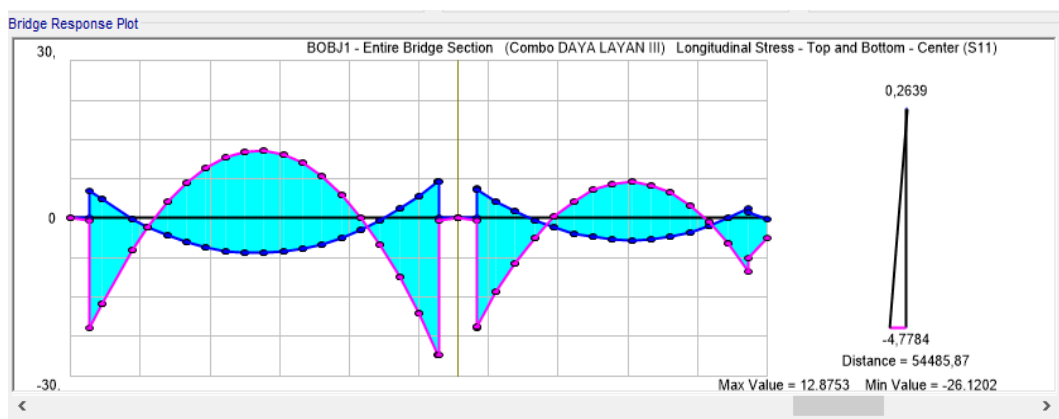
Syarat : $F_b' > F_b$

Oke,

2. Pada Model 1 (layan 3), Bisa di liat pada Gambar 4.6.

a. Memiliki serat atas sebesar : $12,8753 \text{ N/mm}^2$

b. Memiliki serat bawah sebesar : $-26,1202 \text{ N/mm}^2$.



Gambar 4.6: Max value dan min value pada stress (Daya layan 3).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$f_c' = 41,5 \text{ N/mm}^2$

$F_a = 12,8753 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

$F_b = -26,1202 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_a' &= 0,5 \times f_c' \\ &= 0,5 \times 41,5 \\ &= 18,675 \end{aligned}$$

Oke,

Syarat : $F_a' > F_a$

Oke,

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_b' &= 0,5 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,5 \times \sqrt{41,5} \\ &= 3,221025 \end{aligned}$$

Oke,

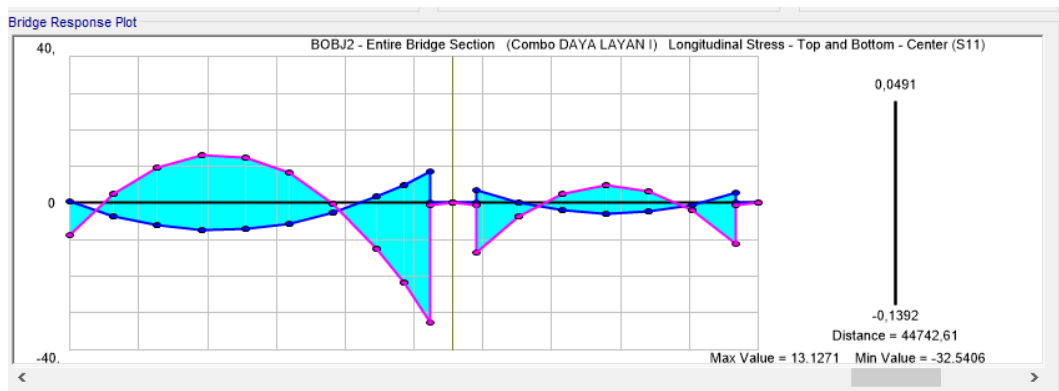
Syarat : $F_b' > F_b$

Oke,

4.2.19.2 (Bobj 2)

1. Pada Model 1 (layan 1), Bisa di liat pada Gambar 4.7.

- Memiliki serat atas sebesar : 13,1271 N/mm
- Memiliki serat bawah sebesar : -32,5406 N/mm.



Gambar 4.7:Max value dan min value pada stress (Daya Layan 1).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$f_c' = 41,5 \text{ N/mm}^2$

$F_a = 13,1271 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

$F_b = -32,5406 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_a' &= 0,5 \times f_c' \\ &= 0,5 \times 41,5 \\ &= 18,675 \end{aligned}$$

Oke,

Syarat : $F_a' > F_a$

Oke,

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_b' &= 0,5 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,5 \times \sqrt{41,5} \\ &= 3,221025 \end{aligned}$$

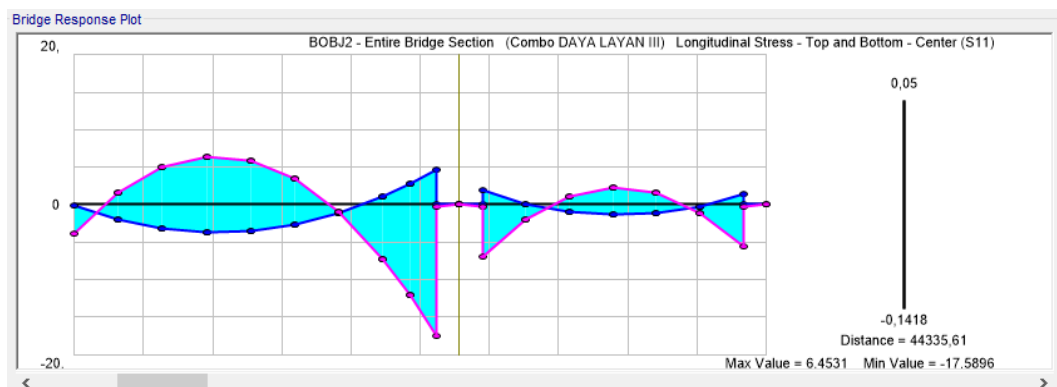
Oke

Syarat : $F_b' > F_b$

Oke,

2. Pada Model 1 (layan 2), Bisa di liat pada Gambar 4.8.

- Memiliki serat atas sebesar : 6,4531 N/mm
- Memiliki serat bawah sebesar : -17,5896 N/mm.



Gambar 4.8: Max value dan min value pada stress (Daya layan 3).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$f_c' = 41,5 \text{ N/mm}^2$

$F_a = 6,4531 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

$F_b = -17,5896 \text{ N/mm}^2$ (output CSI Bridge 2017)

Cek, $F_a' = 0,5 \times f_c'$

$$= 0,5 \times 41,5$$

$$= 18,675$$

Oke,

Syarat : $F_a' > F_a$

Oke

Cek, $F_b' = 0,5 \times \sqrt{f_c'}$

$$= 0,5 \times \sqrt{41,5}$$

$$= 3,221025$$

Oke

Syarat : $F_b' > F_b$

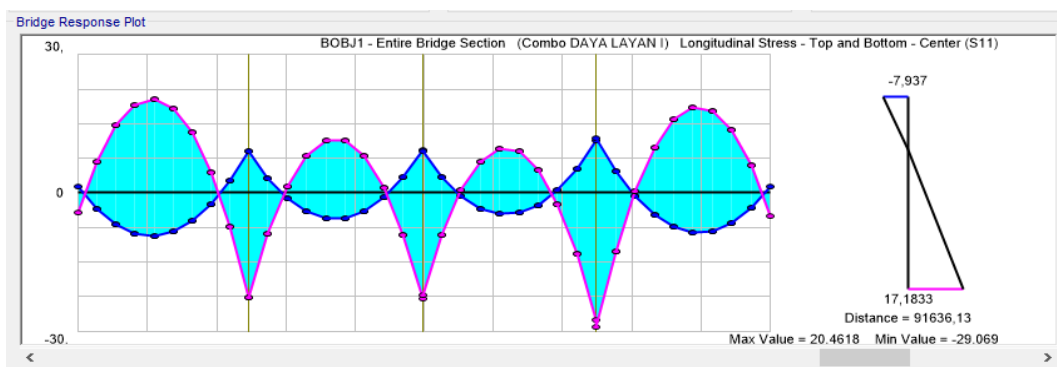
Oke,

4.2.20 Menghitung Analisa Besarnya Stressing Model 2

1. Pada Model 2 (layan 1), bisa di liat pada Gambar 4.9.

a. Memiliki serat atas sebesar : $20,4618 \text{ N/mm}^2$

b. Memiliki serat bawah sebesar : $-29,069 \text{ N/mm}^2$.



Gambar 4.9: Max value dan min value pada stress (Daya layan 1).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$$F_c' = 41,5 \text{ N/mm}^2$$

$$F_a = 20,4618 \text{ N/mm}^2 \text{ (output CSI Bridge 2017)}$$

$$F_b = -29,069 \text{ N/mm}^2 \text{ (output CSI Bridge 2017)}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_a' &= 0,5 \times f_c' \\ &= 0,5 \times 41,5 \\ &= 18,675 \end{aligned}$$

No Oke,

$$\text{Syarat : } F_a' > F_a$$

No Oke,

$$\begin{aligned} \text{Cek, } F_b' &= 0,5 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,5 \times \sqrt{41,5} \\ &= 3,221025 \end{aligned}$$

Oke

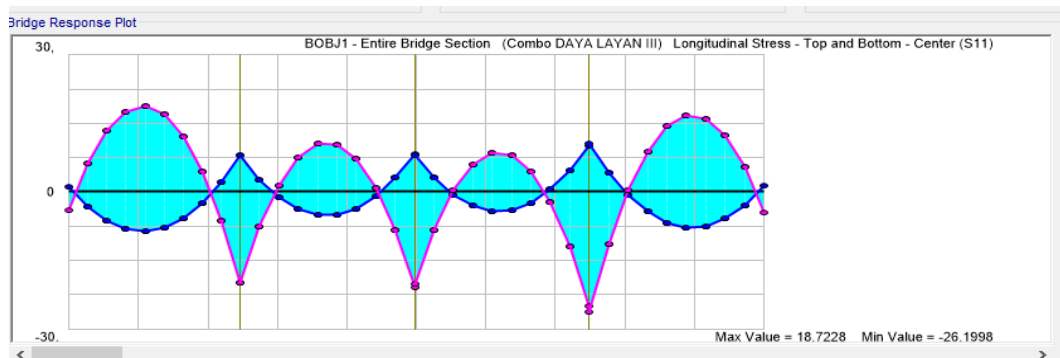
$$\text{Syarat : } F_b' > F_b$$

Oke,

2. Pada Model 2 (layan 3), Bisa di liat pada Gambar 4.10.

a. Memiliki serat atas sebesar : 18,7228 N/mm

b. Memiliki serat bawah sebesar : -26,1998 N/mm.



Gambar 4.10: Max value dan min value pada stress (Daya layan 3).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$$F_c' = 41,5 \text{ N/mm}^2$$

$$F_a = 18,7228 \text{ N/mm}^2 \text{ (output CSI Bridge 2017)}$$

$$F_b = -26,1998 \text{ N/mm}^2 \text{ (output CSI Bridge 2017)}$$

$$\text{Cek, } F_a' = 0,5 \times f_c'$$

$$= 0,5 \times 41,5$$

$$= 18,675 \quad \text{No Oke,}$$

Syarat : $Fa' > Fa$ No Oke,

Cek, $Fb' = 0,5 \times \sqrt{fc'}$

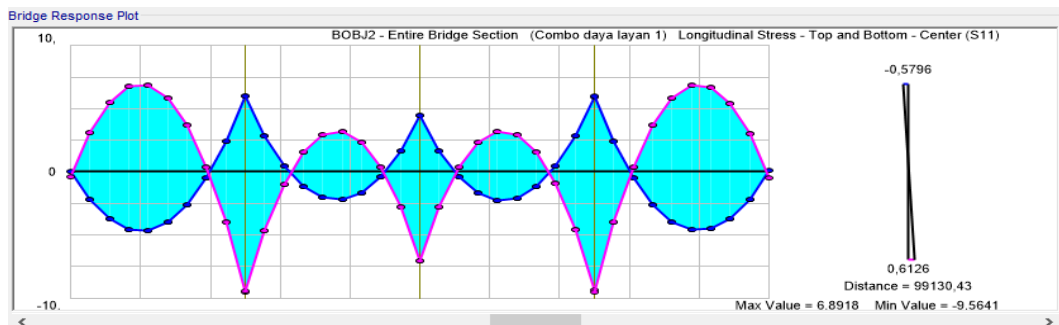
$$= 0,5 \times \sqrt{41,5}$$

$$= 3,221025 \quad \text{Oke}$$

Syarat : $Fb' > Fb$ Oke,

4.2.21 Menghitung Analisa Besarnya Stressing Model 3

1. Pada Model 2 (layan 1), bisa di liat pada Gambar 4.11.
 - a. Memiliki serat atas sebesar : 6,8918 N,mm
 - b. Memiliki serat bawah sebesar : -9,5641 N,mm.



Gambar 4.11: Max value dan min value pada stress (Daya layan 1).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$Fc' = 41,5$ N,mm

$Fa = 6,8918$ N,mm (output CSI Bridge 2017)

$Fb = -9,5641$ N,mm (output CSI Bridge 2017)

Cek, $Fa' = 0,5 \times fc'$

$$= 0,5 \times 41,5$$

$$= 18,675$$

Oke,

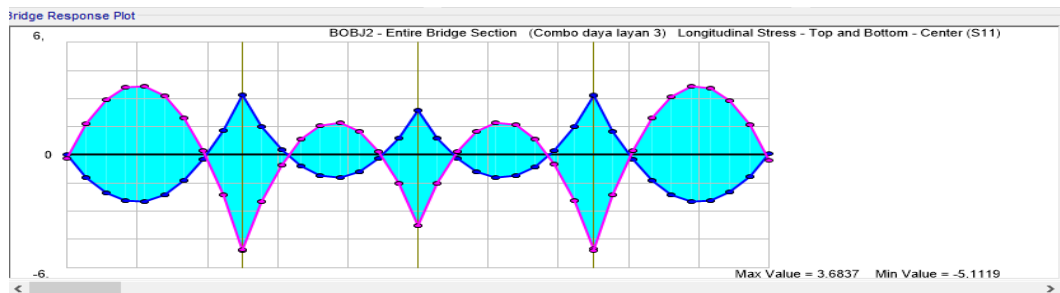
Syarat : $Fa' > Fa$ Oke,

$$\begin{aligned} \text{Cek, } Fb' &= 0,5 \times \sqrt{fc'} \\ &= 0,5 \times \sqrt{41,5} \\ &= 3,221025 \end{aligned} \quad \text{Oke}$$

Syarat : $Fb' > Fb$ Oke,

2. Pada Model 2 (layan 2), Bisa di liat pada Gambar 4.12.

- a. Memiliki serat atas sebesar : 3,6837 N,mm
- b. Memiliki serat bawah sebesar : -165,1119 N,mm.



Gambar 4.12: Max value dan min value pada stress (Daya layan 3).

Cek terhadap stressing:

Mutu beton k 500

$$Fc' = 41,5 \text{ N,mm}$$

$$Fa = 6,8918 \text{ N,mm (output CSI Bridge 2017)}$$

$$Fb = -9,5641 \text{ N,mm (output CSI Bridge 2017)}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek, } Fa' &= 0,5 \times fc' \\ &= 0,5 \times 41,5 \\ &= 18,675 \end{aligned} \quad \text{Oke,}$$

Syarat : $Fa' > Fa$ Oke,

$$\begin{aligned} \text{Cek, } Fb' &= 0,5 \times \sqrt{fc'} \\ &= 0,5 \times \sqrt{41,5} \\ &= 3,221025 \end{aligned} \quad \text{Oke}$$

Syarat : $Fb' > Fb$ Oke,

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai “Analisis Lendutan Struktur Jembatan Jalan Raya Dengan Sistem Balok Beton Prategang”, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Pengaruh bentuk dari girder mempengaruhi perilaku struktur jembatan, bisa dilihat pada hasil periode getar pada data pier yang sama, lendutan dan gaya geser yang berbeda.

1. Untuk periode getar
 - Model 1 : 0,99247 (detik)
 - Model 2 : 0,37337 (detik)
 - Model 3 : 1,82245 (detik)
2. Untuk lendutan maksimum
 - Model 1 : -0,2819 m
 - Model 2 : -0,0233 m
 - Model 3 : -0,3337 m
3. Untuk gaya geser maksimum terjadi pada arah Y
 - Model 1 : 230383,9 Kgf
 - Model 2 : 91423,32 Kgf.
 - Model 3 : 140877,2 Kgf.
4. Pada pemodelan yang membedakan hanya bentuk girder saja. Dari hasil analisa bahwa didapat nilai-nilai maksimum untuk setiap kombinasi terjadi pada Model 3, baik itu yang terjadi akibat gempa atau pun beban-beban lainnya.

5.2 Saran

1. Pada tugas akhir ini, analisa beban struktur gempa hanya menggunakan analisis respon spektrum. Penulis menyarankan agar dilakukan peninjauan lebih dalam lagi menggunakan analisis lainnya.
2. Penulis menyarankan nantinya dalam tugas akhir ini dilakukan perbandingan perencanaan wilayah, sehingga diperoleh perbandingan dalam analisi terhadap gempa.
3. Untuk mendapatkan hasil yang akurat sebaiknya tanah yang ditinjau ada jenis yaitu tanah keras, tanah sedang dan tanah lembek. Disini penulis hanya meninjau 1 jenis tanah yaitu tanah sedang.

Lampiran

A. Hasil analisis Mode *output* SAP2000

A1. Model 1

| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 0,956713 | 0 | 0 | 0,12712 | 0 | 0 | 0,12712 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,81656 | 0 | 0 | 2,097E-20 | 0 | 0 | 0,12712 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,642314 | 0 | 0 | 1,695E-19 | 0 | 0 | 0,12712 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,624583 | 0 | 0 | 2,655E-20 | 0 | 0 | 0,12712 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,590052 | 0 | 0 | 0,06337 | 0 | 0 | 0,19049 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,547893 | 0 | 0 | 0,03152 | 0 | 0 | 0,222 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,461088 | 0 | 0 | 4,633E-19 | 0 | 0 | 0,222 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,429431 | 0 | 0 | 2,131E-18 | 0 | 0 | 0,222 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,416393 | 0 | 0 | 0,03108 | 0 | 0 | 0,25308 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,354293 | 0 | 0 | 1,982E-19 | 0 | 0 | 0,25308 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,322019 | 0 | 0 | 0,000001304 | 0 | 0 | 0,25309 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,285989 | 0 | 0 | 0,0024 | 0 | 0 | 0,25549 |

A2. Model 2

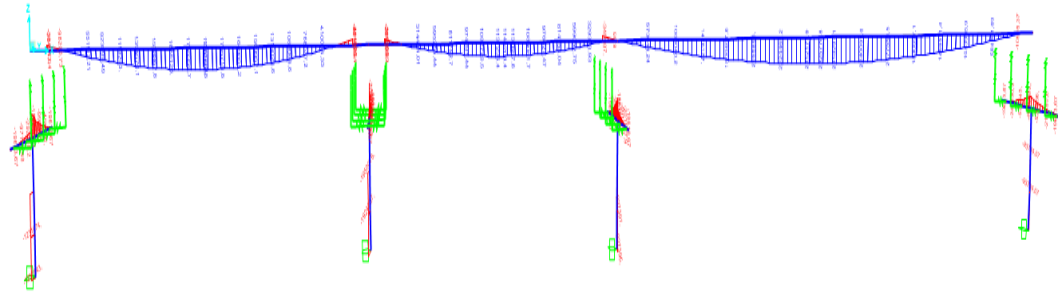
| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 0,37337 | 0 | 0 | 0,00041 | 0 | 0 | 0,00041 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,362479 | 0 | 0 | 2,011E-20 | 0 | 0 | 0,00041 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,328303 | 0 | 0 | 0,02929 | 0 | 0 | 0,0297 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,319147 | 0 | 0 | 2,834E-19 | 0 | 0 | 0,0297 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,278154 | 0 | 0 | 8,516E-07 | 0 | 0 | 0,0297 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,263546 | 0 | 0 | 0,00003824 | 0 | 0 | 0,02974 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,261878 | 0 | 0 | 3,499E-16 | 0 | 0 | 0,02974 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,254644 | 0 | 0 | 3,168E-16 | 0 | 0 | 0,02974 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,22053 | 0 | 0 | 3,001E-17 | 0 | 0 | 0,02974 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,219574 | 0 | 0 | 0,20455 | 0 | 0 | 0,23429 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,212124 | 0 | 0 | 3,359E-17 | 0 | 0 | 0,23429 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,188736 | 0 | 0 | 2,011E-15 | 0 | 0 | 0,23429 |

A3. Model 3

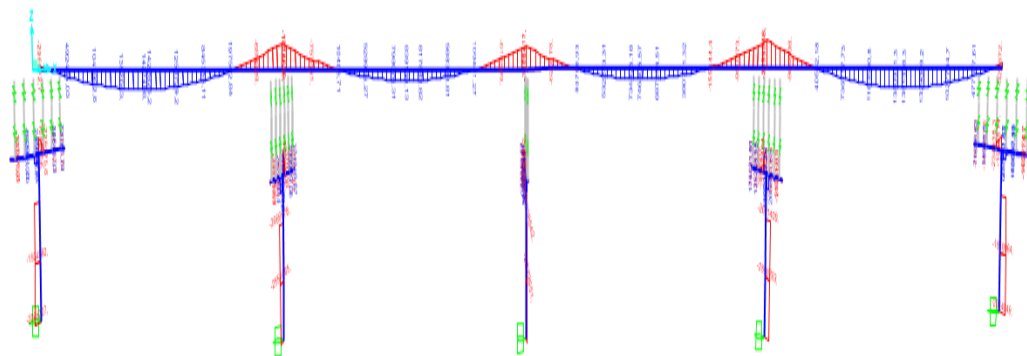
| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 1,822446 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MODAL | Mode | 2 | 1,480319 | 0 | 0 | 0,63382 | 0 | 0 | 0,63382 |
| MODAL | Mode | 3 | 1,021632 | 0 | 0 | 3,213E-19 | 0 | 0 | 0,63382 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,834492 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,63382 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,574541 | 0 | 0 | 0,02474 | 0 | 0 | 0,65856 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,338153 | 0 | 0 | 1,467E-19 | 0 | 0 | 0,65856 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,306364 | 0 | 0 | 6,762E-19 | 0 | 0 | 0,65856 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,279298 | 0 | 0 | 4,983E-19 | 0 | 0 | 0,65856 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,175533 | 0 | 0 | 0,00074 | 0 | 0 | 0,65929 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,121367 | 0 | 0 | 3,947E-20 | 0 | 0 | 0,65929 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,121298 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,65929 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,120538 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,65929 |

B. Diagram momen pada kombinasi maksimum (Kuat I)

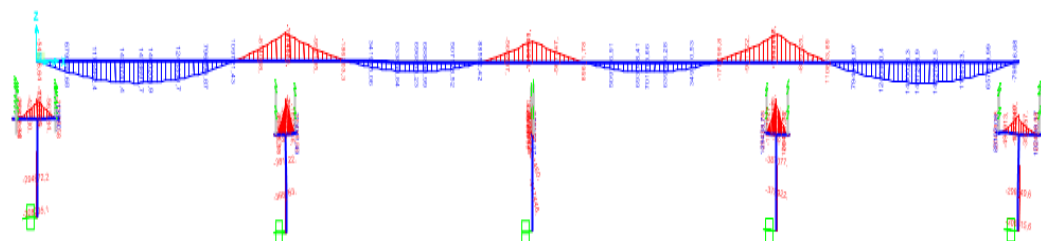
B.1 Model 1



B.2 Model 2

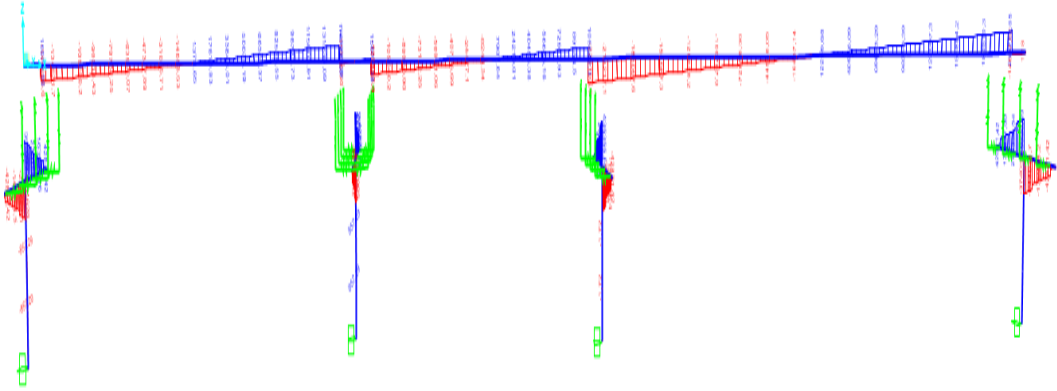


B.3 Model 3

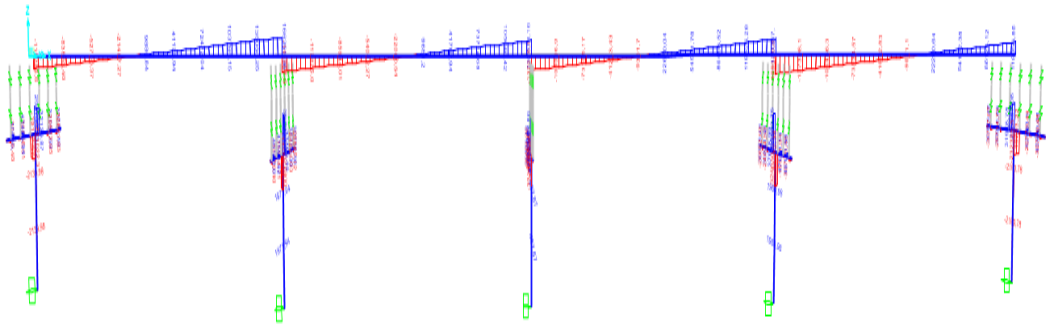


C. Diagram gaya geser akibat gempa X pada kombinasi maksimum(Ekstrem I)

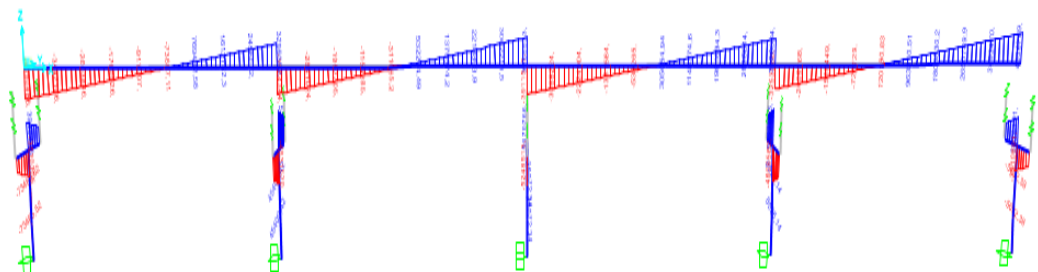
C.1 Model 1



C.2 model 2

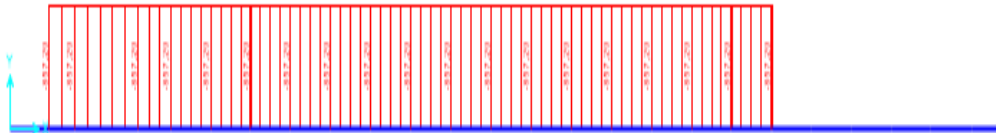


C.3 model 3

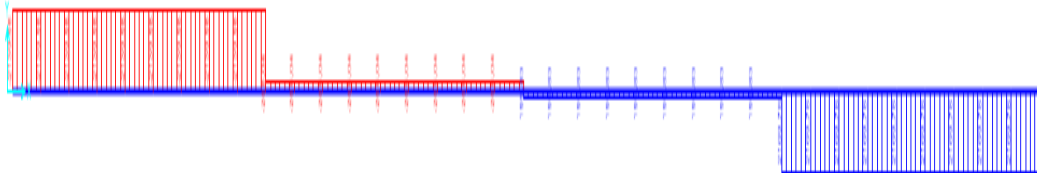


D. Diagram gaya geser akibat gempa Y pada kombinasi maksimum (Ekstrem I)

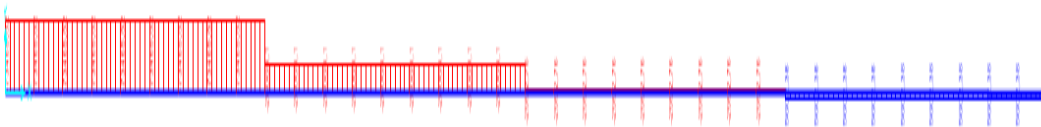
D.1 Model 1



D.2 Model 2



D.3 Model 3



DAFTAR PUSTAKA

- Anonym, 1987, Pedoman Perencanaan Jembatan Jalan Raya, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Badan Standarisasi Indonesia (2005) *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan RSNI T – 03 - 2005*
- Badan Standarisasi Indonesia (2008) *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan SNI 2833:2008*
- Badan Standarisasi Indonesia (2016) *Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016*
- Dewobroto, W. (2016) *Struktur Baja – Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010 Edisi Ke-2*. Tangerang: Universitas Pelita Harapan.
- Faisal, A. (2014) *Catatan Kuliah M.K. Vibrasi dan Teori Gempa*. Medan: UMSU.
- Nawy, Edward G. (2001) *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Terjemahan Suryoatmojo*. Erlangga: Jakarta, Edisi Ke-3 Jilid I
- Supriadi, A (2009) *Analisis Struktur Jembatan Baja Komposit Beton*. Laporan tugas akhir. Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Mercu Buana
- Setiawan, A (2002) *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD sesuai SNI 03-1729-2002*
- Yusuf, M. (2015) *Analisis Perilaku Dinamik Struktur Jembatan Box Girder Menerus Dengan Variasi Bentang*. Bogor: Departemen Teknik Sipil (ITB)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : M. Yusra Adrian
Panggilan : Yusra/Ryan
Tempat, Tanggal Lahir : Lubuk Pakam, 15 April 1996
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Sutomo No.141 Lubuk pakam, Deli Serdang,
Medan
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Adril Z.
Ibu : Yusliana
No.HP : 082164280238
E-Mail : m.yusraadrian15@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1407210111
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mochtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

| No | Tingkat Pendidikan | Nama dan Tempat | Tahun Kelulusan |
|----|--|------------------------|-----------------|
| 1 | SD | SDN 101900 Lubuk Pakam | 2008 |
| 2 | SMP | SMPN 1 Lubuk Pakam | 2011 |
| 3 | SMA | SMAN 2 Lubuk Pakam | 2014 |
| 4 | Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014 sampai selesai. | | |