

**ANALISIS KESERAGAMAN CAMBER I-GIRDER PADA  
PROYEK JALAN LUAR LINGKAR BARAT (JLLB)  
KOTA SURABAYA**

**TUGAS AKHIR**

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Sipil (S-1)



**DISUSUN OLEH:**

**GURUH ARIEF PUTRA**  
**1553010042**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"  
JAWA TIMUR  
2021**

**ANALISIS KESERAGAMAN CAMBER I-GIRDER PADA  
PROYEK JALAN LUAR LINGKAR BARAT (JLLB)  
KOTA SURABAYA**

**TUGAS AKHIR**

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar

Sarjana Teknik Sipil (S-1)



**DISUSUN OLEH:**

**GURUH ARIEF PUTRA**  
**1553010042**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"**

**JAWA TIMUR**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KESERAGAMAN CAMBER I-GIRDER PADA  
PROYEK JALAN LUAR LINGKAR BARAT (JLLB) KOTA  
SURABAYA**

Disusun oleh:

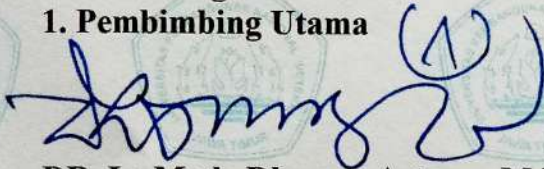
Guruh Arief Putra  
NPM. 1553010042

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Proposal Tugas Akhir Program  
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Pada tanggal 29 Oktober 2021

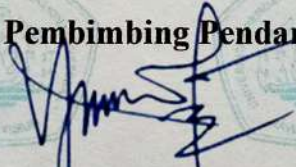
**Pembimbing**

**1. Pembimbing Utama**



DR. Ir. Made Dharma Astawa, M.T.  
NIDK. 8880523419

**2. Pembimbing Pendamping**



Ir. Wahyu Kartini, M.T.  
NPT. 3 6304 94 0031 1

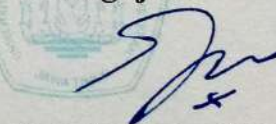
**Tim Penguji**

**1. Penguji I**



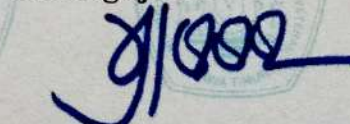
Sumaidi, S.T., M.T.  
NPT. 3 7909 05 0204 1

**2. Penguji II**



Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19800430 200501 1 002

**3. Penguji III**



Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19730128 199802 1 002

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Pembangunan Nasional  
"Veteran" Jatim



Dr. Dra. Jarivah, MP  
NIP. 19650403 199103 2 00 1

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KESERAGAMAN CAMBER I-GIRDER PADA  
PROYEK JALAN LUAR LINGKAR BARAT (JLLB) KOTA  
SURABAYA**


Disusun oleh:

Guruh Arief Putra  
NPM. 1553010042

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Proposal Tugas Akhir Program  
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

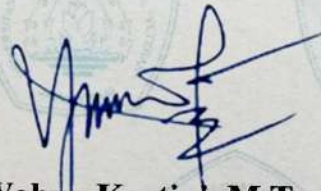
Pada tanggal 29 Oktober 2021

**Pembimbing Utama**



**DR. Ir. Made Dharma Astawa, M.T.**  
NIDK. 8880523419

**Pembimbing Pendamping**



**Ir. Wahyu Kartini, M.T.**  
NPT. 3 6304 94 0031 1

**Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Pembangunan Nasional  
"Veteran" Jatim**



**Dr. Dra. Jariyah, MP**  
NIP. 19650403 199103 2/00 1

# ANALISIS KESERAGAMAN CAMBER I-GIRDER PADA PROYEK JALAN LUAR LINGKAR BARAT (JLLB) KOTA SURABAYA

Oleh:

**GURUH ARIEF PUTRA**

**1553010042**

## ABSTRAK

Objek penelitian ini adalah konstruksi jembatan layang pada proyek Jalan Luar Lingkar Barat (JLLB) kota Surabaya, menggunakan elemen prategang *I-Girder Post-tension* (PCI) segmental dengan bentang 50,8m. Penelitian ini berupaya melakukan desain prategang sesuai respons girder akibat beban servis pada dua objek tinjau. Objek berikut adalah girder eksterior dan interior, akan coba didesain sedemikian rupa hingga tidak terjadi perbedaan camber akibat desain prategang berbeda. Kontrol rentang desain diberikan oleh TY.Lin dengan kontrol tegangan diberikan oleh SNI 2847:2019.

Hasil analisis gaya dalam struktur objek tinjau terpaut 248,59 kNm. Analisis berikut menghasilkan desain prategang dengan jumlah strand masing masing 107 strand dan 106 strand. Modifikasi layout tendon dilakukan dengan menurunkan level tendon hingga 75mm untuk girder interior. Dengan spesifikasi berikut menghasilkan desain camber masing masing 177,304mm (keatas) dan 178,459mm (keatas). Atau terpaut 1,1545mm sehingga dinyatakan seragam.

**Kata Kunci:** *I-Girder, prestress (prategang), Post-tension, keseragaman camber*

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Keseragaman *Camber I-Girder* Pada proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Kota Surabaya”**.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Dra. Jariyah M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu DR. Ir. Minarni Nur Trilita, MT., selaku Koordinator Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur.
3. Bapak DR. Ir. Made D. Astawa, M.T., selaku dosen konsultasi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur.
4. Kedua orang tua tercinta serta seluruh keluarga, yang telah banyak memberikan kasih sayang, do’a dan juga dukungan semangat.
5. Segenap keluarga besar Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Proposal Tugas Akhir ini.
6. Teman–teman seperjuangan di Teknik Sipil angkatan 2015, yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Dengan besar hati penyusun sangat menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan. Akhir kata penyusun ucapkan terimakasih.

Surabaya, 17 September 2021

Penyusun

ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	
DAFTAR ISI.....	v
BAB 1    PENDAHULUAN .....	1
1.1.    Latar Belakang.....	1
1.2.    Rumusan Masalah.....	3
1.3.    Tujuan.....	4
1.4.    Batasan Masalah .....	4
1.5.    Manfaat.....	5
1.6.    Objek Penelitian.....	5
BAB 2    TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1.    Tinjauan Umum .....	6
2.2.    Konsep Dasar .....	8
2.3.    Sistem Pemberian Prategang .....	11
<b>2.3.1.</b> Pemberian Pratarik (Pretension).....	11
<b>2.3.2.</b> Pemberian Pascatarik ( <i>Post Tension</i> ).....	11
2.4.    Material Beton Prategang .....	12
<b>2.4.1.</b> Beton .....	12
<b>2.4.2.</b> Baja Prategang.....	12
<b>2.4.3.</b> Grouting .....	14
<b>2.4.4.</b> Temporary Tendon.....	14



2.5.	Sistem Pelaksanaan Pemasangan Girder .....	15
<b>2.5.1.</b>	Sistem Fullspan.....	15
<b>2.5.2.</b>	Sistem Balance Cantilever.....	15
2.6.	Tahap Pembebanan Elemen Prategang .....	16
<b>2.6.1.</b>	Tahap Transfer.....	16
<b>2.6.2.</b>	Tahap Layan .....	16
2.7.	Perhitungan Beton Prategang .....	17
<b>2.7.1.</b>	Tegangan Pada Beton prategang .....	17
<b>2.7.2.</b>	Kehilangan Prategang (umum).....	17
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1.	Objek Penelitian.....	18
3.2.	Metode Penelitian .....	19
3.3.	Tahap dan Prosedur Penelitian .....	19
<b>3.3.1.</b>	Pengumpulan Data .....	21
<b>3.3.2.</b>	Pengolahan Data Struktur Jembatan .....	21
<b>3.3.3.</b>	Analisis PenaMPang Girder .....	21
<b>3.3.4.</b>	Menghitung Pembebanan Jembatan .....	22
<b>3.3.5.</b>	Permodelan Geometri Menggunakan <i>Software</i> .....	27
<b>3.3.6.</b>	Analisis Struktur .....	27
<b>3.3.7.</b>	Perhitungan Gaya Prategang .....	27

3.3.8.	Konfigurasi Dan Perhiungan Jumlah Tendon .....	28
3.3.9.	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang.....	31
3.3.10.	Lintasan Aman Inti Tendon (kern) .....	41
3.3.11.	Kontrol Tegangan dan Lendutan .....	41
3.3.12.	Tegangan Izin Beton Prategang (SNI 03 - 2847 - 2013) .....	43
3.3.13.	Analisis Lanjutan .....	45
3.3.14.	Interpretasi Data, Gambar Bestek dan Penabelan.....	52
3.3.15.	Kesimpulan.....	52
BAB 4	PEMBAHASAN .....	51
4.1.	Data Perencanaan.....	51
4.1.1.	Data Umum dan Spesifikasi Material .....	51
4.2.	Analisa PenaMPang .....	52
4.2.1.	Preliminari .....	52
4.2.2.	Titik Berat dan Inersia PenaMPang .....	53
4.2.3.	Modulus Elastisitas penaMPang.....	57
4.2.4.	Resume .....	58
4.3.	Pembebanan Jembatan .....	59
4.3.1.	Beban Permanen .....	59
4.3.2.	Beban transien .....	62
4.4.	Permodelan Geometri.....	72

4.4.1.	Menentukan Layout Jembatan.....	72
4.4.2.	Menentukan Properti Dasar Jembatan .....	73
4.4.3.	Menentukan properti komponen jembatan.....	73
4.4.4.	Menentukan Jalur Lalulintas Dan Kendaraan .....	75
4.4.5.	Menentukan Fungsi Dan Pembebanan.....	75
4.5.	Analisis Struktur .....	79
4.5.1.	Analisa GeMPa.....	79
4.5.2.	Analisis Gaya Dalam .....	80
4.6.	Perhitungan Gaya Prategang .....	85
4.7.	Konfigurasi Dan Perhitungan Jumlah Tendon .....	87
4.7.1.	Menentukan Jumlah Tendon .....	87
4.7.2.	Konfigurasi Posisi Tendon .....	89
4.8.	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang.....	52
4.8.1.	Jangka Pendek ( <i>Short Term</i> ) .....	52
4.8.2.	Jangka Panjang ( <i>Long Term</i> ).....	58
4.8.3.	Batas tegangan pada strand .....	61
4.8.4.	Persentase Kehilangan Prategang .....	61
4.9.	Kontrol Tegangan Lendutan dan Kern.....	63
4.9.1.	Lintasan Aman Inti Tendon (kern) .....	63
4.9.2.	Kontrol Tegangan Pada Balok Girder.....	66

<b>4.9.3.</b> Kontrol Lendutan.....	73
4.10. Perhitungan Tulangan.....	84
<b>4.10.1.</b> Desain Tulangan Lentur.....	84
<b>4.10.2.</b> Desain tulangan Geser.....	96
<b>4.10.3.</b> Shear-key Analysis .....	106
<b>4.10.4.</b> Pembesian Daerah Pengangkuran.....	108
4.11. Interpretasi Data .....	117
BAB 5 Penutup.....	119
5.1. Kesimpulan.....	119
5.2. Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA.....	121

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Geometri Satu Span Jembatan Layang JLLB Surabaya .....	5
Gambar 2.1 Ilustrasi Rotasi <i>Girder</i> Eksterior Yang Mengakibatkan Penipisan Dek.....	7
Gambar 2.2 Kinerja Balok Prategang & Nonprategang Ketika Beban Kerja. .....	9
Gambar 2.3 Diagram Tegangan dan regangan Pada Balok Prategang .....	9
Gambar 2.4 Ilustrasi Hubungan Gaya Prategang Dengan $e$ : Jarak Titik Pemberian Gaya Prategang Terhadap Garis Netral.....	10
Gambar 2.5 Metode Pemberian Prategang Pratarik .....	11
Gambar 2.6 Metode Pemberian Prategang Pasca Tarik .....	12
Gambar 2.7 Ilustrasi <i>Strand</i> Dengan Tujuh Kawat .....	14
Gambar 3.1 Ilustrasi Geometri Satu Span Jembatan Layang JLLB Surabaya .....	18
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	20
Gambar 3.3 Beban Lajur “D” .....	23
Gambar 3.4 Pembebanan <i>Truck</i> “T” (500kn).....	25
Gambar 3.5 Level Selongsong Tendon Pada Masing-Masing Segmen Rencana.....	29
Gambar 3.6 Ilustrasi <i>Girder</i> Segmental .....	29
Gambar 3.7 Perpendekan Elastis Balok Prategang .....	32
Gambar 3.8 Ilustrasi Pendekatan Sudut Pusat Tendon .....	34
Gambar 3.9 Ilustrasi Plot Tegangan Akibat Slip Angkur .....	35

Gambar 4.1. Profil PenaMPang Girder Dengan Pembagian Objek (non-komposit) .....	54
Gambar 4.2. Profil PenaMPang Girder Dengan Pembagian Objek (komposit) .....	56
Gambar 4.3. Ilustrasi Susunan Beban Lajur.....	62
Gambar 4.4 Konfigurasi Jarak Truk ketika Konvoi .....	64
Gambar 4.5 Konfigurasi Teperatur Gradien Vertikal Bangunan Atas .....	68
Gambar 4.6 Plot Respon Percepatan Desain (Sa) .....	71
Gambar 4.7 Single Span Sebagai Acuan Panjang Layout Jembatan.....	73
Gambar 4.8 Cross Section Jembatan Sebagai Acuan Desain Dek Lantai Kendaraan ( <i>sumber: Preliminari Desain</i> ).....	73
Gambar 4.9 Ilustrasi Pier Sebagai Acuan Desain.....	74
Gambar 4.10 Ilustrasi Geometri Jembatan Pada Software Bantu .....	74
Gambar 4.11 Ilustrasi Penempatan Lajur Kendaraan (Lane) .....	75
Gambar 4.12 Ilustrasi Pembebanan Berat Sendiri Girder.....	75
Gambar 4.13 Ilustrasi Input Pembebanan Pelat CIP .....	76
Gambar 4.14 Ilustrasi Input Pembebanan Diafragma.....	76
Gambar 4.15 Ilustrasi Input Pembebanan Pelat Lantai.....	76
Gambar 4.16 Ilustrasi Input Pembebenan Aspal .....	77
Gambar 4.17 Ilustrasi Input Pembebanan Barrier .....	77
Gambar 4.18 Ilustrasi Input Pembebanan Angin .....	77
Gambar 4.19 Ilustrasi Input Pembebanan BTR.....	78
Gambar 4.20 Ilustrasi Input Pembebeanan BGT.....	78
Gambar 4.21 Ilustrasi Kontak Truk Konvoi di Atas Lantai Kendaran.....	78

Gambar 4.22 Ilustrasi Titik Girder Yang Ditinjau .....	81
Gambar 4.23 Ilustrasi lintasan inti tendon .....	86
Gambar 4.24 Plot Hasil Konfigurasi Tendon Vertikal Girder Eksterior .....	91
Gambar 4.25 Plot Hasil Konfigurasi Tendon Horizontal Girder Eksterior .....	92
Gambar 4.26 Plot Hasil Konfigurasi Tendon Vertikal Girder Interior.....	92
Gambar 4.27 Plot Hasil Konfigurasi Tendon Horizontal Girder Interior ....	92
Gambar 4.28 Konfigurasi Angkur .....	92
Gambar 4.29 Plot Perhitungan Tegangan Akibat Friksi.....	53
Gambar 4.30 Ilustrasi Skema Plot Tegangan Akibat Anchor-set .....	56
Gambar 4.31 Plot Hasil Perhitungan Tegangan Setelah Anchor-seat .....	56
Gambar 4.32 Grafik Kehilangan Prategang, Tinjauan $x = 0$ mm.....	63
Gambar 4.33 Plot Harga Batas Kern .....	65
Gambar 4.34 Plot C.g.strand, Kontrol Batas Kern .....	66
Gambar 4.35 Ilustrasi Tegangan Bekerja.....	70
Gambar 4.36 Ilustrasi Tegangan Sesaat Setelah Pemberian Prategang.....	71
Gambar 4.37 Ilustrasi Tegangan Ketika Tahap Ereksi .....	71
Gambar 4.38 Ilustrasi Tegangan Ketika Tahap Servis .....	72
Gambar 4.39 Ilustrasi Kapasitas Serat Tarik dan Blok Tekan Girder Bekerja .....	88
Gambar 4.40 Ilustrasi Bantalan Angkur .....	108
Gambar 4.41 Tranverse Tensile Stresses, .....	111
Gambar 4.42 Ilustrasi Penulangan Bursting Pada End Blok .....	113
Gambar 4.43 Ilustrasi Bearing Pad .....	116

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kawat-kawat Untuk Beton Prategang .....	13
Tabel 2.2 <i>Strand</i> Standar 7 Kawat untuk Beton Prategang.....	13
Tabel 3.1 Jumlah Lalulintas Rencana .....	24
Tabel 3.2 Koefisien Friksi Tendon (SNI 03-2847-2002 ).....	34
Tabel 3.3 Nilai KSH Komponen Struktur Pascatarik.....	37
Tabel 3.4 Nilai <i>C</i> Perhitungan Relaksasi .....	40
Tabel 3.5 Nilai $K_{re}$ dan $J$ Perhitungan Relaksasi (SI).....	40
Tabel 3.6 Harga $\mu$ untuk masing-masing tipe pertemuan join .....	50
Tabel 4.1. Spesifikasi <i>Strand</i> Standar VSL.....	52
Tabel 4.2. Spesifikasi PCI Girder 210 Wika Beton.....	53
Tabel 4.3. Perhitungan PenaMPang Tumpuan (non-komposit).....	54
Tabel 4.4. Perhitungan PenaMPang lapangan (non-komposit).....	55
Tabel 4.5. Perhitungan PenaMPang Tumpuan (komposit).....	56
Tabel 4.6. Perhitungan PenaMPang Lapangan (komposit).....	57
Tabel 4.7. Tabel Resume Analisa PenaMPang .....	58
Tabel 4.8 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi FPGA Untuk Nilai Percepatan Puncak Di Permukaan Tanah dan 0,2 detik, $F_a$ .....	69
Tabel 4.9 Faktor Amplifikasi Untuk Perode 1 Detik, $F_v$ .....	69
Tabel 4.10 Kriteria kategori kepentingan jembatan .....	70
Tabel 4.11 Zona GeMPa (Desain Seismik).....	70
Tabel 4.12 Respon Percepatan Desain ( $S_a$ ) .....	71



Tabel 4.13 Rekap Rasio Partisipasi Masa Dengan Metode CQC .....	80
Tabel 4.14 Rekap Gaya Dalam Girder Eksterior.....	82
Tabel 4.15 Rekap gaya Dalam Girder Interior .....	82
Tabel 4.16 Perhitungan Gaya Dalam Beban Non-Komposit Eksterior .....	83
Tabel 4.17 Perhitungan Gaya Dalam Beban Non-Komposit Interior .....	83
Tabel 4.18 Perhitungan Gaya Dalam Beban Komposit Eksterior .....	83
Tabel 4.19 Perhitungan Gaya Dalam Beban Komposit Interior .....	84
Tabel 4.20 Perhitungan Gaya Dalam Beban Lalu-lintas Eksterior .....	84
Tabel 4.21 Perhitungan Gaya Dalam Beban Lalu-lintas Interior .....	84
Tabel 4.22 Total Gaya Dalam (Beban Service) Eksterior .....	85
Tabel 4.23 Total Gaya Dalam (Beban Service) Interior .....	85
Tabel 4.24 Rekap Analisa PenaMPang Girder.....	86
Tabel 4.25 Rekap Gaya Dalam Menentukan .....	86
Tabel 4.26 Perhitungan Jumlah Tendon Girder Eksterior .....	88
Tabel 4.27 Preliminari Posisi Tendon Girder Eksterior .....	89
Tabel 4.28 Preliminari Posisi Tendon Girder Interior .....	90
Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Tiga Variabel Girder Eksterior.....	90
Tabel 4.30 Hasil Perhitungan Tiga Variabel Girder Interior .....	90
Tabel 4.31 Perhitungan $c.g_{tendon}$ , Tinjauan $x = 25400$ Girder Eksterior .....	90
Tabel 4.32 Rekapitulasi Perhitungan Anchor-seat .....	55
Tabel 4.33 Kontrol Batas Tegangan Strand .....	61
Tabel 4.34 Tegangan Akibat Friksi dan Setelah <i>Achor-seat</i> , Tinjauan $x = 0$ mm .....	61
Tabel 4.35 Akumulasi <i>Lost-Prestress</i> , Tinjauan $x = 0$ mm .....	62

Tabel 4.36 Rekapitulasi Tegangan Sesaat Setelah Pemberian Prategang....	71
Tabel 4.37 Rekapitulasi Tegangan Ketika Tahap Ereksi.....	71
Tabel 4.38 Rekapitulasi Tegangan Ketika Tahap Servis .....	72
Tabel 4.39 Perhitungan Camber Jangka Pendek Balok Eksterior.....	74
Tabel 4.40 Perhitungan Camber Jangka Pendek Balok Interior. ....	76
Tabel 4.41 Rekap perhitungan Lendutan Elemen Jembatan .....	78
<b>Tabel 4.42 Anjuran Faktor Pengali Lendutan Jangka Panjang PCI Handbook.....</b>	<b>78</b>
Tabel 4.43 Perhitungan Lendutan Jangka Panjang Girder Eksterior Metode PCI Handbook .....	81
Tabel 4.44 Rekapitulasi Perhitungan Lendutan Jangka Panjang Girder Eksterior .....	82
Tabel 4.45 Harga $\gamma_p$ Terhadap $f_{py}/f_{pu}$ .....	86
Tabel 4.46 Perhitungan Beban Berfaktor, Tinjauan $x=25400$ .....	92
Tabel 4.47 Rekapitulasi Beban Kerja, Tinjauan $x=25400$ .....	93
Tabel 4.48 Kapasitas Geser PenaMPang Akibat Prategang.....	107
Tabel 4.49 Kapasitas Geser <i>Shear-pin</i> dan Kontrol Kapasitas <i>Shear-key</i> .	108
Tabel 4.50 Gaya Prategang Bekerja Pada Masing-masing Angkur .....	110
Tabel 4.51 Perhitungan dan Kontrol Kapasitas Blok Angkur.....	111
Tabel 4.52 Perhitungan Tulangan Kebutuhan Bursting.....	113