

**ANALISA DEFORMASI JEMBATAN BENTANG
PANJANG(LONGSPAN) DENGAN METODE KONSTRUKSI
BALANCED CANTILEVER BETON PRATEGANG
(PRESTRESS) POST-TENSIONED**

TUGAS AKHIR



FEBRIYANI GALUH PRATIWI

1172004031

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE**

JAKARTA

2021

**ANALISA DEFORMASI JEMBATAN BENTANG
PANJANG(LONGSPAN) DENGAN METODE KONSTRUKSI
BALANCED CANTILEVER BETON PRATEGANG
(PRESTRESS) POST-TENSIONED**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik



FEBRIYANI GALUH PRATIWI

1172004031

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS BAKRIE

JAKARTA

2021

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir adalah hasil karya saya sendiri, semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar dan telah saya sertakan dalam daftar pustaka.

Nama : Febriyani Galuh Pratiwi

NIM : 1172004031

Tanda Tangan :



Tanggal : 15 Februari 2021

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Febriyani Galuh Pratiwi

NIM : 1172004031

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer

Judul Skripsi : Analisa Deformasi Jembatan Bentang Panjang (*Longspan*) Dengan Metode Konstruksi *Balanced Cantilever* Beton Prategang (*Prestress*) *Post-Tensioned*.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie

DEWAN PENGUJI

Pemimbing : Dr. M. Ihsan., ST., MT., M.Sc

()

Penguji 1 : Dr. Ir. Budianto Ontowirjo, M.Sc.

()

Penguji 2 : B.P Kusumo Bintoro, Ir., MBA, Dr.

()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 17 Februari 2021

UNGKAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer di Universitas Bakrie. Dalam penulisan ini banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh sebab itu penulis ingin berterimakasih kepada:

1. Ibu dan Ayah yang sudah memberikan motivasi, semangat, doa serta bantuan secara materil dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan selama perkuliahan.
2. Bapak Dr. M. Ihsan., ST., MT., M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie dan dosen pembimbing Tugas Akhir yang memberikan masukan, bimbingan, dan semangat dalam perkuliahan dan penelitian ini.
3. Ibu Fatin Adriati., ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu dalam menyusun rencana program studi penulis selama melaksanakan masa studi di Universitas Bakrie .
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil Universitas Bakrie yang sudah memberikan banyak ilmu dan perhatian selama perkuliahan.
5. Teman-teman seperjuangan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie yang berperan andil dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Desvia Alfitriany dan Alhaidar Noval Akbarsyah selaku adik yang telah menemani serta memberikan dukungan selama penulisan dilakukan.

Jakarta, Februari 2021

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Febriyani Galuh Pratiwi
NIM : 1172004031
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, mnyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty – Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISA DEFORMASI JEMBATAN BENTANG PANJANG
(LONGSPAN) METODE KONSTRUKSI *BALANCED CANTILEVER*
DENGAN PENGGUNAAN BETON PRATEGANG (*PRESTRESS*)
*POST-TENSIONED***

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti, Noneksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis. Demikias pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 17 Februari 2021

Yang Menyatakan

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters and lines, positioned centrally on the page.

(Febriyani Galuh Pratiwi)

**ANALISA DEFORMASI JEMBATAN BENTANG PANJANG(LONGSPAN)
DENGAN METODE KONSTRUKSI *BALANCED CANTILEVER* BETON
PRATEGANG (PRESTRESS) *POST-TENSIONED***

Febriyani Galuh Pratiwi¹

ABSTRAK

Jembatan bentang panjang dibuat karena terdapat kendala tertentu pada proses konstruksi. Jembatan beton prategang dengan metode konstruksi *balanced cantilever* memerlukan teknologi yang lebih canggih dan kemampuan kerja yang memadai. Gelagar yang digunakan adalah *box girder* karena ketahanan torsi yang cukup tinggi dan berat sendiri yang relatif lebih ringan. Jembatan direncanakan dengan struktur melayang pada ketinggian 9-12 meter di atas permukaan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar *displacement*, model retak yang terjadi dan kebutuhan tendon prategang yang dibutuhkan pada struktur. Tendon prategang terdiri dari kabel *strand* pada struktur jembatan dengan menggunakan *stressing post-tensioned* dimana beton akan dilakukan pengecoran terlebih dahulu dan kemudian *stressing* dilakukan ketika beton mencapai kekuatan 80%. Proses konstruksi ini dilakukan secara *cast in situ* dengan mutu beton yang tinggi dan menggunakan metode konstruksi *balanced cantilever box girder* secara segmental. Tendon prategang akan menopang beban mati pada struktur selama masa konstruksi, dan juga untuk menopang kekuatan struktur selama masa layan pada jembatan dengan panjang bentang >100m. Tendon prategang dipasang di beberapa bagian pada *box girder*. Desain jembatan dimodelkan dan dihitung menggunakan metode analisa numerik sesuai dengan SNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.

Kata Kunci : Beton Prategang, Penarikan, Deformasi, Pasca Tarik, Jembatan Bentang Panjang

¹Mahasiswa Sarjana Program Studi Teknik Sipil Univeristas Bakrie

**ANALISA DEFORMASI JEMBATAN BENTANG PANJANG (LONGSPAN)
METODE *BALANCED CANTILEVER* DENGAN PENGGUNAAN BETON
PRATEGANG (*PRESTRESS*) *POST-TENSIONED***

Febriyani Galuh Pratiwi¹

ABSTRACT

Long span bridges were made because of certain constraints in the construction process. Prestressed concrete bridges using the balanced cantilever construction method require more advanced technology and adequate workability. The girder used is a box girder because of its relatively high torsional resistance and relatively lighter weight. The bridge is planned with a floating structure at a height of 9-12 meters above ground level. This study aims to determine how large the displacement is, the model of the cracks that occur and the required prestressed tendon requirements for the structure. Prestressed tendons consist of strand cables on the bridge structure using post-tensioned stressing where the concrete will be cast first and then stressing done when the concrete reaches 80% strength. This construction process is carried out by cast in situ with high quality concrete and uses the segmental balanced cantilever box girder construction method. The prestressed tendon will support the dead load on the structure during the construction period, and also to support the structural strength during its service life on bridges with a span length > 100m. Prestressed tendons are installed in several parts of the box girder. The bridge design is modeled and calculated using the numerical analysis method in accordance with SNI T-12-2004 concerning Concrete Structure Planning for Bridges.

Keywords : Prestress Concrete, Stressing, Deformation, Post-Tensioned, Longspan Bridge

¹ Undergraduate Student of Civil Engineering Bakrie University

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UNGKAPAN TERIMAKASIH	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Bagi Mahasiswa.....	3
1.5.2. Bagi <i>Structure Engineer</i> dan Peneliti	4
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Kerangka Penelitian	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Dasar Umum Perencanaan	7

2.1.1	Perencanaan Batas Layan	7
2.2	Landasan Teori Beton Prategang	8
2.3	Jenis Metode Pada Beton <i>Prestress</i>	11
2.4	Teori Deformasi	12
2.5	Sifat-Sifat Dan Karakteristik Material Beton.....	13
2.5.1	Kuat Tekan.....	13
2.5.2	Kuat Tarik	13
2.5.3	Kuat Tarik Lentur	14
2.5.4	Tegangan Ijin	14
2.5.5	Massa Jenis	14
2.5.6	Lengkung Tegangan Regangan	14
2.5.7	Modulus Elastisitas	14
2.5.8	Angka Poisson	15
2.5.9	Koefisien Muai Panas	15
2.5.10	Susut Beton	15
2.5.11	Rangkak Pada Beton.....	17
2.6	Sifat-Sifat Dan Karakteristik Material Baja.....	19
2.6.1	Kuat Tarik Putus	19
2.6.2	Kuat Tarik Leleh Ekuivalen.....	19
2.6.3	Tegangan Ijin Pada Kondisi Transfer Gaya Prategang.....	19
2.6.4	Modulus Elastisitas	20
2.6.5	Relaksasi Baja Prategang.....	20
2.6.6	Perencanaan Kabel Baja/Tendon <i>Prestress</i>	22
2.6.7	Perencanaan Angkur	23
2.7	Kehilangan Gaya Prategang.....	23
2.7.1	Kehilangan Prategang Jangka Pendek Retak dan Tidak Retak	23

2.7.2	Kehilangan Prategang Jangka Panjang Retak dan Tidak Retak	24
2.8	Faktor Reduksi Kekuatan	24
2.9	Beban Yang Diperhitungkan Pada Struktur Jembatan.....	25
2.9.1	Beban Primer	25
2.9.2	Beban Sekunder	26
2.10	Peraturan Mengenai Jembatan Beton Prategang.....	27
2.11	Penelitian Terdahulu Tentang Struktur Beton Prategang <i>Balanced Cantilever</i> Pada Jembatan <i>Longspan</i>	29
BAB III		37
METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1	Analisis Umum	37
3.2	<i>Preliminary Design</i>	38
3.2.1	Perencanaan Dimensi Profil <i>Box Girder</i>	38
3.2.2	Tumpuan Pada Struktur	39
3.3	Segmentasi <i>Balanced Cantilever</i> pada Struktur.....	42
3.3.1.	Segmental 1.....	43
3.3.2.	Segmental 2.....	44
3.3.3.	Segmental 3.....	46
3.3.4.	Segmental 4.....	47
3.3.5.	Segmental 5.....	49
3.3.6.	Segmental 6.....	50
3.3.7.	Segmental 7.....	51
3.3.8.	Segmental 8.....	52
3.3.9.	Segmental 9.....	53
3.3.10.	Segmental 10.....	54
3.3.11.	Segmental 11.....	55

3.4	Analisis Hasil <i>Small Displacement</i> akibat <i>Dead Load</i> Masa Konstruksi	56
3.5	<i>Scheduling</i> Proyek.....	56
BAB IV		59
PEMBAHASAN		59
4.1.	Pembebanan Pada Struktur	59
4.1.1.	Beban Gempa.....	59
4.1.2.	Beban Kombinasi.....	60
4.2.	Analisa <i>Displacement</i>	64
4.3.	<i>Preliminary Tendon</i>	66
4.3.1.	Spesifikasi Kabel <i>Strand</i>	66
4.3.2.	Spesifikasi Beton Prategang	66
4.3.3.	Data Teknis	67
4.3.4.	Perhitungan Jumlah Tendon	67
4.4.	Analisa Tegangan.....	69
4.4.1.	<i>Load Balancing</i> Tegangan Pada Serat Atas.....	70
4.4.2.	<i>Load Balancing</i> Tegangan Pada Serat Bawah.....	70
4.4.3.	Diagram Tegangan.....	71
4.5.	Analisa Perilaku Struktur Penampang Jangka Pendek.....	72
4.5.1.	Penampang Jangka Pendek Tidak Retak	73
4.5.2.	Penampang Jangka Pendek Sesudah Retak	75
4.6.	Analisa Perilaku Struktur Penampang Jangka Panjang	77
4.6.1.	Penampang Jangka Panjang Tidak Retak	77
4.6.2.	Penampang Jangka Panjang Sesudah Retak	81
BAB V		84
KESIMPULAN DAN SARAN		84
5.1	Kesimpulan	84

5.2	Saran.....	85
	DAFTAR PUSTAKA.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Bagan Alur Pengerjaan	7
Gambar 2. 1 <i>Stages of Pre-Tensioning</i>	9
Gambar 2. 2 Metode Beton Pra Tarik	11
Gambar 2. 3 Metode Beton Pasca Tarik	12
Gambar 2. 4 Grafik Penurunan Faktor Susut.....	16
Gambar 2. 5 Grafik Penurunan Faktor Rangkak	18
Gambar 2. 6 Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ϵ).....	20
Gambar 2. 7 Bagian Kurva Tegangan – Regangan yang Diperbesar $\pm 2\%$	21
Gambar 3. 2 <i>Longitudinal Section</i> Jembatan <i>Longspan</i> Eksisting	37
Gambar 3. 3 <i>Plan View</i> Jembatan <i>Longspan</i> Eksisting	37
Gambar 3. 4 <i>Longitudinal Section</i> Jembatan <i>Longspan</i> Penelitian	38
Gambar 3. 5 <i>Plan View</i> Jembatan <i>Longspan</i> untuk Penelitian	38
Gambar 3. 6 Dimensi <i>Box Girder</i>	38
Gambar 3. 7 Tumpuan Sendi Pada Ujung Bentang	39
Gambar 3. 8 Tumpuan Sendi Pada Ujung Bentang	40
Gambar 3. 9 Tumpuan Jepit Pada <i>Pier Table</i>	41
Gambar 3. 10 Tumpuan Jepit Pada <i>Pier Table</i>	41
Gambar 3. 11 Tumpuan Pada Ujung Bentang	42
Gambar 3. 12 Detail <i>Closure</i> Pada Segmentasi Akhir.....	42
Gambar 3. 13 Analisis <i>Small Displacement Segmental 1</i>	43
Gambar 3. 14 Analisis <i>Small Displacement Segmental 2</i>	44
Gambar 3. 15 Analisis <i>Small Displacement Segmental 3</i>	46
Gambar 3. 16 Analisis <i>Small Displacement Segmental 4</i>	47
Gambar 3. 17 Analisis <i>Small Displacement Segmental 5</i>	49
Gambar 3. 18 Analisis <i>Small Displacement Segmental 6</i>	50
Gambar 3. 19 Analisis <i>Small Displacement Segmental 7</i>	51
Gambar 3. 20 Analisis <i>Small Displacement Segmental 8</i>	52

Gambar 3. 21 Analisis <i>Small Displacement Segmental</i> 9.....	53
Gambar 3. 22 Analisis <i>Small Displacement Segmental</i> 10.....	54
Gambar 3. 23 Analisis <i>Small Displacement Segmental</i> 11.....	55
Gambar 4. 1 Grafik Response Spektrum Gempa.....	59
Gambar 4. 2 Data Koordinat Gempa	59
Gambar 4. 3 Grafik <i>Response</i> Spektrum Gempa pada SAP 2000	60
Gambar 4. 4 Jenis Beban Kombinasi.....	64
Gambar 4. 5 <i>Displacement Maximum</i> segmentasi 1-6	65
Gambar 4. 6 <i>Displacement Maximum</i> segmentasi 7-10	65
Gambar 4. 7 Grafik <i>Preliminary Tendon</i>	69
Gambar 4. 8 Diagram Tegangan segmen 6R.....	71
Gambar 4. 9 REKAPITULASI TEGANGAN AKHIR segmental 1-6	72
Gambar 4. 10 REKAPITULASI TEGANGAN AKHIR segmental 7-10	72
Gambar 4. 11 Transformasi Penampang.....	73
Gambar 4. 12 Diagram Tegangan-Regangan Analisa Jangka Pendek Tidak Retak	75
Gambar 4. 13 Hasil Regangan-Tegangan Pada Analisa Jangka Panjang Tidak Retak	81
Gambar 4. 14 Hasil Regangan-Tegangan Pada Analisa Jangka Panjang Sesudah Retak	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Koefisien Standar Susut Beton Sebagai Tambahan Regangan Jangka Panjang	16
Tabel 2. 2 Koefisien Standar Rangkak Beton sebagai Tambahan Regangan Jangka Panjang.....	19
Tabel 2. 3 Tipikal Baja Prategang	22
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu Tentang Jembatan Beton Prategang	29
Tabel 3. 1 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 1	43
Tabel 3. 2 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 2.....	45
Tabel 3. 3 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 3.....	46
Tabel 3. 4 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 4.....	47
Tabel 3. 5 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 5	49
Tabel 3. 6 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 6.....	50
Tabel 3. 7 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 7	52
Tabel 3. 8 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 8.....	53
Tabel 3. 9 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 9	53
Tabel 3. 10 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 10.....	54
Tabel 3. 11 Data <i>Small Displacement</i> Segmental 11	55
Tabel 4. 1 <i>Scheduling</i> Proyek.....	57
Tabel 4. 2 Kombinasi Pembebanan	61
Tabel 4. 3 Rekapitulasi <i>Displacement Maximum</i> yang terjadi	64
Tabel 4. 4 Spesifikasi Kabel <i>Strand</i>	66
Tabel 4. 5 Spesifikasi Beton Prategang	66
Tabel 4. 6 Data Teknis Penampang	67
Tabel 4. 7 Data Segmental 6	67
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Jumlah <i>Strand</i> dan Tendon	68
Tabel 4. 9 TABEL REKAPITULASI TEGANGAN AKHIR PER SEGMENTAL	71
Tabel 4. 10 Data Penampang Analisa Jangka Pendek Tidak Retak	73

Tabel 4. 11 Tabel Harga c Analisa Penampang Jangka Pendek Retak..... 76
Tabel 4. 12 Data Penampang Analisa Jangka Panjang Tidak Retak 77

DAFTAR NOTASI

ε_u	= Regangan saat tercapainya regangan putus (m^3)
ε_{cs}	= Nilai regangan beton (m^3)
ε_e	= Nilai regangan elastis sesaat (m^3)
γ_c	= Berat volume (kg/m^3)
K_h	= Faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat [H (%)]
K_d	= Faktor pengaruh ketebalan komponen beton [d (cm)]
K_s	= Faktor pengaruh konsistensi (<i>slump</i>) adukan beton [s (cm)]
K_f	= Faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton [F (%)]
K_b	= Faktor pengaruh jumlah semen dalam beton (kg/m^3)
K_{ac}	= Faktor pengaruh kadar udara [A(%)]
f_{pu}	= Kuat tarik baja prategang (Mpa)
f_{py}	= Kuat leleh baja prategang (Mpa)
f'_{ct}	= Tegangan tarik (Mpa)
f'_{ci}	= Tegangan tekan (Mpa)
f_p	= Batas proporsional
f_e	= Batas elastis
E_p	= Modulus elastisitas (Mpa) (kg/m^3)
α	= Koefisien muai panjang
δ	= Lendutan (mm)
K	= Koefisien kejut

- K_a = Koefisien tanah aktif
 p = Tekanan tiup angin (kg/m^2)
 H = Tinggi box girder (mm)
 L = Panjang bentang (m)
 t = Waktu (menit)
 W_c = berat jenis beton (kg/m^3)
 F_c' = kuat tekan beton (Mpa)
 v = kecepatan angin (m/s)
 ANC = Presentasi kehilangan gaya prategang akibat slip ankur
 S = Nilai rata-rata slip di ankur
 ΔL = Deformasi pada ankur
 ε_i = Regangan awal
 ε_{0i} = Regangan awal pada serat atas
 ε_{s1} = Regangan pada baja tekan
 ε_{s2} = Regangan pada baja tarik
 ε_p = Regangan pada baja prategang
 K_i = Kelengkungan awal
 n = Rasio modular
 σ_{oi} = Tegangan awal di serat atas
 σ_{bi} = Tegangan awal di serat bawah
 σ_{s1i} = Tegangan awal di level baja tekan
 σ_{s2i} = Tegangan awal di level baja tarik

- σ_{s1} = Tegangan pada baja tekan
- σ_p = Tegangan pada baja prategang
- σ_{s2} = Tegangan pada baja tarik
- C_s = Gaya dalam pada tulangan tekan
- C_c = Gaya dalam pada beton
- T_p = Gaya dalam pada baja prategang
- T_s = Gaya dalam pada tulangan tarik
- d_{s1} = Jarak dari serat tekan terluar ke tulangan tekan
- d_{s2} = Jarak dari serat tekan terluar ke tulangan tarik
- d_p = Jarak dari serat tekan terluar ke tulangan prategang
- A_{s1} = Luas tulangan tekan
- A_{s2} = Luas tulangan tarik
- A_p = Luas tulangan prategang
- c = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral
- $\Delta\varepsilon_0$ = Penambahan regangan akibat pengaruh waktu
- Δk = Penambahan kelengkungan akibat pengaruh waktu
- ε_{sh} = Regangan susut
- ε_{cr} = Regangan rangkak
- ΔN = Penambahan gaya aksial
- ΔM = Penambahan Momen
- φ = Koefisien Rangkak
- λ = Koesien Penuaan

δN_{cr} = Gaya penahan terhadap rangkai

δM_{cr} = Momen penahan terhadap rangkai

δN_{sh} = Gaya penahan terhadap susut

δM_{sh} = Momen penahan terhadap susut

δN_{rel} = Gaya penahan terhadap relaksasi

δM_{rel} = Momen penahan terhadap relaksasi

δN = Gaya penahan total

δM = Gaya penahan total

A_e = Luas Penampang Efektif

B_e = Momen terhadap sisi atas penampang efektif

I_{se} = Inersia penampang efektif

$\Delta\sigma_{rel}$ = Perubahan tegangan akibat adanya relaksasi

$\Delta\sigma$ = Perubahan tegangan aktual