PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN *OVERPASS* STA 44+010 JALAN TOL TEBING TINGGI-PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan



Disusun oleh :

RAHMAT IHSANUL KARIM

14/366852/TK/42238

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS GADJAH MADA

2021

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

HALAMAN PENGESAHAN

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini bebas dari unsur plagiasi dari hasil karya ilmiah lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Januari 2021

Rahmat Ihsanul Karim

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kuasa dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Perencanaan Ulang Struktur Atas Duplikasi Jembatan *Overpass* STA 44+010 Jalan Tol Tebing Tinggi Parapat Menggunakan Gelagar Prategang Profil I" sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana di Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat selesai lancar tanpa adanya bimbingan, arahan, dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Teuku Faisal Fathani, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada;
2. Dr. Eng. Muhammad Zuhdy Irawan, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada;
3. Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA., selaku dosen pembimbing;
4. Dr. Ir. Muslikh, M. Sc., M. Phil. selaku dosen penguji I;
5. Endita Prima Ari Pratiwi, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen penguji II;
6. Papa dan Mama yang selalu memberikan fasilitas, dukungan, doa, dan semangat;
7. Kasih Jhoniper S. dan Mungky Ema R. yang senantiasa sabar dan mendukung serta mendampingi penulis;
8. Seluruh pihak yang membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri.

Yogyakarta, Januari 2021

Penulis

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dengan mengucap syukur kepada Allah SWT, saya persembahkan tulisan ini untuk kedua orang tua yang selalu mendukung dan bersabar.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
INTISARI xvii
ABSTRACT xviii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 2
1.5 Batasan Penelitian 3
1.6 Keaslian Penelitian 3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Jembatan 5
2.2 Bagian Jembatan 5
2.2.1 Struktur atas Jembatan 5
2.2.2 Struktur bawah Jembatan 6
2.3 Beton Prategang 6
2.3.1 Sistem beton prategang 7
2.3.2 Tahap pembebanan beton prategang 10

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.4 Jembatan Gelagar profil I 10
2.4.1 Konsep gelagar profil I 10
2.4.2 Tahap Konstruksi gelagar I 11
2.5 CSiBridge 12
BAB 3 LANDASAN TEORI 13
3.1 Pedoman Analisis Jembatan Gelagar PCI 13
3.2 Analisis Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan Jembatan 13
3.2.1 Beban Akibat Berat Sendiri (MS) 13
3.2.2 Beban Akibat Berat Tambahan (MA) 14
3.2.3 Beban Lajur (TD) 15
3.2.4 Beban truk (TT) 16
3.2.5 Beban akibat gaya rem (TB) 17
3.2.6 Beban Gempa (EQ) 18
3.2.7 Beban Pejalan Kaki (TP) 19
3.2.8 Beban Angin (EW) 19
3.2.9 Pengaruh prategang 23
3.2.10 Pengaruh susut-rangkak 24
3.3 Kombinasi Pembebanan pada Jembatan 25
3.4 Kehilangan Gaya Prategang 30
3.4.1 Kehilangan prategang jangka pendek 30
3.4.2 Kehilangan Prategang Jangka Panjang 35
3.4.3 Kehilangan total prategang 40
3.5 Perencanaan Balok Prategang Berdasarkan Batas Ultimit 41
3.5.1 Perencanaan untuk kekuatan lentur 42
3.5.2 Perencanaan untuk kekuatan geser 52

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5.3 Perencanaan terhadap momen puntir 57
3.6 Lendutan 58
BAB 4 METODE PENELITIAN DAN ANALISIS 61
4.1 Metode Analisis dan Desain 61
4.1.1 Pengumpulan data 61
4.2 Data Jembatan *Overpass* 62
4.3 Program pendukung penelitian 66
4.4 Tahapan Analisis 66
4.4.1 Tahapan Pemodelan 70
4.4.2 Tahapan Pembebanan 71
4.4.3 Analisis tegangan dan kehilangan prategang 71
4.4.4 Tahapan running dan hasil pemodelan struktur 71
4.4.5 Analisis kapasitas momen 71
4.5 Bagan Alir Proses Analisis dan Desain 72
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN 73
5.1 Hasil Penelitian 73
5.1.1 Pembebanan Jembatan 73
5.1.2 Beban Akibar Beban Sendiri (MS) 73
5.1.3 Beban Mati Tambahan (MA) 74
5.1.4 Beban lajur (TD) 75
5.1.5 Gaya rem (TB) 76
5.1.6 Beban angin (EW) 77
5.1.7 Beban gempa (EQ) 79
5.2 Kombinasi Pembebanan 80
5.2.1 Kombinasi pada balok prategang 80

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2.2 Kombinasi pada diagfragma 81
5.2.3 Kombinasi pada plat lantai 84
5.3 Gaya Prategang dan Konfigurasi Tendon Gelagar 900 86
5.3.1 Tegangan izin 86
5.3.2 Gaya prategang awal 86
5.3.3 Menentukan jumlah tendon dan *strands* tiap tendon 87
5.3.4 Posisi tendon di tumpuan 88
5.3.5 Posisi tendon di tengah bentang 89
5.3.6 Posisi lintasan tendon dan gambar lintasan tendon pada tumpuan 90
5.4 Kehilangan Gaya Prategang Gelagar 900 92
5.4.1 Kehilangan akibat perpendekan elastis beton 92
5.4.2 Kehilangan akibat gesekan sepanjang beton 92
5.4.3 Kehilangan akibat slip pada pengangkuran 93
5.4.4 Kehilangan akibat rayapan pada beton (*creep*) 93
5.4.5 Kehilangan akibat penyusutan pada beton (*shrinkage*) 94
5.4.6 Kehilangan akibat relaksasi baja prategang 94
5.4.7 Kehilangan total prategang 95
5.5 Perencanaan Balok Prategang Berdasarkan Batas Ultimit Gelagar 900 95
5.5.1 Kapasitas lentur 95
5.5.2 Kapasitas geser 98
5.5.3 Kapasitas torsi 100
5.5.4 Lendutan 101
5.6 Gaya Prategang dan konfigurasi Tendon Gelagar 2500 102

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.6.1 Tegangan izin 102
5.6.2 Gaya prategang awal 102
5.6.3 Menentukan jumlah tendon dan *strands* tiap tendon 103
5.6.4 Posisi tendon di tumpuan 104
5.6.5 Posisi tendon di tengah bentang 104
5.6.6 Posisi lintasan tendon dan gambar posisi tendon pada tumpuan 105
5.6.7 Pemilihan angkur 109
5.7 Kehilangan Gaya Prategang Gelagar 2500 110
5.7.1 Kehilangan akibat perpendekan elastis beton 110
5.7.2 Kehilangan akibat gesekan sepanjang beton 111
5.7.3 Kehilangan akibat slip pada pengangkuran. 112
5.7.4 Kehilangan akibat rayapan pada beton (*creep*) 112
5.7.5 Kehilangan akibat penyusutan pada beton (*shrinkage*) 112
5.7.6 Kehilangan akibat relaksasi baja prategang 113
5.7.7 Kehilangan total prategang 113
5.8 Perencanaan Balok Prategang Berdasarkan Batas Ultimit Gelagar 2500 114
5.8.1 Kapasitas lentur 114
5.8.2 Kapasitas geser 116
5.8.3 Kapasitas torsi 119
5.8.4 Lendutan 120
5.9 Perbandingan harga pengadaan jembatan 120
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 121
6.1 Kesimpulan 121

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6.2 Saran 122

DAFTAR PUSTAKA 123

LAMPIRAN 127

..... 128

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep beton prategang (sulistyo, 2017) 7
Gambar 2.2 Proses pengerjaan *pre-tensioning* 8
Gambar 2.3 Proses pengerjaan *post-tensioning* 9
Gambar 3.1 Aplikasi beban akibat berat sendiri pada struktur 14
Gambar 3.2 Ilustrasi beban lajur terbagi rata dan beban garis terpusat 16
Gambar 3.3 Pembebanan truk 17
Gambar 3.4 Respon spektrum untuk wilayah Kabupaten Simalungun 19
Gambar 3.5 Perpendekan elastis beton 31
Gambar 3.6 Diagram kehilangan tegangan akibat slip pada pengangkuran 34
Gambar 3.7 Tegangan terdistribusi hasil transformasi Whitney 41
Gambar 3.8 Balok T murni 46
Gambar 3.9 Distribusi Tegangan pada balok T murni 46
Gambar 3.10 Balok T tidak murni 49
Gambar 3.11 Distribusi tegangan akibat beban terkonsentrasi 55
Gambar 4.1 Lokasi Jembatan 61
Gambar 4.2 Gambar tampak samping jembatan 62
Gambar 4.3 Gambar tampak samping jembatan 63
Gambar 4.4 Gambar potongan melintang jembatan 63
Gambar 4.5 *Section properties* gelagar 900 66
Gambar 4.6 *Section properties* gelagar 2500 67
Gambar 4.17 Grafik BMD pada jembatan rencana setelah dilakukan *running*. .. 69
Gambar 4.8 Tampak depan hasil pemodelan dengan CSiBridge 72
Gambar 5.1 Aplikasi beban lajur pada struktur 75
Gambar 5.2 Penempatan beban rem 76
Gambar 5.3 Ilustrasi beban angin pada struktur 77
Gambar 5.4 Ilustrasi beban angin pada kendaraan 78
Gambar 5.5 Respon spektrum untuk wilayah Kabupaten Simalungun 79
Gambar 5.6 Lintasan masing-masing tendon 91

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.7 Potongan Memanjang Lintasan Tendon..... 91
Gambar 5.8 Gelagar Komposit 96
Gambar 5.9 Lintasan masing-masing tendon..... 108
Gambar 5.10 Potongan Memanjang Lintasan Tendon..... 108
Gambar 5.11 Posisi tendon pada tengah bentang..... 108
Gambar 5.12 Posisi tendong pada tumpuan..... 109
Gambar 5.13 Angkur hidup VSL tipe 19 S_c..... 110
Gambar 5.14 Angkur mati VSL, tipe 19 P..... 110
Gambar 5.15 Gelagar Komposit 115

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Faktor beban untuk berat sendiri 14
Tabel 3.2 Faktor beban akibat beban mati tambahan 15
Tabel 3.3 Faktor beban akibat beban lajur "D" 16
Tabel 3.4 Faktor beban untuk beban truk 17
Tabel 3.5 Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik 18
Tabel 3.6 V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukan hulu 21
Tabel 3.7 Nilai angin tekan dan angin hisap 22
Tabel 3.8 Tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang 22
Tabel 3.9 Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan 22
Tabel 3.10 Faktor beban akibat pengaruh prategang 24
Tabel 3.11 Kombinasi pembebanan 28
Tabel 3.12 Nilai koefisien *wobble* dan koefisien friksi 34
Tabel 3.13 Nilai maksimum lendutan pada kondisi layan 58
Tabel 3.14 Lendutan akibat pembebanan pada balok sederhana (*Simple Beam)* . 59
Tabel 3.15 Lendutan pada balok sederhana dengan eksentrisitas 59
Tabel 3.16 Lendutan akibat pembebanan pada balok kantilever 60
Tabel 3.17 Lendutan pada balok kantilever dengan eksentrisitas 60
Tabel 4.4.1 Data teknis jembatan 64
Tabel 5.1 Faktor beban untuk berat sendiri 73
Tabel 5.2 Beban akibat berat sendiri 74
Tabel 5.3 Beban akibat berat tambahan 74
Tabel 5.4 Faktor beban untuk beban truk 75
Tabel 5.5 Opsi gaya rem 76
Tabel 5.6 Respon spektra kabupaten Simalungun situs tanah keras 79
Tabel 5.7 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit 80
Tabel 5.8 Kombinasi gaya geser dan momen layan 81
Tabel 5.9 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit 82
Tabel 5.10 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit 82
Tabel 5.11 Kombinasi gaya geser dan momen layan 83

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.12 Kombinasi gaya geser dan momen layan 84
Tabel 5.13 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit 85
Tabel 5.14 Kombinasi gaya geser dan momen layan 85
Tabel 5.15 Distribusi tendon di tumpuan 88
Tabel 5.16 Momen statis tendon terhadap pusat terbawah 88
Tabel 5.17 Distribusi tendon di tengah tumpuan 89
Tabel 5.18 Eksentrisitas tendon pada tumpuan dan tengah bentang 89
Tabel 5.19 posisi lintasan masing-masing tendon 90
Tabel 5.20 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen nominal 97
Tabel 5.21 gaya geser ultimit gelagar 900 98
Tabel 5.22 kuat geser beton gelagar 900 99
Tabel 5.23 Gaya geser yang harus di akomodasi sengkang 100
Tabel 5.24 Distribusi tendon di tumpuan 104
Tabel 5.25 Momen statis tendon terhadap pusat terbawah 104
Tabel 5.26 Distribusi tendon di tengah tumpuan 104
Tabel 5.27 Eksentrisitas tendon pada tumpuan dan tengah bentang 105
Tabel 5.28 Posisi Lintasan Masing-Masing Tendon 106
Tabel 5.29 Eksentrisitas dan sudut angkur tiap tendon 109
Tabel 5.30 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen nominal 116
Tabel 5.31 gaya geser ultimit girder 2500 117
Tabel 5.32 kuat geser beton gelagar 2500 118
Tabel 5.33 Gaya geser yang harus di akomodasi sengkang 118

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I *Shop Drawing Plan Profil OVP* STA 44+010

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Jembatan merupakan salah satu prasarana transportasi yang berfungsi menghubungkan dua bagian jalan yang terputus. Dengan demikian perencanaan jembatan harus diperhitungkan sesuai dengan persyaratan teknis agar dapat berfungsi secara optimal. Dalam kasus penulis, penulis melakukan perencanaan ulang struktur *overpass* STA 44+010 proyek pembangunan jalan tol (*Design and Build*) Tebing tinggi – Parapat dengan *Prestressed Concrete I Girder* yang direncanakan akan beroperasi pada tahun 2021.

Analisis Perencanaan Ulang Struktur Atas Duplikasi Jembatan *Overpass* STA 44+010 Jalan Tol Tebing Tinggi Parapat Menggunakan Gelagar Prategang Profil I dilakukan menggunakan perangkat lunak CSiBridge dan program Microsoft Excel yang mengacu pada SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan, SNI 2833:2016 tetang perencanaan jembatan terhadap pembebanan gempa, RSNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan dan manual konstruksi dan bangunan 021/BM/2011 tentang perancangan struktur beton prategang untuk jembatan. Perencanaan ulang jembaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan bentang efektif jembatan akibat berkurangnya jumlah pier terhadap dimensi struktur diatasnya serta perubahan harga yang terjadi akibat perubahan penampang

Berdasarkan hasil analisis diperoleh modifikasi girder pada bentang 16,6 m dengan tinggi sebesar 900 mm, sedangkan pada bentang 57,4 m diperoleh tinggi sebesar 2500 mm. Pembebanan ultimit terbesar pada rencana gelagar 900 mm terjadi pada Kombinasi Pembebanan Kuat I dengan gaya geser ultimit sebesar 1055.88 kN dan momen ultimit sebesar 3350.75 kNm. Pembebanan ultimit terbesar pada gelagar 2500 mm terjadi pada Kombinasi Pembebanan Kuat I dengan gaya geser ultimit sebesar 2733.48 kN dan momen ultimit sebesar 16710.92 kNm.

Kata Kunci: *Overpass*, gelagar prategang, batas ultimit

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Bridge is one of the transportation infrastructure that functions to connect two disconnected parts of the road. Thus the bridge planning must be calculated in accordance with the technical requirements in order to function optimally. In the case of the author, the authors re-plan the overpass structure of the STA 44 + 010 toll road construction project (Design and Build) Tebing Tinggi - Parapat with Prestressed Concrete I Girder which is planned to be operational in 2021.

Analysis of Re-Planning of Overpass Bridge Duplication STA 44 + 010 Tebing Tinggi Parapat Toll Road is carried out using CSiBridge software and Microsoft Excel program which refers to SNI 1725: 2016 concerning bridge loading, SNI 2833: 2016 regarding bridge planning against earthquake loading, RSNI T -12-2004 concerning planning of concrete structures for bridges and construction and building manuals 021 / BM / 2011 concerning the design of prestressed concrete structures for bridges. Re-planning of the bridge is carried out to determine the effect of changes in the effective span of the bridge due to a reduction in the number of piers on the dimensions of the structure above it and changes in prices that occur due to changes in the cross-section.

Based on the analysis results obtained girder modification at a span of 16.6 m with a height of 900 mm, while at a span of 57.4 m a height of 2500 mm was obtained. The greatest ultimate load on the 900 mm girder plan occurs in the Combination of Strong Load I with the ultimate shear force of 1055.88 kN and the ultimate moment of 3350.75 kNm. The greatest ultimate load on the 2500 mm girder occurs in the Combination of Strong Load I with the ultimate shear force of 2733.48 kN and the ultimate moment of 16710.92 kNm.

Keywords: Overpass, pre-stressed girder, ultimate limit

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di kawasan Asia Tenggara yang memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Kepadatan penduduk yang tinggi menyebabkan bertambahnya volume kendaraan serta bertambahnya kebutuhan infrastruktur yang mendukung. Tersedianya sarana dan prasarana transportasi yang baik dapat membantu mengimbangi peningkatan volume kendaraan dan kebutuhan mobilitas penduduk yang besar.

Dengan lokasinya yang berada di Sumatera Utara, kota Pematang Siantar merupakan kota terbesar ke 2 di Provinsi Sumatera Utara setelah Kota Medan. Kota Pematang Siantar merupakan salah satu kota yang dilintasi oleh Jalan Lintas Sumatera yang tepatnya berada di Kabupaten Simalungun, Kelurahan Parapat. Daerah ini menjadi ramai dikunjungi wisatawan karena daya tarik wisata alamnya yang berupa danau terbesar di Indonesia, yaitu Danau Toba. Dengan demikian potensi yang dimiliki untuk memajukan aspek sosial maupun ekonomi masyarakat sangatlah besar. Untuk mewujudkan potensi supaya dapat dimanfaatkan secara optimal, salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah mengembangkan sarana dan prasarana transportasi. Dalam kasus ini merupakan pembangunan jalan tol Tebing Tinggi Parapat.

Peningkatan sarana dan prasarana transportasi akan mempengaruhi laju ekonomi serta berkembangnya pembangunan pada daerah tersebut. Namun keadaan ini dipengaruhi oleh faktor fisik seperti faktor geografis yang berupa, sungai, bukit, maupun lembah.

Jembatan merupakan salah satu prasarana transportasi yang berfungsi menghubungkan dua bagian jalan yang terputus. Dengan demikian perencanaan jembatan harus diperhitungkan sesuai dengan persyaratan teknis agar dapat berfungsi secara optimal. Dalam kasus penulis, penulis meneliti *overpass* STA

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

44+010 proyek pembangunan jalan tol (*Design and Build*) Tebing tinggi – Parapat dengan *Prestressed Concrete I Girder* yang direncanakan akan beroperasi pada tahun 2021. Perencanaan ulang jembaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan bentang efektif jembatan akibat berkurangnya jumlah pier terhadap dimensi struktur diatasnya serta perubahan harga yang terjadi akibat perubahan penampang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka ditemukan beberapa masalah dalam perencanaan jembatan ini, yakni perencanaan ulang jembatan menggunakan *Precast/Prestressed Concrete-I Girder* dengan panjang bentang 16,6 m dan 57,4 m dengan lebar 9 m. Perencanaan ulang jembaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan bentang efektif jembatan akibat berkurangnya jumlah pier terhadap dimensi struktur diatasnya serta perubahan harga yang terjadi akibat perubahan penampang. Dalam penelitian ini dilakukan analisis keamanan menggunakan SNI 1725:2016, SNI 2847:2013 dan SNI 2833:2016.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan perancangan ulang dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perancangan ulang struktur atas jembatan menggunakan penampang *Precast/Prestressed Concrete-I Girder* yang telah dimodifikasi.
2. Menganalisis gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur atas jembatan.
3. Menentukan nilai gaya prategang yang telah dialami oleh tendon.
4. Melakukan kontrol kapasitas struktur atas terhadap kondisi batas.
5. Menganalisis biaya pengadaan bahan struktur atas jembatan rencana.

1.4 Manfaat Penelitian

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1. Menjadi referensi dalam perancangan jembatan serupa.
2. Memberikan alternatif pembanding untuk desain jembatan yang telah ada.
3. Bagi peneliti, untuk menambah wawasan dalam perancangan Jembatan *Precast/Prestressed Concrete-I Girder.*

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian pada tugas akhir ini ditentukan sebagai berikut:

1. Analisis untuk pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016 untuk perencanaan terhadap beban gempa.
2. Analisis batas ultimit gelagar prategang mengacu pada SNI 2847:2013.
3. kontrol lendutan maksimum sesuai dengan jenis elemen dan defleksi yang ditinjau berdasarkan MKBM 2011 dan RSNI T-12-2004.
4. Analisis hanya dilakukan pada struktur atas jembatan.
5. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *CSI Bridge* dan *Microsoft Excel.*
6. Dimensi pier sebelum dan sesudah perencanaan ulang dianggap sama dan mampu menahan beban.

1.6 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai perencana struktur jembatan serupa pernah dilakukan oleh:

1. (Zulkarnain, 2019) dengan judul “Analisis Ulang Desain dan Harga Pengadaan Bahan Struktur Atas Duplikasi Jembatan Landak Pontianak Menggunakan Modifikasi PCiGirder Berdasarakan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016” dengan lokasi jembatan di Pontianak, Kalimantan Barat. Jembatan dianalisis dengan menggunakan bentang girder sepanjang 60 meter.
2. (Najib, 2020) dengan judul “Desain Ulang Struktur Atas Jembatan *Overpass* Sta 44+010 Jalan Tol Tebing Tinggi-Parapat Menggunakan Gelagar Prategang Profil I Dengan Bentang 40.8 Meter”

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perbedaan dengan penelitian oleh Najib dan Zulkarnain antara lain ialah lokasi penelitian, dan perangkat lunak yang digunakan dalam analisis.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan merupakan suatu konstruksi penghubung antar daerah yang diputuskan oleh suatu rintangan dengan elevasi yang lebih rendah berguna untuk menunjang peningkatan perekonomian dan memperlancar mobilitas masyarakat pada daerah tersebut. Rintangan tersebut dapat berupa jalan air, jurang, ataupun jalan lalu lintas lainnya (Struyk & Van Der Veen, 1984). Jembatan juga berfungsi sebagai penahan beban lalu lintas yang berada diatasnya (AASHTO, 2013).

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis, dan estetika arsitektur yang meliputi aspek lalu lintas, aspek teknis, dan aspek estetika (Supriyadi & Muthohar, 2007).

Jembatan diharapkan untuk memenuhi beberapa tingkat kinerja, pemilik jembatan bertanggung jawab untuk menentukan tingkat kinerja yang diinginkan. Adapun persyaratan minimum untuk pembebanan berserta batasan penggunaan setiap beban, faktor beban, dan kombinasi pembebanan yang digunakan untuk perencanaan jembatan sudah ditetapkan (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

2.2 Bagian Jembatan

Secara umum jembatan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu struktur atas jembatan (*superstructure*) dan struktur bawah jembatan (*substructure*).

2.2.1 Struktur atas Jembatan

Struktur atas jembatan adalah bagian dari jembatan yang secara langusng akan menahan beban mati, beban lalu lintas, beban mati tambahan, beban truk dan lain-lain. Komponen dari struktur atas jembatan ialah,

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1. Pelat Lantai, yang berfungsi untuk mendukung beban lalu lintas yang akan diteruskan pada gelagar.
2. Gelagar, yang berfungsi untuk mendukung beban yang diterima oleh pelat lantai secara langsung dan beban mati dari jembatan itu sendiri.
3. Balok Diafragma, yang berfungsi sebagai pengaku antar gelagar untuk menahan gaya geser. Diafragma akan diperhitungkan seperti balok biasa karena tidak menumpu beban dari pelat lantai.

2.2.2 Struktur bawah Jembatan

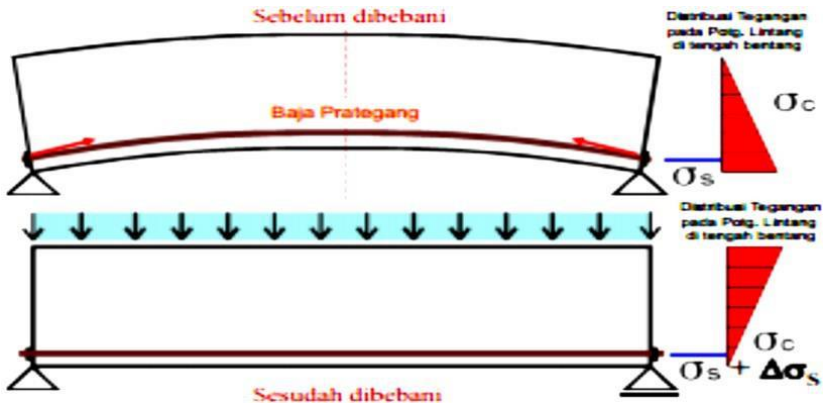
Struktur bawah jembatan merupakan bagian jembatan yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas jembatan ke tanah dasar. Komponen dari struktur bawah jembatan ialah,

1. Abutmen, yang berfungsi untuk mendukung gaya vertikal yang diakibatkan dari struktur atas jembatan yang terletak pada kedua ujung jembatan.
2. Pilar, yang berfungsi untuk mendukung gaya vertikal dan horizontal dari struktur atas jembatan yang akan diteruskan ke fondasi. Pilar terletak di titik tertentu pada bentang jembatan.
3. Fondasi, yang berfungsi untuk meneruskan gaya yang diakibatkan oleh jembatan ke tanah.

2.3 Beton Prategang

Beton prategang pada dasarnya merupakan beton di mana tegangan-tegangan dalam dengan besar dan distribusi yang sesuai diberikan sedemikian sehingga tegangan-tegangan yang dihasilkan dari beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan (Raju, 1986). Dengan demikian penggunaan beton prategang memiliki sifat lebih unggul jika dibandingkan dengan penggunaan beton bertulang biasa maupun baja. Konsep pada beton prategang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.1 Konsep beton prategang (sulistyo, 2017)

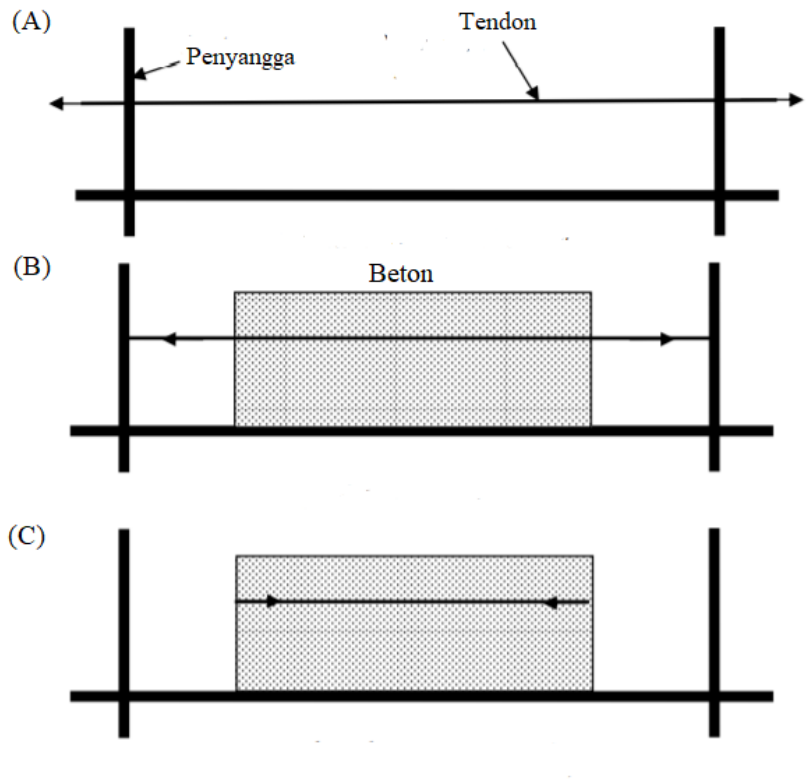
2.3.1 Sistem beton prategang

Menurut (Triwiyono, 2003) terdapat berbagai macam sistem beton prategang yang ditinjau dari berbagai segi, yaitu:

1. Menurut lekatan antara baja prategang dengan beton.
   a. *Bounded Tendon*
   Setelah penarikan kabel pada *post-tensioning*, maka dilakukan *grouting* pasta semen ke dalam lubang/selubung kabel (*duct*). Setelah bahan *grouting* mengeras dan cukup kuat, akan terjadi lekatan antar tendon dan beton di sekelilingnya.
   b. *Unbounded Tendon*
   Kabel prategang hanya dibungkus sehingga tidak ada lekatan antar baja prategang dengan beton.
2. Menurut posisi penempatan tendon.
   a. *Internal Prestressing*
   Kabel prategang berada di dalam tampang beton (tertanam di tendon).
   b. *External Prestressing*
   Kabel prategang berada di luar tampang beton. Tendon dapat berada di luar dan diletakkan berdampingan dengan beton.
3. Menurut cara penarikan
   a. Pra-penarikan (*Pre-tensioning)*
   Metode ini menggunakan kabel prategang yang kemudian diberi gaya dan di tarik terlebih dahulu sebelum dilakukan pengecoran. Pelepasan angkur

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dilakukan untuk transfer gaya prategang kedalam beton ketika beton telah mengalami pengerasan yang cukup. Metode ini sering digunakan oleh pabrik *precast*, karena dapat meningkatkan kualitas dan dapat diproduksi dengan jumlah yang banyak pada waktu yang singkat. Proses pengerjaan *pre-tensioning* dapat dijelaskan dengan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses pengerjaan *pre-tensioning*

(Sumber: Lin & Yoda, 2017)

Tahap 1: Tendon ditarik kemudian diangker pada penyangga (*abutment*).

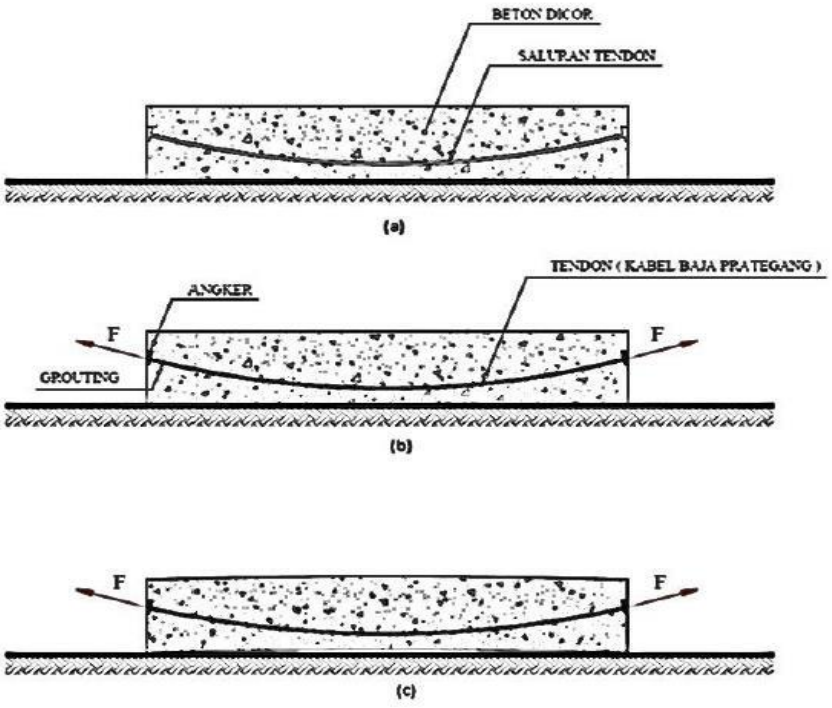
Tahap 2: Beton dicor pada cetakan yang sudah disediakan sehingga menyelimuti tendon yang sudah diberi gaya prategang.

Tahap 3: Setelah beton dianggap cukup umur dan kuat untuk menerima gaya prategang, angkur pada tendon dilepaskan, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b. Pasca penarikan (*Post-tensioning*)

Penarikan tendon dilakukan setelah beton dirasa sudah cukup kuat, kemudian dilakukan pengangkuran pada ujungnya. Proses pengerjaan p*ost-tensioning* dapat dijelaskan dengan Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses pengerjaan *post-tensioning*

Tahap 1: Pembuatan beton lengkap dengan penempatan selongsong pada lintasannya kemudian di cor.

Tahap 2: Setelah beton dianggap cukup umur, tendon dimasukkan dalam selongsong kemudian dilakukan penarikan dengan salah satu ujung diangkur kemudian pada ujung lainnya ditarik atau dengan proses penarikan yang kedua ujungmya ditarik secara bersamaan.

Tahap 3: Setelah proses penarikan selesai dilakukan pemasangan angkur pada kedua ujungnya, sehingga gaya prategang akan ditransfer ke dalam beton. Karena *duct* dipasang melengkung maka setelah penarikan gaya prategang akan menimbulkan beban merata dengan

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

arah beban searah sumbu lokal z negatif, yang mengakibatkan beton melengkung ke atass.

2.3.2 Tahap pembebanan beton prategang

Menurut (Budiadi, 2008), beton prategang mengalami beberapa tahapan pembebanan. Pada setiap tahapan pembebanan akan dilakukan pengecekan terhadap kondisi serat tekan maupun serat tarik di setiap penampang. Pada tiap tahapan berlaku tegangan izin yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi beton dan tendon. Tahapan pembebanan dibagi menjadi dua yaitu tahap transfer dan layan.

1. Tahap Transfer, tahapan ini terjadi ketika angkur dilepas dan gaya prategang di transfer pada beton. Tahap transfer pada metode pascatarik terjadi ketika beton telah cukup umur (28 hari) dan mulai dilakukan penarikan kabel prategang (*Strands*). Beban yang bekerja pada kondisi ini adalah berat sendiri dan berat akibat pengerjaan beton prategang tersebut (berat pekerja dan peralatan kerja yang digunakan). Pada tahap transfer gaya prategang bekerja maksimum dikarenakan belum terjadi kehilangan gaya prategang (*Loss of Prestress*).
2. Tahap Layan, pada tahap layan beton prategang telah digunakan sebagai komponen struktural sehingga beban transien eksternal seperti beban lingkungan, beban hidup akibat kendaraan, beban angin dan sebagainya telah bekerja. Bekerjanya beban eksternal tersebut juga akan menyebabkan kehilangan gaya prategang (*Loss of Prestress*). Kehilangan gaya prategang yang terjadi harus diperhitungkan karena akan mempengaruhi gaya prategang yang terjadi.

2.4 Jembatan Gelagar profil I

2.4.1 Konsep gelagar profil I

Jembatan gelagar profil I atau biasa disebut dengan *PC-I Girder* merupakan jembatan dengan komponen utamanya gelagar berpenampang balok-I dengan penampang bagian tengah lebih langsing dari bagian pinggirnya yang disusun

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sejajar dengan posisi memanjang searah jembatan. Gelagar I adalah jenis gelagar yang paling umum digunakan pada konstruksi jembatan (Caltrans, 2015)

2.4.2 Tahap Konstruksi gelagar I

Secara umum, pekerjaan konstruksi struktur atas jembatan berpenampang gelagar I dibagi dalam 3 tahap (Caltrans, 2015), yakni:

a. Tahap I: Transfer tegangan pada gelagar I

   Dilakukan penegangan pada tendon, yang dimana tegangan tersebut ditransfer ke gelagar beton sebagai gaya prategang baik itu menggunakan sistem *pre-tensioning* maupun *post-tensioning*. Beban yang bekerja pada struktur hanya beban akibat bert sendiri gelagar.

b. Tahap II A: Ereksi gelagar dan pengecoran pelat lantai

   Gelagar yang sudah dibri gaya prategang dibawa ke lokasi pekerjaan dan dilakukan pengangkatan ke atas tumpuan struktur. Setelah itu dilakukan pengecoran beton untuk pelat lantai dan diafragma secara bertahap. Beban yang bekerja pada struktur di tahap ini berupa berat sendiri gelagar, pelat lantai, diafragma, dan beban sementara akibat mesin yang bekerja.

c. Tahap II B: Penerapan beban mati tambahan

   Setelah pelat lantai beton mencapai kekuatan yang disyaratkan, dilakukan pekerjaan penghamparan lapis perkerasan, trotoar, median, serta pemasangan *railing.* Pekerjaan di atas termasuk dalam beban-beban mati tambahan.

d. Tahap III: Pembukaan jalan untuk lalu lintas (layan)

   Jembatan sudah dioperasikan untuk umum. Struktur menjadi menerima beban hidup yang berasal dari berat kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki dan akan juga menerima pengaruh aksi lingkungan, yakni beban angin, beban temperatur dan pertimbangan atas kemungkinan terjadinya beban gempa.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.5 CSiBridge

CSiBridge merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk perancangan grafis pemodelan, analisis dan desain dari suatu jembatan. Perangkat ini mengotomatiskan proses sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi pengguna serta dapat disematkan dengan aplikasi yang lain.

Penggunaan CSiBridge pada penelitian ini menggunakan 3 tahapan. Tahapan tersebut diantaranya tahapan pemodelan yang berfungsi untuk mendesain komponen pada struktur, tahapan pembebanan yang berfungsi untuk melakukan pembebanan sesuai dengan peraturan terkait, dan tahapan *running* yang berfungsi untuk mengetahui hasil pembebanan berupa gaya geser dan momen maksimum.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB 3
LANDASAN TEORI

3.1 Pedoman Analisis Jembatan Gelagar PCI

Acuan yang digunakan dalam analisis desain jembatan STA 48+939.068 Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat, dengan tipe jembatan PCI Girder, adalah:

1. SNI 2833:2016 Peraturan ini digunakan untuk menentukan pembebanan gempa pada analisis menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel.*
2. SNI 1725:2016 Peraturan ini digunakan untuk menentukan kombinasi pembebanan pada jembatan.
3. SNI 2847:2013. Peraturan ini digunakan untuk menghitung batas batas ultimit gelagar prategang.
4. AASHTO LRFD 2014. *Bridge Design Spesification.* Peraturan ini digunakan untuk perhitungan kehilangan gaya prategang, ketentuan tegangan izin, dan penentuan kondisi batas ultimit.
5. MKBM 2011 dan RSNI T-12-2004. Peraturan ini digunakan untuk kontrol lendutan maksimum sesuai dengan jenis elemen dan defleksi yang ditinjau.

3.2 Analisis Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan Jembatan

Berdasarkan pada SNI 1725:2016 pembebanan yang diperhitungkan pada analisis struktur jembatan berupa beban akibat berat sendiri (MS), berat mati tambahan (MA), beban truk (TT), beban lajur (TD), beban akibat gaya rem (TB), beban pejalan kaki (TP), beban angin (EW), beban gempa (EQ), pengaruh prategang (PR) dan beban akibat susut-rangkak (SH). Untuk lebih detailnya akan dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1 Beban Akibat Berat Sendiri (MS)

Menurut pasal 7.2 SNI 1725:2016. Berat sendiri merupakan beban yang terjadi akibat berat jembatan tersebut dan elemen struktural lain. Faktor beban yang digunakan untuk menghitung beban akibat berat sendiri terdapat pada Tabel 3.1.

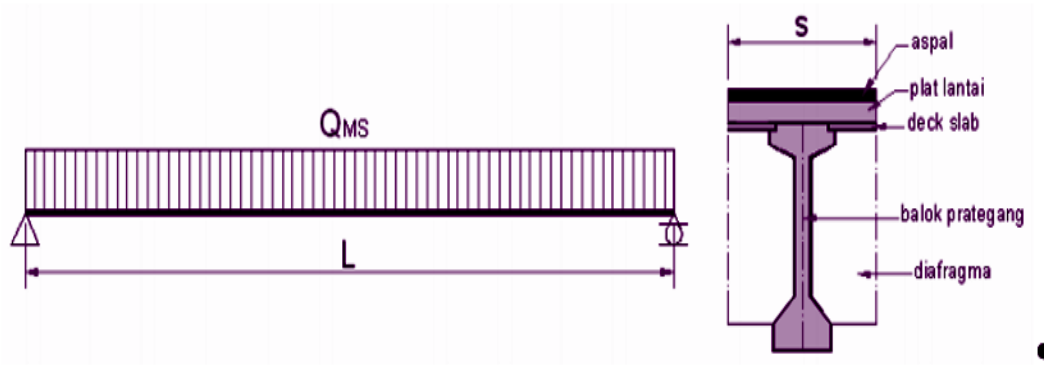
UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.1 Faktor beban untuk berat sendiri

(Sumber: SNI 1725:2016)

	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 cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Berat sendiri adalah berat bagian jembatan dan elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap. Berat sendiri dihitung dari berat masing-masing elemen dikalikan dengan volume material.



Gambar 3.1 Aplikasi beban akibat berat sendiri pada struktur

3.2.2 Beban Akibat Berat Tambahan (MA)

Berdasarkan SNI 1725:2016. Berat mati tambahan (MA) merupakan berat komponen nonstruktural pada jembatan, dan besarnya dapat berubah terhadap umur jembatan. Faktor beban yang digunakan untuk menghitung beban akibat berat tambahan terdapat pada Tabel 3.2.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.2 Faktor beban akibat beban mati tambahan

(Sumber : SNI 1725:2016)

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)]	2,00	0,70
	Khusus	1,00	1,40	0,80
Catatan [(1)]: Faktor beban layan sebesar 1,30 dugunakan untuk berat utilitas				

3.2.3 Beban Lajur (TD)

Sesuai dengan SNI 1725:2016 beban lajur tersusun atas beban terbagi merata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) yang bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan. Beban lajur merupakan hasil tambah dari kedua beban tersebut.

Beban terbagi merata (BTR) diletakkan di sepanjang lajur. Besarnya dipengaruhi oleh panjang bentang jembatan yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

Untuk L≤ 30 *m*:

$$q = 8{,}0\,\frac{kN}{m^2} \tag{3.4}$$

Untuk L >30 *m*:

$$q = 8{,}0\ \times \frac{\left(0.5+\frac{15}{L}\right)kN}{m^2} \tag{3.5}$$

Keterangan:

q = Intensitas BTR searah bentang jembatan (kN/m^2)

L = Panjang bentang jembatan (m)

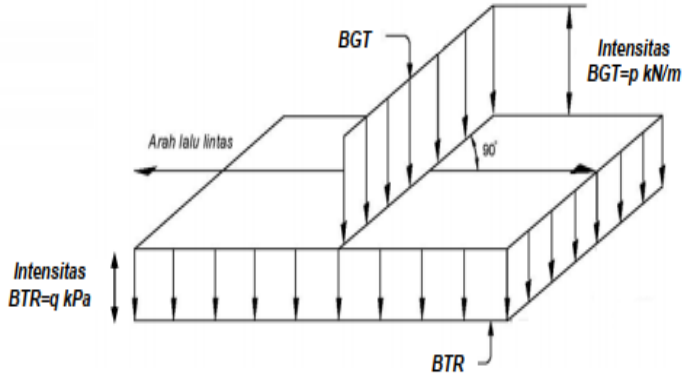
beban garis terpusat (BGT) ditempatkan tegak lurus terhadap arus lalu lintas dengan intensitas sebesar p = 49,0 *kN/m*. Faktor beban yang digunakan untuk menghitung beban lajur terdapat pada Tabel 3.3.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.3 Faktor beban akibat beban lajur "D"

(Sumber: SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^{S})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^{U})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00



Gambar 3.2 Ilustrasi beban lajur terbagi rata dan beban garis terpusat

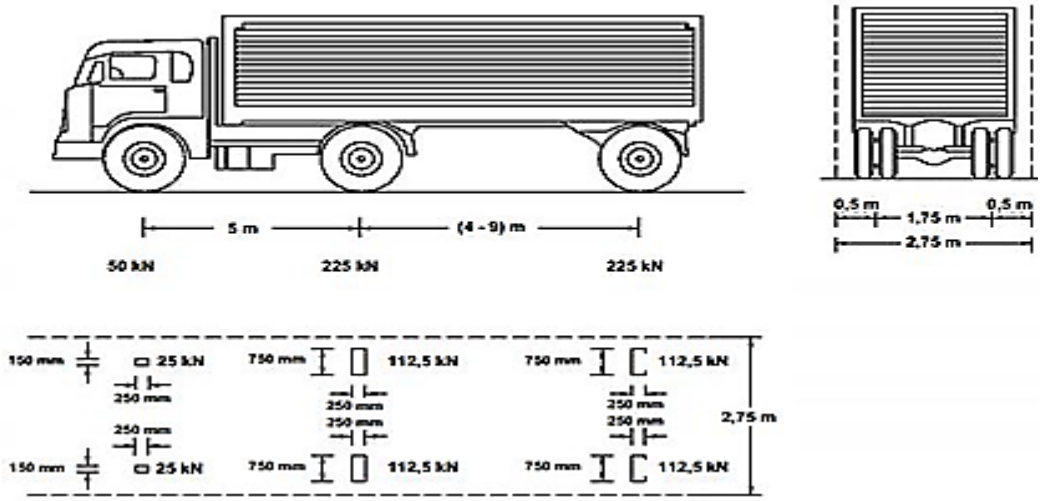
(Sumber: SNI 1725:2016)

3.2.4 Beban truk (TT)

Beban truk diatur letaknya dan jarak antar gandar dapat diubah antara 4 sampai 9 m supaya menyebabkan momen atau gaya geser maksimum. Beban truk diasumsikan sebagai *moving loads* supaya diapat garis pengaruh momen dan gaya geser (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Beban truk dimodelkan sebagai kendaraan truk *semi-trailer* dengan susunan berat gandar seperti pada Gambar 3.3.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.3 Pembebanan truk

(Sumber: SNI 1725:2016*)*

Antara beban lajur (TD) dan beban truk (TT) hanya dipilih salah satu yang memiliki pengaruh terbesar terhadap gelagar. Adapun faktor beban yang digunakan untuk menghitung beban truk dapat dijelaskan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor beban untuk beban truk

(Sumber: SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TT})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^{S})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^{U})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

3.2.5 Beban akibat gaya rem (TB)

Berdasarkan SNI 1725:2016, gaya rem terjadi akibat gaya horizontal pengereman kendaraan. Gaya rem harus diambil terbesar antara:

1. 25% berat gandar truk rencana dan,
2. 5% berat truk rencana dan berat lajur terbagi rata.

Gaya rem ditempatkan pada semua lajur rencana yang dibebani oleh lalu lintas. Sehingga gaya rem diasumsikan bekerja horizontal pada jarak 1,8m diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.6 Beban Gempa (EQ)

Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan, jenis beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2016. Beban gempa di perhitungkan sebagai gaya horizontal sebagai berikut:

$$Eq = \frac{Csm}{R_d} \times Wt \qquad (3.6)$$

Keterangan:

Eq = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respon gempa elastis,

R_d = faktor modifikasi respons,

W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

C_{sm} diperoleh berdasarkan spektrum percepatan yang sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang didapatkan dari peta gempa dikalikan dengan faktor amplifikasi berdasarkan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah jembatan. Berikut merupakan tabel besar koefisien percepatan.

Tabel 3.5 Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik

Kelas situs	$S_1 \leq 0{,}1$	$S_1 = 0{,}2$	$S_1 = 0{,}3$	$S_1 = 0{,}4$	$S_S \geq 0{,}5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: SNI 2833:2016)

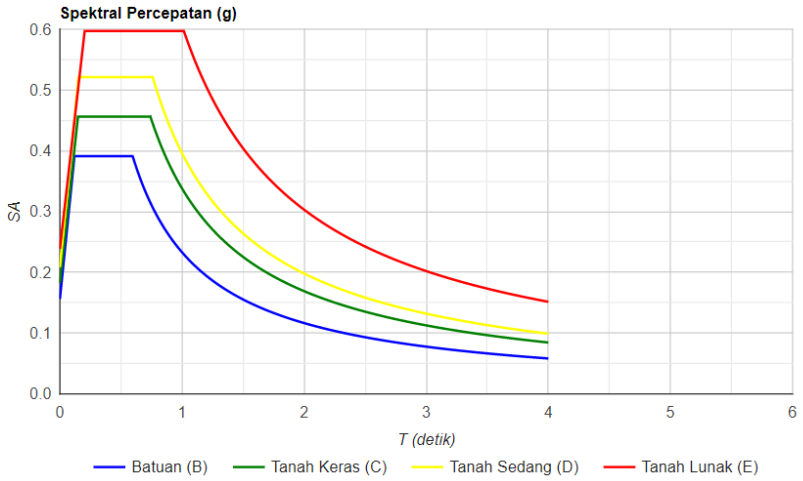
Keterangan:

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

S_1: adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

SS: lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Berdasarkan SNI 2833:2016, beban gempa diperhitungkan dari respon spektra permukaan tanah. Pada analisis ini data respon spektra diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (PUSKIM) dimana lokasi yang ditinjau tiada lain adalah lokasi jembatan yang terletak di kabupaten Simalungun dengan koordinat 3º1'45.62"LU - 99º2'58.82"BT. Respon spektrum untuk Kabupaten Simalungun dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Respon spektrum untuk wilayah Kabupaten Simalungun

(Sumber: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)

3.2.7 Beban Pejalan Kaki (TP)

Menurut SNI 1725:2016, untuk trotoar yang mempunyai lebar lebih dari 600mm maka diasumsikan memikul beban pejalan kaki sebesar 5 kPa dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan.

3.2.8 Beban Angin (EW)

Beban angin dianggap sebagai beban horizontal terdistribusi rata setinggi balok hingga ujung parapat. Arah angin datang dianggap tegak lurus terhadap sumbu

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

memanjang jembatan atau sejajar dengan sumbu melintang jembatan. Beban angin kemudian di transformasikan menjadi beban garis memanjang sepanjang jembatan dengan sumbu lokal minus z (gaya angin bekerja ke bawah) dengan asumsi bahwa gaya horizontal yang di tahan oleh luasan pada sisi jembatan tersebut memiliki lengan terhadap plat lantai jembatan dan terakumulasi menjadi gaya himpit yang dimodelkan sebagai beban garis terbagi rata.

3.2.8.1 Tekanan angin horizontal

Menurut SNI 1725:2016, Tekanan angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diperhitungkan dengan asumsi terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Permukaan yang disebut diatas ialah luasan dari semua komponen yang tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap jembatan.

Untuk jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10m diatas permukaan tanah atau air, kecepatan angin rencana dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{DZ} = 2{,}5\, V_o \left(\frac{V_{10}}{V_b}\right) \ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right) \qquad (3.7)$$

Besarnya V_0 dan Z_0 dapat dilihat pada Tabel 3.6.

V_{DZ} : adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_{10} : adalah kecepatan angin pada elevasi 10m diatas permukaan tanah (km/jam)

V_B : adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam (km/jam)

Z : adalah elevasi struktur dari permukaan tanah (Z>10000 mm) (mm)

V_o : adalah kecepatan gesekan angin km/jam)

Z_o : adalah panjang gesekan angin untuk berbagai macam tipe jembatan (mm)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.6 V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

(Sumber: BSN, 2016)

3.2.8.2 Tekanan angin vertikal

Jembatan harus memikul beban garis memanjang jembatan yang mempresentasikan gaya angin vertikal. Pada kasus ini pembebanan dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang pada jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan tekanan angin horizontal.

3.2.8.3 Beban angin pada struktur (EWs)

Menurut Pasal 9.6 SNI 1725:2016, Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2 \quad (3.8)$$

keterangan:

P_D = tekanan angin rencana (kN)

P_B = tekanan angin dasar (kN)

V_{DZ} = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_B = adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam (km/jam)

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. Untuk besarnya nilai angin tekan dan hisap dapat dilihat pada Tabel 3.7. dan tekanan angin dasar pada Tabel 3.8.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.7 Nilai angin tekan dan angin hisap

(Sumber: BSN, 2016)

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

Tabel 3.8 Tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang

Sudut Serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
Derajat	Beban lateral	Beban longitudinal	Beban lateral	Beban longitudinal
	MPa	MPa	MPa	MPa
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

(Sumber: BSN, 2016)

3.2.8.4 Gaya angin pada kendaraan (EWl)

Selain tekanan angin pada struktur, jembatan juga harus mampu memikul tekanan angin pada kendaraan yang menurut pasal 9.6.1.2 SNI 1725:2016 meliputi tekanan menerus sebesar 1,46 kN/mm, dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 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

(Sumber: BSN, 2016)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.9 Pengaruh prategang

Menurut SNI 1725:2016 pasal 9.3.3, Pengaruh utama prategang adalah sebagai berikut:

1. Pada keadaan batas daya layan, gaya prategang dapat dianggap bekerja sebagai suatu sistem beban pada unsur. Nilai rencana dari beban prategang tersebut harus diperhitungkan menggunakan faktor beban daya layan sesuai dengan Tabel 3.10
   a. Pada kondisi transfer, beban prategang diambil yang terkecil dari kedua persamaan berikut:
      Gaya prategang pada serat atas

$$P_t = \frac{M_{balok}}{\left(e_s - \frac{W_a}{A}\right)} \quad (3.9)$$

      Gaya prategang pada serat bawah

$$P_t = \frac{(0.45 \text{ x } fc_i' * W_b + M_{balok})}{\left(\frac{W_b}{A} + e_s\right)} \quad (3.10)$$

      keterangan:

      P_t = Gaya prategang awal pada balok (kN)
      M_{balok} = Momen akibat berat sendiri balok (kNm)
      e_s = Eksentrisitas tendon (m)
      fc_i' = Kuat tekan beton pada kondisi awal (transfer) (MPa)
      W_a = Tahanan momen sisi atas (m^3)
      W_b = Tahanan momen sisi bawah (m^3)
      A = Luas penampang balok prategang (m^2)
   b. Pada saat kondisi layan, beban prategang dihitung dengan persamaan berikut

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$P_{Eff} = f_{eff}(A_{st} \times n_s) \quad (3.11)$$

dimana,

$$f_{eff} = f_{pj} - \Delta fT \quad (3.12)$$

keterangan:

A_{st} = Luas tampang nominal satu *strand* (m^2)

n_s = Jumlah *strands* (buah)

P_{eff} = Gaya prategang efektif (MPa)

f_{eff} = Tegangan efektif setelah kehilangan prategang (MPa)

f_{pj} = Tegangan pada saat *Jacking* (MPa)

ΔfT = Kehilangan total prategang (MPa)

2. Pada keadaan batas ultimit, pengaruh sekunder akibat gaya prategang harus dianggap sebagai beban yang bekerja. Beban yang bekerja ini di definisikan dengan persamaan (3.11) diatas. Sehingga factor beban akibat pengaruh prategang dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Faktor beban akibat pengaruh prategang

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{PR})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{PR}^{S})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PR}^{U})
Tetap	1,00	1,00

(Sumber: BSN, 2016)

3.2.10 Pengaruh susut-rangkak

Pengaruh rangkak dan penyusutan dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan dapat mengurangi pengaruh beban lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil pada saat kondisi minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang). (Badan Standardisasi Nasional, 2016) Rangkak berakibat pada deformasi batang yang terjadi seiring berjalanya waktu. Deformasi ini berpotensi menyebabkan *cracking*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang terjadi secara kontinyu, Parameter kontrol untuk menghindari *cracking* tersebut adalah dengan membandingkan tegangan akibat rangkak yang terjadi dengan tegangan ijin yang diperbolehkan menurut ACI 318-19 yang akan dijelaskan pada subbab 3.5.1.

3.3 Kombinasi Pembebanan pada Jembatan

Menurut SNI 1725:2016, kombinasi pembebanan jembatan merupakan akumulasi gaya total terfaktor akibat beban yang bekerja. Faktor beban harus dipilih sedemikian rupa untuk menghasilkan kondisi akibat beban yang bekerja. Dengan demikian kombinasi beban-beban ekstrem dapat ditentukan sebagai berikut:

Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal dengan tanpa memperhitungkan beban akibat angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan sengan 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 memperhitungkan 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 yang berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Ekstrem I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan kemungkinan terjadinya gempa. Faktor beban hidup yang mempertimbangkan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

Ekstrem II : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup terkurangi dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, 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 yang mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada goronggorong 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.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Fatik : Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Pada konsidi *fatique*, gaya prategang mengalami penurunan signifikan yang diakibatkan oleh kehilangan prategang jangka panjang yang terjadi secara kontinyu. Mengacu pada SNI 2847:2013 Parameter kontrol untuk menghindari kegagalan struktur akibat fatik adalah dengan membatasi tegangan akibat *jacking* pada tendon tidak melebihi 80 persen supaya tidak mempercepat proses relaksasi baja prategang. Selain itu kontrol dilakukan dengan membandingkan tegangan ijin menurut ACI 318-19 yang diperbolehkan dengan tegangan aktual yang terjadi pada kondisi layan untuk menghindari *cracking*.

Faktor pengali untuk kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1725:2016 tersebut disebutkan dalam Tabel 3.11.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010
JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.11 Kombinasi pembebanan

(Sumber : BSN, 2016)

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW_S	EW_L	BF	EU_n	TG	ES	*Gunakan salah satu*		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_P	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_P	1,4	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	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	0,50/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan:

γ_P : dapat berupa $\gamma_{MS}, \gamma_{MA}, \gamma_{TA}, \gamma_{PR}, \gamma_{PL}, \gamma_{SH}$ tergantung beban yang ditinjau (lihat pada Poin 3.1.2 dan 3.1.3)

γ_{EQ} : faktor beban hidup kondisi gempa

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Keterangan:

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 akibat proses pelaksanaan konstruksi struktur jembatan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statikayang terjadi pada konstruksi segmental

PR = prategang

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 = beban akibat temperature gradien

EU_n = beban akibat temperature seragam

EF = gaya apung

EW_S = beban angin pada struktur

EW_L = beban angin pada kendaraan

EU = beban arus dan hanyutan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada baja prategang pada tiap tahap pembebanan. Menurut SNI 7833:2012 pasal 6.6, Kehilangan prategang sebenarnya, apakah lebih besar atau lebih kecil dari nilai-nilai hasil perhitungan, berpengaruh kecil atas kekuatan desain komponen, namun mempengaruhi perilaku beban layan (defleksi, lawan lendut, beban retak) dan sambungan. Pada beban layan, penaksiran keehilangan prategang yang berlebihan boleh jadi separah penaksiran yang kurang, karena yang terakhir ini dapat menimbulkan camber dan pergerakan horizontal yang berlebihan.

Kehilangan gaya prategang dapat dikelompokkan menjadi dua berdasarkan waktu terjadinya (Triwiyono, 2003),yaitu :

1. Kehilangan gaya prategang jangka pendek, disebabkan oleh:
   a. Perpendekan elastis beton (*Elastic shortening*).
   b. Gesekan pada tendon (*Friction*).
   c. Slip pada pengangkuran (*Anchorage Slip*).
2. Kehilangan gaya prategang jangka panjang, disebabkan oleh:
   a. Susut beton (*Shrinkage*).
   b. Rangkak beton (*Creep*).
   c. Relaksasi tegangan baja (*Relaxation*).

3.4.1 Kehilangan prategang jangka pendek

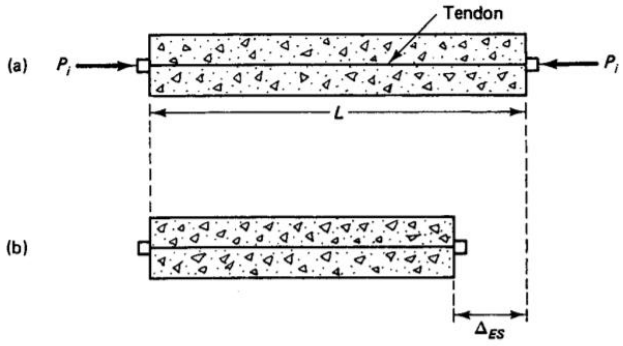
Kehilangan prategang jangka pendek disebut begitu karena parameter yang mempengaruhi kehilangan prategang ini tidak dipengaruhi oleh waktu (*time independent*), dan kehilangan prategang terjadi secara langsung. (Gilbert, et al., 2017). Contoh kehilangan prategang jangka pendek adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton.
2. Kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon.
3. Kehilangan prategang akibat slip pada pengangkuran.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4.1.1 Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton

Pada saat kondisi transfer, terjadi perpendekan beton secara serempak bersamaan dengan baja prategang yang tertanam pada beton prategang. Perpendekan ini mengakibatkan baja prategang mengalami kehilangan Sebagian gaya prategang yang dipikulnya (Nawy, 2010). Ilustrasi perpendekan elastis beton dapat dilihat pada Gambal 3.5.



Gambar 3.5 Perpendekan elastis beton

(Sumber: Nawy, 2010)

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis dipengaruhi oleh rasio modular, dan tegangan pada penampang beton yang letaknya sama dengan dengan letak tendon. Perhitungan kehilangan prategang akibat perpendekan elastis diperhitungkan sebagai berikut:

1. Untuk beton prategang pratarik

$$\Delta f_{ES} = n\, f_{cs} \tag{3.13}$$

dengan,

$$n = \frac{E_s}{E_c} \tag{3.14}$$

(5.9.5.2.3a-1 AASHTO LRFD 2014)

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Keterangan:

Δf_{ES} =Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton (MPa)

f_{cs} =Tegangan baja akibat adanya eksentrisitas terhadap pusat penampang (MPa)

n =Rasio modular

E_s =Modulus elastisitas baja prategang (MPa)

E_c =Modulus elastisitas beton (MPa)

2. Untuk beton prategang pascatarik

$$\boldsymbol{\Delta f_{ES} = \frac{N-1}{2N} \frac{E_p}{E_c} f_{cs}} \quad (3.15)$$

(5.9.5.2.3b-1 AASHTO LRFD 2014)

dimana,

$$\boldsymbol{N = N_1 + N_2 \frac{A_{sp2}}{A_{sp1}}} \quad (3.16)$$

(C5.9.5.2.3b-2 AASHTO LRFD 2014)

Keterangan:

Δf_{ES} =Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton (MPa)

f_{cs} =Tegangan baja akibat adanya eksentrisitas terhadap pusat penampang. (MPa)

E_s =Modulus elastisitas baja prategang. (MPa)

E_c =Modulus elastisitas beton. (MPa)

N =Jumlah baja prategang identik. (buah)

N_1 =Jumlah baja prategang dengan jumlah *strands* sama jenis pertama. (buah)

N_2 =Jumlah baja prategang dengan jumlah *strands* sama jenis kedua. (buah)

A_{sp2} =Luas penampang tendon dengan jumlah *strands* sama jenis kedua. (m^2)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A_{sp1} =Luas penampang tendon dengan jumlah *strands* sama jenis pertama (m^2)

3.4.1.2 Kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon

Kehilangan prategang ini disebabkan oleh friksi yang terjadi pada sepanjang lintasan tendon karena geometri lintasan tendon yang disebut *Curvature Effect* dan deviasi lokal pada tendon yang dikenal dengan istilah *Wobble effect.* (Chen & Duan, 2014).

Gesekan *Wobble (Wobble Effect)* terjadi akibat pergerakan geser tendon di sepanjang *duct* (pipa saluran) pada lintasan tendon, gesekan *Wobble* dipengaruhi oleh jenis *duct* yang digunakan dan ketidakselarasan letak pipa saluran pada masa konstruksi. (Dolan & Hamilton, 2019). Nilai koefisian Wobble dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon internal diperhitungkan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{\Delta f_{pF} = f_{pj}(1 - e^{-(\mu\alpha + KL)})} \quad (3.17)$$

Keterangan:

Δf_{pF} =Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon (MPa)
f_{pj} =Tegangan baja prategang pada saat *jacking* (MPa)
e =Nilai dasar logaritmik *naveria*
μ =Koefisien friksi, dilihat pada table
α =Perubahan sudut total dari profil *layout* kabel dalam radian dari titik *Jacking* (^{o})
K =Koefisien *Wobble.*
L =Panjang baja prategang diukur dari titik *Jacking*. (m)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

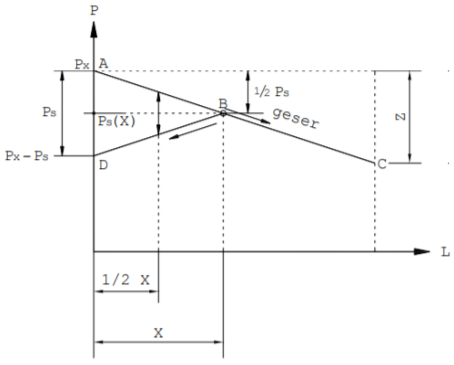
Tabel 3.12 Nilai koefisien *wobble* dan koefisien friksi

Type of Steel	*Type of Duct*	K	μ
Wire or strand	*Rigid or semirigid galvanized metal sheathing*	0.0002	0,15-0,25
	Polyethylene	0.0002	0,23
	Rigid steel pipe deviators for external tendons	0.0002	0,25
High strength bars	*Galvanized metal sheathing*	0.0002	0,30

(*Sumber: AASHTO, 2014)*

3.4.1.3 Slip pada pengangkuran

Slip pada pengangkuran disebabkan oleh pergerakan tendon saat dilepas dari mesin penarik yang menyebabkan slipnya baji baji angkur. (AASHTO, 2013).



Gambar 3.6 Diagram kehilangan tegangan akibat slip pada pengangkuran

(Sumber: Soetoyo, 2002)

Garis ABC adalah tegangan pada baja prategang sebelum pengangkuran. Garis DB adalah tegangan pada baja prategang setelah pengangkuran. Di sepanjang bentangan L terjadi penurunan tegangan pada ujung pengangkuran dan gaya geser berubah arah pada suatu titik yang berjarak X (Soetoyo, 2002).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kehilangan prategang akibat slip angkur dapat ditentukan dengan pendekatan rumus sebagai berikut:

$$\Delta f_A = \frac{2dx}{L} \tag{3.18}$$

dimana

$$x = \sqrt{\frac{E(\Delta L)L}{d}} \tag{3.19}$$

keterangan:

Δf_A =gaya kehilangan prategang akibat slip angkur (MPa)

D =kehilangan akibat friksi pada jarak L dari titik penarikan (m)

x =panjang yang terpengaruh oleh slip angkur (m)

L =jarak antara titik penarikan (*jacking*) dengan titik di mana kehilangan diketahui (m)

ΔL =slip angkur, nilainya 3-10 mm.(m)

3.4.2 Kehilangan Prategang Jangka Panjang

Kehilangan prategang jangka panjang disebut begitu karena kehilangan prategang terjadi seiring dengan berjalannya waktu, dengan kata lain kehilangan prategang jangka panjang dipengaruhi oleh besaran waktu (*time dependent*). Kehilangan prategang jangka panjang disebabkan oleh:

1. Kehilangan prategang akibat susut beton (*shrinkage*)
2. Kehilangan prategang akibat rayap beton (*creep)*
3. Relaksasi baja prategang (*relaxation*)

3.4.2.1 Kehilangan Prategang Akibat Susut Beton (*Shrinkage*)

Penyusutan beton adalah perubahan volume campuran semen dikarenakan proses hidrasi yang terjadi. Penyusutan terjadi ketika air keluar dari campuran semen pada

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

proses *curing*. *Curing* melibatkan reaksi kimia yang terjadi antara air dengan semen. Volume akhir semen yang telah terhidrasi akan mengalami pengurangan jika dibandingkan dengan kedua unsur awalnya. Karena itu penyusutan terjadi selama umur rencana struktur dengan presentase paling besar terjadi pada tahun pertama.

Kehilangan prategang akibat penyusutan diperhitungkan sebagai berikut:

$$\Delta f_{pSR} = \varepsilon_{bid} E_p K_{id} \tag{3.20}$$

(5.9.5.4.2a-1 AASHTO LRFD 2014)

dimana,

$$K_{id} = \frac{1}{1 + \frac{E_p}{E_{ci}} \frac{A_{ps}}{A_g} \left(1 + \frac{A_g e_{pg}^2}{I_g}\right) [1 + 0.7\psi(t, ti)]} \tag{3.21}$$

Dimana,

$$\varepsilon_{bid} = k_s k_{hs} k_f k_{td} 0.48 \times 10^{-3} \tag{3.22}$$

$$\psi(t, ti) = 1.9 k_s k_{hc} k_f k_{td} 1^{-0.118} \tag{3.23}$$

dimana,

$$k_s = 1.45 - 0.13 \left(\frac{V}{S}\right) \geq 1 \tag{3.24}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$k_{hs} = 2.00 - 0.014H \tag{3.25}$$

$$k_f = \frac{5}{1 + f'_{ci}} \tag{3.26}$$

$$k_{td} = \frac{t}{61 - 4f'_{ci} + t} \tag{3.27}$$

$$k_{hc} = 1.56 - 0.008H \tag{3.28}$$

Keterangan:

Δf_{pSR} = Kehilangan prategang akibat slip penyusutan (MPa)

ε_{bid} = Regangan susut gelagar antara kondisi transfer dan *deck placement.*

K_{id} = Koefisien transformasi penampang.

E_{pg} = Eksentrisitas gaya prategang (m)

$\psi(ti)$ = Koefisien rangkak.

k_s = Koefisien pengaruh rasio volume, luas permukaan.

k_f = Koefisien kuat beton.

k_{hs} = Koefisien kelembapan untuk penyusutan.

k_{hc} = Koefisien kelembapan untuk rangkak

k_{td} = Koefisien pengaruh waktu

H = Nilai kelembapan relatif dalam persen (%)

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

E_p = Modulus elastisitas baja prategang (MPa)

E_{ci} = Modulus elastisitas beton gelagar (MPa)mn

3.4.2.2 Kehilangan prategang akibat rangkak beton (*creep*)

Rangkak adalah kondisi dimana batang mengalami deformasi secara kontinyu yang diakibatkan oleh beban yang bekerja secara berkelanjutan. (Gilbert, et al., 2017) Perhitungan kehilangan prategang akibat rangkak beton adalah sebagai berikut:

$$\Delta f_{pCR} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cr} \psi(t, ti) K_{id} \tag{3.29}$$

(5.9.5.4.2b-1 AASHTO LRFD 2014)

Keterangan:

Δf_{pCR} = Kehilangan prategang akibat rangkak (MPa)

f_{cr} = Tegangan akibat rangkak (MPa)

$\psi(ti)$ = Koefisien rangkak

K_{id} = Koefisien transformasi penampang

E_p = Modulus elastisitas baja prategang (MPa)

E_{ci} = Modulus elastisitas beton gelagar (MPa)

3.4.2.3 Kehilangan prategang akibat relaksasi baja (*relaxation*)

Sama halnya seperti beton yang mengalami deformasi seiring berjalanya waktu akibat rangkak (*Creep*), baja prategang mengalami hal serupa yang disebut relaksasi. Jika regangan yang terjadi pada baja dianggap konstan, maka tegangan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang dibutuhkan untuk menghasilkan regangan tersebut akan berkurang seiring dengan berjalanya waktu. (Bhatt, 2017).

Dari situ dapat disimpulkan bahwa relaksasi adalah proses kehilangan tegangan pada baja prategang seiring berjalanya waktu jika regangan yang terjadi dianggap konstan.

Perhitungan empiris yang digunakan untuk relaksasi adalah sebagai berikut:

$$\Delta f_{pRI} = \left[\frac{f_{pi}}{K_L}\frac{\log(24_t)}{\log(24_{ti})}\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0.55\right)\right](K_{sc})K_{id} \quad (3.30)$$

(C5.9.5.4.2c-1 AASHTO LRFD 2014)

dimana,

$$K_{sc} = \left[1 - \frac{3(\Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSR})}{f_{pi}}\right]K_{id} \quad (3.31)$$

Keterangan:

Δf_{pRI} = Kehilangan prategang akibat relaksasi (MPa)

f_{pi} = Gaya prategang inisial (MPa)

f_{py} = Tegangan leleh *strand* (MPa)

t = Waktu awal penempatan *deck* (hari)

ti = Waktu yang ditinjau setalah penempatan *deck* (hari)

K_{sc} = Koefisien pengaruh susut-rangkak

K_{id} = Koefisien transformasi penampang

Δf_{pCR} = Kehilangan prategang akibat rangkak (MPa)

Δf_{pSR} = Kehilangan prategang akibat slip penyusutan.(MPa)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4.3 Kehilangan total prategang

Perbedaan metode pada system pratarik dan pascatarik akan menghasilkan kehilangan gaya prategang total yang berbeda juga. Perhitungan kehilangan total gaya prategang dihitung dengan persamaan berikut:

1. Untuk Pratarik

$$\Delta f_T = \Delta f_{ES} + \Delta f_{pLt} \quad (3.32)$$

(5.9.5.1-1 AASHTO LRFD 2014)

dimana,

$$\Delta f_{pLT} = \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSR} + \Delta f_{pRI} \quad (3.33)$$

Keterangan:

Δf_T = Kehilangan total prategang (MPa)

Δf_{ES} = Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis (MPa)

Δf_{pLt} = Kehilangan prategang jangka panjang (MPa)

Δf_{pCR} = Kehilangan prategang akibat rangkak beton (MPa)

Δf_{pSR} = Kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

Δf_{pRI} = Kehilangan prategang akibat relaksasi baja prategang (MPa)

2. Untuk Pascatarik

$$\Delta f_T = \Delta f_{ES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_A + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSR} + \Delta f_{pRI} \quad (3.34)$$

(5.9.5.1-2 AASHTO LRFD 2014)

Keterangan:

Δf_T = Kehilangan total prategang (MPa)

Δf_{ES} = Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis (MPa)

Δf_{pF} = Kehilangan prategang akibat gesekan di sepanjang tendon (MPa)

Δf_A = Kehilangan prategang akibat slip pada angkur (MPa)

Δf_{pCR} = Kehilangan prategang akibat rangkak beton (MPa)

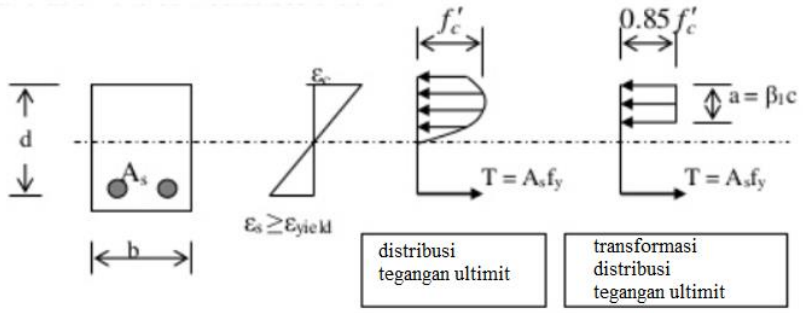
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Δf_{pSR} = Kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

Δf_{pRI} = Kehilangan prategang akibat relaksasi baja prategang (MPa)

3.5 Perencanaan Balok Prategang Berdasarkan Batas Ultimit

Pada batas ultimit distribusi tegangan yang terjadi tifak linier melainkan berbentuk parabolik. Dengan bentuk parabolik, perhitungan tegangan aktual akan menjadi lebih sulit. Maka dari itu, untuk mempermudah perhitungan tegangan, area parabolik tegangan ultimit dapat di transformasikan menjadi blok persegi panjang yang setara nilainya. (Whitney, 1937).



Gambar 3.7 Tegangan terdistribusi hasil transformasi Whitney

(Sumber: https://www.slideshare.net/MuthannaAbbu/lec5-strength-design-method-rectangular-sections-1*)*

Whitney (1937) melakukan perubahan pada kuat tekan beton yang ada dan di transformasikan menjadi sebesar 0.85 f_c' dengan kedalaman sebesar a.

Kedalaman a dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\boldsymbol{a = \beta_1 c} \tag{3.62}$$

Dengan,

$$\boldsymbol{\beta_1 = 0.85} \quad \text{untuk} \quad \boldsymbol{f'_c \leq 30MPa} \tag{3.63}$$

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\boldsymbol{\beta_1 = 0.85 - 0.008\,(f'_c - 30)} \quad \text{untuk} \quad \boldsymbol{30MPa \le f'_c \le 55MPa} \tag{3.64}$$

$$\boldsymbol{\beta_1 = 0.65} \quad \text{untuk} \quad \boldsymbol{f'_c \ge 55MPa} \tag{3.65}$$

Keterangan:

a = Jarak tendon ke alas penampang pada titik tinjauan (m)

β_1 = Koefisien transformasi

c = Jarak tendon ke ujung gelagar pada titik tinjauan (m)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

3.5.1 Perencanaan untuk kekuatan lentur

1. Tegangan nominal tendon

   Mengacu pada SNI 7833:2012 pasal 6.7 bahwa pada perhitungan kekuatan lentur untuk prategang f_y (kuat leleh baja tulangan) digantikan dengan f_{ps} dimana f_{ps} adalah tegangan pada tendon prategang pada saat kekuatan nominal penampang tercapai. f_{ps} dapat dihitung dengan persamaan berikut:

   a. Untuk komponen struktur dengan tendon lekatan:

$$\boldsymbol{f_{ps} = f_{pu}\left\{1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1}\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p}(\omega - \omega')\right]\right\}} \tag{3.66}$$

   (pers. 16 pasal 6.7.2 BSN SNI 7833:2012)

   dimana,

$$\boldsymbol{\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p}(\omega - \omega')\right] \le 0.17} \tag{3.67}$$

$$\boldsymbol{d' \le 0.15 d_p} \tag{3.68}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\gamma_p = 0.55 \quad \text{untuk} \quad \frac{f_{py}}{f_{pu}} \geq 0,80 \tag{3.69}$$

$$\gamma_p = 0.55 \quad \text{untuk} \quad \frac{f_{py}}{f_{pu}} \geq 0,80 \tag{3.70}$$

$$\gamma_p = 0.55 \quad \text{untuk} \quad \frac{f_{py}}{f_{pu}} \geq 0,80 \tag{3.71}$$

dimana,

$$\omega = \frac{\rho\, f_y}{f_c{}'} \tag{3.72}$$

$$\omega' = \frac{\rho'\, f_y}{f_c{}'} \tag{3.73}$$

dimana,

$$\rho = \frac{A_s}{b\, d} \tag{3.74}$$

$$\rho' = \frac{A_s{}'}{b\, d} \tag{3.75}$$

Keterangan:

f_{ps} = Tegangan nominal *strand* (MPa)

f_{pu} = Tegangan putus *strand* (MPa)

γ_p = Rasio tegangan nominal dan tegangan putus *strand*

β_1 = Koefisien transformasi

ρ_p = Rasio tulangan prategang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

d = Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik non prategang (m)

d' = Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan non prategang (m)

d_p = Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan prategang (m)

ω = Indeks tulangan tarik

ω' = Indeks tulangan tekan

ρ = Rasio tulangan tarik

ρ' = Rasio tulangan tekan

b. Untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi tidak lebih dari 35:

$$\boldsymbol{f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c'}{100\,\rho_p}} \tag{3.76}$$

(pers. 17 pasal 6.7.2 BSN SNI 7833:2016)

dimana,

$$\boldsymbol{f_{ps} \leq f_{py}} \tag{3.77}$$

$$\boldsymbol{f_{ps} \leq (f_{pe} + 420)} \tag{3.78}$$

Keterangan:

f_{ps}=Tegangan nominal *strand* (MPa)

f_{py} =Tegangan leleh *strand* (MPa)

f_{se}=Tegangan efektif baja prategang setelah kehilangan prategang (MPa)

f_{pe}=Tegangan putus efektif baja prategang (MPa)

ρ_p=Rasio tulangan prategang

c. Untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi lebih besar dari 35:

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c'}{300\,\rho_p} \tag{3.79}$$

dimana,

$$f_{ps} \leq f_{py} \tag{3.80}$$

$$f_{ps} \leq (f_{pe} + 210) \tag{3.81}$$

Keterangan:

f_{ps}= Tegangan nominal *strand* (MPa)

f_{py} = Tegangan leleh *strand* (MPa)

f_{se}= Tegangan efektif baja prategang setelah kehilangan prategang (MPa)

f_{pe}= Tegangan putus efektif baja prategang (MPa)

ρ_p= Rasio tulangan prategang

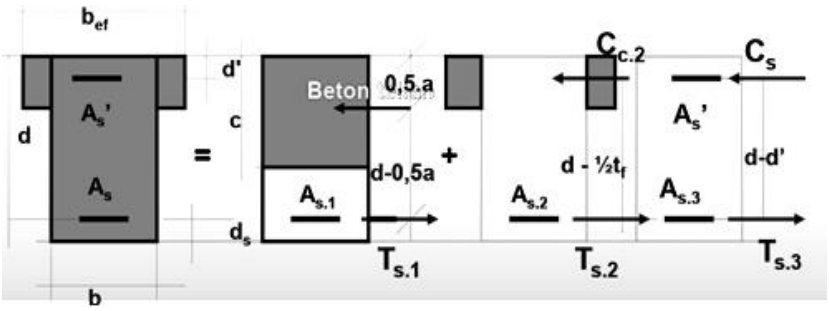
2. Tahanan Momen

   Apabila tinggi sayap tekan *hf* lebih kecil daripada tinggi sumbu netral *c* maka penampang dapat dilihat sebagai penampang bersayap atau penampang T. Apabila tebal *hf* lebih besar daripada nilai *c* dan *a*, maka elemen tersebut dianggap sebagai penampang persegi panjang dengan tulangan tunggal maupun rangkap. Dalam perencanaan momen tahanan gelagar penampang T (balok dan plat dianggap monolit) dikenal istilah penampang T murni dan balok T tidak murni (Soedarmoko, 2015).

   a. Penampang T murni

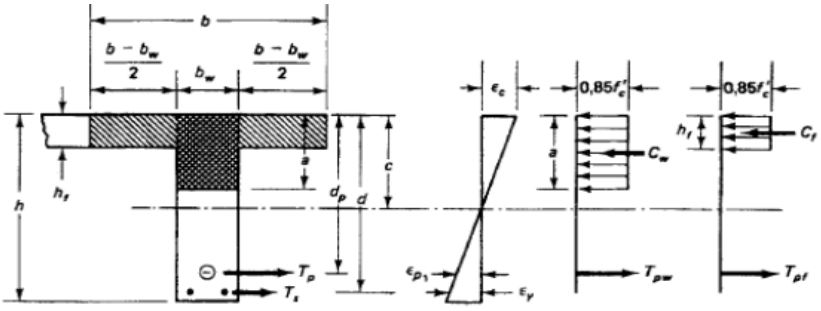
      Penampang T murni dikatakan begitu apabila seluruh sayap balok dalam kondisi tekan. Jadi, daerah pertemuan antara plat dan balok momolit murni menjadi daerah tekan dan membentuk huruf T seperti pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.8 Balok T murni

(Sumber: Soedarmoko, 2015)



Gambar 3.9 Distribusi Tegangan pada balok T murni

(Sumber: Prestressed Concrete Fundamental Approach 5th Edition, Nawy, 2009)

Penampang T murni bisa terjadi pada tiga kondisi

1. Kondisi 1, baja tarik A_{s1} diimbangi beton tekan badan (sama seperti balok persegi).

$$C_{C1} = 0.85 f_c' ab \tag{3.82}$$

$$T_{S1} = A_{S1} fy \tag{3.83}$$

$$C_{C1} = T_{S1} \tag{3.84}$$

$$M_{n1} = C_{C1}\left(d - \frac{1}{2}a\right) \tag{3.85}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Keterangan:

C_{c1} = kuat tekan beton pada kondisi 1 (kN)

T_{s1} = kuat tarik baja pada kondisi 1 (kN)

A_{s1} = luas tulangan tarik pada kondisi 1 (m^2)

M_{n1} = momen nominat pada kondisi 1 (kNm)

a = kedalaman tekan diukur dari sisi atas plat (m)

b = lebar balok (m)

D = jarak dari ujung atas balok ke pusat tulangan tarik (m)

2. Kondisi 2, baja tarik A_{s2} diimbangi oleh beton tekan sayap, kondisi ini artinya pusat tekan balok terdapat pada area plat monolit.

$$\boldsymbol{C_{C2} = 0.85 f_c' t_f (b_{eff} - b)} \quad (3.86)$$

$$\boldsymbol{T_{S12} = A_{S2} fy} \quad (3.87)$$

$$\boldsymbol{C_{C2} = T_{S2}} \quad (3.88)$$

$$\boldsymbol{M_{n2} = C_{C2}(d - \frac{1}{2} t_f)} \quad (3.89)$$

Keterangan:

C_{c2} = kuat tekan beton pada kondisi 2 (kN)

T_{s2} = kuat tarik baja pada kondisi 2 (kN)

A_{s2} = luas tulangan tarik pada kondisi 2 (m^2)

M_{n2} = momen nominat pada kondisi 2 (kNm)

tf = tebal sayap atau tebal plat lantai (m)

b = lebar balok (m)

b_{eff} = lebar efektif balok T monolit (m)

D = jarak dari ujung atas balok ke pusat tulangan tarik (m)

Dari kondisi 1 dan kondisi 2 harus diperoleh kondisi dimana baja tulangan tarik yang diimbangi dengan beton tekan harus dalam kondisi daktilail,

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yaitu dengan membatasi luas tulangan tarik tidak boleh lebih besar dari 75% luas tulangan kondisi berimbang

$$\boldsymbol{A_{S1} + A_{S2} \leq 0.75\, A_{sb}} \tag{3.90}$$

Keterangan:

A_{s1} = luas tulangan tarik pada kondisi 1 (m^2)

A_{s2} = luas tulangan tarik pada kondisi 2 (m^2)

A_{sb} = luas tulangan kondisi berimbang (m^2)

3. Kondisi 3, baja taris A_{s3} diimbangi oleh baja tekan A_s'.

Jika tulangan tekan belum leleh

$$\boldsymbol{C_S = A_S' f_S'} \tag{3.91}$$

Jika tulangan tekan sudah leleh

$$\boldsymbol{C_S = A_S' f_y} \tag{3.92}$$

Jika tulangan tekan sudah leleh, maka

$$\boldsymbol{A_S' = A_{S3}} \tag{3.93}$$

$$\boldsymbol{M_{n3} = T_{S3}(d - d')} \tag{3.94}$$

Keterangan:

C_S = Kuat tekan baja (kN)

A_s' = luas tulangan tekan (m^2)

A_{s3} = luas tulangan tarik pada kondisi 3 (m^2)

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

T_{s3} = kuat tarik baja (m^2)

d = jarak dari ujung atas balok ke pusat tulangan tarik (m)

d' = jarak dari ujung atas balok ke pusat tulangan tekan (m)

M_{n3} = momen nominal pada kondisi ke 3 (kNm)

Momen nominal

$$\boldsymbol{M_n = M_{n1} + M_{n2} + M_{n3}} \quad (3.95)$$

Keterangan:

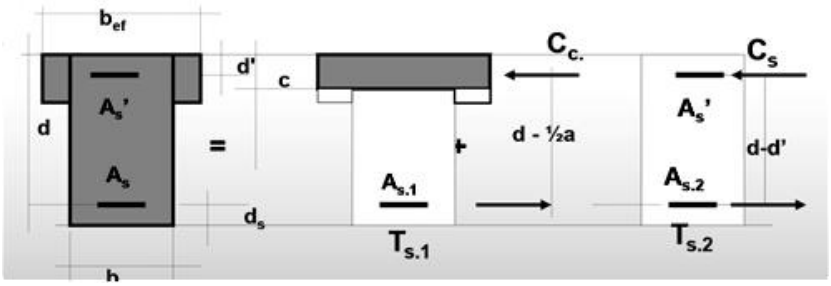
M_n = momen nominal (kNm)

M_{n2} = momen nominat pada kondisi 2 (kNm)

M_{n3} = momen nominal pada kondisi ke 3 (kNm)

b. Penampang T tidak murni

Penampang T tidak murni seperti pada Gambar 3.13 dikatakan begitu apabila sayap balok tidak seluruhnya dalam kondisi tekan. Jadi, kedalaman area tekan balok tidak lebih besar daripada ketebalann sayap sehingga letak garis netral berada pada plat lantai monolit.



Gambar 3.10 Balok T tidak murni

(Sumber: Soedarmoko, 2015)

Kondisi 1, baja tarik A_{s1} diimbangi beton tekan sayap (sama seperti persegi dengan lebar b_{eff})

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$C_{C1} = 0.85 f_c' a b_{eff} \quad (3.96)$$

$$T_{S1} = A_{S1} f y \quad (3.97)$$

$$C_{C1} = T_{S1} \quad (3.98)$$

$$M_{n1} = C_{C1}(d - \frac{1}{2}a) \quad (3.99)$$

Keterangan:

C_{c1} = kuat tekan beton pada kondisi 1 (kN)

T_{s1} = kuat tarik baja pada kondisi 1 (kN)

A_{s1} = luas tulangan tarik pada kondisi 1 (m^2)

M_{n1} = momen nominat pada kondisi 1 (kNm)

a = kedalaman tekan diukur dari sisi atas plat (m)

b_{eff} = lebar balok efektif (m)

d = jarak dari ujung atas balok ke pusat tulangan tarik (m)

Kondisi daktail pada penampang T tidak murni didapatkan dengan cara membatasi luas tulangan tarik tidak boleh lebih besar dari 75% luas tulangan kondisi berimbang.

$$A_{S1} \leq 0.75\, A_{sb} \quad (3.100)$$

Keterangan:

A_{s1} = luas tulangan tarik pada kondisi 1 (m^2)

A_{sb} = luas tulangan kondisi berimbang (m^2)

Kondisi 2, baja taris A_{s2} diimbangi oleh baja tekan A_s'.

Jika tulangan tekan belum leleh,

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\boldsymbol{C_S = A_S' f_S'} \tag{3.101}$$

Jika tulangan tekan sudah leleh,

$$\boldsymbol{C_S = A_S' f_y} \tag{3.102}$$

Jika tulangan tekan sudah leleh, maka

$$\boldsymbol{A_S' = A_{S2}} \tag{3.103}$$

$$\boldsymbol{M_{n2} = T_{S2}(d - d')} \tag{3.104}$$

Keterangan:

C_S = Kuat tekan baja (kN)

A_s' = luas tulangan tekan (m^2)

A_{s2} = luas tulangan tarik pada kondisi 2 (m^2)

T_{s2} = kuat tarik baja (m^2)

d = jarak dari ujung atas balok ke pusat tulangan tarik (m)

d' = jarak dari ujung atas balok ke pusat tulangan tekan (m)

M_{n2} = momen nominal pada kondisi ke 2 (kNm)

Momen nominal

$$\boldsymbol{M_n = M_{n1} + M_{n2}} \tag{3.105}$$

Keterangan:

M_n = Momen nominal (kNm)

M_{n2} = momen nominat pada kondisi 2 (kNm)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5.2 Perencanaan untuk kekuatan geser

Perencanaan kekuatan geser didasarkan oleh persamaan berikut:

$$\boldsymbol{\phi V_n \geq V_u} \tag{3.106}$$

(pers. 11-1 pasal 11.1.1 BSN SNI 2847:2013)

Dimana

$$\boldsymbol{V_n = V_c + V_s} \tag{3.107}$$

(pers. 11-2 pasal 11.1.1 BSN SNI 2847:2013)

Keterangan:

V_n = kekuatan geser nominal (kN)

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau (kN)

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (kN)

V_s = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (kN)

ϕ = faktor reduksi

Berdasarkan persamaan diatas dapat kita ketahui bahwa pada dasarnya beton mampu menahan gaya geser yang terjadi sebesar V_c (kekuatan geser nominal beton). Namun, jika V_u (gaya geser terfaktor pada penampang) yang terjadi melebihi kekuatan geser nominal beton dengan pengaruh faktor reduksi, maka diperlukan tulangan geser untuk menopang perbedaan gaya geser yang terjadi. Perbedaan gaya geser inilah yang digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan geser yang dibutuhkan. Maka dari itu perhitungan V_s (kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan) pada dasarnya sama dengan perbedaan antara gaya geser terfaktor dan kekuatan geser nominal beton.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1. Kekuatan geser yang disediakan oleh beton (V_c)

   Kekuatan geser yang disediakan oleh beton dapat dihitung dengan persamaan berikut:

   jika

$$\boldsymbol{f_{eff} > 0.40 f_{pu}} \tag{3.108}$$

   Maka nilai V_c (kekuatan geser nominal beton) diambil dari

$$\boldsymbol{V_c = (0.05\lambda\sqrt{f'_c} + 4.8\frac{V_u d_p}{M_u})b_w d} \tag{3.109}$$

   (pers. 11-9 pasal 11.3.2 BSN SNI 2847:2013)

   Dengan,

$$\boldsymbol{0.17\lambda\sqrt{f'_c}\, b_w d \leq V_c \leq 0.42\lambda\sqrt{f'_c}\, b_w d} \tag{3.110}$$

$$\boldsymbol{\frac{V_u d_p}{M_u} \leq 1} \tag{3.111}$$

   Keterangan:

   f_{eff} = gaya prategang efektif (MPa)

   f_{pu} = tegangan putus strand (MPa)

   V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (kN)

   f'_c = kuat tekan beton (MPa)

   V_u = gaya geser terfaktor yang terjadi (kN)

   d_p = tinggi efektif balok (m)

   M_u = momen terfaktor yang terjadi (kNm)

   b_w = tebal badan penampang balok prategang (m)

   d = jarak titik terjauh ke pusat tulangan non prategang (m)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Kekuatan geser yang disediakan oleh tulangan geser (V_s)

   Bila V_u melebihi nilai ϕV_c, maka tulangan geser harus disediakan untuk menopang perbedaan nilai geser yang ada, kekuatan geser yang disediakan oleh tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\boldsymbol{V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}} \tag{3.112}$$

   (pers. 11-15 pasal 11.4.7.1 BSN SNI 2847:2013)

   Keterangan:

   V_s = kuat geser yang disediakan oleh tulangan geser (kN)

   A_v = luas bidang deser tulangan geser (m^2)

   f_{yt} = kekuatan leleh tulangan (MPa)

   d = jarak titik terjauh ke pusat tulangan non prategan (m)

   s = spasi tulangan geser maksimum yang digunakan (m)

   Untuk komponen struktur dengan gaya prategang efektif lebih besar dari 40 persen kekuatan tarik tulangan lentur, maka rasio tulangan geser minimumnya sebesar nilai terkecil dari kedua persamaan berikut :

$$\boldsymbol{A_{v\,min} = 0.062\sqrt{f'_c}\,\frac{b_w s}{f_{yt}}} \tag{3.113}$$

   (pers. 11-13 pasal 11.4.6.3 BSN SNI 2847:2013)

$$\boldsymbol{A_{v\,min} = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{0.80 f_{yt} d}\sqrt{\frac{d}{b_w}}} \tag{3.114}$$

   (pers. 11-14 pasal 11.4.6.4 BSN SNI 2847:2013)

   Keterangan:

   A_{vmin} = luas bidang deser minimal tulangan geser (m^2)

   f_{yt} = kuat leleh tulangan geser (MPa)

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

f_{pu} = kuat tarik *strand* (MPa)

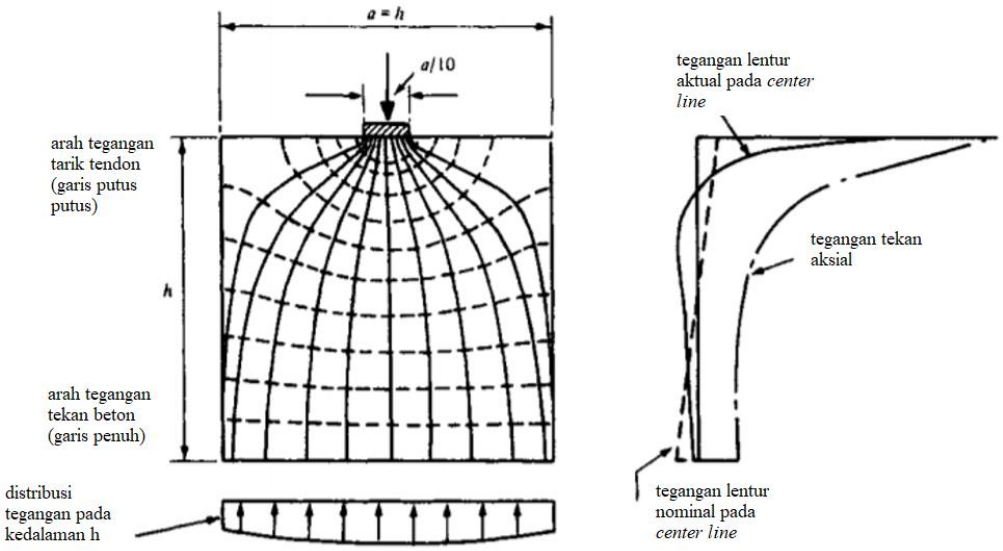
f_c' = kuat tekan beton (MPa)

d = jarak titik terjauh ke pusat tulangan non prategang (m)

s = spasi tulangan geser maksimum yang digunakan (m)

b_w = tebal badan balok prategang (m)

3. Kekuatan geser untuk menahan *bursting*



Gambar 3.11 Distribusi tegangan akibat beban terkonsentrasi

(Sumber : Abeles & Bardan-Roy, 2003)

Pada diagram distribusi tegangan akibat beban terkonsentrasi bisa dilihat bahwa terdapat tegangan tekan melintang yang cukup besar, terletak di sekitar titik pembebanan, akibat dari respon beton terhadap pengangkuran. Di lain sisi dapat kita lihat juga bahwa terdapat tegangan tarik melintang berlawanan arah yang menyebabkan beton merespon sedemikian rupa. Respon beton dalam bentuk tegangan tekan melintang inilah yang menyebabkan *Bursting*. (Abeles & Bardan-Roy, 2003)

Gaya bursting dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\boldsymbol{T_b = 0.20\, P_u \left(1 - \frac{a}{s}\right)} \tag{3.118}$$

(pers. 5.10.9.3.6-1 AASHTO LRFD 2014)

Keterangan:

T_b = gaya bursting (kN)

P_u = beban terfaktor pada satu tendon (kN)

a = lebar plat angkur (mm)

s = spasi antar angkur (mm)

Persamaan diatas menjadi dasar perhitungan kebutuhan sengkang untuk mengakomodasi gaya *bursting* yang terjadi pada titik pengangkuran

Perhitungan kebutuhan jumlah sengkang untuk mengakomodasi gaya *bursting* .adalah sebagai berikut:

$$\boldsymbol{n = \frac{T_b}{(0.85\, f_s A_s)}} \tag{3.119}$$

dimana,

$$\boldsymbol{f_s = 0.578\, f_y} \tag{3.120}$$

Keterangan:

n = jumlah sengkang (buah)

T_b = gaya bursting (kN)

f_s = tegangan izin baja sengkang (MPa)

A_s = luas tulangan yang digunakan (m^2)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

f_y = tegangan leleh baja tulangan (m^2)

3.5.3 Perencanaan terhadap momen puntir

Menurut SNI 2827:2013 momen puntir dapat dihitung dengan persamaan berikut:

1. Momen puntir kritis (T_{cr})

$$\boldsymbol{T_{cr} = 0.083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}{}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{cp}}{0.33\lambda\sqrt{f_c{}'}}}} \quad (3.115)$$

Keterangan:

T_{cr} = momen puntir kritis (kNm)

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling penampang beton (m^2)

p_{cp} = keliling luar penampang (m)

f_{cp} = tegangan tekan beton pada pusat penampang (MPa)

λ = faktor modifikasi respon (untuk beton normal nilainya 1)

2. Momen tahanan torsi (T_r)

Apabila $T_u > T_{cr}$ maka perlu perencanaan desain penampang berdasarkan pada momen tahanan puntir

$$\boldsymbol{T_r = \phi\, T_n \geq T_u} \quad (3.116)$$

dengan

$$\boldsymbol{T_n = \frac{2A_oA_tf_{yt}}{s}cot\theta} \quad (3.117)$$

Catatan:

ϕ = 0.7

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Θ = 45° untuk komponen struktur non prategang atau komponen struktur dengan gaya prategang efektif kurang dari 40 persen kekuatan tarik tulangan longitudinal

Θ = 37,5° untuk komponen prategang dengan gaya prategang efektif lebih dari 40 persen kekuatan tarik tulangan longitudinal.

Keterangan:

T_r = momen tahanan torsi (kNm)

T_n = tahanan torsi nominal (MPa)

T_u = torsi ultimit (kNm)

f_{yt} = kuat leleh tulangan pengikat (MPa)

A_0 = luas bruto yang dikelilingi jalur alir geser (m^2)

A_t = luas satu kaki sengkang tertutup menahan torsi (m^2)

Θ = sudut tulangan torsi (m)

s = jarak spasi tulangan torsi maksimal (m)

3.6 Lendutan

Berdasarkan peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga (2011) besarnya nilai *displacement* dibatasi dengan batas lendutan yang diizinkan. Batas lendutan maksimum sesuai dengan jenis elemen dan defleksi yang ditinjau dapat dilihat pada tabel 3.15.

Tabel 3.13 Nilai maksimum lendutan pada kondisi layan

Jenis Elemen	Lendutan yang Ditinjau	Lendutan Maksimum yang Diizinkan	
		Beban Kendaraan	Beban Kendaraan + Pejalan Kaki
Bentang sederhana atau menerus	Lendutan seketika akibat beban hidup layan dan beban kejut	L/800	L/1000
Kantilever		L/400	L/375

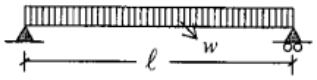
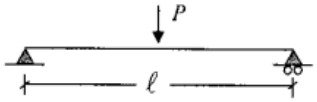
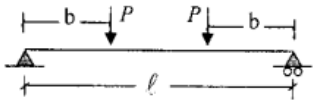
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

Berdasarkan RSNI T-12-2004, dijelaskan bahwa batas lendutan yang diizinkan untuk kondisi ultimit adalah L/300.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

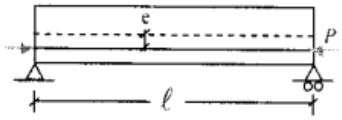
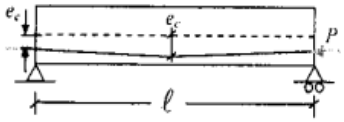
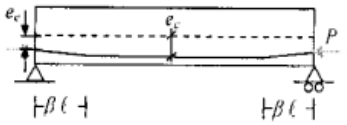
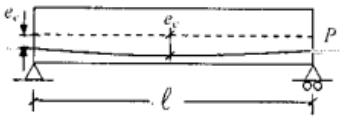
Untuk elemen beton prategang yang belum retak, lendutan dan *camber* dapat dihitung menggunakan persamaan elastis seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.14 Lendutan akibat pembebanan pada balok sederhana (*Simple Beam)*

Kondisi Pembebanan		Lendutan di Tengah Bentang
Beban Merata		$\Delta = \frac{5}{384}\frac{wL^4}{EI}$
Beban Terpusat (1)		$\Delta = \frac{5}{48}\frac{PL^4}{EI}$
Beban Terpusat (2)		$\Delta = \frac{5}{24}\frac{Pb(3L^2-4b^2)}{EI}$

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

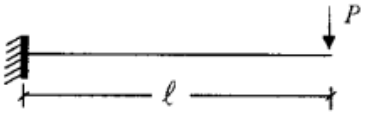
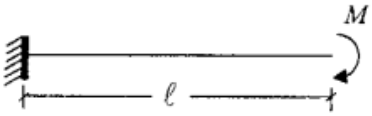
Tabel 3.15 Lendutan pada balok sederhana dengan eksentrisitas

Kondisi Pembebanan		Lendutan di Tengah Bentang
Eksentrisitas Konstan		$\Delta = \frac{1}{8}\frac{PeL^4}{EI}$
Titik Harping Tunggal		$\Delta = \frac{2e_c + e_e}{24}\frac{PL^2}{EI}$
Titik Harping Ganda		$\Delta = \left[\frac{e_c}{8} - \frac{\beta^2}{6}(e_c - e_e)\right]\frac{PL^4}{EI}$
Profil Parabola		$\Delta = \left[e_e + \frac{5}{6}(e_c - e_e)\right]\frac{PL^2}{8EI}$

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

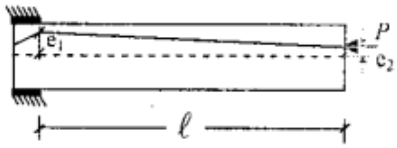
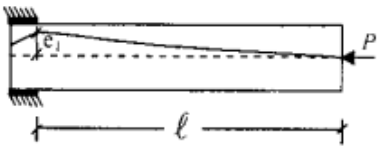
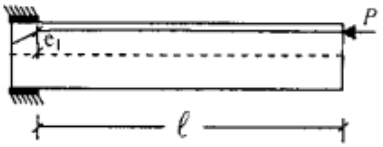
UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 3.16 Lendutan akibat pembebanan pada balok kantilever

Kondisi Pembebanan	Lendutan di Tengah Bentang
Beban Merata 	$\Delta = \frac{1}{8}\frac{wL^4}{EI}$
Beban Terpusat 	$\Delta = \frac{1}{3}\frac{PL^2}{EI}$
Beban Momen 	$\Delta = \frac{1}{2}\frac{ML^2}{EI}$

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

Tabel 3.17 Lendutan pada balok kantilever dengan eksentrisitas

Kondisi Pembebanan	Lendutan di Tengah Bentang
Eksentrisitas Gradual 	$\Delta = -\frac{PL^2}{2EI}\left(e_2 + \frac{2(e_1 - e_2)}{3}\right)$
Eksentrisitas Parabolik 	$\Delta = -\frac{Pe_1L^2}{4EI}$
Eksentrisitas Konstan 	$\Delta = -\frac{Pe_1L^2}{4EI}$

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB 4
METODE PENELITIAN DAN ANALISIS

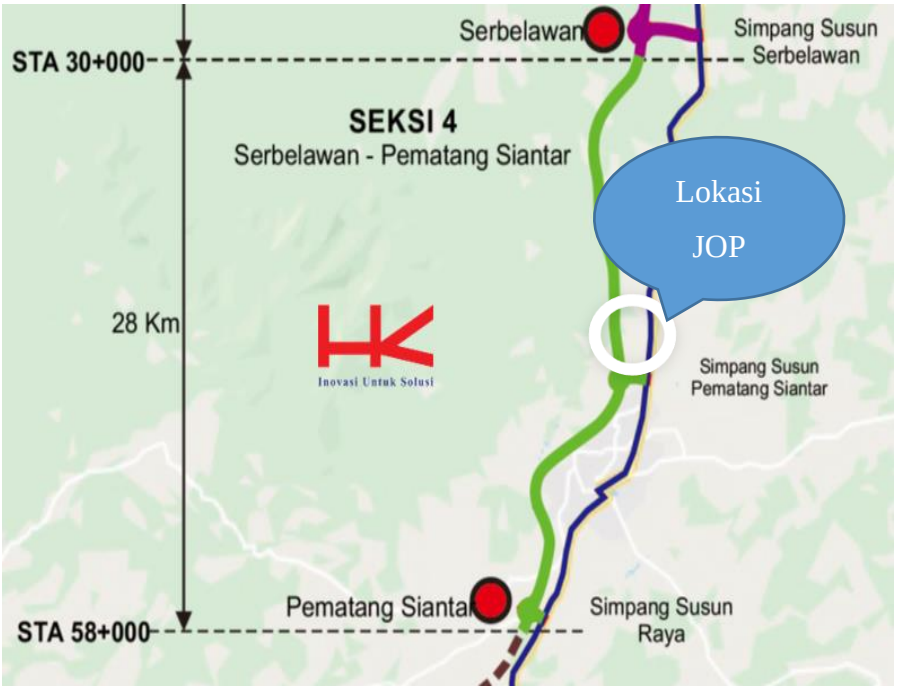
4.1 Metode Analisis dan Desain

Perencanaan ulang struktur atas Jembatan STA 44+010 Jalan Tol Tebingtinggi - Parapat menggunakan gelagar prategang profil I dilakukan menggunakan perangkat lunak *CSiBridge* untuk pemodelan dan perhitungan gaya gaya dalam akibat pembebanan. Sedangkan perangkat lunak *Microsoft Exc*el digunakan untuk analisis perhitungan struktur dengan mengacu pada peraturan yang telah ditetapkan.

4.1.1 Pengumpulan data

1. Lokasi

   Jembatan terletak pada STA 44+010 Jalan Tol Tebingtinggi–Parapat ruas Serbelawan–Pematangsiantar, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara dengan koordinat 3º1’45.62”LU 99º2’58.82”BT.



Gambar 4.1 Lokasi Jembatan

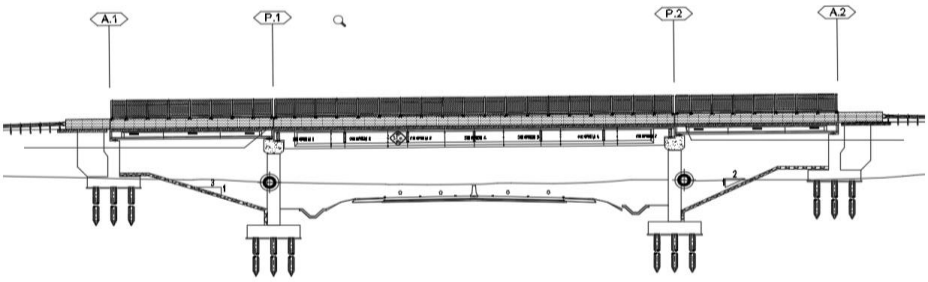
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Desain Jembatan

   Desain dalam analisis ini merupakan alternatif dari data yang diperoleh dari PT. Hutama Karya selaku kontraktor utama dalam proyek pembangunan jalan tol Tebingtinggi–Parapat ruas Serbelawan–Pematangsiantar. Data spesifikasi material beton dan baja tulangan non prategang didapatkan dari data teknis DED PCI Girder, dan untuk data spesifikasi material *strand* didapatkan dari ASTM *International Standard Specification for Steel Strand*.

4.2 Data Jembatan *Overpass*

Data teknis yang digunakan dalam perencanaan ulang struktur atas Jembatan *Overpass* (JOP) STA 44+010 Jalan Tol Tebingtinggi memiliki panjang total 74 meter yang terdiri dari 3 bentang seperti pada Gambar 4.2.

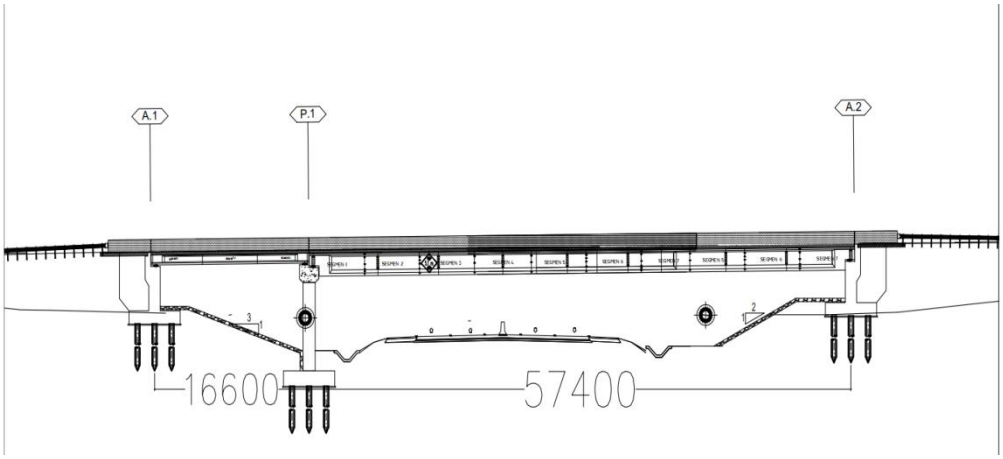


Gambar 4.2 Gambar tampak samping jembatan

1. *PCI Girder* dengan bentang 16,6 m H = 0,9m (pada A1 – P1)
2. *PCI Girder* dengan bentang 40,8 m H = 2,1m (pada P – P2)
3. *PCI Girder* dengan bentang 16,6 m H = 0,9m (pada P2 – A2)

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

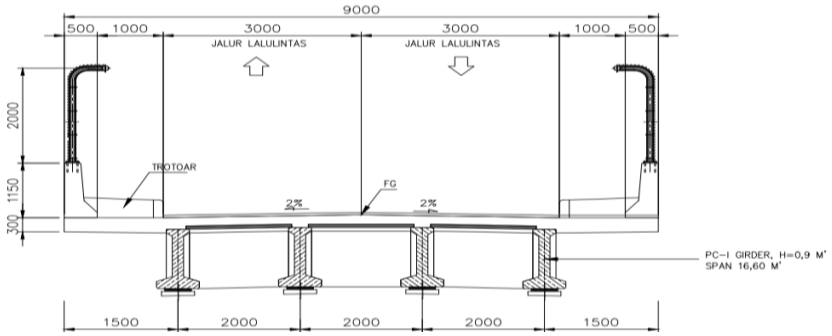
Kemudian dilakukan modifikasi pada jembatan seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Gambar tampak samping jembatan

4. *PCI Girder* dengan bentang 16,6 m H = 0,9m (pada A1 – P1)
5. *PCI Girder* dengan bentang 57,4 m H = 2,5m (pada P1 – A2)

Analisis dilakukan pada dua bentang gelagar prategang profil I yaitu bentang 16,6 m dan 57,4 m. Jumlah gelagar yang digunakan adalah 4 buah. Analisis pada penelitian ini meliputi pembebanan jembatan, perhitungan gaya prategang, konfigurasi tendon, kehilangan gaya prategang, dan kontrol terhadap batas ultimit. Sketsa balok prategang yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan data teknis jembatan pada Tabel4.4.1.



Gambar 4.4 Gambar potongan melintang jembatan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.4.1 Data teknis jembatan

Keterangan:	Gelagar 1	Gelagar 2		Satuan
Panjang gelagar (L)	16,60	57,40		m
Berat gelagar (W_{balok} = *1,10*A_{balok}*L*W_c*)	144,277	2272,25		kN
Berat merata (Q_{balok} = W_{balok} / *L*)	8,691	39,586		kN/m
Tebal diafragma tepi (b)	0.7	1,40		m
Lebar diafragma tepi (l)	2	2,00		m
Tinggi diafragma tepi (h)	0.9	2,10		m
Berat 1 diafragma tepi ($W_{diafragma}$ = *b*l*h*W_c*)	31,5	147		kN
Jumlah diafragma tepi (n)	2			buah
Tebal diafragma dalam (b)	0,40	0.4		m
Lebar diafragma dalam (l)	2,00	2.00		m
Tinggi diafragma dalam (h)	0,90	2,10		m
Keterangan:	Gelagar 1	Gelagar 2		Satuan
Berat 1 diafragma dalam ($W_{diafragma}$ = *b*l*h*W_c*)	18	42		kN
Jumlah diafragma dalam (*n*)	1			buah
Tebal plat lantai	0,3			m
Tebal aspal	0,05			m
Lebar jembatan	9			m
Lebar trotoar + parapet	1,5			m
Keterangan:	Gelagar 1		Gelagar 2	Satuan
Lebar lajur efektif	6			m
Jumlah gelagar	4			buah
Jarak antar gelagar	2 meter			m

Material yang digunakan dalam perancangan struktur atas menggunakan sistem balok prategang profil I dengan spesifikasi sebagai berikut:

a. Beton gelagar prategang

Mutu beton gelagar (K) = 600

Kuat tekan beton (f_c') = 50,76 MPa

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Modulus elastic beton (E_c)	=	38296,46	MPa
Angka Poisson (v)	=	0,2	
Modulus geser (G)	=	15956	MPa
Koefisien muai panjang beton (α)	=	0,00001	C

b. Beton pelat lantai

Mutu beton gelagar (K)	=	350	
Kuat tekan beton (f_c')	=	29,61	MPa
Modulus elastic beton (E_c)	=	25576,22	MPa
Angka Poisson (v)	=	0,2	
Modulus geser (G)	=	10656,76	MPa
Koefisien muai panjang beton (α)	=	0,00001	/C

c. Baja non-prategang

Jenis baja			BJ-55
Tegangan putus minimum (f_u)	=	550	MPa
Tegangan leleh minimum (f_y)	=	410	MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	=	200000	MPa

d. Baja prategang

Jenis *strands, low elaxation 7-wire strands ASTM A416 grade 270*

Tegangan leleh *strands* (f_{py})	=	1680	MPa
Kuat tarik *strands* (f_{pu})	=	1860	MPa
Diameter nominal (*d*)	=	12,7	mm
Luas tampang efektif satu *strands* (A_s)	=	98,78	mm^2
Beban putus minimal satu *strands* (P_{bs})	=	183,606	kN
Jumlah kawat untaian (n_a)	=	28	buah
Diameter selubung ideal (d_i)	=	100	mm
Beban putus satu tendon (P_{b1})	=	5140,8	kN
Modulus elastisitas *strands* (E_s)	=	193000	MPa

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3 Program pendukung penelitian

a) CSiBridge.

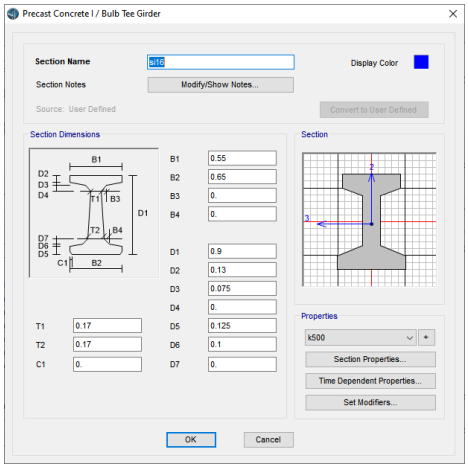
Perangkat lunak analisis struktur CSiBridge digunakan untuk memodelkan keadaan jembatan dan melakukan pembebanan sesuai dengan peraturan yang digunakan. Hasil dari penggunaan perangkat lunak ini berupa gaya-gaya dalam elemen serta lendutan yang terjadi pada struktur jembatan tersebut.

b) Microsoft Excel

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah angka sehingga memudahkan dalam proses perhitungan kemampuan kapasitas masing-masing komponen jembatan. Hasil gaya-gaya yang dihasilkan dari CSiBridge kemudian dibandingkan dengan kapasitas penampang untuk mendapatkan rasio keamanan elemen.

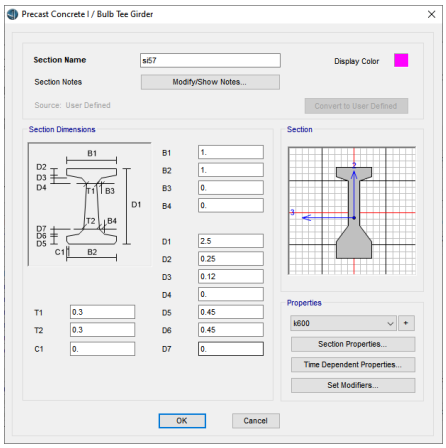
4.4 Tahapan Analisis

Sebelum analisis dilakukan, data yang telah didapat terlebih dahulu dimodelkan menggunakan *software CSiBridge.* Hasil pemodelan 3 dimensi untuk penampang eksisting diperlihatkan pada gambar berikut.

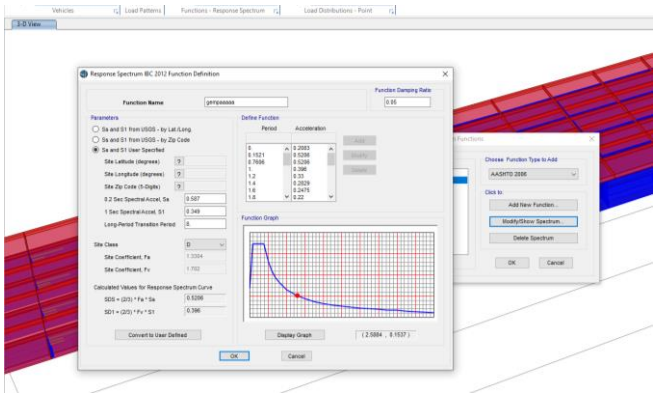


Gambar 4.5 *Section properties* gelagar 900

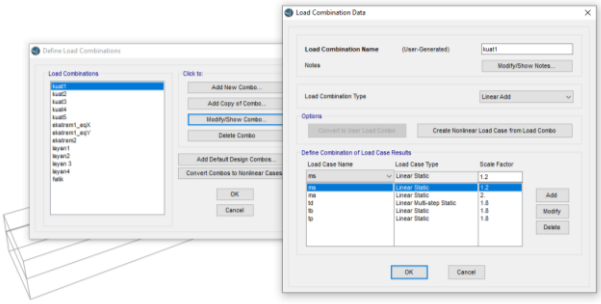
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.6 *Section properties* gelagar 2500

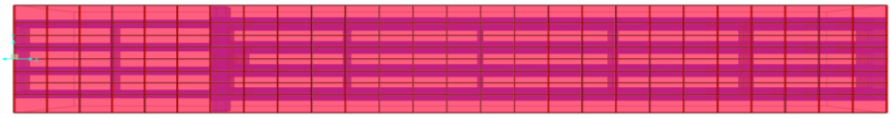


Gambar 4.7 Contoh input pembebanan gempa pada jembatan rencana



Gambar 4.8 Contoh input kombinasi pembebanan pada jembatan rencana

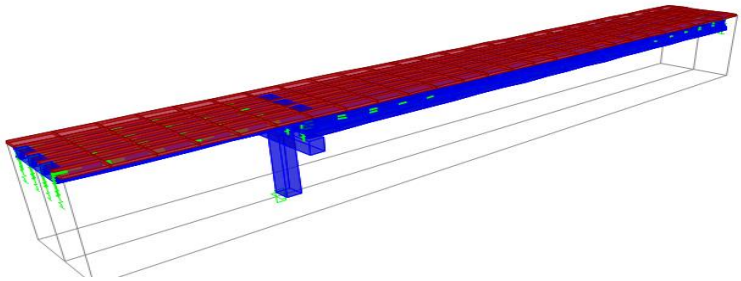
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



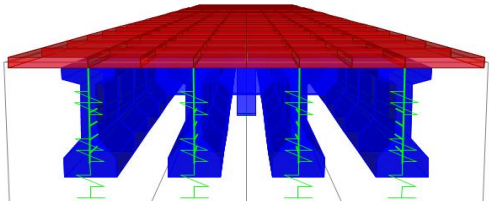
Gambar 4.9 Tampak atas hasil pemodelan jembatan dengan CSiBridge



Gambar 4.10 Tampak samping hasil pemodelan jembatan dengan CSiBridge

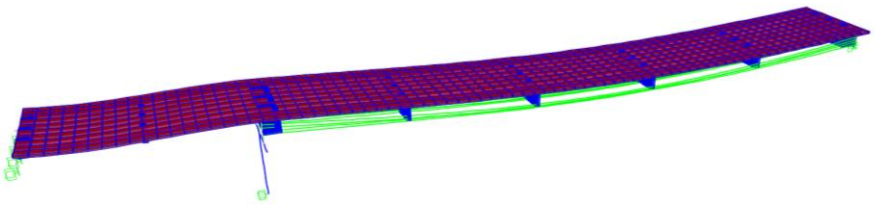


Gambar 4.11 Tampak isometrik hasil pemodelan jembatan dengan CSiBridge

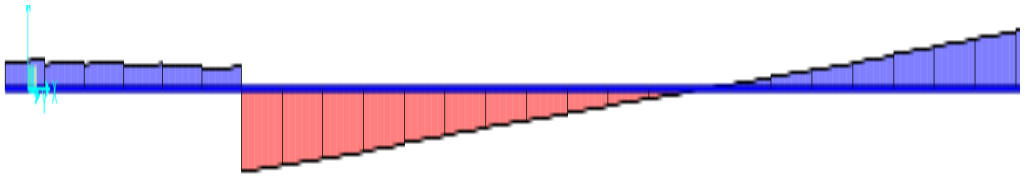


Gambar 4.12 Tampak depan hasil pemodelan dengan CSiBridge

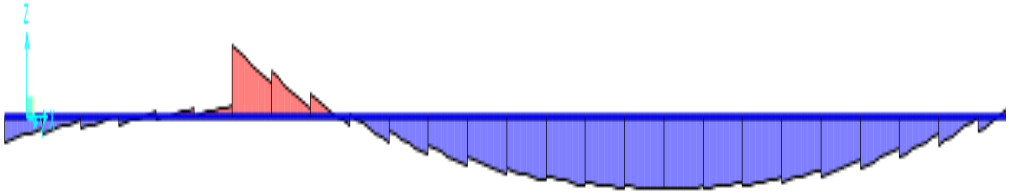
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.13 hasil *running* jembatan pada *CSiBridge.*



Gambar 4.14 Grafik SFD pada jembatan rencana setelah dilakukan *running.*



Gambar 4.17 Grafik BMD pada jembatan rencana setelah dilakukan *running.*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.1 Tahapan Pemodelan

Pemodelan jembatan menggunakan CSiBridge untuk membantu analisa gaya-gaya dalam yang diterima oleh komponen jembatan. Beberapa tahapan yang harus dilakukan sebagai berikut:

1. Bridge Layout Line Data, Adalah garis acuan yang digunakan untuk menentukan berbagai titik-titik lain yang penting dalam pemodelan jembatan. Jembatan ini mempunyai layout line lurus sepanjang 74 m, yaitu panjang eksak dari jembatan yang dimodelkan.

2. Bridge Lane Data, Digunakan untuk menentukan jumlah dan dimensi jalur yang digunakan pada jembatan. Pada model ini digunakan 4 lajur 2 arah dengan lebar lajur efektif 6 m.

3. Materials, Digunakan untuk menentukan material yang digunakan dalam pemodelan. Pada pemodelan ini digunakan berbagai material seperti beton, baja dan tendon.

4. Frame Properties, Digunakan untuk menentukan dimensi setiap komponen struktur. Pada perancangan ini dibatasi pada struktur atas sehingga dimensi komponen non-struktur atas menggunakan peraturan default dari CSiBridge.

5. Decksection, Digunakan untuk mendesain komponen atas jembatan seperti girder dan setiap komponen struktur lainnya.

6. Diaphragms, Digunakan untuk memodelkan diagfragma pada struktur.

7. Bearing, Digunakan untuk mengatur tumpuan pada pemodelan jembatan.

8. Define Bridge Object, Digunakan untuk memunculkan objek jembatan dan memasangkan parameter yang telah didefinisikan pada model jembatan tersebut.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.2 Tahapan Pembebanan

Berdasarkan pada SNI 1725:2016 tentang pembebanan pada jembatan, maka data pembebanan yang telah dipersiapkan dengan bantuan Microsoft Excel diaplikasikan dan dikondisikan pada pemodelan jembatan dengan CSiBridge. Data tersebut berupa:

a) Live Load Data, dianggap sebagai beban area

b) Line Load Distribution, berupa beban angin kendaraan, angin struktur, dsb.

c) Area Load Distribution, berupa beban aspal, genangan air dan beban lajur

d) Point Load, berupa beban rem, beban garis terpusat momen maksimum.

e) Response Spectrum, berupa data gempa pada suatu lokasi

f) Load Combination, pendefinisian kombinasi beban sesuai dengan tabel 3.11.

4.4.3 Analisis tegangan dan kehilangan prategang

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis tegangan mengacu pada SNI 2847:2013 dan AASHTO- LRFD 2012 untuk kehilangan prategang. Hasil analisis berupa tegangan efektif baja prategang untuk menghitung analisis kapasitas momen.

4.4.4 Tahapan running dan hasil pemodelan struktur

Setelah semua komponen dan kondisi pembebanan sudah dimodelkan maka dilakukan running analisis. Hasil yang didapatkan berupa gaya-gaya dalam elemen serta lendutan yang terjadi pada struktur jembatan tersebut.

4.4.5 Analisis kapasitas momen

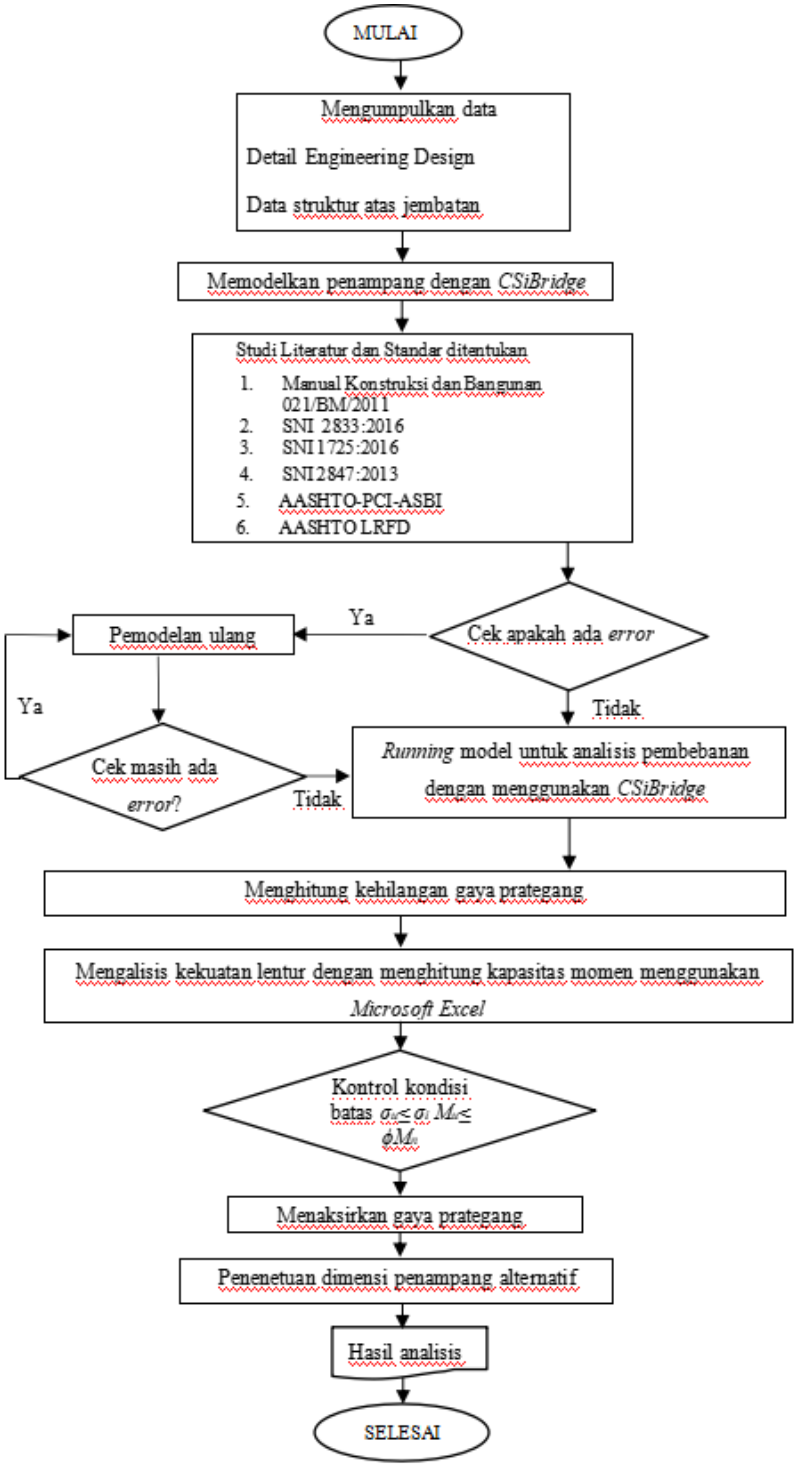
Dalam perhitungan analisis kapasitas momen berpedoman pada SNI 2847:2013. Hasil hitungan yang berupa momen nominal adalah besaran yang sudah direduksi dengan faktor reduksi kekuatan lentur harus lebih besar dari momen ultimit yang dipikul oleh gelagar

.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.5 Bagan Alir Proses Analisis dan Desain

Bagan alir proses analisis kekuatan alternatif penampang struktur atas Jembatan *Overpass* (JOP) STA44 + 010 dapat dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 4.8 Tampak depan hasil pemodelan dengan CSiBridge

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB 5
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Pembebanan Jembatan

Pembebanan pada perancangan struktur atas JOP STA 44+010 jalan tol Tebing Tinggi – Parapat berpedoman pada SNI 1725:2016. Beban yang akan dianalisis dan dimodelkan pada CSiBridge berupa beban berat sendiri (MS), beban berat tambahan akibat utilitas (MA), beban lalu lintas (TD), beban truk (TT), beban rem (TB) dan beban pejalan kaki (TP). Sementara beban gempa (EQ) berpedoman pada SNI 2833:2016 tentang perancangan jembatan terhadap beban gempa. Semua kondisi pembebanan akan dimasukkan dalam pemodelan jembatan menggunakan perangkat lunak CSiBridge.

5.1.2 Beban Akibar Beban Sendiri (MS)

Berat sendiri jembatan akan dikalikan dengan faktor berat sendir berdasarkan pada material yang digunakan. Faktor beban unutuk berat sendiri berdasarkan SNI 1725:2016 dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 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 cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber: SNI 1725:2016)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Beban akibat berat sendiri struktur atas jembatan tidak diinput kedalam model karena beban tersebut telah dihitung sendiri oleh program. Sehingga berat tiap material pada pemodelan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.2 Beban akibat berat sendiri

Penampang	Rekap gaya geser dan momen	Notasi	Besaran	Satuan
900	Gaya geser maksimum	Vms	528,761	kN
	Momen maksimum	Mms	2241,7255	kNm
	- Positif	Mms+	2241,7255	kNm
	- Negatif	Mms-	1204,1688	kNm
2500	Gaya geser maksimum	Vms	1278,359	kN
	Momen maksimum	Mms	6645,595	kNm
	- Positif	Mms+	6294,17`	kNm
	- Negatif	Mms-	6645,595	kNm

5.1.3 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan yang diperhitungkan berupa beban lapisan perkerasan, genangan air hujan dan trotoar. Pengaruh beban mati tambahan dihitung secara manual menggunakan Microsoft Excel dan diinput pada model jembatan. Hasil perhitungan akibat beban mati tambahan ditunjukkan pada Tabe; 5.3.

Tabel 5.3 Beban akibat berat tambahan

No	Jenis beban berat mati tambahan	Lebar	Tebal	Luas	Berat sat.	Beban
		b	h	A	w	QMA
		(m)	(m)	(m2)	(kN/m3)	(kN/m)
1	Aspal + Overlay	2	0.1	0.2	22	4.4
2	Genangan air hujan	2	0.05	0.1	9.81	0.981
3	Lampu, pipa, dll	-	-	-	-	0.5
Total						5.881

Beban mati tambahan yang telah diperhitungkan dikalikan dengan faktor beban tambahan sesuai dengan SNI 1725:2016

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.4 Faktor beban untuk beban truk

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TT})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^{S})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^{U})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

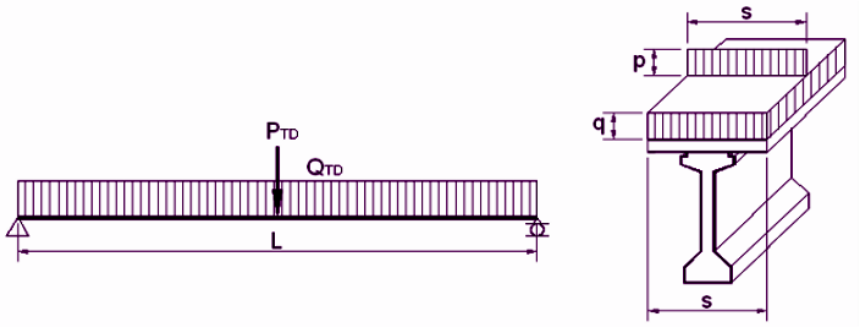
5.1.4 Beban lajur (TD)

Nilai beban lajur diambil yang terbesar diantara kemungkinan berikut:

- Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis.
- Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan faktor beban dinamis.

Perhitungan untuk kedua skenario kasus pembebanan diatas adalah seperti berikut;

Bentang jembatan,	L	=	57,4	m
Jarak *CTC* gelagar,	s	=	2,00	m
Beban terbagi rata (BTR),	$q = 8*(0.5+15/L)$	=	6,09	kPa
Beban merata pada balok,	$Q_{TD} = q * s$	=	12,18	kN/m
Beban garis terpusat (BGT),	p	=	49,00	kN/m
Faktor beban dinamis,	$FBD = 0,4$	=	0,4	
Beban terpusat pada balok,	$P_{TD} = (1+FBD)*p*s$	=	135,39	kN



Gambar 5.1 Aplikasi beban lajur pada struktur

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.5 Gaya rem (TB)

Pengaruh gaya rem dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada jarak 1,8 m diatas lantai jembatan. Besarnya gaya rem akan diambil yang terbesar dari:

a. 25% dari berat gandar truk desain
b. 5% dari beban truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

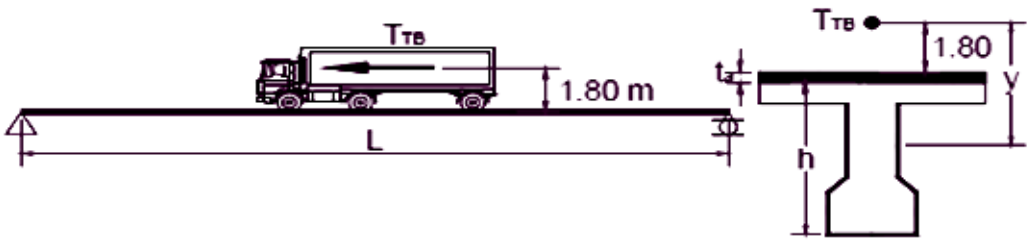
Perhitungan kedua skenario diatas dijelaskan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Opsi gaya rem

Kemungkinan	Uraian	Nilai	
1	Berat gandar truk desain	225	kN
	Rasio gaya rem	25	%
	Gaya Rem	56.25	kN
2	Beban truk rencana	500	kN
	Beban lajur BTR	699,2	kN
	Rasio gaya rem	5	%
	Gaya Rem	59.96	kN

Sehingga gaya rem digunakan, T_{TB} = 59,96 kN

Pengaruh pengereman diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan bekerja pada ketinggian 1,8 m diatas permukaan lantai jembatan, dengan asumsi bahwa titik berat truk yang dijadikan bahan uji berada pada ketinggian 1,8 meter diatas permukaan lantai jembatan. Jika x merupakan sumbu sejajar memanjang jembatan dan y merupakan sumbu melintang jembatan maka pengaplikasian beban rem dalam pemodelan adalah sebagai beban momen terhadap y. Ilustrasi penempatan beban akibat beban rem seperti pada Gambar 5.2.



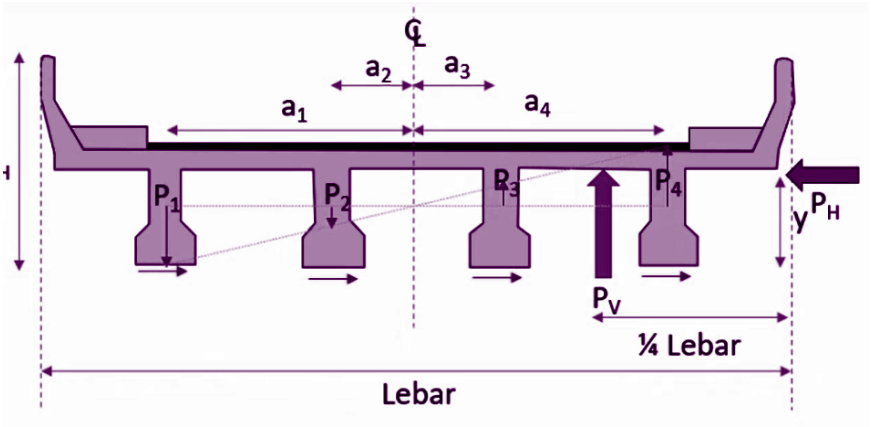
Gambar 5.2 Penempatan beban rem

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tebal aspal,	t_a	=	0,05	m
Lengan gaya rem,	$y = 1{,}80 + t_a + plat$	=	2,15	m
Beban momen karena rem,	$M = T_{TB} * y$	=	128, 914	kNm

5.1.6 Beban angin (EW)

5.1.6.1 Beban angin horizontal struktur (EWs)



Gambar 5.3 Ilustrasi beban angin pada struktur

Beban angin yang terjadi dianggap sebagai beban horizontal terdistribusi rata setinggi balok hingga ujung parapet. Arah angin datang dianggap tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan dengan sumbu minus z (artinya gaya angin bekerja ke bawah). Beban angin pada struktur dihitung otomatis oleh perangkat lunak CSiBridge atau dengan cara hitungan manual yang bergantung pada kecepatan angin rencana (Vdz). Pada penelitian ini digunakan kecepatan rencana angin sebesar:

$$V_{DZ} = 2{,}5\, V_o \left(\frac{V_{10}}{V_b}\right) \ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)$$

V_o = 13,2 km/jam

V_B = 105 km/jam

V_{10} = 105 km/jam

Z= 12000

Z_o = 70 mm

Maka didapatkan nilai V_{DZ} = 169,758 km/jam

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.6.2 Beban angin horizontal kendaraan (EW_L)



Gambar 5.4 Ilustrasi beban angin pada kendaraan

(Sumber: Ramadhan,2016)

Beban angin pada kendaraan merupakan beban akibat hembusan angin terhadap kendaraan yang melintasi jembatan. Mengacu pada SNI 1725:2016 bahwa jembatan harus direncanakan mampu mendukung gaya akibat tekanan angin yang terjadi pada kendaraan. Beban angin tersebut diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm yang bekerja terhadap sumbu memanjang jembatan pada ketinggian 1,8 m di atas permukaan jembatan. Pengaruh beban angin pada kendaraan dimodelkan sebagai beban meraka yang bekerja sepanjang balok girder jembatan. Pengaruh beban angin tersebut sebesar:

Tekanan angin menerus (T_{EWL})	=	1,46	kN/m
Jarak pusat gaya ke permukaan jalan ($h/2$)	=	1,80	m
Jarak antar roda kendaraan (x)	=	1,75	m
Beban angin transformasi ($Q_{EWL}=T_{EWL}(h/2)/x$)	=	1,502	kN/m

5.1.6.3 Beban angin vertikal struktur (EW_{SV})

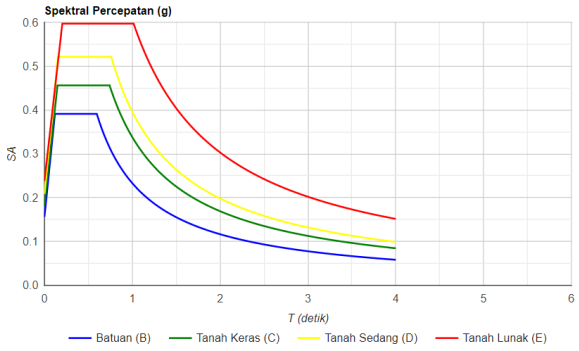
Mengacu pada SNI 1725:2016 disebutkan bahwa jembatan harus mampu mendukung beban garis arah sumbu memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke arah sumbu Z sebesar $9.6x10^{-4}$ MPa dikalikan dengan lebar jembatan, arah angin datang diasumsikan tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan atau sejajar dengan sumbu melintang jembatan. Arah datang angin yang digunakan sama dengan angin yang mengakibatkan beban horizontal pada struktur, dengan titik tangkap pada ¼ lebar jembatan. Tekanan angin vertikal struktur bekerja secara bersamaan dengan tekanan angin horizontal struktur.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tekanan angin vertikal,	P_{DV}	= 9,60x10^{-4}	MPa
Lebar efektif gelagar prategang,	s	= 2,00	m
Beban angin vertikal	$Q_{EWSV} = P_{DV} * s$	= -1,92	kN/m

5.1.7 Beban gempa (EQ)

Beban gempa menggunakan respon spektrum yang berpedoman pada SNI 2833:2016 tentang Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Data respon spektra diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (PUSKIM) yang terletak di kabupaten Simalungun dengan koordinat 3º1'45.62"LU-99º2'58.82"BT dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Tabel 5.6.



Gambar 5.5 Respon spektrum untuk wilayah Kabupaten Simalungun

(Sumber: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)

Tabel 5.6 Respon spektra kabupaten Simalungun situs tanah keras

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,255
SS (g)	0,587
S1 (g)	0,349
CRS	1,042
CR1	0,945
FPGA	1,145
FA	1,165
FV	1,451
PSA (g)	0,292
SMS (g)	0,684
SM1 (g)	0,507
PGA (g)	0,255
SDS (g)	0,456
SD1 (g)	0,338
T0 (detik)	0,148
Ts (detik)	0,74

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari tabel parameter diatas didapatkan grafik respon sprektrum yang dimasukkan kedalam perangkat lunak CSiBridge sebagai beban gempa.

5.2 Kombinasi Pembebanan

Perhitungan pembebanan pada analisis jembatan dilakukan secara manual dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel, dan faktor pengali yang dipakai untuk peritungan kombinasi pembebanan mengikuti ketentuan SNI 1725:2016.

5.2.1 Kombinasi pada balok prategang

1. Hasil kombinasi Gaya Geser dan momen Ultimit dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit

Batas ULTIMIT	PENAMPANG					
	900			2500		
	geser	Momen		geser	momen	
Keadaan BATAS	Vu	Mu+	Mu-	Vu	Mu+	Mu-
	(kN)	(kNm)		(kN)	(kNm)	
Kuat I	1055.88	2693.74	3350.75	2733.48	16710.92	11022.53
Kuat II	951.23	2709.64	3041.76	2552.19	15259.25	10552.51
Kuat III	680.241	2819.14	2196.08	2069.74	11383.18	9523.07
Kuat IV	636.99	2765.29	1960.31	1917.679	10264.65	8911.94
Kuat V	640.25	2776.26	1987.05	1934.48	10395.62	9019.16
Ekstrem I eqX	725.94	2745.42	2346.56	2144.30	12032.51	9498.27
Ekstrem I eqY	725.95	2745.43	2346.56	2144.32	12032.67	9498.40
Ekstrem II	725.93	2745.41	2346.54	2144.29	12032.43	9498.21

Gaya geser ultimit rencana balok prategang penampang 900, Vu = 1055.88 kN

Gaya geser ultimit rencana balok prategang penampang 2500, Vu = 2733.48 kN

Momen ultimit rencana balok prategang penampang 900, Mu = 3350.75 kNm

Momen ultimit rencana balok prategang penampang 2500, Mu = 16710.92 kNm

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

(digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu Kuat I)

2. Hasil kombinasi gaya geser dan momen layan dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Kombinasi gaya geser dan momen layan

Batas LAYAN	PENAMPANG					
	900			2500		
	geser	Momen		Geser	momen	
Keadaan BATAS	Vy	My+	My-	Vy	My+	My-
	(kN)	(kNm)		(kN)	(kNm)	
Layan I	703.405	2247.963	2241.990	1935.874	11288.395	8366.295
layan II	777.303	2227.663	2466.033	2059.369	12297.897	8538.523
layan III	646.489	2247.534	2079.797	1832.759	10483.312	8052.247
layan IV	535.267	2297.576	1509.378	1500	7883.099	7308.035
fatik	196.22	142.661	579.3522	339.915	2721.8775	879.414

Gaya geser layan rencana balok prategang penampang 900, Vy = 777.303 kN

Gaya geser layan rencana balok prategang penampang 2500, Vy = 2059.369 kN

Momen layan rencana balok prategang penampang 900, My = 2466.033 kNm

Momen layan rencana balok prategang penampang 2500, My = 12297.897 kNm

(digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu Layan II).

5.2.2 Kombinasi pada diagfragma

1. Hasil kombinasi gaya geser dan momen ultimit pada diagfragma dapat dilihat pada Tabel 5.9. dan Tabel 5.10.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.9 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit

Batas ULTIMIT	PENAMPANG 900				
	Luar			Dalam	
	Geser	Momen		Geser	Momen
Keadaan BATAS	Vu	Mu+	Mu-	Vu	Mu
	(kN)	(kNm)		(kN)	(kNm)
Kuat I	27.196	25.249	6.127	15.927	87.978
Kuat II	26.659	24.737	6.402	12.529	85.645
Kuat III	96.518	90.869	78.969	42.824	108.935
Kuat IV	24.777	22.948	7.364	36.524	102.043
Kuat V	45.791	39.950	28.170	37.635	103.110
Ekstrem I eqX	25.460	23.591	7.014	27.956	95.262
Ekstrem I eqY	25.486	23.604	7.057	27.955	95.260
Ekstrem II	25.449	23.585	7.020	27.954	95.260

Geser ultimit rencana balok diafragma penampang 900 luar, Vu = 96.518 kN

Momen ultimit rencana balok diafragma penampang 900 luar, Mu = 90.869 kNm

Geser ultimit rencana balok diafragma penampang 900 dalam, Vu = 42.824 kN

Momen ultimit rencana balok diafragma penampang 900 dalam, Mu =108.935 kNm

(digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu Kuat III)

Tabel 5.10 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit

Batas ULTIMIT	PENAMPANG 2500				
	Luar			Dalam	
	geser	momen		geser	momen
Keadaan BATAS	Vu	Mu+	Mu-	Vu	Mu
	(kN)	(kNm)		(kN)	(kNm)
Kuat I	3341.790	2255.104	4252.075	99.394	803.046
Kuat II	3142.922	2094.633	4014.811	96.527	750.152
Kuat III	2569.095	1643.659	3318.131	94.983	596.755
Kuat IV	2446.997	1532.985	3184.388	86.491	565.025
Kuat V	2455.074	1543.721	3190.028	86.507	565.895
Ekstrem I	2695.480	1733.581	3480.980	90.081	631.150
Ekstrem II	2695.471	1733.574	3480.968	90.075	631.142

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Geser ultimit rencana balok diafragma penampang 2500 luar, Vu =3341.790 kN

Momen ultimit rencana balok diafragma penampang 2500 luar, Mu = 4252.075 kNm

Geser ultimit rencana balok diafragma penampang 2500 dalam, Vu = 99.394 kN

Momen ultimit rencana balok diafragma penampang 2500 dalam, Mu = 803.046 kNm (digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu Kuat I)

2. Hasil kombinasi gaya geser dan momen layan dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12.

Tabel 5.11 Kombinasi gaya geser dan momen layan

Batas Layan	PENAMPANG 900				
	Luar			Dalam	
	Geser	Momen		Geser	Momen
Keadaan BATAS	Vy	My+	My-	Vy	My
	(Kn)	(Knm)		(Kn)	(Knm)
Layan I	38.414	34.379	20.900	13.11	68.543
Layan II	22.953	21.300	4.991	17	73.379
Layan III	22.281	20.660	5.334	9.57	67.268
Layan IV	57.258	52.748	41.605	24.276	75.438
Fatik	1.008	1.463	0.5523	12.855	15.534

Geser layan rencana balok diafragma penampang 900 luar, Vy =57,258 kN

Momen layan rencana balok diafragma penampang 900 luar, My = 52,748 kNm

Geser layan rencana balok diafragma penampang 900 dalam, Vy = 24,276 kN

Momen layan rencana balok diafragma penampang 900 dalam, My = 75,43 kNm

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

(digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu layan IV)

Tabel 5.12 Kombinasi gaya geser dan momen layan

Batas Layan	PENAMPANG 2500				
	Luar			Dalam	
	Geser	Momen		Geser	
Keadaan BATAS	Vy	My+	My-	Vy	My
	(Kn)	(Knm)		(Kn)	
Layan I	2409.69	1582.70	3089.67	67.641	558.85
Layan II	2552.612	1694.89	3263.33	69.698	597.72
Layan III	2304.028	1494.30	2966.75	66.113	531.60
Layan IV	1920.009	1191.31	2501.70	61.145	426.29
Fatik	372.876	300.88	444.86	12.815	99.175

Geser layan rencana balok diafragma penampang 2500 luar, Vy =2552,612 kN

Momen layan rencana balok diafragma penampang 2500 luar, My = 3263,3 kNm

Geser layan rencana balok diafragma penampang 2500 dalam, Vy = 69,698 kN

Momen layan rencana balok diafragma penampang 2500 dalam, My = 597,72 kNm

(digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu layan II)

5.2.3 Kombinasi pada plat lantai

Berdasarkan pada hasil perhitungan kombinasi pembebanan pada plat lantai dijelaskan pada Tabel 5.13. dan Tabel 5.14.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.13 Kombinasi gaya geser dan momen ultimit

Batas ULTIMIT	Plat Lantai		
	Geser	Momen	
Keadaan BATAS	Vu	Mu+	Mu-
	(Kn)	(Knm)	
Kuat I	206.06	163.254	218.325
Kuat II	187.03	164.478	198.285
Kuat III	170.84	39.180	102.694
Kuat IV	170.26	38.199	93.522
Kuat V	170.26	169.491	130.275
Ekstrem I Eqx	169.43	167.235	153.197
Ekstrem I Eqy	169.43	167.235	153.198
Ekstrem II	169.43	167.233	153.195

Geser ultimit rencana plat lantai, Vu = 206,06 kN

Momen ultimit rencana plat lantai, Mu = 218,325 kNm (digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu Kuat I)

Tabel 5.14 Kombinasi gaya geser dan momen layan

Batas Layan	Plat Lantai		
	Geser	Momen	
Keadaan BATAS	Vy	My+	My-
	(Kn)	(Knm)	
Layan I	139.35	138.544	144.961
Layan II	148.25	137.072	158.428
Layan III	139.68	138.605	133.378
Layan IV	141.01	142.274	97.264
Fatik	35.68	10.847	37.574

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Geser layan rencana plat lantai, Vu = 148,25 kN

Momen layan rencana plat lantai, Mu = 158,428 kNm

(digunakan kombinasi pembebanan ultimit dengan gaya geser dan momen paling besar yaitu Kuat I)

5.3 Gaya Prategang dan Konfigurasi Tendon Gelagar 900

5.3.1 Tegangan izin

Mutu beton gelagar prategang,	K	=	500	
Kuat tekan beton,	$f_c' = 0,83*K/9,81$	=	42,30	MPa
Kuat tekan beton *initial* (transfer),	$f_{ci}' = 0,80* f_c'$	=	33,84	MPa

1. Tegangan izin beton saat *Jacking* (kondisi transfer),

Tegangan izin tekan,	$f_{at} = -0,60*f_{ci}'$	=	20,31	MPa
Tegangan izin tarik,	$f_{bt} = 0,25*\sqrt{f_{ci}'}$	=	1,45	MPa
Tegangan izin tekan,	$f_{at} = 0,70*f_{ci}'$	=	23,69	MPa
Tegangan izin tarik,	$f_{bt} = 0,50*\sqrt{f_{ci}'}$	=	2,91	MPa

2. Tegangan izin beton pada kondisi layan

Tegangan izin tekan akibat beban tetap,

	$f_{as} = 0,45*f_c'$	=	18,34	MPa

Tegangan izin tekan akibat beban total,

	$f_{as} = 0,60*f_c'$	=	20,31	MPa

Tegangan izin tarik,

	$f_{bs} = 0,50*\sqrt{f_c'}$	=	2,91	MPa

5.3.2 Gaya prategang awal

Momen tahanan sisi bawah,	W_b	=	0,069	m^3
Momen tahanan sisi atas,	W_a	=	0,059	m^3
Luas penampang balok prategang,	A	=	0,289	m^2

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Posisi titik berat tendon terhadap alas,	z_0	=	0,18	m
Eksentrisitas tendon,	$e_s = y_b - z_0$	=	0,234	m
Posisi titik berat terhadap alas,	y_b	=	0,414	m
Momen akibat berat gelagar prategang	M_{balok}	=	273,51	kNm

1. Tegangan pada serat atas (tarik)

Tegangan izin tarik,	$f_{bt} = 0{,}25*\sqrt{f_{ci}'}$	=	1,45	MPa
Gaya prategang,	$fbt=-P_t/A+(P_t\ e_s)/W_a\ -M_{balok}/W_a$	=	1454,37	kPa
	$P_t=(f_{bt}+M_{balok}/W_a\ )/(-1/A+e_s+W_a\ )$	=	12391,38	kN

2. Tegangan pada serat bawah (tekan)

Tegangan izin tekan,	$f_{at} = 0{,}60*f_{ci}'$	=	20,31	MPa
Gaya prategang,	$fat=-P_t/A+(P_t\ e_s)/W_b\ -M_{balok}/W_b$	=	20305,8	kPa
	$P_t=(f_{bt}+M_{balok}/W_a\ )/(-1/A+e_s+W_a\ )$	=	3549,56	kN

Gaya prategang yang digunakan adalah gaya terkecil diantara kedua kondisi sebelumnya, maka gaya prategang dipakai adalah 3549,56 kN

5.3.3 Menentukan jumlah tendon dan *strands* tiap tendon

Jenis strands = *low relaxation 7 wire strands ASTM A-416 grade 270*

Tegangan leleh kawat	f_{py}	=	1580	MPa
Kuat tarik kawat,	f_{pu}	=	1860	MPa
Beban putus satu strands,	P_{bs}	=	183,606	kN
Beban putus tendon,	P_{b1}	=	2204,769	kN
Gaya prategang awal,	P_t	=	19279,40	kN
Jumlah tendon:	$n_t = P_t / (0{,}85*0{,}80*P_{b1})$	=	2,525	tendon
diambil jumlah tendon	n_t	=	3	tendon
Jumlah strands dipakai	n_s	=	31	buah

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja,

$$p_o = P_t / (0{,}85*n_s*P_{bs}) * 100 = 73{,}3161\ \%$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

(SNI 2847:2013 mensyaratkan tegangan tarik tendon lebih kecil dari 0,8 f_{pu})

$p_o < 80\ \%$, OK!

Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking*,

$P_j = p_o * n_s * P_{bs}$ = 4175,833 kN

Tegangan pada saat *jacking*,

$f_{pj} = P_j / (A_{st} * n_s)$ = 1363,679 MPa

Tegangan awal (kuat tarik awal *strands*),

$f_{pi} = P_t / (A_{st} * n_s)$ = 1159,13 MPa

5.3.4 Posisi tendon di tumpuan

Jarak alas ke as tendon paling bawah, a = 0,30 m

Letak titik berat penampang balok terhadap alas, y_b = 0,414 m

Tabel 5.15 Distribusi tendon di tumpuan

Baris Tendon Ke-	Jumlah Tendon	Strands per Tendon	Jumlah Strands, n_i
1	1	7	7
2	1	12	12
3	1	12	12
		n=	31

Tabel 5.16 Momen statis tendon terhadap pusat terbawah

n_i	y_d'	$n_i * y_d$'
7	1	7
12	2	24
12	3	36
	$\sum n_i * y_d$' / y_d' =	67

Perhitungan momen statis tendon untuk mencari jarak antar tendon pada tumpuan,

$\sum n_i * y_d$' = $n_s * y_e$

$Y_e/y_d' = (\sum n_i\ y_d')/y_d' / n_s$ = 2,1612 m

$y_e = y_b - a$ = 0,114 m

Jarak antar as tendon pada tumpuan, $y_d' = y_e/(y_e/y_d')$ = 0,053 m

Jarak titik berat tendon dari alas, $z_0 = y_b = a + y_e$ = 0,414 m

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.3.5 Posisi tendon di tengah bentang

Jarak as tendon terbawah ke alas balok, a = 0,10 m

Letak titik berat balok terhadap alas, y_b = 0,414 m

Tabel 5.17 Distribusi tendon di tengah tumpuan

Baris Tendon Ke-	Jumlah Tendon	Strands per Tendon	Jumlah Strands, n_i
1	1	7	7
2	2	12	24
n_s =			31

Eksentrisitas tendon, $e_s = y_b - z_0$ = 0,23 m

Menetapkan jarak titik berat tendon dari alas, z_0 = 0,18 m

Momen statis tendon terhadap alas,

$$n_s * z_0 = n_1*a + n_2*(a+y_d) + n_3*(a+2*y_d)$$

$$yd = ns*(z0-a) / (n2+2*n3) = 0{,}08 \text{ m}$$

Diambil jarak vertikal antar tendon, y_d = 0,18 m

Diameter selubung tendon, d = 100 mm

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon, $y_d - d$ = 0,08 m

y_d > 25 mm OK!

Selanjutnya dilakukan perhitungan eksentrisitas tendon guna menentukan posisi lintasan masing masing tendon.

Tabel 5.18 Eksentrisitas tendon pada tumpuan dan tengah bentang

Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan X = 0.00 m	Jarak Terhadap Alas Z_i' (m)	Posisi Tendon di Tengah Bentang X = 30.50 m	Jarak Terhadap Alas z_i (m)	$f_i = Z_i' - z_i$
1	$Z_1' = a + 2y_d'$	0,405	$z_1 = a + 2y_d'$	0.46	0.055
2	$Z_2' = a + 1y_d'$	0.353	$z_2 = a + 1y_d'$	0.28	0.073
3	$Z_3' = a$	0.300	$z_3 = a$	0.1	0.200

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.3.6 Posisi lintasan tendon dan gambar lintasan tendon pada tumpuan

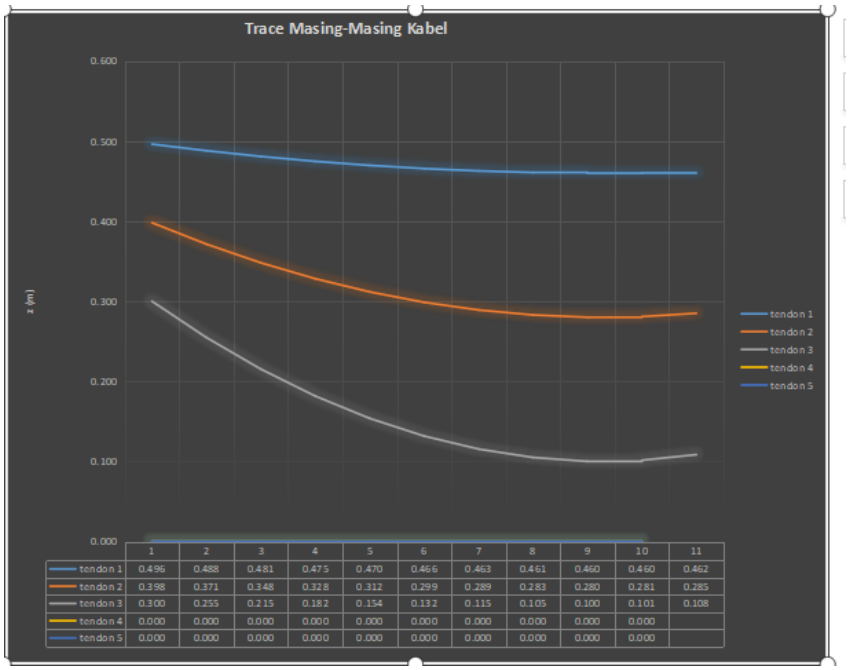
Posisi lintasan tendon $z_i = Z_i' - 4\, f_i\, X / L^2\, (L - X)$

Posisi masing masing tendon dihitung guna mendapatk posisi z tiap tendon pada jarak yang ditinjau.

Tabel 5.19 posisi lintasan masing-masing tendon

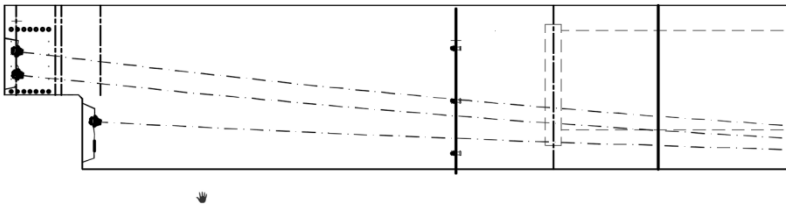
X (m)	zo (m)	z1 (m)	z2 (m)	z3 (m)
0.00	0.414	0.405	0.353	0.300
1.00	0.361	0.418	0.336	0.255
2.00	0.315	0.429	0.322	0.215
3.00	0.275	0.438	0.310	0.182
4.00	0.243	0.445	0.300	0.154
5.00	0.217	0.451	0.291	0.132
6.00	0.198	0.456	0.286	0.115
7.00	0.186	0.459	0.282	0.105
8.30	0.180	0.460	0.280	0.100
9.00	0.182	0.460	0.281	0.101
10.00	0.190	0.458	0.283	0.108
11.00	0.205	0.454	0.288	0.121
12.00	0.226	0.449	0.294	0.140
13.00	0.255	0.442	0.303	0.164
14.00	0.290	0.434	0.314	0.194
15.00	0.332	0.424	0.327	0.230
16.60	0.414	0.405	0.353	0.300

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
tendon 1	0.496	0.488	0.481	0.475	0.470	0.466	0.463	0.461	0.460	0.460	0.462
tendon 2	0.398	0.371	0.348	0.328	0.312	0.299	0.289	0.283	0.280	0.281	0.285
tendon 3	0.300	0.255	0.215	0.182	0.154	0.132	0.115	0.105	0.100	0.101	0.108
tendon 4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
tendon 5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Gambar 5.6 Lintasan masing-masing tendon



Gambar 5.7 Potongan Memanjang Lintasan Tendon

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.4 Kehilangan Gaya Prategang Gelagar 900

Besarnya tegangan yang terjadi,

Tegangan pada saat penarikan, (*jacking*),	f_{pj}	=	1368,44 MPa
Tegangan pada saat awal, (*initial*)	f_{pi}	=	1163,17 MPa

5.4.1 Kehilangan akibat perpendekan elastis beton

Jumlah *strands*,	n_s	=	31 buah
Beban putus 1 *strands*,	P_{bs}	=	183730 N
Modulus elastisitas beton prategang,	E_c	=	34959 MPa
Modulus elastisitas baja prategang,	E_s	=	193000 MPa
Modulus rasio beton dan baja prategang,	$n = E_s / E_c$	=	5,52
Luas penampang balok prategang,	A	=	300650 mm^2

Pada sistem pasca tarik kehilangan akibat perpendekan elastis beton.

Nilai tegangan tendon 1	$f_{cs1} = (n_s - n_1) * P_{bs} / A$	=	14,67 MPa
Tegangan akibat tendon ke-1,	$\Delta f_{es1} = n * f_{cs1}$	=	80,97 MPa
Nilai tegangan tendon 2	$f_{cs2} = (n_s - (n_1 + n_2)) * P_{bs} / A$	=	7,33 MPa
Tegangan akibat tendon ke-2,	$\Delta f_{es2} = n * f_{cs2}$	=	40,48 MPa
Nilai tegangan 3,	$f_{cs3} = (n_s - (n_1 + n_2 + n_3)) * P_{bs} / A$	=	0 MPa
Tegangan akibat tendon ke-3,	$\Delta f_{es3} = n * f_{cs3}$	=	0 MPa

Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis pada beton,

$$\Delta f_{es} = (N\text{-}1/2N)(\Delta f_{es1} + \Delta f_{es2} + \Delta f_{es3} + \Delta f_{es4} + \Delta f_{es5}) / 5 = 24{,}29 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan akibat pemendekan elastis beton,

$$\% = \Delta f_{es} / f_{pj} = 1{,}78 \ \%$$

5.4.2 Kehilangan akibat gesekan sepanjang beton

Panjang baja prategang dari titik *jacking*,	L_F	=	16,6 m
Koefisien friksi,	μ	=	0,2
Koefisien *Wobble*,	K	=	$2*10^{-4}$
Perubahan sudut total *layout* kabel titik *jacking*,	α	=	0,0932 rad

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan sepanjang beton,

$\Delta fF = fpj*(1-e\text{^}(-K*L-\mu*\alpha)) = 31{,}953$ MPa

$\Delta f_F = \% * f_{pj} = 2{,}335$ %

5.4.3 Kehilangan akibat slip pada pengangkuran

Besarnya slip angkur bervariasi tergantung dari sistem prategang yang digunakan, yang nilainya berkisar 3 – 10 mm. Nilai slip angkur sebesar 7 mm dapat diasumsikan dalam perhitungan untuk pendekatan.

Nilai slip angkur, $\Delta L = 6$ mm

Panjang balok prategang, $L = 16{,}6$ m

Modulus elastisitas baja prategang, $E_s = 193000$ MPa

Kehilangan tegangan akibat slip pengangkuran,

$\Delta f_A = \Delta L * E_s / L = 69{,}759$ MPa

Persentase kehilangan tegangan akibat slip pengangkuran,

$\% = \Delta f_A / f_{pj} = 5{,}098$ %

5.4.4 Kehilangan akibat rayapan pada beton (*creep*)

Momen akibat beban mati tambahan, $M_{MA} = 202{,}57$ MPa

Eksentresitas tendon di tengah bentang, $e_s = 0{,}25$ m

Momen inersia terhadap titik berat balok, $I_x = 0{,}030$ m^4

Tegangan serat bawah pada kondisi transfer, $f_{cs} = f_b = 20{,}306$ MPa

Selisih tegangan pada saat transfer dengan tegangan akibat beban mati tambahan,

$\Delta f_{csd} = f_{cs} - f_{csd} = 20{,}304$ MPa

Kehilangan tegangan akibat rayapan pada beton,

$\Delta f_{cr} = 12 * f_{cs} - 7 * \Delta f_{csd} = 101{,}54$ MPa

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Persentase kehilangan tegangan akibat rayapan pada beton (*creep*),

$\% = \Delta f_{cr} / f_{pj}$ = 7,42 %

5.4.5 Kehilangan akibat penyusutan pada beton (*shrinkage*)

Modulus elastisitas baja prategang, E_s = 193000 MPa

- Luas balok, A = 0,3065 m^2

Volume beton, $V = A * L$ = 4,99 m^3

- Panjang balok, L = 16,6 m

- Luas permukaan bawah, $S_{bawah} = L*b_6$ = 10,79 m^2

- Luas permukaan atas, $S_{atas} = L*b_2$ = 9,13 m^2

- Luas permukaan depan / belakang, $S_{depan} = A$ = 0,3065 m^2

- Luas permukaan samping,

$S_{samping} = L*(h_1+h_2+(h_4-h_3-h_5)+h_6) + L*(\sqrt{(b_3^2+h_3^2)}+\sqrt{(b_5^2+h_5^2)})$ = 12,50 m^2

$S_{total} = 2*(S_{depan}+S_{samping}) + S_{atas} + S_{bawah}$ = 45,520 m^2

Perbandingan volume dan luas permukaan beton, V / S = 0,110 m

Koefisien kelembapan untuk susut, k_{sh} = 0,7

Koefisien penyusutan, $\varepsilon_{sh} = k_s k_{hs} k_f k_{td}$ 0,48*10^-3 = 0,00029

Kehilangan tegangan akibat penyusutan beton,

$\Delta f_{sh} = \varepsilon_{sh} E_p K_{id}$ = 36,534 MPa

Persentase kehilangan tegangan akibat penyusutan pada beton,

$\% = \Delta f_{sh} / f_{pj}$ = 2,67 %

5.4.6 Kehilangan akibat relaksasi baja prategang

Baja prategang yang digunakan, *low-relaxation 7 wire strand ASTM416*

Durasi awal beban mati tambahan di aplikasikan, t_1 = 30 hari

Waktu yang ditinjau setelah beban mati tambahan di aplikasikan,

t_2 = 1825 hari

Gaya prategang *initial*, f_{pi} = 1163,17 MPa

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tegangan leleh *strands*,	f_{py}	=	1580	MPa
Koefisien transformasi penampang,	K_{id}	=	0,823	
Kehilangan prategang akibat relaksasi baja	Δf_r	=	38,639	MPa

Persentase kehilangan tegangan akibat relaksasi baja prategang,

$$\% = \Delta f_r / f_{pj} = 2{,}842\ \%$$

5.4.7 Kehilangan total prategang

Hasil akumulasi kehilangan total pada sistem pasca-tarik dapat dilihat pada tabel 5.20.

$$\Delta f_{TOTAL} = \Delta f_{es} + \Delta f_F + \Delta f_A + \Delta f_{cr} + \Delta f_{sh} + \Delta f_r$$

Tabel 5.20. Kehilangan gaya prategang

Jenis Kehilangan Gaya Prategang	Kehilangan Tegangan (Mpa)	Persentase (%)
Perpendekan elastis beton	24,29	1,78
Gesekan sepanjang beton	32,33	2,36
Slip pada pengangkuran	69,76	5,10
Rayapan pada beton	101,54	7,42
Penyusutan beton	36.53	2,67
Relaksasi baja prategang	38,64	2,82
TOTAL	**303,09**	**22.15**

5.5 Perencanaan Balok Prategang Berdasarkan Batas Ultimit Gelagar 900

5.5.1 Kapasitas lentur

1. Kuat leleh baja prategang (f_{ps})

Jarak serat tekan terjauh ke titik pusat tulangan tarik non prategang,

Tinggi total balok komposit,	H	=	1,2	m
(tidak menggunakan tulangan non prategang)	d	=	0	m
Letak titik berat tendon terhadap alas gelagar,	z_0	=	0,18	m

Jarak serat tekan terjauh ke pusat tulangan prategang,

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$d_p = H + h_0 - z_0$ = 1,02 m

Setengah tegangan tarik *strands*, $0.50 * f_{pu}$ = 930 MPa

Tegangan prategang efektif, f_{eff} = 3253,62 MPa

$f_{eff} \geq 0.5 * f_{pu}$ OK!

Perbandingan tegangan leleh dan tarik *strands*, f_{py} / f_{pu} = 0,849

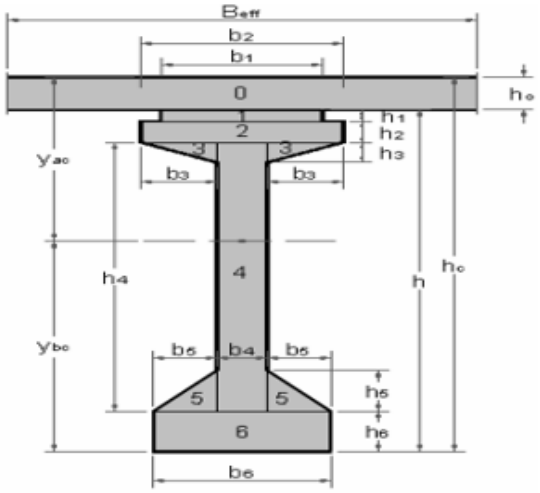
Untuk $f_{py} / f_{pu} \geq 0.85$, γ_p = 0,28

Nilai β_1, (untuk f_c'>30 MPa) β_1 = 0,76

Kuat leleh baja prategang, (untuk tendon terikat)

$f_{ps}=f_{pu}\{1-\gamma_p/\beta_1 * [\rho_p * f_{pu}/f_c' + d/d_p(\omega-\omega')]\}$ = 1733,87 MPa

2. Kapasitas lentur (M_r)



Gambar 5.8 Gelagar Komposit

Asumsi T tidak murni

Asumsi garis netral, $a \leq h_0 + h_1$ = 0,39 m

Kondisi 1, baja tarik A_{ps} diimbangi oleh beton tekan pada sayap

Asumsi $C_c = T_s$

$T_{s1} = A_{ps} * f_{ps}$ = 5309,386 kN

$C_c = 0.85 * f_c' * (B_{eff} * h_0 + b_2 * (a - h_0))$ = T_{s1}

$a = [T_s / (0.85 * f_c') - B_{eff} * h_0] / b_1 + h_0$ = 0,175 m

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ASUMSI BENAR

Garis netral terletak pada h_1 (terletak pada sayap)

Regangan baja prategang, $\varepsilon_{ps} = 0.003*(d_p-c)/c$ = 0,016325

ε_{ps} < 0,03 OK!

c = 0,230 m

Tinggi bidang tekan, $a = \beta_1 * c$ = 0,175 m

Gaya tekan dan momen nominal pada beton dihitung dengan persamaan berikut:

Gaya internal tekan beton, C_c $= \sum (A_i*0.85*f_c')$

Momen nominal, M_n $= \sum (A_i*0.85*f_c'*y_i)$

Tabel 5.20 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen nominal

No	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m^2)	Gaya (kN)	Lengan terhadap pusat baja prategang	y (m)	Momen (kNm)
0	1,46	0,3	0,438	15784,021	$y = d_p - h_0/2$	0,87	41497,271
1	0,55	0,13	0,0715	2571,011	$y = d_p - h_0 - (a - h_0)/2$	0,958	24798,419
Total				28077,9914	Total		66295,691

Gaya internal beton, $C_c = T_s$ = 18355,033 kN

Momen nominal, M_n = 16194,374 kNm

Faktor reduksi, ϕ = 0.80

Momen nominal terfaktor, $M_r = \phi M_n$ = 11659,949 kNm

Momen ultimit dari *CSiBridge* Mu = 16710 kNm

Mu/M_n = 0,3501 < 1 … OK!

Momen ultimit yang terjadi akibat pembebanan tidak boleh melebihi besarnya tahanan momen karena besarnya momen nominal terfaktor atau tahanan momen gelagar adalah besarnya momen yang dapat ditahan oleh gelagar tersebut.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.5.2 Kapasitas geser

5.5.2.1 Perhitungan gaya geser ultimit

Berdasarkan pada perhitungan menggunakan perangkat lunak CSiBridge maka didapatkan nilai gaya geser ultimit, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.21 gaya geser ultimit gelagar 900

Posisi x	x (m)	Vu (kN)	Vu (N)
0	0	462.43	462429.00
1/6L	2.766	571.05	571047.00
2/6 L	5.533	585.79	585788.00
3/6 L	8.3	916.87	916866.00
4/6 L	11.066	1132.44	1132440.00
5/6L	13.833	1287.95	1287950.00
6/6L	16.6	1436.8	1436800.00

5.5.2.2 Kuat geser yang disediakan beton

Menentukan jarak efektif serat tekan ke tulangan tarik non prategang, maka diambil nilai terbesar dari kedua opsi berikut:

Serat tekan terjauh ke tulangan tarik,	d	=	0,79	m
80% tinggi balok,	$0.8 * H$	=	0,96	m
Digunakan nilai d_p terbesar,	$d_p = 0.8 * H$	=	0,96	m
Tegangan prategang efektif,	f_{eff}	=	950,56	MPa
Tegangan putus *strand*,	f_{pu}	=	1860	MPa
Cek apakah memenuhi syarat	$f_{eff} > 0.4 * f_{pu}$,			
			950,56 > 744 OK!	

Faktor modifikasi λ (beton normal),	λ	=	1	
Kuat tekan beton,	f_c'	=	42,30	MPa
Lebar badan,	b_w	=	0,17	m

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kuat geser beton minimal,

$$V_c min = 0.17\lambda \sqrt{(f_c')} b_w d = 180{,}451 \text{ kN}$$

Kuat geser beton maksimal,

$$V_c maks = 0.42\lambda \sqrt{(f_c')}\, b_w\, d = 445{,}819 \text{ kN}$$

Kuat geser pada beton dihitung untuk menentukan nilai nominal gaya geser yang dapat ditahan oleh beton tanpa tulangan geser sehingga kuat geser beton diambil dari nilai terbesar.

Kuat geser dipakai,	$V_c maks$	=	445,82	kN
Faktor reduksi kekuatan geser,	ϕ	=	0,70	kN
Kuat geser nominal beton,	$V_c maks * \phi$	=	312,073	kN

Tabel 5.22 kuat geser beton gelagar 900

Kekuatan geser yang disediakan beton (Vc)						
Posisi	x	Vc min	Vc maks	Vc digunakan	ϕVc	ΔV = Vu - ϕVc
	(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0	0.000	180.451	445.819	445.82	312.0736	150.36
1/6L	2.767	180.451	445.819	445.82	312.0736	258.97
2/6 L	5.533	180.451	445.819	445.82	312.0736	273.71
3/6 L	8.300	180.451	445.819	445.82	312.0736	604.79
4/6 L	11.067	180.451	445.819	445.82	312.0736	820.37
5/6L	13.833	180.451	445.819	445.82	312.0736	975.88
6/6L	16.600	180.451	445.819	445.82	312.0736	1124.73

Nilai ΔV diatas adalah kebutuhan gaya geser untuk perencanaan sengkang Perhitungan jarak sengkang didapatkan dengan perbandingan nilai gaya geser dengan nilai tahanan geser yang diakomodasi oleh satu buah sengkang.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.5.2.3 Kebutuhan tulangan geser

Tabel 5.23 Gaya geser yang harus di akomodasi sengkang

Kekuatan geser yang disediakan tulangan geser							
Posisi	x (m)	Av min /s	Vs = ΔV (kN)	Av /s	Av / s Terpakai	s Terpakai (mm)	Tulangan digunakan
0.000	0.000	0.171	150.355	0.392	0.392	1355.966	D13 - 300
1/6L	2.767		258.973	0.674	0.674	787.250	D13 - 200
2/6 L	5.533		273.714	0.713	0.713	744.852	D13 - 200
3/6 L	8.300		604.792	1.575	1.575	337.102	D13 - 100
4/6 L	11.067		820.366	2.136	2.136	248.519	D13 - 100
5/6L	13.833		975.876	2.541	2.541	208.917	D13 - 50
6/6L	16.600		1124.726	2.929	2.929	181.268	D13 - 50

Perhitungan jarak sengkang dihitung pada tiap titik untuk mengetahui letak terjadinya pergantian/transisi jarak antar sengkang. Jarak sengkang tidak boleh lebih dari 300 mm.

5.5.3 Kapasitas torsi

Torsi diambil dari selisih antara torsi ultimit (T_u) dan kapasitas torsi kritis (T_{cr})

Torsi ultimit (T_u)

Torsi akibat beban gempa, $T_{EQ} = M_{EQ\ puntir}$ = 10,74 kNm

Torsi akibat beban angin kendaraan, $T_{EWl} = M_{EWl\ puntir}$ = 3,38 kNm

Torsi akibat beban lajur D, $T_D = M_{TD\ puntir}$ = 1059,08 kNm

Torsi ultimit $T_u = T_D + T_{EWl} + T_{EQ}$ = 1073,19 kNm

Torsi kritis (T_{cr})

Faktor modifikasi λ, (untuk beton normal) λ = 1

Koefisien reduksi torsi, ϕ = 0,7

Keliling luar penampang, p_{cp} = 4,826 m^2

Luas yang dibatasi keliling penampang beton, A_{cp} = 0,739 m^2

Gaya prategang efektif, P_{eff} = 3262,278 kN

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tegangan tekan beton pada pusat penampang,

$f_{pc} = P_{eff} / A_{cp}$ = 4410,840 kPa

Torsi kritis didapat dengan persamaan sebagai berikut,

$T_{cr}=\phi 0.083\lambda\sqrt{(f_c')}(A_{cp}^2/p_{cp})\ \sqrt{(1+f_{cp}/(0.33\lambda\sqrt{f_c'}))}$ = 1942,045 kNm

Maka didapatkan bahwa $T_u < T_{cr}$ = 1073,19 < 1942,045

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan kapasitas torsi pada gelagar prategang lebih besar dari nilai torsi ultimit yang terjadi. Mengacu pada SNI 2847:2013 dalam kondisi ini akibat dari torsi dapat diabaikan.

5.5.4 Lendutan

Syarat batas lendutan yang disebutkan MKBM 2011 diambil dari ACI 318-11 yang menyebutkan bahwa lendutan ijin maksimum diambil dari *serviceability* jembatan yang ditentukan oleh *Serviceability Limit State* (SLS). Pada RSNI T-12-2004 dijelaskan bahwa batas lendutan yang diizinkan untuk kondisi ultimit adalah L/300.

Panjang bentang	L	=	16,6	m
Lendutan izin	L / 300	=	0,05533	m
Lendutan berdasarkan CSiBridge	$\Delta \leq$ L/300	=	0,01544	m
			AMAN	

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.6 Gaya Prategang dan konfigurasi Tendon Gelagar 2500

5.6.1 Tegangan izin

Mutu beton gelagar prategang,	K	=	600	
Kuat tekan beton,	$f_c' = 0,83*K/9,81$	=	50,76	MPa
Kuat tekan beton *initial* (transfer),	$f_{ci}' = 0,80* f_c'$	=	40,61	MPa

3. Tegangan izin beton saat *Jacking* (kondisi transfer),

Tegangan izin tekan,	$f_{at} = -0,60*f_{ci}'$	=	24,37	MPa
Tegangan izin tarik,	$f_{bt} = 0,25*\sqrt{f_{ci}'}$	=	1,59	MPa
Tegangan izin tekan,	$f_{at} = 0,70*f_{ci}'$	=	28,43	MPa
Tegangan izin tarik,	$f_{bt} = 0,50*\sqrt{f_{ci}'}$	=	3,19	MPa

4. Tegangan izin beton pada kondisi layan

Tegangan izin tekan akibat beban tetap,

	$f_{as} = 0,45*f_c'$	=	22,84	MPa

Tegangan izin tekan akibat beban total,

	$f_{as} = 0,60*f_c'$	=	24,37	MPa

Tegangan izin tarik,

	$f_{bs} = 0,50*\sqrt{f_c'}$	=	3,19	MPa

5.6.2 Gaya prategang awal

Momen tahanan sisi bawah,	W_b	=	0,922	m^3
Momen tahanan sisi atas,	W_a	=	0,747	m^3
Luas penampang balok prategang,	A	=	1,440	m^2
Posisi titik berat tendon terhadap alas,	z_0	=	0,25	m
Eksentrisitas tendon,	$e_s = y_b - z_0$	=	0,869	m
Posisi titik berat terhadap alas,	y_b	=	1,119	m
Momen akibat berat gelagar prategang	M_{balok}	=	6645,60	kNm

3. Tegangan pada serat atas (tarik)

Tegangan izin tarik,	$f_{bt} = 0,25*\sqrt{f_{ci}'}$	=	1,59	MPa

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gaya prategang,	$fbt=-P_t/A+(P_t\ e_s)/W_a\ -M_{balok}/W_a$	=	1593,18	kPa
	$P_t=(f_{bt}+M_{balok}/W_a\ )/(-1/A+e_s+W_a\ )$	=	22375,61	kN

4. Tegangan pada serat bawah (tekan)

Tegangan izin tekan,	f_{at} = 0,60*f_{ci}'	=	-24,37	MPa
Gaya prategang,	$fat=-P_t/A+(P_t\ e_s)/W_b\ -M_{balok}/W_b$	=	24367,0	kPa
	$P_t=(f_{bt}+M_{balok}/W_a\ )/(-1/A+e_s+W_a\ )$	=	19279,40	kN

Gaya prategang yang digunakan adalah gaya terkecil diantara kedua kondisi sebelumnya, maka gaya prategang dipakai adalah 19279,40 kN

5.6.3 Menentukan jumlah tendon dan *strands* tiap tendon

Jenis strands = *low relaxation 7 wire strands ASTM A-416 grade 270*

Tegangan leleh kawat	f_{py}	=	1580	MPa
Kuat tarik kawat,	f_{pu}	=	1860	MPa
Beban putus satu strands,	P_{bs}	=	183,606	kN
Beban putus tendon,	P_{b1}	=	5875,21	kN
Gaya prategang awal,	P_t	=	19279,40	kN
Jumlah tendon:	$n_t = P_t / (0,85*0,80*P_{b1})$	=	4,825	tendon
diambil jumlah tendon	n_t	=	4	tendon
Jumlah strands dipakai	n_s	=	105	buah

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja,

$p_o = P_t / (0,85*n_s*P_{bs}) * 100$ = 79,518 %

(SNI 2847:2013 mensyaratkan tegangan tarik tendon lebih kecil dari 0,8 f_{pu})

$p_o < 80\ \%$, OK!

Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking*,

$P_j = p_o*n_s*P_{bs}$ = 22681,647 kN

Tegangan pada saat *jacking*,

$f_{pj} = P_j / (A_{st}*n_s)$ = 2188,387 MPa

Tegangan awal (kuat tarik awal *strands*),

$f_{pi} = P_t / (A_{st}*n_s)$ = 1860,13 MPa

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.6.4 Posisi tendon di tumpuan

Jarak alas ke as tendon paling bawah, $a = 0{,}30$ m

Letak titik berat penampang balok terhadap alas, $y_b = 1{,}119$ m

Tabel 5.24 Distribusi tendon di tumpuan

Baris Tendon Ke-	Jumlah Tendon	Strands per Tendon	Jumlah Strands, n_i
1	1	21	21
2	1	28	28
3	1	28	28
4	1	28	28
		n=	105

Tabel 5.25 Momen statis tendon terhadap pusat terbawah

n_i	y_d'	$n_i * y_d$'
21	1	21
28	2	56
28	3	84
28	4	112
	$\sum n_i * y_d$' / y_d' =	273

Perhitungan momen statis tendon untuk mencari jarak antar tendon pada tumpuan,

$\sum n_i * y_d$' = $n_s * y_e$

$Y_e/y_d' = (\sum n_i\, y_d')/y_d')/n_s$ = 2,6 m

$y_e = y_b - a$ = 0,819 m

Jarak antar as tendon pada tumpuan, $y_d' = y_e/(y_e/y_d')$ = 0,315 m

Jarak titik berat tendon dari alas, $z_0 = y_b = a + y_e$ = 1,119 m

5.6.5 Posisi tendon di tengah bentang

Jarak as tendon terbawah ke alas balok, $a = 0{,}10$ m

Letak titik berat balok terhadap alas, $y_b = 1{,}119$ m

Tabel 5.26 Distribusi tendon di tengah tumpuan

Baris Tendon Ke-	Jumlah Tendon	Strands per Tendon	Jumlah Strands, n_i
1	3	28	84
2	1	21	21
		n_s =	105

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Eksentrisitas tendon, $e_s = y_b - z_0$ = 0,87 m

Menetapkan jarak titik berat tendon dari alas, z_0 = 0,25 m

Momen statis tendon terhadap alas,

$$n_s * z_0 = n_1*a + n_2*(a+y_d) + n_3*(a+2*y_d)$$

$$yd = ns*(z0-a) / (n2+2*n3) = 0,15 \text{ m}$$

Diambil jarak vertikal antar tendon, y_d = 0,25 m

Diameter selubung tendon, d = 100 mm

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon, $y_d - d$ = 0,15 m

y_d > 25 mm OK !

Selanjutnya dilakukan perhitungan eksentrisitas tendon guna menentukan posisi lintasan masing masing tendon.

Tabel 5.27 Eksentrisitas tendon pada tumpuan dan tengah bentang

Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan X = 0.00 m	Jarak Terhadap Alas Z_i' (m)	Posisi Tendon di Tengah Bentang X = 30.50 m	Jarak Terhadap Alas z_i (m)	$f_i = Z_i' - z_i$
1	$Z_1' = a + 4y_d'$	1.245	$z_1 = a + 2y_d'$	0.35	0.895
Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan X = 0.00 m	Jarak Terhadap Alas Z_i' (m)	Posisi Tendon di Tengah Bentang X = 30.50 m	Jarak Terhadap Alas z_i (m)	$f_i = Z_i' - z_i$
2	$Z_2' = a + 3y_d'$	0.930	$z_2 = a + 1y_d'$	0.1	0.830
3	$Z_3' = a + 2y_d'$	0.615	$z_3 = a$	0.1	0.515
4	$Z_4' = a + 1y_d'$	0.300	$z_4 = a$	0.1	0.200

5.6.6 Posisi lintasan tendon dan gambar posisi tendon pada tumpuan

Posisi lintasan tendon $z_i = Z_i' - 4 f_i X / L^2 (L - X)$

Posisi masing masing tendon dihitung guna mendapatk posisi z tiap tendon pada jarak yang ditinjau.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

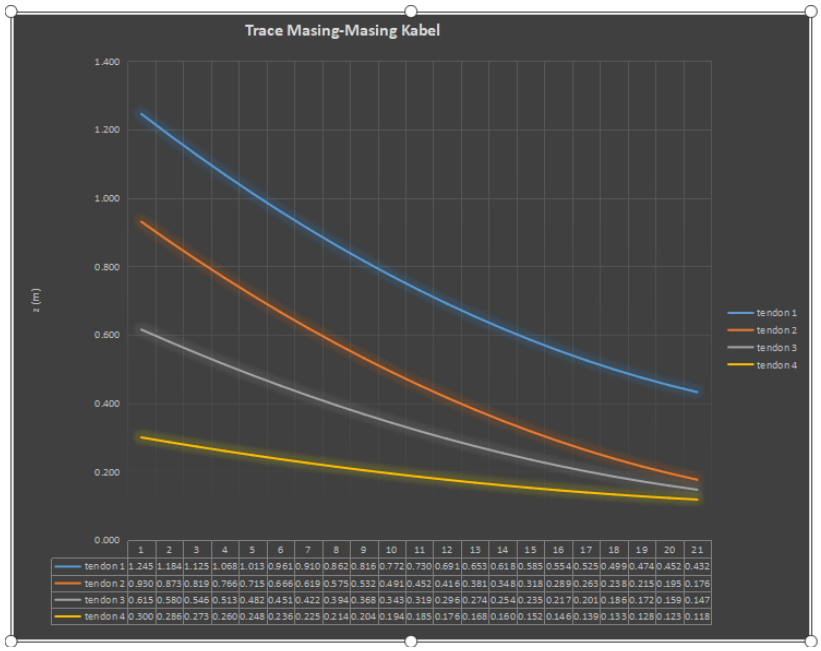
Tabel 5.28 Posisi Lintasan Masing-Masing Tendon

X	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4
0.00	1.119	1.245	0.930	0.615	0.300
1.00	1.060	1.184	0.873	0.580	0.286
2.00	1.002	1.125	0.819	0.546	0.273
3.00	0.947	1.068	0.766	0.513	0.260
4.00	0.894	1.013	0.715	0.482	0.248
5.00	0.843	0.961	0.666	0.451	0.236
6.00	0.794	0.910	0.619	0.422	0.225
7.00	0.747	0.862	0.575	0.394	0.214
8.00	0.702	0.816	0.532	0.368	0.204
9.00	0.660	0.772	0.491	0.343	0.194
10.00	0.619	0.730	0.452	0.319	0.185
11.00	0.581	0.691	0.416	0.296	0.176
12.00	0.544	0.653	0.381	0.274	0.168
13.00	0.510	0.618	0.348	0.254	0.160
14.00	0.478	0.585	0.318	0.235	0.152
15.00	0.448	0.554	0.289	0.217	0.146
16.00	0.420	0.525	0.263	0.201	0.139
17.00	0.394	0.499	0.238	0.186	0.133
18.00	0.371	0.474	0.215	0.172	0.128
19.00	0.349	0.452	0.195	0.159	0.123
20.00	0.330	0.432	0.176	0.147	0.118
21.00	0.313	0.414	0.160	0.137	0.114
22.00	0.297	0.399	0.145	0.128	0.111
23.00	0.284	0.385	0.133	0.120	0.108
24.00	0.273	0.374	0.122	0.114	0.105
25.00	0.264	0.365	0.114	0.109	0.103
26.00	0.258	0.358	0.107	0.105	0.102
27.00	0.253	0.353	0.103	0.102	0.101
28.00	0.250	0.350	0.100	0.100	0.100
28.70	0.250	0.350	0.100	0.100	0.100

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

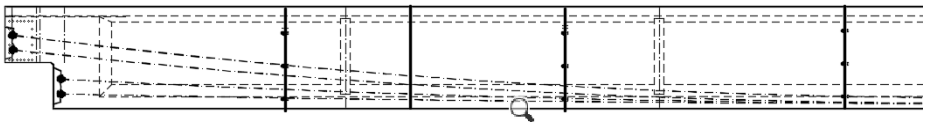
X	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4
29.00	0.250	0.350	0.100	0.100	0.100
30.00	0.252	0.352	0.102	0.101	0.100
31.00	0.256	0.356	0.105	0.103	0.101
32.00	0.261	0.362	0.111	0.107	0.103
33.00	0.270	0.370	0.119	0.112	0.104
34.00	0.280	0.381	0.128	0.118	0.107
35.00	0.292	0.393	0.140	0.125	0.110
36.00	0.306	0.408	0.154	0.133	0.113
37.00	0.323	0.425	0.169	0.143	0.117
38.00	0.341	0.444	0.187	0.154	0.121
39.00	0.362	0.465	0.207	0.166	0.126
40.00	0.385	0.489	0.229	0.180	0.131
41.00	0.410	0.514	0.252	0.195	0.137
42.00	0.437	0.542	0.278	0.211	0.143
43.00	0.466	0.572	0.306	0.228	0.150
44.00	0.497	0.604	0.336	0.246	0.157
45.00	0.530	0.639	0.368	0.266	0.165
46.00	0.566	0.675	0.402	0.287	0.173
47.00	0.603	0.714	0.438	0.309	0.181
48.00	0.643	0.755	0.475	0.333	0.190
49.00	0.685	0.798	0.515	0.358	0.200
50.00	0.729	0.843	0.557	0.384	0.210
51.00	0.775	0.891	0.601	0.411	0.221
52.00	0.823	0.940	0.647	0.440	0.232
53.00	0.873	0.992	0.695	0.469	0.243
54.00	0.926	1.046	0.745	0.500	0.255
55.00	0.980	1.102	0.797	0.533	0.268
56.00	1.037	1.160	0.851	0.566	0.281
57.40	1.119	1.245	0.930	0.615	0.300

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

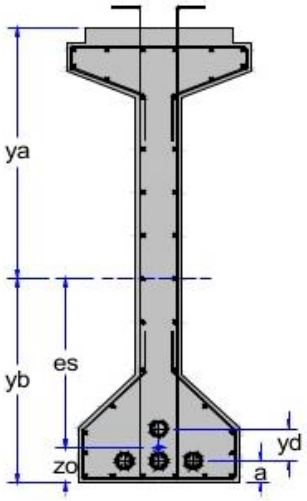


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
tendon 1	1.245	1.184	1.125	1.068	1.013	0.961	0.910	0.862	0.816	0.772	0.730	0.691	0.653	0.618	0.585	0.554	0.525	0.499	0.474	0.452	0.432
tendon 2	0.930	0.873	0.819	0.766	0.715	0.666	0.619	0.575	0.532	0.491	0.452	0.416	0.381	0.348	0.318	0.289	0.263	0.238	0.215	0.195	0.176
tendon 3	0.615	0.580	0.546	0.513	0.482	0.451	0.422	0.394	0.368	0.343	0.319	0.296	0.274	0.254	0.235	0.217	0.201	0.186	0.172	0.159	0.147
tendon 4	0.300	0.286	0.273	0.260	0.248	0.236	0.225	0.214	0.204	0.194	0.185	0.176	0.168	0.160	0.152	0.146	0.139	0.133	0.128	0.123	0.118

Gambar 5.9 Lintasan masing-masing tendon

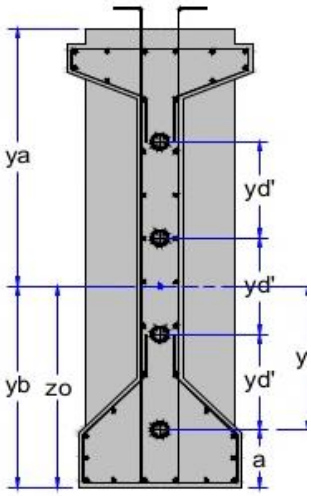


Gambar 5.10 Potongan Memanjang Lintasan Tendon



Gambar 5.11 Posisi tendon pada tengah bentang

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.12 Posisi tendong pada tumpuan

5.6.7 Pemilihan angkur

Persamaan parabolik lintasan tendon yang digunakan,

$$Y = 4\, f_0\, X / L^2\, (L - X)$$

$$dY/dX = 4\, f_i\, (L - 2X) / L^2$$

Untuk x = 0 (angkur terletak pada tumpuan), maka

$$dY/dX = 4\, f_i / L$$

Persamaan sudut angkur, $\alpha = \arctan (dY/dX)$

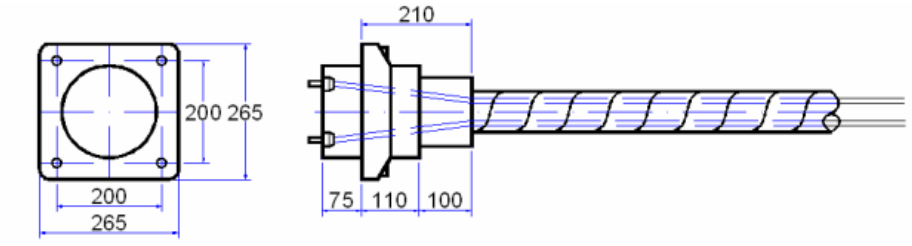
Tabel 5.29 Eksentrisitas dan sudut angkur tiap tendon

Nomor Tendon	Eksentrisitas, f_i (m)	dY / dX	Sudut Angkur (rad)	Sudut Angkur (^{o})
1	1,274	0,125	0,124	7,12
2	1,070	0,105	0,105	5,99
3	0,867	0,085	0,085	4,86
4	0,533	0,052	0,052	2,99
5	0,200	0,020	0,020	1,12

Pada kasus ini digunakan angkur hidup VSL, tipe 19 S_c

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

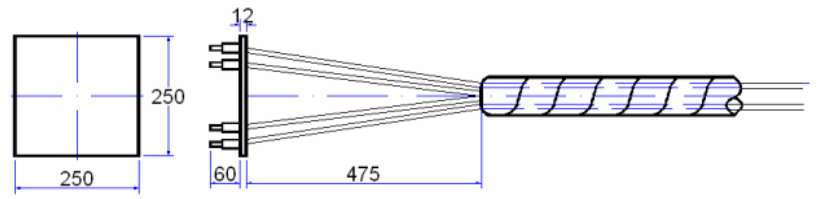
karena lebih ringan dan *compact* dan proses pemasanganya mudah jika dibandingkan angkur hidup VSL lain.



Gambar 5.13 Angkur hidup VSL tipe 19 S_c

Angkur mati VSL, tipe 19 P.

Digunakan untuk mengakomodasi transfer prategang pada tendon yang menyeluruh dengan jarak antara pengangkuran dan *duct* pendek. Angkur ini digunakan untuk pengangkuran setelah *jacking* pada metode *post-tensioning*.



Gambar 5.14 Angkur mati VSL, tipe 19 P

5.7 Kehilangan Gaya Prategang Gelagar 2500

Besarnya tegangan yang terjadi,

Tegangan pada saat penarikan, (*jacking*),	f_{pj}	=	2188,39	MPa
Tegangan pada saat awal, (*initial*)	f_{pi}	=	1860,13	MPa

5.7.1 Kehilangan akibat perpendekan elastis beton

Jumlah *strands*,	n_s	=	105	buah
Beban putus 1 *strands*,	P_{bs}	=	183600,6	N

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Modulus elastisitas beton prategang,	E_c	=	38296,5	MPa
Modulus elastisitas baja prategang,	E_s	=	193000	MPa
Modulus rasio beton dan baja prategang,	$n = E_s / E_c$	=	5,04	
Luas penampang balok prategang,	A	=	1439500	mm^2

Pada sistem pasca tarik kehilangan akibat perpendekan elastis beton.

Nilai tegangan tendon 1	$f_{cs1} = (n_s - n_1) * P_{bs} / A$	=	9,82	MPa
Tegangan akibat tendon ke-1,	$\Delta f_{es1} = n * f_{cs1}$	=	49,49	MPa
Nilai tegangan tendon 2	$f_{cs2} = (n_s - (n_1 + n_2)) * P_{bs} / A$	=	6,25	MPa
Tegangan akibat tendon ke-2,	$\Delta f_{es2} = n * f_{cs2}$	=	31,50	MPa
Nilai tegangan 3,	$f_{cs3} = (n_s - (n_1 + n_2 + n_3)) * P_{bs} / A$	=	2,68	MPa
Tegangan akibat tendon ke-3,	$\Delta f_{es3} = n * f_{cs3}$	=	13,5	MPa
Nilai tegangan 4,	$f_{cs4} = (n_s - (n_1 + n_2 + n_3 + n_4)) * P_{bs}/A$	=	0	MPa
Tegangan akibat tendon ke-4,	$\Delta f_{es4} = n * f_{cs4}$	=	0	MPa

Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis pada beton,

$\Delta f_{es} = (N\text{-}1/2N)(\Delta f_{es1} + \Delta f_{es2} + \Delta f_{es3} + \Delta f_{es4} + \Delta f_{es5}) / 5$ = 18,90 MPa

Persentase kehilangan akibat pemendekan elastis beton,

$\% = \Delta f_{es} / f_{pj}$ = 0,86 %

5.7.2 Kehilangan akibat gesekan sepanjang beton

Panjang baja prategang dari titik *jacking*,	L_F	=	57,4	m
Koefisien friksi,	μ	=	0,2	
Koefisien *Wobble*,	K	=	$6*10^{-6}$	
Perubahan sudut total *layout* kabel titik *jacking*,	α	=	0,1699	rad

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan sepanjang beton,

$\Delta fF = fpj*(1-e\text{^}(-K*L-\mu*\alpha))$ = 91,101 MPa

$\Delta f_F = \% * f_{pj}$ = 4,163 %

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.7.3 Kehilangan akibat slip pada pengangkuran.

Besarnya slip angkur bervariasi tergantung dari sistem prategang yang digunakan, yang nilainya berkisar 3 – 10 mm. Nilai slip angkur sebesar 7 mm dapat diasumsikan dalam perhitungan untuk pendekatan.

Nilai slip angkur,	ΔL	=	6	mm
Panjang balok prategang,	L	=	57,4	m
Modulus elastisitas baja prategang,	E_s	=	193000	MPa

Kehilangan tegangan akibat slip pengangkuran,

$$\Delta f_A = \Delta L * E_s / L = 20{,}174 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan tegangan akibat slip pengangkuran,

$$\% = \Delta f_A / f_{pj} = 0{,}922 \ \%$$

5.7.4 Kehilangan akibat rayapan pada beton (*creep*)

Momen akibat beban mati tambahan,	M_{MA}	=	2422,06	MPa
Eksentresitas tendon di tengah bentang,	e_s	=	0,88	m
Momen inersia terhadap titik berat balok,	I_x	=	1,032	m^4
Tegangan serat bawah pada kondisi transfer,	$f_{cs} = f_b$	=	24,367	MPa

Kehilangan tegangan akibat rayapan pada beton,

$$\Delta f_{cr} = 12 * f_{cs} - 7 * \Delta f_{csd} = 121{,}46 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan tegangan akibat rayapan pada beton (*creep*),

$$\% = \Delta f_{cr} / f_{pj} = 5{,}568 \ \%$$

5.7.5 Kehilangan akibat penyusutan pada beton (*shrinkage*)

Modulus elastisitas baja prategang,	E_s	=	193000	MPa
- Luas balok,	A	=	1,4395	m^2
Volume beton,	$V = A * L$	=	82,63	m^3
- Panjang balok,	L	=	57,4	m
- Luas permukaan bawah,	$S_{bawah} = L*b_6$	=	57,4	m^2

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Luas permukaan atas, $S_{atas} = L*b_2$ = 57,4 m^2
- Luas permukaan depan / belakang, $S_{depan} = A$ = 1,4395 m^2
- Luas permukaan samping,

$$S_{samping} = L*(h_1+h_2+(h_4-h_3-h_5)+h_6) + L*(\sqrt{(b_3^2+h_3^2)}+\sqrt{(b_5^2+h_5^2)}) = 111{,}72\ m^2$$

$$S_{total} = 2*(S_{depan}+S_{samping}) + S_{atas} + S_{bawah} = 341{,}123\ m^2$$

Perbandingan volume dan luas permukaan beton, V / S = 0,242 m

Koefisien kelembapan untuk susut, k_{sh} = 0,7

Koefisien penyusutan, $\varepsilon_{sh} = k_s k_{hs} k_f k_{td}\ 0{,}48*10\text{^}{-3}$ = 0,00029

Kehilangan tegangan akibat penyusutan beton,

$$\Delta f_{sh} = \varepsilon_{sh} E_p K_{id} = 36{,}505\ MPa$$

Persentase kehilangan tegangan akibat penyusutan pada beton,

$$\% = \Delta f_{sh} / f_{pj} = 1{,}67\ \%$$

5.7.6 Kehilangan akibat relaksasi baja prategang

Baja prategang yang digunakan, *low-relaxation 7 wire strand ASTM416*

Durasi awal beban mati tambahan di aplikasikan, t_1 = 30 hari

Waktu yang ditinjau setelah beban mati tambahan di aplikasikan,

t_2 = 1825 hari

Gaya prategang *initial*, f_{pi} = 1860 MPa

Tegangan leleh *strands*, f_{py} = 1580 MPa

Kehilangan prategang akibat relaksasi Δf_r = 208,183 MPa

Persentase kehilangan tegangan akibat relaksasi baja prategang,

$$\% = \Delta f_r / f_{pj} = 9{,}513\ \%$$

5.7.7 Kehilangan total prategang

Hasil akumulasi kehilangan total pada sistem pasca-tarik dapat dilihat pada table 5.30.

$$\Delta f_{TOTAL} = \Delta f_{es} + \Delta f_F + \Delta f_A + \Delta f_{cr} + \Delta f_{sh} + \Delta f_r$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.30. Kehilangan gaya prategang

Jenis Kehilangan Gaya Prategang	Kehilangan Tegangan (Mpa)	Persentase (%)
Perpendekan elastis beton	18.90	0.86
Gesekan sepanjang beton	93.05	4.25
Slip pada pengangkuran	20.17	0.92
Rayapan pada beton	121.85	5.57
Penyusutan beton	36.50	1.67
Relaksasi baja prategang	208.18	9.51
TOTAL	**498.66**	**22.79**

5.8 Perencanaan Balok Prategang Berdasarkan Batas Ultimit Gelagar 2500

5.8.1 Kapasitas lentur

1. Kuat leleh baja prategang (f_{ps})

Jarak serat tekan terjauh ke titik pusat tulangan tarik non prategang,

Tinggi total balok komposit, H = 2,8 m

(tidak menggunakan tulangan non prategang) d = 0 m

Letak titik berat tendon terhadap alas gelagar, z_0 = 0,25 m

Jarak serat tekan terjauh ke pusat tulangan prategang,

$d_p = H + h_0 - z_0$ = 2,55 m

Setengah tegangan tarik *strands*, $0.50 * f_{pu}$ = 930 MPa

Tegangan prategang efektif, f_{eff} = 17513,25 MPa

$f_{eff} \geq 0.5 * f_{pu}$ OK!

Perbandingan tegangan leleh dan tarik *strands*, f_{py} / f_{pu} = 0,849

Untuk $f_{py} / f_{pu} \geq 0.85$, γ_p = 0,45

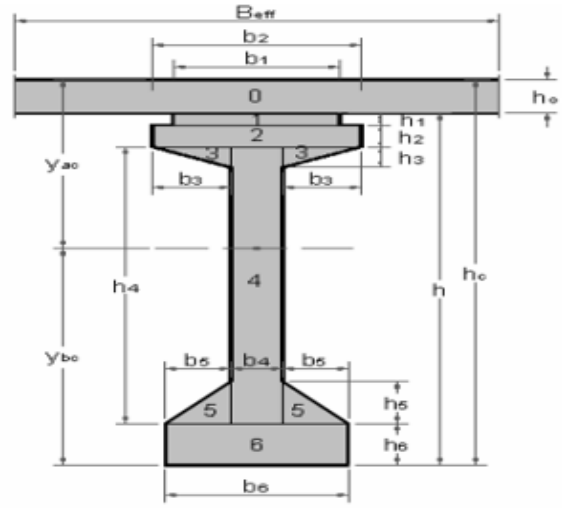
Nilai β_1, (untuk f_c'>30 MPa) β_1 = 0,70

Kuat leleh baja prategang, (untuk tendon terikat)

$f_{ps} = f_{pu}\{ 1-\gamma_p/\beta_1 * [\rho_p * f_{pu}/f_c' + d/d_p(\omega-\omega')]\}$ = 1614,87 MPa

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Kapasitas lentur (M_r)



Gambar 5.15 Gelagar Komposit

Asumsi T tidak murni

Asumsi garis netral, $a \leq h_0 + h_1$ = 0,32 m

Kondisi 1, baja tarik A_{ps} diimbangi oleh beton tekan pada sayap

Asumsi $C_c = T_s$

$T_{s1} = A_{ps} * f_{ps}$ = 16737,445 kN

$C_c = 0.85 * f_c' * (B_{eff} * h_0 + b_2 * (a - h_0))$ = T_{s1}

$a = [\ T_s / (0.85 * f_c') - B_{eff} * h_0\ ] / b_1 + h_0$ = 0,202 m

ASUMSI BENAR

Garis netral terletak pada h_1 (terletak pada sayap)

Regangan baja prategang, $\varepsilon_{ps} = 0.003*(d_p-c)/c$ = 0,0236

ε_{ps} < 0,03 OK!

c = 0,287 m

Tinggi bidang tekan, $a = \beta_1 * c$ = 0,202 m

Gaya tekan dan momen nominal pada beton dihitung dengan persamaan berikut:

Gaya internal tekan beton, C_c $= \sum (A_i*0.85*f_c')$

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Momen nominal, M_n $= \sum (A_i * 0.85 * f_c' * y_i)$

Tabel 5.30 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen nominal

No	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m^2)	Gaya (kN)	Lengan terhadap pusat baja prategang	y (m)	Momen (kNm)
0	1,34	0,3	0,4	17290,93	$y = d_p - h_0/2$	2,4	41497,271
1	1	0,25	0,25	10787,70	$y = d_p - h_0 - (a - h_0)/2$	2,229	24798,419
Total				28077,9914	Total		66295,691

Gaya internal beton, $C_c = T_s$ = 128077,99 kN

Momen nominal, M_n = 66295,691 kNm

Faktor reduksi, ϕ = 0.80

Momen nominal terfaktor, $M_r = \phi M_n$ = 47732,897 kNm

Mu = 16710 kNm

Mu/M_n = 0,3501 < 1 … OK!

Momen ultimit yang terjadi akibat pembebanan tidak boleh melebihi besarnya tahanan momen karena besarnya momen nominal terfaktor atau tahanan momen gelagar adalah besarnya momen yang dapat ditahan oleh gelagar tersebut.

5.8.2 Kapasitas geser

5.8.2.1 Perhitungan gaya geser ultimit

Nilai gaya geser ultimit yang didapatkan dari perhitungan *CSiBridge* dapat dilihat pada Tabel 5.31.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.31 gaya geser ultimit girder 2500

Posisi x	X (m)	Vu (kN)	Vu (N)
0	0	2733.48	2733480.00
1/5l	11.48	1687.01	1687008.00
2/5L	22.96	787.78	787783.00
3/5L	34.44	353.54	353537.00
4/5L	45.92	1080.30	1080300.00
5/5L	57.4	1952.123	1952123.00

5.8.2.2 Kuat geser yang disediakan beton

Menentukan jarak efektif serat tekan ke tulangan tarik non prategang, jika tidak digunakan tulangan tarik non-prategang maka diambil nilai terbesar dari kedua opsi berikut:

Serat tekan terjauh ke tulangan tarik,	d	=	1,35	m
80% tinggi balok,	$0.8 * H$	=	2,24	m
Digunakan nilai d_p terbesar,	$d_p = 0.8 * H$	=	2,24	m

Tegangan prategang efektif,	f_{eff}	=	1137,84	MPa
Tegangan putus *strand*,	f_{pu}	=	1860	MPa
Cek apakah memenuhi syarat	$f_{eff} > 0.4 * f_{pu}$,			
			1137,84> 744OK!	

Faktor modifikasi λ (beton normal),	λ	=	1	
Kuat tekan beton,	f_c'	=	50,76	MPa
Lebar badan,	b_w	=	0,30	m
Kuat geser beton minimal,				
	$V_c min = 0.17\lambda \sqrt{(f_c')} b_w d$	=	813.951	kN

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kuat geser beton maksimal,

$$V_c maks = 0.42\lambda \sqrt{(f_c')}\, b_w\, d \quad = \quad 2010.938 \quad kN$$

Kuat geser pada beton dihitung untuk menentukan nilai nominal gaya geser yang dapat ditahan oleh beton tanpa tulangan geser. Sehingga kuat geser beton diambil dari nilai terbesar ketiga kemungkinan diatas yaitu

Kuat geser dipakai,	$V_c maks$	=	2010,938	kN
Faktor reduksi kekuatan geser,	ϕ	=	0,70	kN
Kuat geser nominal beton,	$V_c maks * \phi$	=	1407,656	kN

Tabel 5.32 kuat geser beton gelagar 2500

Posisi	x	Vc min	Vc maks	Vc digunakan	ϕVc	ΔV = Vu - ϕVc
	(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0	0	813.95	2010.94	2010.94	1407.66	1325.82
1/5l	11.48	813.95	2010.94	2010.94	1407.66	279.35
2/5L	22.96	813.95	2010.94	2010.94	1407.66	0.00
3/5L	34.44	813.95	2010.94	2010.94	1407.66	0.00
4/5L	45.92	813.95	2010.94	2010.94	1407.66	0.00
5/5L	57.4	813.95	2010.94	2010.94	1407.66	544.47

5.8.2.3 Kebutuhan tulangan geser

Tabel 5.33 Gaya geser yang harus di akomodasi sengkang

Posisi	x	Av min /s	Vs = ΔV	Av /s	Av / s Terpakai	s Terpakai	Tulangan digunakan
	(m)		(kN)			(mm)	
0	0	0.331	1325.82	1.479	1.479	358.805	D13 - 100
1/5l	11.48		279.35	0.311	0.331	1602.519	D13 - 300
2/5L	22.96		0.00	0	0.331	1602.519	D13 - 300
3/5L	34.44		0.00	0	0.331	1602.519	D13 - 300
4/5L	45.92		0.00	0	0.331	1602.519	D13 - 300
5/5L	57.4		544.47	0.607	0.607	873.722	D13 - 200

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Nilai ΔV diatas adalah kebutuhan gaya geser untuk perencanaan sengkang. Nilai negatif pada ΔV menandakan bahwa tidak diperlukan tulangan geser. Perhitungan jarak sengkang didapatkan dengan perbandingan nilai gaya geser dengan nilai tahanan geser yang diakomodasi oleh satu buah sengkang. Perhitungan jarak sengkang dihitung pada tiap titik untuk mengetahui letak terjadinya pergantian/transisi jarak antar sengkang. Jarak sengkang tidak boleh lebih dari 300 mm.

5.8.3 Kapasitas torsi

Torsi diambil dari selisih antara torsi ultimit (T_u) dan kapasitas torsi kritis (T_{cr})

Torsi ultimit (T_u)

Torsi akibat beban gempa,	$T_{EQ} = M_{EQ\ puntir}$	=	51,12	kNm
Torsi akibat beban angin kendaraan,	$T_{EWl} = M_{EWl\ puntir}$	=	3,38	kNm
Torsi akibat beban lajur D,	$T_D = M_{TD\ puntir}$	=	962,90	kNm
Torsi ultimit yang bekerja,	$T_u = T_D + T_{EWl} + T_{EQ}$	=	1017,39	kNm

Torsi kritis (T_{cr})

Keliling luar penampang,	p_{cp}	=	7,671	m^2
Luas yang dibatasi keliling penampang beton,	A_{cp}	=	1,840	m^2
Gaya prategang efektif,	P_{eff}	=	17513,25	kN
Koefisien reduksi torsi,	ϕ	=	0,7	
Faktor modifikasi λ, (untuk beton normal)	λ	=	1	

Tegangan tekan beton pada pusat penampang,

$$f_{pc} = P_{eff} / A_{cp} = 9516{,}991 \text{ kPa}$$

Torsi kritis didapat dengan persamaan sebagai berikut,

$$T_{cr}=\phi 0.083\lambda\sqrt{(f_c')}(A_{cp}^2/p_{cp})\ \sqrt{(1+f_{cp}/(0.33\lambda\sqrt{f_c'}))} = 11627{,}136 \text{ kNm}$$

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Maka didapatkan bahwa $T_u < T_{cr}$ = 1017,39 < 11627,136

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan kapasitas torsi pada gelagar prategang lebih besar dari nilai torsi ultimit yang terjadi. Mengacu pada SNI 2847:2013 dalam kondisi ini akibat dari torsi dapat diabaikan.

5.8.4 Lendutan

Syarat batas lendutan yang disebutkan MKBM 2011 diambil dari ACI 318-11 yang menyebutkan bahwa lendutan ijin maksimum diambil dari *serviceability* jembatan yang ditentukan oleh *Serviceability Limit State* (SLS). Dalam RSNI T-12-2004. dijelaskan bahwa batas lendutan yang diizinkan untuk kondisi ultimit adalah L/300.

Panjang bentang	L	=	57,4	m
Lendutan izin	L / 300	=	0,191333	m
Lendutan berdasarkan CSiBridge	$\Delta \leq$ L/300	=	0,135964	m
			AMAN	

5.9 Perbandingan harga pengadaan jembatan

Perbandingan harga hanya memperhitungkan struktur atas jembatan dengan asumsi dimensi pier sebelum dan sesudah perencanaan ulang dianggap sama dan mampu menahan beban.

total biaya jembatan rencana	total biaya jembatan eksisting
Rp1,099,803,022.37	Rp979,129,386.88

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian dan hasil yang diperoleh dari Perencanaan Ulang Struktur Atas Duplikasi Jembatan *Overpass* STA 44+010 Jalan Tol Tebing Tinggi Parapat Menggunakan Gelagar Prategang Profil I didapatkan kesimpulan sebagai berikut,

1. Diperoleh modifikasi PCI girder dengan tinggi 2500 mm untuk bentang 57,4 m.
2. Analisis pembebanan ultimit terbesar pada rencana gelagar 900 terjadi pada Kombinasi Pembebanan Kuat I dengan gaya geser ultimit sebesar 1055.88 kN dan momen ultimit sebesar 3350.75 kNm. Sementara pada analisis pembebanan layan terbesar terjadi pada Kombinasi Pembebanan Layan II dengan gaya geser layan sebesar 777.303 kN dan momen layan sebesar 2466.033 kNm.
3. Analisis pembebanan ultimit terbesar pada gelagar 2500 terjadi pada Kombinasi Pembebanan Kuat I dengan gaya geser ultimit sebesar 2733.48 kN dan momen ultimit sebesar 16710.92 kNm. Sementara pada analisis pembebanan layan terbesar terjadi pada Kombinasi Pembebanan Layan II dengan gaya geser layan sebesar 12297.897 kN dan momen layan sebesar 17191,10 kNm.
4. Hasil perancangan ulang memenuhi persyaratan batas ultimit menurut SNI 2847:2013 dengan parameter kontrol berupa kapasitas lentur, kapasitas geser, dan kapasitas torsi. Pada kondisi batas ultimit kebutuhan sengkang memenuhi syarat kebutuhan kapasitas geser.
5. Setelah dilakukan perencanaan ulang didapatkan total biaya pengadaan jembatan rencana sebesar Rp. 1,099,803,022 dan total biaya pengadaan jembatan eksisting sebesar Rp. 979,129,386,572. Dengan harga relatif sama dengan kekuatan pier yang dianggap masih mampu menahan beban struktur maka hasil redesign jembatan akan lebih efisien karena hanya menggunakan 1 buah pier.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan terkait dengan tugas akhir penulis adalah sebagai berikut:

1. Modifikasi PCI Girder yang dilakukan dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif acuan.
2. Analisis lanjutan terkait dengan struktur bawah jembatan seperti perhitungan *abutment, pier,* dan fondasi dapat dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur jembatan secara menyeluruh.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO, 2013. *AASHTO LRFD Bridge Design Spesifications.* 7th ed. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Abbu, M., 2014. *lec5 Strength Design Method Rectangular Sections.* [Online] Available at: : https://www.slideshare.net/MuthannaAbbu/lec5-strength-design-method-rectangular-sections-1

Abeles, P. W. & Bardan-Roy, B. K., 2003. *Prestressed Concrete Designer's Handbook.* 3rd ed. New York: Taylor & Francis (CRC Press).

American Concrete Institute, 2019. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19).* Michigan: American Concrete Institute.

American Society for Testing and Materials, 2006. *Standart Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete: A416/A416M-06.* West Conshohocken: ASTM International.

Aschheim, M., Hernandez-Montes, E. & Vamvatsikos, D., 2019. *Design of Reinforced Concrete Buildings for Seismic Performance.* Florida: CRC Press.

Badan Standardisasi Nasional, 2012. *SNI 7833 : 2012 Tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung.* Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 2013. *SNI 2847 : 2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.* Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 2016. *SNI 1725 : 2016 Pembebanan untuk Jembatan.* Jakarta: BSN.

Bhatt, P., 2017. *Prestressed Concrete Design To Eurocodes.* New York: Spon Press.

Budiadi, A., 2008. *Desain Praktis Beton Prategang.* Yogyakarta: CV Andi Offset.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Caltrans, 2015. *Bridge Design Practice.* 4th ed. s.l.:California Department of Transportation.

CBDG, 2020. *Integral Concrete Bridges to Eurocode 2.* Camberley: The Concrete Society.

Chen, W.-F. & Duan, L., 2014. *Superstructure Design.* 2nd ed. Florida: CRC Press.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011. *Manual Konstruksi dan Bangunan : Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan (021/BM/2011).* Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.

Dolan, C. W. & Hamilton, H. R. (., 2019. *Prestressed Concrete Building, Design, and Construction.* Cham: Springer.

Gilbert, R. I., Mickleborough, N. C. & Ranzi, G., 2017. *Design of Prestressed Concrete to Eurocode 2.* 2nd ed. Florida: CRC Press.

Kementrian PUPR, 2016. *Strategi, Permasalahan dan Solusi Pelaksanaan Konstruksi Design and Build.* [Online]
Available at: http://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/8191/mod_resource/content/2/201608-23-03-Strategi%2C%20Permasalahan%20%20Solusi%20Pelaksanaan%20Konstruksi%20DB.pdf

Lin, W. & Yoda, T., 2017. *Bridge Engineering.* Massachusetts: Butterworth-Heinemann.

McCromac, J. C. & Brown, R. H., 2014. *Design of Reinforced Concrete.* 9th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..

Mosley, B., Bungey, J. & Hulse, R., 2012. *Reinforced Concrete Design.* 7th ed. Hampshire: Palgave Macmillan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Najib, Y. M., 2020. *Desain Ulang Struktur Atas Jembatan Overpass Sta 44+010 Jalan Tol Tebing Tinggi-Parapat Menggunakan Gelagar Prategang Profil I Dengan Bentang 40.8 Meter.* Yogyakarta: UGM.

Nawy, E. G., 2010. *Prestressed Concrete : A Fundamental Approach.* 5th ed. New Jersey: Pearson Education Inc.

Nugraha, F. S., 2019. *Evaluasi dan Alternatif Perancangan Ulang Struktur Atas Flyover Terminal Teluk Lamong dengan Menggunakan Penampang PCI Modifikasi dengan Bentang 61 Meter,* Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Precast Concrete Institute, 2004. *PCI Design Handbook.* 6th ed. Chicago: PCI.

Raju, N. K., 1986. *Beton Pratekan.* Jakarta: Erlangga.

Raze, R., 2016. Software Box Girder. *Software Box Girder,* p. sheet 2.

Soedarmoko, 2015. *Materi Ajar Struktur Beton Bertulang I,* Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan.

Soetoyo, 2002. *Konstruksi Beton Pratekan.* Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh November.

Struyk, H. J. & Van Der Veen, K. H. C. W., 1984. *Jembatan - Konstruksi.* Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.

Sulistiyo, D., 2017. *Materi Ajar Mata Kuliah Struktur Beton Prategang & Pracetak Bagian I, Struktur Beton Prategang.,* Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Supriyadi, B. & Muthohar, A. S., 2007. *Jembatan.* Yogyakarta: Beta Offset.

Tan, K. C., 2019. *Eurocode 2 Design Data for Reinforced Concrete Columns.* Serdang: Springer.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Taurano, G. A. & Hardjomuljadi, S., 2013. Analasis Penyebab Klaim pada Proyek Konstruksi yang Menggunakan FIDIC Conditions of Contract for Plant and Design Build. *Konstruksia.*

Toniolo, G. & Prisco, M. d., 2017. *Reinforced Concrete Design to Eurocode 2.* Cham: Springer.

Triwiyono, A., 2003. *Struktur Beton Prategang,* Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Whitney, C. S., 1937. Design of Reinforced Concrete Members Under Flexure and Combined. *ACI Journal,* pp. 483-498.

Whittle, R., 2013. *Failures In Concrete Structures : Case Studies in Reinforced and Prestressed Concrete.* Florida: CRC Press.

Zulkarnain, A. J., 2019. *Analisis Ulang Desain dan Harga Pengadaan Bahan Struktur Atas Duplikasi Jembatan Landak Pontianak Menggunakan Modifikasi PCiGirder Berdasarakan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016.* Yogyakarta: UGM.

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010 JALAN TOL TEBING TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN

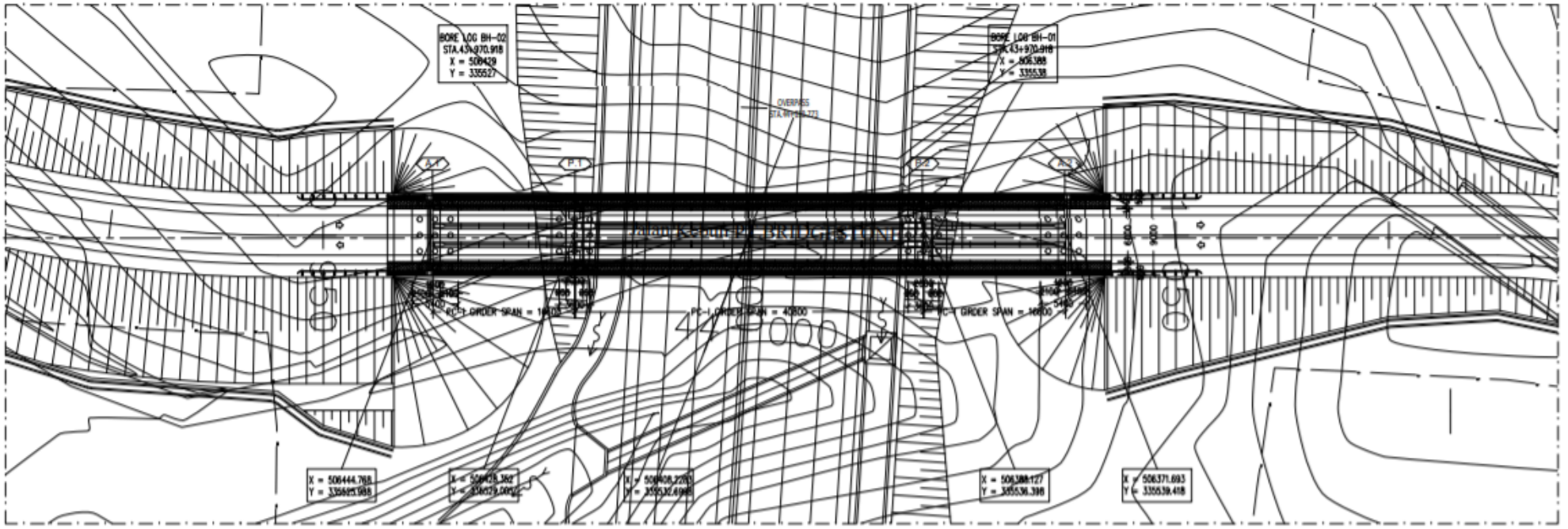
PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS DUPLIKASI JEMBATAN OVERPASS STA 44 tambah 010
JALAN TOL TEBING
TINGGI PARAPAT MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG PROFIL I
RAHMAT IHSANUL KARIM, Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES. DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

PT. HUTAMA KARYA (Persero)

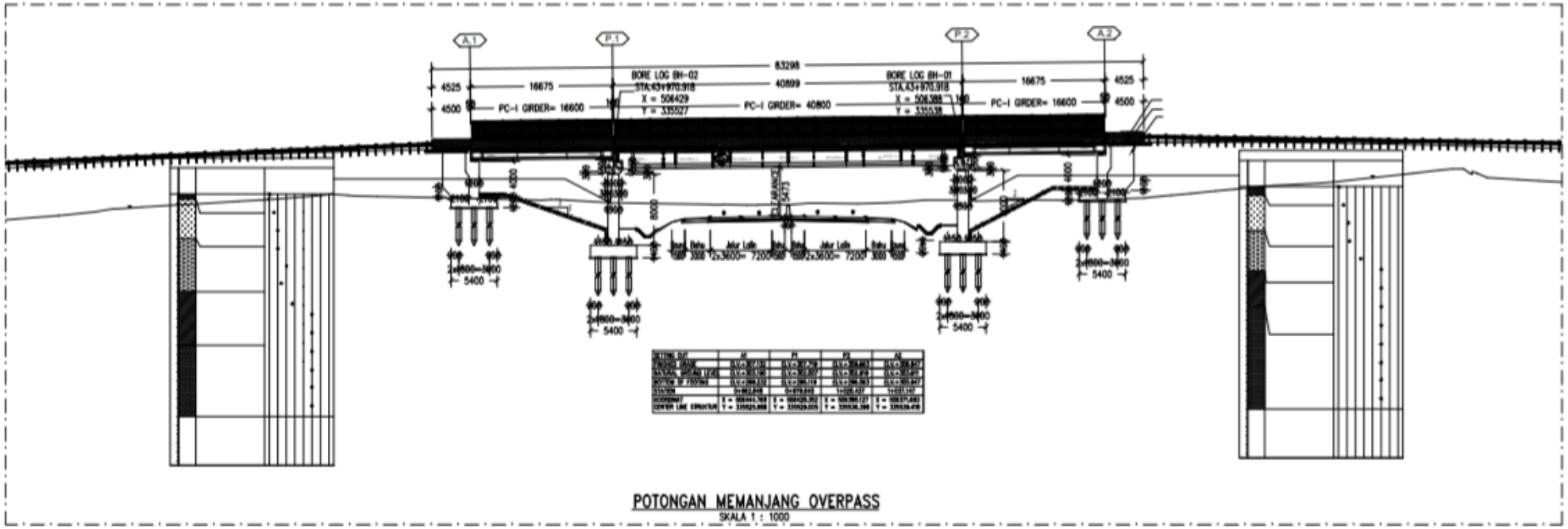
DIGAMBAR	MERENCANAKAN	DIPERIKSA/DISETUJUI	DIKETAHUI	JUDUL GAMBAR :	NO. GAMBAR :	REV.	TANGGAL	KETERANGAN	TTD
Edi Sumadi	Hedy Cahyono	Samuel M Sormin	Daryanto	Dewi Ira	SEKSI	NO. REF.	TANGGAL		
DRAFTER	STRUCTURE ENGINEER	TEAM LEADER	GENERAL SUPERINTENDENT	GENERAL MANAGER TEKNIK					

POTONGAN MEMANJANG
PASS, STA. 44+010.773

SKALA : 1:1000



DENAH OVERPASS STA 44+010.773
SKALA 1 : 1000



POTONGAN MEMANJANG OVERPASS
SKALA 1 : 1000