

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
INTISARI	xiv
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Keaslian Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Jembatan dan <i>Flyover</i>	5
2.2 Bentuk dan Tipe Jembatan	5
2.2.1 Jembatan lengkung batu (<i>arch stone bridge</i>).....	5
2.2.2 Jembatan rangka (<i>truss bridge</i>).....	5
2.2.3 Jembatan gantung (<i>suspension bridge</i>).....	5
2.2.4 Jembatan beton (<i>concrete bridge</i>).....	6
2.2.5 Jembatan kabel (<i>cable stayed</i>)	6
2.3 Definisi Jembatan Box Girder.....	7
2.4 Struktur Beton	7
2.4.1 Struktur beton bertulang	8
2.4.2 Struktur beton prategang.....	8
2.5 Prinsip Dasar Beton Prategang.....	9
2.5.1 Metode penerapan prategang pada struktur	9
2.5.2 Material beton prategang	12
2.6 <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	12
2.7 Demonstrasi dan Aplikasi Tendon FRP di Lapangan	15
2.8 Kehilangan Gaya Prategang Tendon FRP.....	16
BAB III LANDASAN TEORI	18

3.1	Penentuan Dimensi Gelagar	18
3.2	Pembebanan	18
3.2.1	Beban mati	18
3.2.2	Beban mati tambahan.....	19
3.2.3	Beban angin	19
3.2.4	Pengaruh Temperatur.....	21
3.2.5	Beban gempa.....	23
3.3	Kombinasi Pembebanan.....	31
3.4	Analisis Struktur.....	33
3.5	Perhitungan Beban Prategang	33
3.6	Menentukan Posisi Lintasan Tendon	34
3.7	Gaya Prategang	37
3.8	Kehilangan Gaya Prategang.....	37
3.8.1	Kehilangan akibat friksi.....	37
3.8.2	Kehilangan akibat slip pengankuran (<i>anchorage-seating</i>).....	38
3.8.3	Kehilangan akibat pemendekan elastis beton (<i>elastic-shortening</i>).....	38
3.8.4	Kehilangan akibat susut beton	39
3.8.5	Kehilangan akibat rangkai beton	40
3.8.6	Kehilangan akibat relaksasi	41
3.8.7	Kehilangan total.....	41
3.9	Kontrol Terhadap Kondisi Batas.....	42
3.9.1	Analisis penampang.....	42
3.9.2	Kondisi batas layan (<i>Service Limit State – SLS</i>)	42
3.9.3	Kondisi batas ultimit (<i>Ultimit Limit State – ULS</i>).....	43
3.10	Desain Kapasitas Lentur	44
3.11	Rasio Balans.....	44
3.12	Perhitungan Prediksi Kapasitas.....	45
3.13	Desain Kapasitas Geser.....	48
3.13.1	Kuat geser nominal disediakan beton (V_c).....	48
3.13.2	Kuat geser nominal disediakan tulangan geser FRP (V_{frp})	49
3.13.3	Kuat geser nominal disediakan tendon FRP prategang (V_p).....	50
3.14	Desain Kapasitas Torsi.....	50
3.15	Analisis Transversal	50
3.16	Desain Tulangan CFRP Transversal	52

BAB IV METODE PENELITIAN	53
4.1 Metode dan Analisis Desain.....	53
4.2 Pengumpulan Data	56
4.3 Bagan Alir Perhitungan Gaya Prategang	57
4.4 Bagan Alir Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang.....	59
4.5 Bagan Alir Kontrol Tegangan Tarik dan Tekan	61
4.6 Bagan Alir Analisis Kapasitas Momen	64
4.7 Bagan Alir Analisis Kapasitas Geser	66
4.8 Bagan Alir Analisis Tulangan CFRP Transversal	68
4.9 Data Jembatan	70
4.10 Analisis Penampang	72
4.11 Pembebanan Jembatan	74
4.11.1 Berat sendiri (<i>dead load</i>)	75
4.11.2 Berat mati tambahan (<i>superimposed dead load</i>)	75
4.11.3 Beban angin (<i>wind load</i>).....	75
4.11.4 Pengaruh temperatur	78
4.11.5 Beban kendaraan.....	79
4.11.6 Beban gempa.....	80
4.12 Perhitungan Gaya Prategang	82
4.13 Kehilangan Gaya Prategang (<i>Loss of Prestress</i>).....	85
4.13.1 Kehilangan akibat friksi (Δf_f).....	86
4.13.2 Kehilangan akibat slip pada ankur (Δf_{pa}).....	89
4.13.3 Kehilangan akibat perpendekan elastis beton (Δf_{es})	91
4.13.4 Kehilangan akibat susut beton (Δf_{sh})	94
4.13.5 Kehilangan akibat rangkai (Δf_{cr}).....	95
4.13.6 Kehilangan akibat relaksasi CFRP (Δf_r).....	97
4.13.7 Kehilangan gaya prategang total (<i>Loss of Prestress</i>).....	99
4.14 Analisis Struktur.....	101
4.15 Desain Tulangan Transversal.....	103
4.16 Kontrol Terhadap Kondisi Batas.....	104
4.16.1 Kondisi transfer awal	104
4.16.2 Kondisi layan	105
4.16.3 Kondisi ultimit	110
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	116

5.1	Perancangan <i>Box Girder</i>	116
5.1.1	Dimensi	116
5.1.2	Kabel CFRP prategang	116
5.2	Kontrol Terhadap Kondisi Batas	116
5.2.1	Kondisi batas awal transfer	116
5.2.2	Kondisi batas layan	118
5.2.3	Kondisi batas ultimit	123
5.3	Perbandingan Perancangan Desain	130
5.3.1	Gaya <i>jacking</i>	130
5.3.2	Tendon prategang	131
5.3.3	Tulangan longitudinal	131
5.3.4	Tulangan transversal	132
5.3.5	Kapasitas lentur	134
5.3.6	Kapasitas geser	135
5.3.7	Kapasitas torsi	135
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		136
6.1	Kesimpulan	136
6.2	Saran	137
DAFTAR PUSTAKA		138
LAMPIRAN		140

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat mekanis serat FRP (ACI 440.4R-04)	13
Tabel 2.2. Sifat Sifat fisik baja dan FRP (ACI 440.1R-15)	14
Tabel 2.3. Pertimbangan penggunaan bahan <i>fiber reinforced polymer</i> (FRP) sebagai bahan pengganti baja (ACI 440.1R-15)	14
Tabel 3.1. Faktor beban untuk berat sendiri (BS 5400:1988).....	18
Tabel 3.2. Faktor beban mati tambahan (BS 5400:1988).....	19
Tabel 3.3. Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu (SNI 1725:2016).....	20
Tabel 3.4. Tekanan angin dasar (SNI 1725:2016)	20
Tabel 3.5. Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan (SNI 1725:2016)	21
Tabel 3.6. Temperatur jembatan rata-rata nominal (SNI 1725:2016)	22
Tabel 3.7. Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur (SNI 1725:2016).....	22
Tabel 3.8. Parameter temperatur (SNI 1725:2016).....	23
Tabel 3.9. Tabel Kelas situs (SNI 2833:2016).....	28
Tabel 3.10. Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a) (SNI 2833:2016) ...	29
Tabel 3.11. Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v) (SNI 2833:2016).....	29
Tabel 3.12. Zona gempa (SNI 2833:2016)	30
Tabel 3.13. Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah (SNI 2833:2016)	31
Tabel 3.14. Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur (SNI 2833:2016).....	31
Tabel 3.15. Kombinasi pembebanan pada kondisi normal (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	32
Tabel 3.16. Kombinasi pembebanan (SNI 1725:2016)	32
Tabel 3.17. Kombinasi pembebanan pada kondisi normal hasil adopsi (SNI 1725:2016)	33
Tabel 3.18. Koefisien friksi untuk paska tarik (AASHTO, 2017).....	38
Tabel 3.19. K_{hs} untuk paska tarik (021/BM/2011)	40
Tabel 4.1. Nominal beban mati tambahan (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	75
Tabel 4.2. Momen akibat pengaruh perubahan temperatur rerata seragam.....	78
Tabel 4.3. Momen akibat pengaruh gradien temperatur	79
Tabel 4.4. Data penampang dan gelagar beton	82
Tabel 4.5. Momen akibat berat sendiri	83
Tabel 4.6. Perhitungan gaya prategang.....	84
Tabel 4.7. Beban prestress dan jumlah tendon yang direncanakan	85

Tabel 4.8. Koordinat tendon	86
Tabel 4.9. Perhitungan sudut vertikal (radian)	86
Tabel 4.10. Perhitungan kehilangan akibat friksi (1).....	86
Tabel 4.11. Perhitungan kehilangan akibat friksi (2).....	87
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan kehilangan prategang akibat friksi	87
Tabel 4.13. Interpolasi linier kehilangan prategang akibat friksi	88
Tabel 4.14. Hasil perhitungan kehilangan prategang akibat slip pada angkur	90
Tabel 4.15. Karakteristik penampang	92
Tabel 4.16. Hasil perhitungan kehilangan prategang perpendekan elastis beton	93
Tabel 4.17. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton.....	94
Tabel 4. 18. Hasil perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut beton	94
Tabel 4.19. Beban yang bekerja akibat beban mati dan beban mati tambahan	95
Tabel 4.20. Hasil perhitungan kehilangan gaya prategang akibat rangkai	96
Tabel 4.21. Hasil kehilangan gaya prategang akibat relaksasi	98
Tabel 4.22. Kehilangan gaya prategang total (Total Loss of Prestress)	100
Tabel 4.23. Hasil analisis transversal pada <i>deck</i>	103
Tabel 4.24 Hasil analisis transversal pada flange	103
Tabel 4.25. Hasil analisis transversal pada bottom slab	103
Tabel 4.26. Penulangan transversal CFRP pada deck	103
Tabel 4.27. Penulangan transversal CFRP pada flange	104
Tabel 4.28. Penulangan transversal CFRP pada bottom slab	104
Tabel 4.29. Perhitungan tegangan penampang saat transfer.....	105
Tabel 4.30. Perhitungan tegangan penampang kondisi SLS1	106
Tabel 4.31. Perhitungan tegangan penampang kondisi SLS2	107
Tabel 4.32. Perhitungan tegangan penampang kondisi SLS3	108
Tabel 4.33. Perhitungan tegangan penampang kondisi SLS4	109
Tabel 4.34. Data perhitungan tulangan non-prategang minimum	110
Tabel 4.35. Luas tulangan non-prategang minimum	111
Tabel 4.36. Desain CFRP mild reinforcement.....	111
Tabel 4.37. Kapasitas tahanan lentur	112
Tabel 4.38. Kapasitas tahanan geser	114
Tabel 5.1. Dimensi penampang box girder	116
Tabel 5.2. Kontrol tegangan kondisi awal beban mati (M_{DL}).....	117
Tabel 5.3. Kontrol tegangan kondisi awal beban mati tambahan (M_{SDL}).....	118

Tabel 5.4. Kontrol tegangan kondisi SLS1	119
Tabel 5.5. Kontrol tegangan kondisi SLS2	120
Tabel 5.6. Kontrol tegangan kondisi SLS3	121
Tabel 5.7. Kontrol tegangan kondisi SLS4	122
Tabel 5.8. Kontrol kapasitas lentur box girder kondisi awal	123
Tabel 5.9. Kontrol kapasitas lentur box girder kondisi layan	124
Tabel 5.10. Kontrol kapasitas lentur box girder kondisi ultimit	125
Tabel 5.11. Kategori kebutuhan tulangan geser CFRP non-prategang	127
Tabel 5.12. Kapasitas geser box girder tanpa tulangan CFRP non-prategang	128
Tabel 5.13. Kapasitas geser box girder dengan tulangan CFRP non-prategang	129
Tabel 5.14. Kapasitas torsi box girder	129
Tabel 5.15. Penulangan transversal pada deck	130
Tabel 5.16. Penulangan transversal pada flange	130
Tabel 5.17. Penulangan transversal pada bottom slab	130
Tabel 5.18. Perbandingan gaya jacking dengan perancangan lama dan desain existing	131
Tabel 5.19. Perbandingan kebutuhan tendon	131
Tabel 5.20. Perbandingan tulangan longitudinal dengan perancangan lama dan desain existing	131
Tabel 5.21. Perbandingan tulangan transversal deck dengan perancangan lama	132
Tabel 5.22. Perbandingan tulangan transversal deck dengan existing	132
Tabel 5.23. Perbandingan tulangan transversal flange dengan perancangan lama dan desain existing	133
Tabel 5.24. Perbandingan tulangan transversal bottom slab dengan perancangan lama dan desain existing	133
Tabel 5.25 Perbandingan kapasitas torsi perancangan dengan CFRP dan perancangan dengan baja	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Contoh kabel dan tulangan FRP. (ACI 440.4R-04, 2004).....	1
Gambar 1.2. Tampak samping. (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	3
Gambar 2.1. Jenis penampang jembatan. (ACI 343R-95).....	7
Gambar 2.2. Struktur beton bertulang. (Hadipratomo, 2008).....	8
Gambar 2.3. Struktur beton prategang. (Nawy, 1989).....	8
Gambar 2.4. Proses pembuatan beton prategang pra-tarik. (Budiadi, 2008).....	10
Gambar 2.5. Proses pembuatan beton prategang pasca-tarik. (Budiadi, 2008)	10
Gambar 2.6. Bounded tendon. (Sulistyo, 2017)	11
Gambar 2.7. Unbounded tendon. (Sulistyo, 2017)	11
Gambar 2.8. Skema respon momen-lendutan pada komponen beton prategang. (ACI 440.4R-4)	14
Gambar 2.9. Tylor Bridge di Headingly, Monitoba, Kanada. (ACI 440.4R-4).....	16
Gambar 3.1. Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja (SNI 1725:2016).....	23
Gambar 3.2. Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampau 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	25
Gambar 3.3. Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampau 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	26
Gambar 3.4. Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampau 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	27
Gambar 3.5. Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah (SNI 2833:2016).....	29
Gambar 3.6. Lintasan kabel lurus sentris (a), eksentris (b) (Sulistyo, 2017).....	34
Gambar 3.7. Efek gaya prategang pada struktur prategang lintasan kabel lurus (Sulistyo, 2017)	35
Gambar 3.8. Lintasan kabel berbelok (Sulistyo, 2017)	35
Gambar 3.9. Efek gaya prategang pada struktur prategang lintasan kabel berbelok (Sulistyo, 2017).....	36
Gambar 3.10. Efek gaya prategang pada struktur prategang lintasan kabel melengkung (Sulistyo, 2017).....	36
Gambar 3.11. Pemendekan beton (021/BM/2011)	39
Gambar 3.12. Tegangan pada kondisi transfer	42
Gambar 3.13. Tegangan pada kondisi layan	43
Gambar 3.14. Faktor reduksi kekuatan sebagai fungsi tegangan tarik netto (ACI 440.4R- 04)	44
Gambar 3.15. Rasio balans, kondisi tarik dan tekan (ACI 440.4R-04)	44

Gambar 3.16. Penampang dengan tendon yang tersebar secara vertikal (ACI 440.4R-04)	47
Gambar 3.17. Penampang melintang box girder dan beban yang bekerja (Corven, 2016)	51
Gambar 3.18. Jembatan box girder dipotong persatuan panjang (Corven, 2016)	51
Gambar 4.1. Diagram alir penelitian	54
Gambar 4.2. Bagan alir perhitungan gaya prategang	57
Gambar 4.3. Bagan alir perhitungan kehilangan gaya prategang	59
Gambar 4.4. Bagan alir kontrol tegangan tarik dan tekan	61
Gambar 4.5. Bagan alir analisis kapasitas momen	64
Gambar 4.6. Bagan alir analisis kapasitas geser	66
Gambar 4.7. Bagan alir analisa analisis tulangan transversal	68
Gambar 4.8. Lokasi tendon pada diafragma dan deviator (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	70
Gambar 4.9. Penampang Tipe D (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	72
Gambar 4.10. Penampang Tipe S (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	73
Gambar 4.11. Penampang Tipe T (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	74
Gambar 4.12. Beban angin pada struktur (horizontal)	76
Gambar 4.13. Beban angin pada kendaraan	77
Gambar 4.14. Beban angin vertikal	77
Gambar 4.15. Perubahan temperatur rerata pada balok (Usmani et al, 2001)	78
Gambar 4.16. Balok terkekang aksial akibat perubahan suhu rerata (Usmani et al., 2001)	78
Gambar 4.17. Tegangan akibat gradien temperatur	79
Gambar 4.18. Beban hidup kereta (TOKYU-WIKA Joint Operation, 2014)	79
Gambar 4.19. Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah	81
Gambar 4.20. Kehilangan gaya prategang akibat friksi	88
Gambar 4.21. Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur	90
Gambar 4.22. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastik beton	93
Gambar 4.23. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton	95
Gambar 4.24. Kehilangan gaya prategang akibat rangkai	96
Gambar 4.25. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi	98
Gambar 4.26. Kehilangan gaya prategang total	100
Gambar 4.27. Beban kereta tanpa pengaruh lurching	101
Gambar 4.28. Beban kereta setelah diberikan pengaruh lurching	102
Gambar 4.29. Beban kereta yang telah dilakukan penyesuaian	102



Gambar 4.30. Lebar slab yang ditinjau pada penampang Tipe D.....	110
Gambar 4.31. Lebar slab yang ditinjau pada penampang Tipe S.	110
Gambar 4.32. Lebar slab yang ditinjau pada penampang Tipe T.	111
Gambar 4.33. Diagram gaya geser balok. (Priyosulistyo, 2010).....	113
Gambar 4.34. Luas beton dalam sengkang.	115