

**PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
EKSTERNAL TIPE LINIER**

SKRIPSI

**Diajukan dalam memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**LULUS PRASETIYO
NIM : 0210610047**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
M A L A N G
2007**

**PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
EKSTERNAL TIPE LINIER**

SKRIPSI

**Diajukan dalam memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**LULUS PRASETIYO
NIM : 0210610047**

DOSEN PEMBIMBING

Ari Wibowo, ST., MT.
NIP. 132 283 204

Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 131 875 046

**PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBRAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
EKSTERNAL TIPE LINIER**

Disusun Oleh :

LULUS PRASETIYO
NIM : 0210610047

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 9 April 2007

DOSEN PENGUJI

Ari Wibowo, ST., MT.
NIP. 132 283 204

Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 131 875 046

Dr. Ir. Agoes Soehardjono. MD., MT.
NIP. 131 276 254

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Achmad Wicaksono, M.Eng., Ph.D.
NIP. 132 007 111

ABSTRAK

LULUS PRASETIYO, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2007, *Prosentase Penurunan Lentutan Model Jembatan Rangka Baja Akibat Penggunaan Kabel Prategang Eksternal Tipe Linier*.
Dosen Pembimbing : Ari Wibowo, ST.,MT. dan Ir. Wisnumurti, MT.

Seiring dengan bertambahnya volume lalu lintas jalan yang melintasi suatu jembatan, maka pada jembatan harus dilakukan peningkatan daya layan struktur jembatan dalam menerima beban-beban yang bekerja. Peningkatan daya layan pada jembatan rangka baja dapat dilakukan dengan memberikan gaya yang dapat mengurangi pengaruh beban-beban yang bekerja pada jembatan. Peningkatan daya layan dapat berupa pengurangan besarnya lentutan yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja pada jembatan. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk menghasilkan gaya-gaya tersebut adalah dengan menambahkan kabel prategang pada jembatan rangka. Maka dari itu pengaruh pemberian kabel prategang terhadap lentutan jembatan rangka harus diketahui sehingga prosentase penurunan besarnya lentutan yang terjadi dapat diketahui.

Prosentase penurunan besarnya lentutan jembatan rangka dapat diketahui dengan cara membandingkan besarnya lentutan yang terjadi pada jembatan rangka dengan lentutan pada jembatan rangka prategang akibat pemberian beban yang besarnya sama. Dalam penelitian ini besarnya lentutan pada jembatan rangka diperoleh dari percobaan pembebanan pada model jembatan rangka baja tipe semi parabol jenis N terbalik dengan pajang bentang 450 cm dan lebar 90 cm. Sedangkan lentutan pada jembatan rangka prategang diperoleh dari percobaan pembebanan pada model jembatan yang sama yang diberi gaya prategang dengan cara menambahkan kabel prategang eksternal tipe linier berupa baja sling dengan diameter 5 mm. Besarnya beban dan gaya prategang yang diberikan tidak sampai melewati batas elastis elemen-elemen model jembatan.

Dari pengujian ini diperoleh besarnya prosentase penurunan lentutan maksimum pada model jembatan rangka adalah sebesar 32,683 % dari lentutan maksimum model jembatan rangka sebesar 2,050 mm. Beban maksimum pada percobaan ini adalah beban terpusat ditengah-tengah bentang jembatan sebesar 207 kg, sedangkan beban minimum terjadi ketika kondisi model jembatan tidak menerima beban luar sama sekali (beban 0).

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG EKSTERNAL TIPE LINIER*”, sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Jembatan rangka baja merupakan jembatan dengan struktur utama berupa struktur rangka batang yang terbuat dari material baja. Penggunaan kabel prategang eksternal tipe linier merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengefisiensikan kuantitas dan kualitas material baja yang digunakan. Pembahasan pada skripsi ini lebih ditekankan kepada perbandingan antara besarnya lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka baja dengan model jembatan rangka baja yang diberi kabel prategang. Dengan demikian, pengaruh penambahan kabel prategang eksternal tipe linier terhadap besarnya lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka baja dapat diketahui. Pengaruh tersebut ditunjukkan oleh besarnya prosentase penurunan lendutan yang terjadi.

Skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Ir. Achmad Wicaksono, M.Eng., Ph.D.**, selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
2. **Ir. Wisnumurti, MT.**, selaku Sekretaris Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sekaligus dosen pembimbing dalam skripsi ini
3. **Ari Wibowo, ST.,MT.**, selaku Dosen Wali sekaligus dosen pembimbing dalam skripsi ini
4. **Sahabat dan seluruh rekan-rekan Mahasiswa Sipil Angkatan 2002**, atas bantuan dan dukungannya
5. Serta pihak-pihak lain yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu dalam penyempurnaan skripsi ini sehingga skripsi ini dapat bermanfaat.

Malang, Maret 2007

penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang masalah	1
1.2. Batasan masalah	2
1.3. Rumusan masalah	2
1.4. Tujuan	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Tinjauan umum	3
2.2. Jembatan rangka batang	3
2.3. Gaya batang dan tegangan	5
2.4. Lentutan	9
2.4.1. Konsep dasar lentutan	9
2.4.2. Lentutan pada struktur rangka batang	9
2.5. Prategang	11
2.5.1. Pengertian dasar prategang	11
2.5.2. Konsep dasar prategang	12
2.5.3. Prategang pada rangka batang	13
2.5.3.1. Prategang pada elemen batang	13
2.5.3.2. Prategang pada struktur rangka batang	14
2.6. <i>Hukum Betti</i> dan <i>Hukum Timbal Balik Maxwell</i>	15
2.7. Desain dan analisis model jembatan	16
2.7.1. Desain model jembatan	16
2.7.2. Pengujian dengan variasi pembebanan	16
2.7.3. Analisis model jembatan	16
III. METODOLOGI	19
3.1. Tempat dan waktu penelitian	19
3.2. Peralatan dan bahan penelitian	19
3.3. Rencana penelitian	20
3.3.1. Diagram alir penelitian	20
3.3.2. Rancangan model jembatan	21
3.3.2.1. Jembatan rangka	21

3.3.2.2. Jembatan rangka prategang	21
3.3.2. Rancangan pembebanan	22
3.3.3. Prosedur pemodelan	22
3.3.4. Metode pengumpulan data	24
3.4. Analisis lendutan	24
3.4.1. Input data	24
3.4.2. Prosedur analisis	24
3.5. Variabel penelitian	25
3.6. Analisis data	26

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN 27

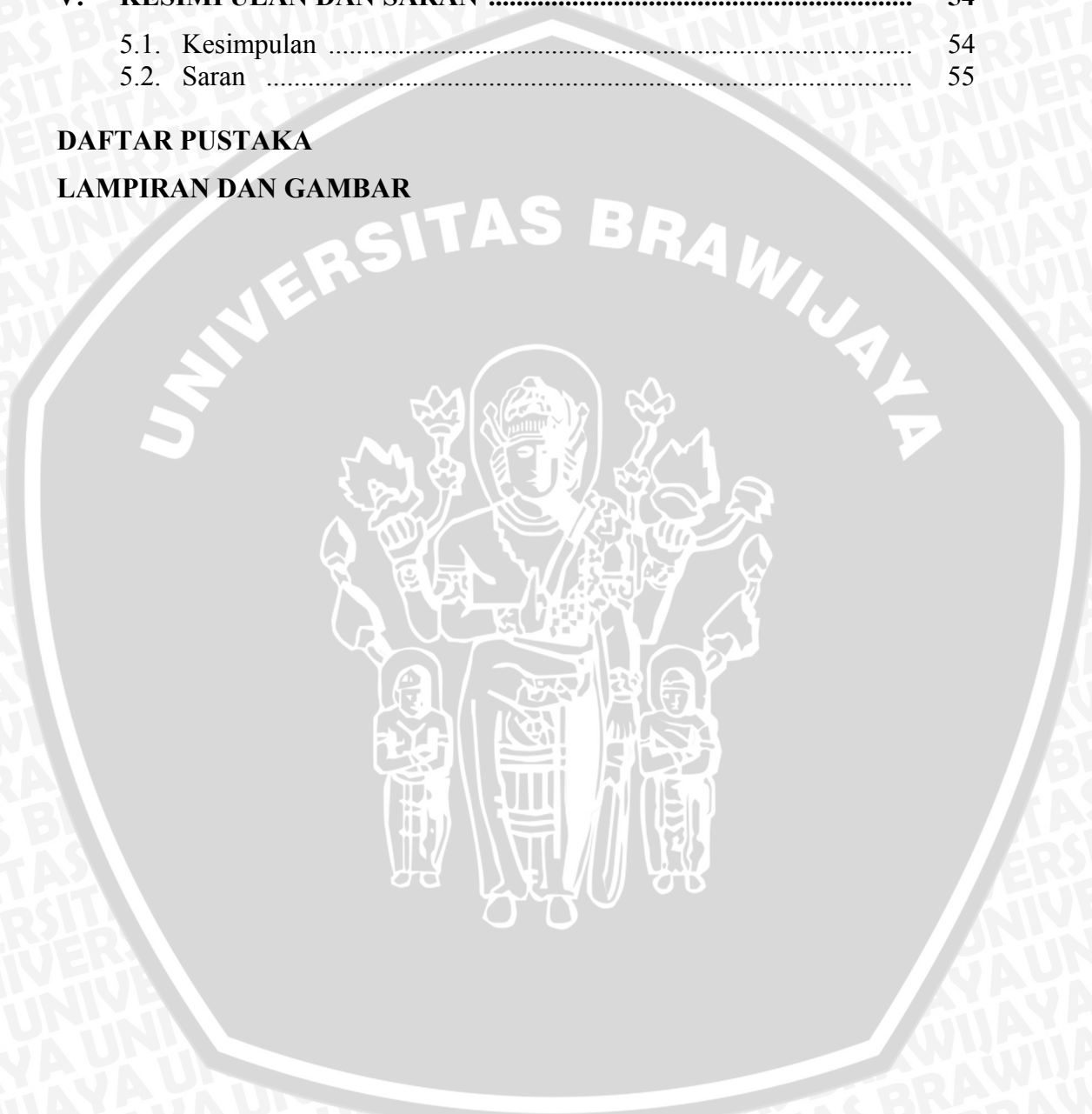
4.1. Pelaksanaan penelitian di laboratorium	27
4.1.1. Analisis bahan yang digunakan	27
4.1.1.1. Model jembatan rangka	27
4.1.1.2. Kabel prategang	27
4.1.2. Pelaksanaan percobaan pembebanan	27
4.2. Pembebanan model jembatan rangka	28
4.2.1. Analisis dengan STAADPro 2004	28
4.2.1.1. Asumsi-asumsi yang digunakan	28
4.2.1.2. Analisis gaya batang pada batang lemah	29
4.2.1.3. Analisis lendutan maksimum	31
4.2.2. Pengolahan data hasil percobaan di laboratorium	31
4.2.2.1. Analisis gaya batang pada batang lemah	31
4.2.2.2. Analisis lendutan maksimum	32
4.2.3. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004	33
4.2.3.1. Gaya batang pada batang lemah	33
4.2.3.2. Lendutan maksimum	35
4.3. Pembebanan model jembatan rangka prategang	35
4.3.1. Analisis dengan STAADPro 2004	35
4.3.1.1. Asumsi-asumsi yang digunakan	35
4.3.1.2. Gaya prategang	36
4.3.1.3. Analisis gaya batang pada batang lemah	37
4.3.1.4. Analisis lendutan maksimum	39
4.3.2. Pengolahan data hasil percobaan di laboratorium	39
4.3.2.1. Gaya prategang	39
4.3.2.2. Analisis gaya batang pada batang lemah	40
4.3.2.3. Analisis lendutan maksimum	42
4.3.3. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004	42
4.3.3.1. Gaya prategang	42
4.3.3.2. Gaya batang pada batang lemah	44
4.3.3.3. Lendutan maksimum	46
4.4. Pembahasan	48
4.4.2. Gaya batang pada batang lemah	48
4.4.1. Gaya prategang	49
4.4.1.1. Gaya prategang acuan	49



4.4.1.1.1. Hasil analisis dengan STAADPro 2004	49
4.4.1.1.2. Hasil percobaan di laboratorium	50
4.4.1.2. Gaya prategang efektif	50
4.4.3. Lendutan maksimum	51
V. KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN DAN GAMBAR



DAFTAR TABEL

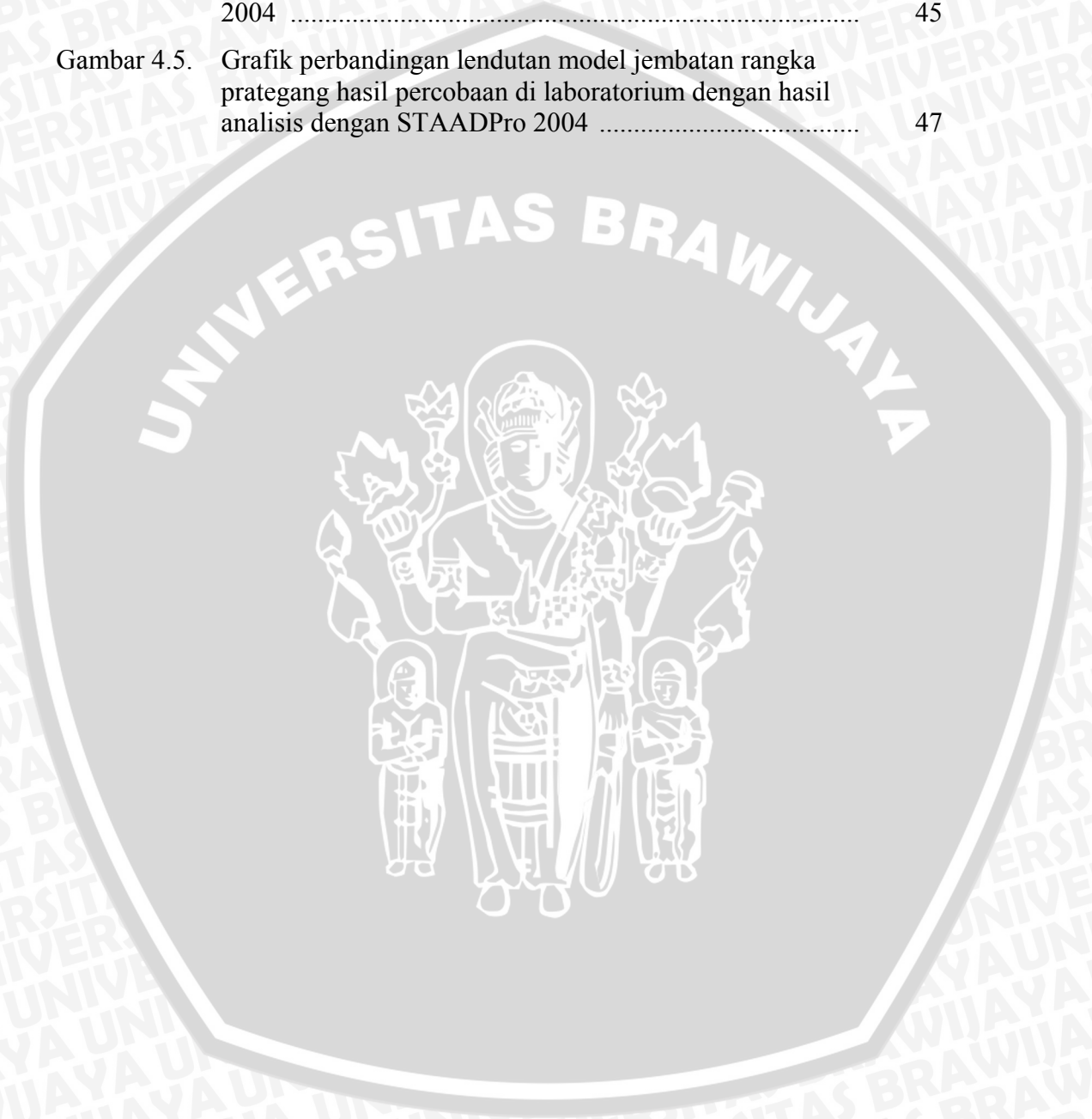
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Panjang tekuk	8
Tabel 3.1.	Perlakuan terhadap model jembatan dalam percobaan pembebanan di laboratorium	22
Tabel 4.1.	Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	29
Tabel 4.2.	Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari analisis menggunakan STAADPro 2004	31
Tabel 4.3.	Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka dari analisis menggunakan STAADPro 2004	31
Tabel 4.4.	Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium	32
Tabel 4.5.	Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium	32
Tabel 4.6.	Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium	33
Tabel 4.7.	Perbandingan nilai gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004	33
Tabel 4.8.	Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	34
Tabel 4.9.	Perbandingan nilai lendutan maksimum model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	35
Tabel 4.10.	Nilai gaya prategang hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004	36
Tabel 4.11.	Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	37

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.12.	Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	38
Tabel 4.13.	Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	39
Tabel 4.14.	Nilai gaya prategang hasil percobaan di laboratorium	39
Tabel 4.15.	Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium	40
Tabel 4.16.	Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium	41
Tabel 4.17.	Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium	42
Tabel 4.18.	Perbandingan nilai gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	42
Tabel 4.19.	Perbandingan nilai gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	44
Tabel 4.20.	Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	46
Tabel 4.21.	Perbandingan nilai lendutan model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	46
Tabel 4.22.	Variasi gaya prategang acuan hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004	49
Tabel 4.23.	Variasi gaya prategang acuan hasil percobaan di laboratorium	50
Tabel 4.24.	Prosentase peningkatan gaya prategang akibat Pembebanan	51
Tabel 4.25.	Prosentase penurunan lendutan akibat pembebanan dan pemberian gaya prategang	52

DAFTAR GAMBAR

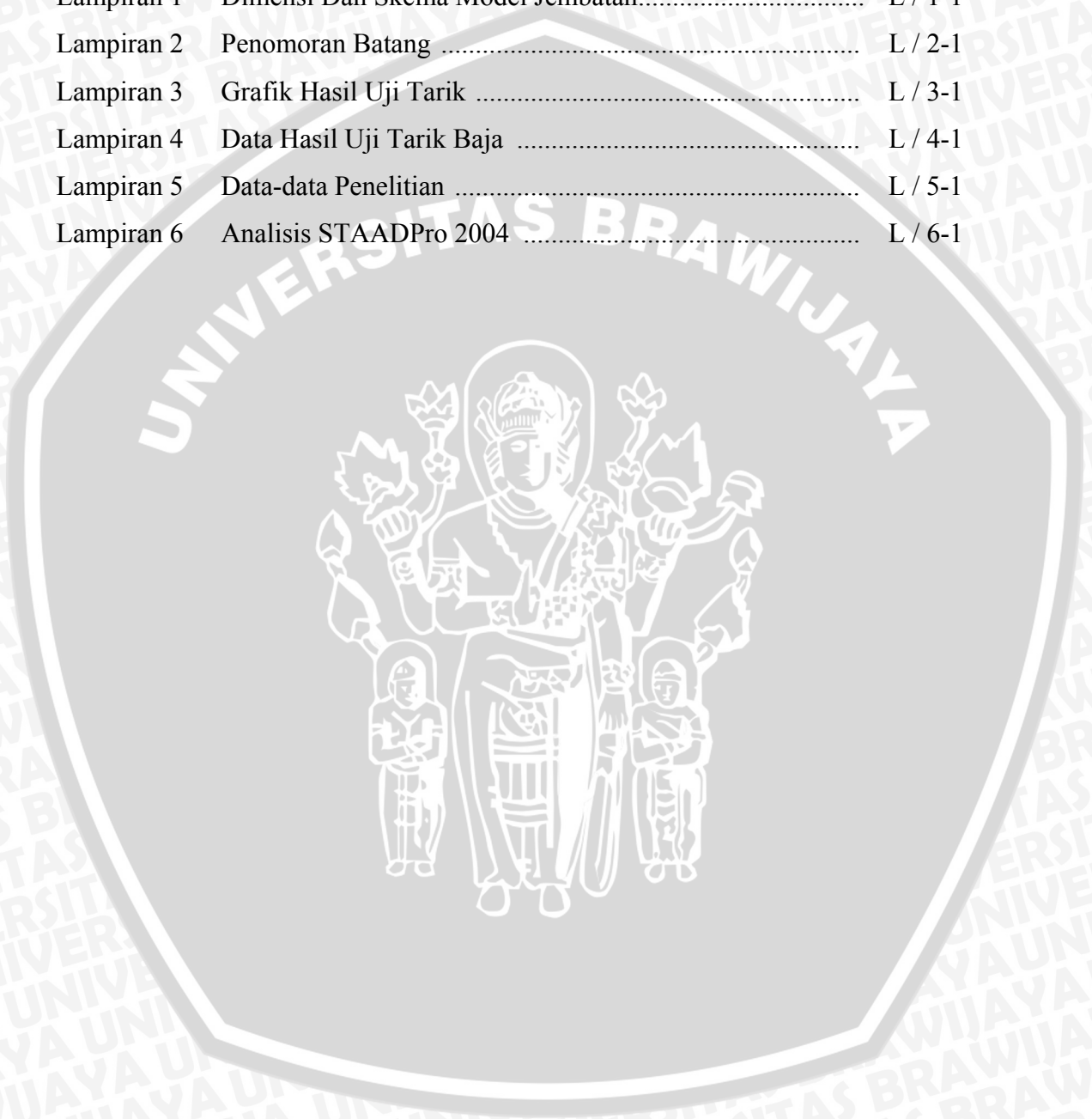
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Jenis rangka: a. rangka paralel, b. rangka lensa, c. rangka sabit, d. rangka parabola, e. rangka parabol rangkap, f. rangka semi parabol, g. rangka perut ikan	4
Gambar 2.2.	Jenis Rangka: 1. Rangka N, 2. Rangka N terbalik, 3. Rangka V, 4 Rangka V dengan batang vertikal	4
Gambar 2.3.	Grafik panjang tekuk	7
Gambar 2.4.	Lendutan pada rangka batang dengan geometris tetap	10
Gambar 2.5.	a. Rangka batang dengan 2 elemen, b. Deformasi rangka batang dengan asumsi titik buhul bebas	11
Gambar 2.6.	Diagram kerja batang (1) tanpa prategang dan (2) dengan prategang	12
Gambar 2.7.	Diagram kerja batang dengan prategang bertahap	13
Gambar 2.8.	Tipe pemasangan kabel prategang pada batang; 1) pemasangan prategang pada batang-batang tarik rangka, 2) pemasangan prategang sepanjang bentang rangka, 3) pemasangan dua atau lebih prategang sepanjang bentang rangka	14
Gambar 2.9.	Rangka dengan kabel poligonal	14
Gambar 2.10.	Rangka dengan kabel eksternal	14
Gambar 2.11.	Statika akibat pengaruh gaya prategang	18
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2.	Model jembatan rangka	21
Gambar 3.3.	Model jembatan rangka prategang	21
Gambar 3.4.	Skema pembebanan	23
Gambar 4.1.	Grafik perbandingan gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis STAADPro 2004	34
Gambar 4.2.	Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	35

Gambar 4.3.	Grafik perbandingan gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	43
Gambar 4.4.	Grafik perbandingan gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	45
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan lendutan model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	47



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Dimensi Dan Skema Model Jembatan.....	L / 1-1
Lampiran 2	Penomoran Batang	L / 2-1
Lampiran 3	Grafik Hasil Uji Tarik	L / 3-1
Lampiran 4	Data Hasil Uji Tarik Baja	L / 4-1
Lampiran 5	Data-data Penelitian	L / 5-1
Lampiran 6	Analisis STAADPro 2004	L / 6-1



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang masalah

Jembatan merupakan salah satu solusi yang sangat umum yang digunakan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan transportasi, terutama yang berkaitan dengan kondisi topografi daerah yang dilalui jalur transportasi. Dalam kaitannya dengan transportasi, jembatan berfungsi sebagai penghubung antara daerah-daerah yang dipisahkan oleh sungai, jurang, lembah, kanal, bahkan laut ataupun, fasilitas-fasilitas umum lainnya seperti jalan tol atau jalan raya.

Secara umum jembatan terdiri dari struktur atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*). Kedua struktur tersebut bekerja bersama-sama saling melengkapi dalam menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan. Beban akan didistribusikan dari struktur atas ke struktur bawah sampai pada akhirnya beban akan ditahan sepenuhnya oleh tanah.

Salah satu jembatan yang paling umum kita jumpai adalah jembatan rangka. Jembatan rangka memiliki batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan. Gaya-gaya luar hanya bekerja pada titik-titik simpul rangka. Efisiensi pada jembatan dapat dilakukan dengan memberikan gaya yang dapat mengurangi besarnya lendutan yang terjadi, dalam hal ini adalah gaya yang dapat melawan beban-beban yang diterima oleh jembatan akibat pengaruh gravitasi. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk menghasilkan gaya tersebut adalah dengan menambahkan kabel prategang pada jembatan rangka.

Selain digunakan untuk mengefisienkan penggunaan baja-baja penyusun jembatan rangka baja, penambahan kabel prategang juga dapat digunakan untuk memperbaiki jembatan guna meningkatkan daya layanan jembatan yang sudah ada sebelumnya. Atas dasar pemikiran tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian terhadap struktur jembatan rangka guna mengetahui pengaruh penambahan kabel prategang eksternal dengan tipe linier.

1.2. Batasan masalah

Permasalahan dalam skripsi ini hanya difokuskan pada perilaku struktural model jembatan rangka ketika mendapatkan gaya prategang akibat penambahan kabel prategang. Oleh karena itu, perlu adanya pembatasan terhadap permasalahan yang terjadi. Batasan masalah pada skripsi ini adalah tidak membahas analisis ekonomi, korosi pada material baja serta pengaruh perubahan temperatur pada model jembatan.

1.3. Rumusan masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan kabel prategang eksternal tipe linier terhadap lendutan pada model jembatan rangka baja ?
2. Bagaimana perilaku model jembatan akibat beban-beban yang diberikan ?

1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan skripsi ini adalah :

1. Untuk mengetahui perilaku model jembatan rangka prategang akibat beban yang diberikan.
2. Untuk mengetahui berapa besar kekuatan yang diberikan oleh gaya prategang pada struktur model jembatan rangka prategang.
3. Untuk mendalami program analisis struktur STAADPro 2004 3 dimensi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan umum

Dalam perencanaan struktur jembatan, jembatan rangka batang prategang merupakan suatu konsep yang masih dianggap baru. Gagasan utamanya adalah dengan memberikan tegangan awal pada jembatan sehingga dapat membantu jembatan dalam menahan beban kerja. Beban kerja yang dimaksud adalah beban-beban yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

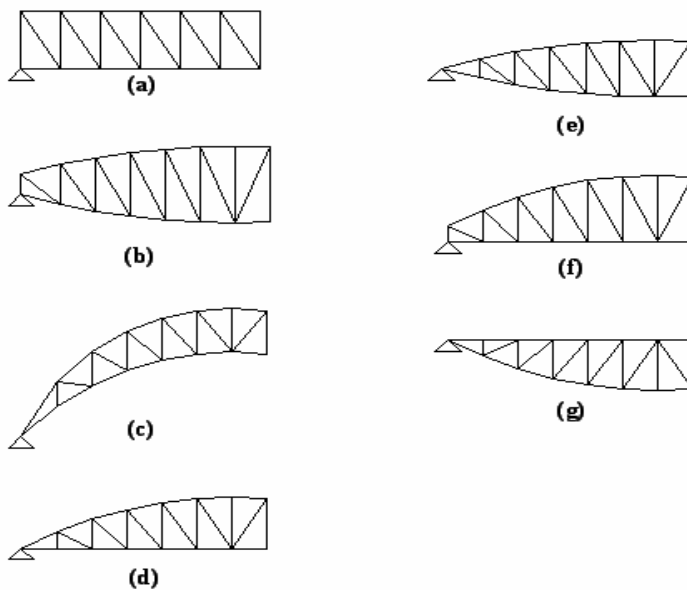
Pemilihan jenis konstruksi jembatan prategang didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut (Troitsky, 1990):

1. Penggunaan prategang menghemat jumlah struktur baja yang diperlukan untuk menahan beban yang bekerja jika dibandingkan dengan desain struktur baja konvensional
2. Prategang dapat digunakan sebagai alternatif peningkatan kekuatan struktur jembatan yang sudah ada, dalam hal ini jembatan rangka, tanpa perlu adanya rekonstruksi struktur jembatan
4. Prategang baja pada daerah tarik menimbulkan tekan, yang dapat menambah kekakuan struktur.
5. Penggunaan prategang pada baja tidak menimbulkan kehilangan friksi seperti pada beton prategang, dimana beton tidak dapat menahan tegangan tarik, karena penampang baja tidak memerlukan distribusi tegangan khusus.

2.2. Jembatan rangka batang

Dalam jembatan rangka batang prategang, jembatan rangka batang merupakan struktur utama yang berfungsi untuk menahan beban-beban yang diterima oleh struktur jembatan baik berupa beban mati maupun beban hidup.

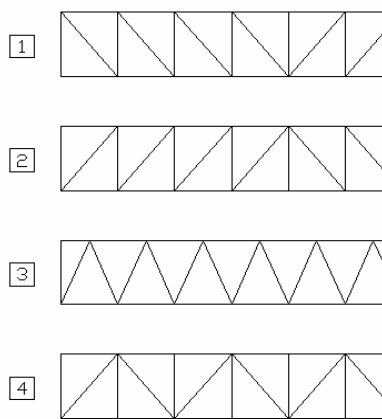
Jembatan rangka dapat dibuat dengan tinggi yang sama atau dengan tinggi yang bervariasi sepanjang bentang. Berdasarkan dengan bentuk tepinya, rangka batang terbagi atas rangka paralel, lensa, sabit (arit), parabola, parabola rangkap, semi parabola, dan perut ikan (soemono,1979).



Gambar 2.1. Jenis rangka: a. rangka paralel, b. rangka lensa, c. rangka sabit, d. rangka parabola, e. rangka parabol rangkap, f. rangka semi parabol, g. rangka perut ikan

sumber : soemono, 1979 ; 42

Sedangkan berdasarkan bentuk bagian dalamnya terbagi atas empat jenis yaitu rangka N, rangka N terbalik, rangka V, dan rangka V dengan batang tegak (Soemono,1979).



Gambar 2.2 Jenis Rangka: 1. Rangka N, 2. Rangka N terbalik, 3. Rangka V, 4 Rangka V dengan batang vertikal

Sumber : Soemono, 1979 ; 42

Model jembatan yang digunakan pada penelitian ini adalah model jembatan dengan bentuk rangka semi parabol. Rangka semi parabol merupakan rangka yang bentuk permukaan atas dan bawahnya berbeda, pada umumnya permukaan atas merupakan bagian yang melengkung (parabol) sedangkan permukaan bawah merupakan bagian yang datar (Gambar 2.1(f)). Akan tetapi pada penelitian ini, permukaan model jembatan yang melengkung adalah permukaan bawah sedangkan permukaan atas berbentuk datar.

Berbeda dengan rangka perut ikan (Gambar 2.1(g)), rangka semi parabol tidak meruncing pada kedua ujung tepinya. Hal ini memungkinkan penambahan kabel prategang pada struktur jembatan rangka batang, Tinggi dari jembatan rangka batang tergantung dari pendistribusian beban dan kekakuan yang dikehendaki.

2.3. Gaya batang dan tegangan

Gaya batang merupakan gaya di dalam batang yang ditimbulkan oleh adanya gaya luar dengan garis kerja berhimpit dengan sumbu batangnya. Dengan demikian gaya batang adalah merupakan gaya normal terpusat yang dapat berupa gaya tarik (-) atau gaya tekan (+) dan tidak disertai oleh momen dan gaya lintang. (Soemono, 1979).

Besarnya gaya batang yang terjadi pada suatu struktur rangka batang dapat diketahui dari besarnya regangan yang terjadi pada struktur tersebut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2-1)$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-2)$$

Substitusi persamaan (2-1) dan (2-2) menjadi:

$$E = \frac{P}{A \cdot \varepsilon}$$

$$P = E \cdot A \cdot \varepsilon \quad (2-3)$$

dengan :

E = modulus elastisitas baja (kg/cm²)

σ = tegangan baja (kg/cm²)

P = gaya batang (kg)

ε = regangan baja

A = luas penampang bersih profil baja (cm^2)

Dalam perencanaan bangunan baja dengan menggunakan perhitungan berdasarkan keadaan elastis, besarnya tegangan yang diakibatkan oleh gaya-gaya batang dibatasi oleh besarnya tegangan ijin elemen bajanya.

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_l}{1,12} \quad (2-4)$$

$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin baja (kg/cm^2)

σ_l = tegangan leleh baja (kg/cm^2)

1,12 = Faktor bentuk untuk *hollow tube*

Berbeda dengan batang-batang tarik, keruntuhan pada batang tekan, juga dipengaruhi oleh kelangsingan batangnya. Sehingga bahaya tekuk dapat terjadi pada batang-batang tekan. Oleh karena itu pada perencanaan batang tekan besarnya tegangan yang terjadi harus dikalikan dengan faktor tekuk batang (ω).

$$\omega \frac{P}{A} \leq \bar{\sigma} \quad (2-5)$$

dengan :

$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin baja (kg/cm^2)

P = gaya batang (kg)

A = luas penampang bersih profil baja (cm^2)

ω = faktor tekuk yang tergantung pada angka kelangsingan (λ) dan mutu baja

Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) tahun 1984 telah menetapkan bahwa harga ω dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{0,7 \sigma_l}} \quad (2-6)$$

$$\lambda_s = \frac{\lambda}{\lambda_g} \quad (2-7)$$

$$\text{Untuk: } \lambda_s \leq 0,183 \quad \text{maka } \omega = 1 \quad (2-8)$$

Untuk: $0,183 < \lambda_s < 1$ maka $\omega = \frac{1,41}{1,593 - \lambda_g}$ (2-9)

Untuk: $\lambda_s \geq 1$ maka $\omega = 2,381 \lambda_s^2$ (2-10)

Kelangsingan pada batang tunggal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

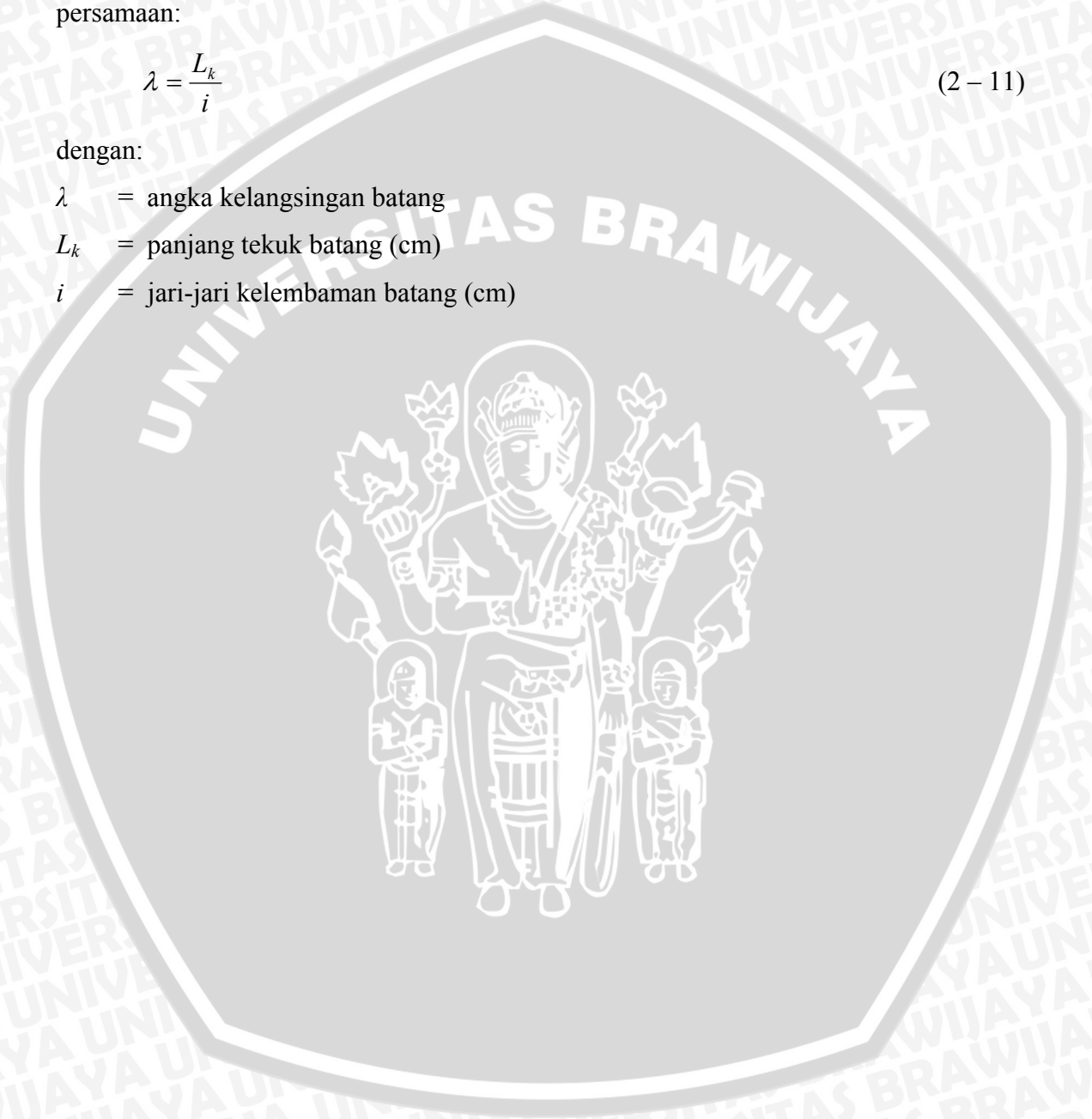
$$\lambda = \frac{L_k}{i} \quad (2-11)$$

dengan:

λ = angka kelangsingan batang

L_k = panjang tekuk batang (cm)

i = jari-jari kelembaman batang (cm)



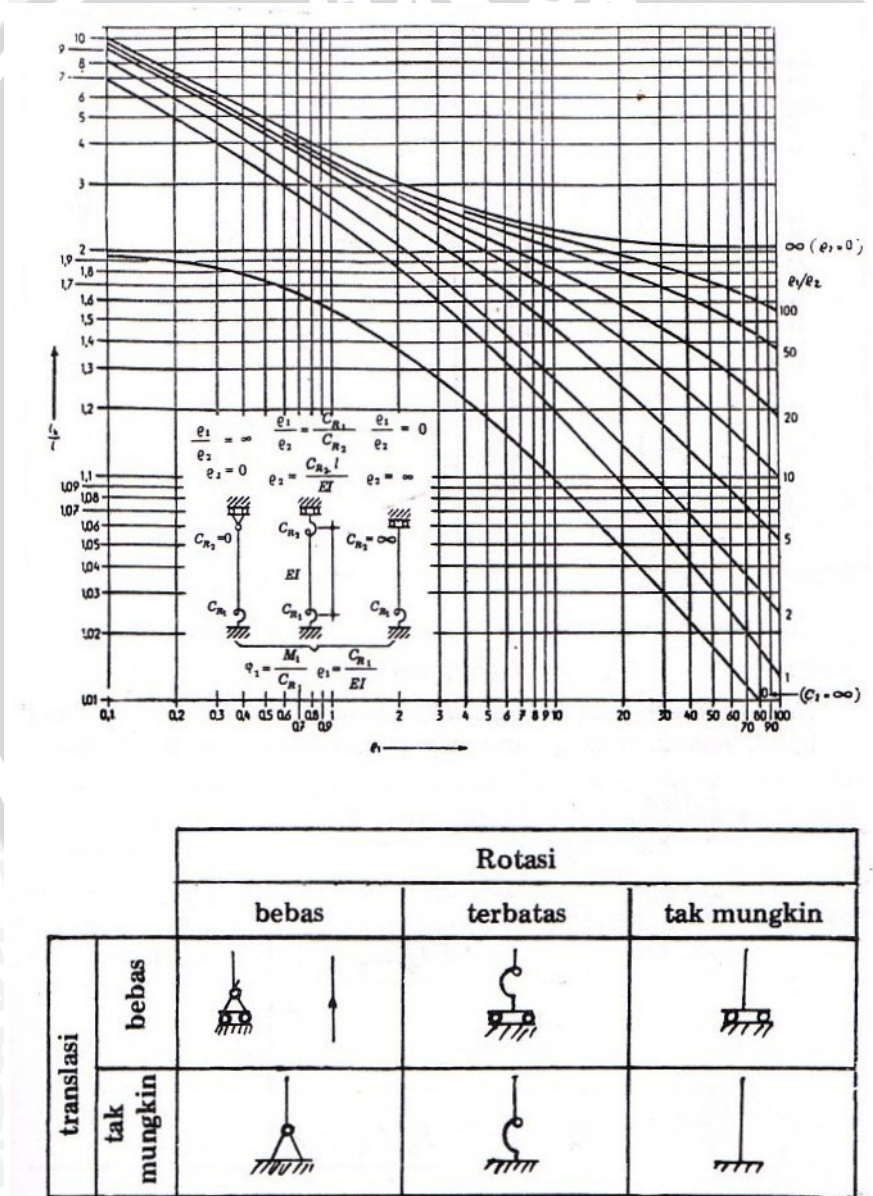
dan

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2-12)$$

I = inersia batang (cm^4)

A = luas penampang baja (cm^2)

Panjang tekuk L_k dapat ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.1 atau Gambar 2.3 untuk batang-batang tekan pada umumnya (PPBBI,1984).

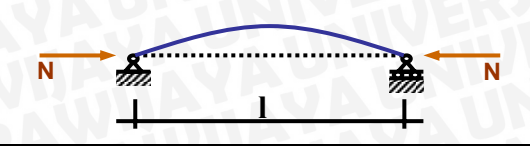
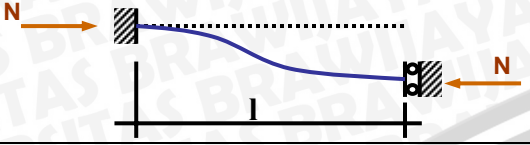
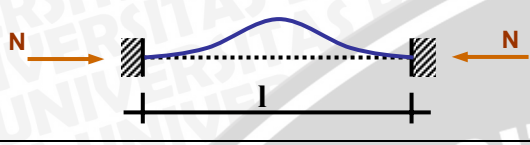
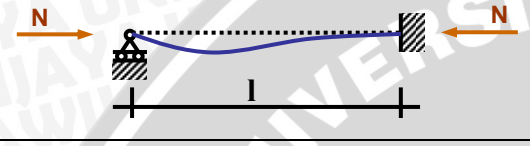
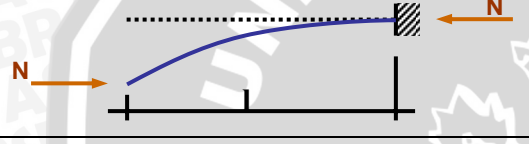


Gambar 2.3. Grafik panjang tekuk

Sumber: PPBBI, 1984 ; 17

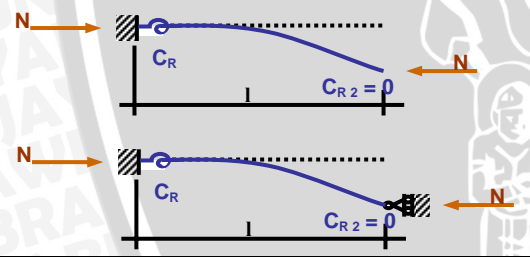
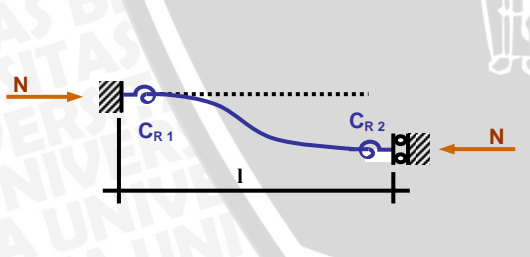
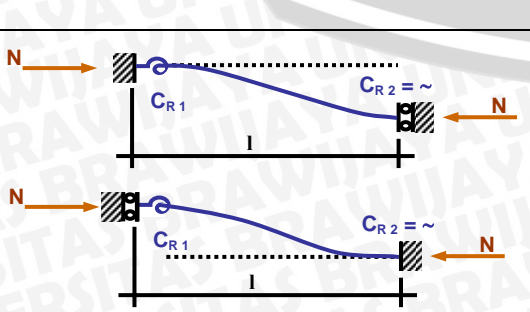


Tabel 2.1 Panjang Tekuk

	$l_o = l$	$n = \frac{\pi^2 EI}{N \cdot l^2}$
	$l_o = l$	$n = \frac{\pi^2 EI}{N \cdot l^2}$
	$l_o = \frac{l}{2}$	$n = \frac{4\pi^2 EI}{N \cdot l^2}$
	$l_o = \frac{l}{\sqrt{2}}$	$n = \frac{2\pi^2 EI}{N \cdot l^2}$
	$l_o = 2l$	$n = \frac{\pi^2 EI}{4N \cdot l^2}$

Dalam hal jepit elastis, dipakai kekakuan rotasi C_R

Yang didefinisikan sebagai berikut : $C_R = \frac{M}{\phi}$; ϕ dalam radial

	$l_1 = \frac{C_{R1}l}{EI}$ $l_2 = \frac{C_{R2}l}{EI} = 0$	$R = \left[4 + \frac{10}{l_1} \right] l^2$
	$l_1 = \frac{C_{R1}l}{EI}$ $l_2 = \frac{C_{R2}l}{EI}$	$R = \left(\frac{10a_{kr}}{l_1} + 4^2_{kr} \right) l^2$ dengan $a_{kr} = \frac{2l_1l_2 + 5l_1}{5l_1 + 5l_2 + 4l_1l_2}$ untuk $l_1 = l_2 = l$ $R = \left(1 + \frac{5}{l} \right) l^2$
	$l_1 = \frac{C_{R1}l}{EI}$ $l_2 = \frac{C_{R2}l}{EI} = \sim$	$R = \left(\frac{10 + 4l_1}{5 + 4l_1} \right) 2l^2$

Sumber: PPBBI, 1984 ; 15-16

2.4. Lendutan

2.4.1. Konsep dasar lendutan

Lendutan yang berlebihan, disamping akan mempengaruhi kekuatan struktur juga mempunyai dampak psikologis bagi si pengendara. Besarnya lendutan maksimum yang diizinkan adalah proporsional dengan bentang jembatan yang bersangkutan, pada peraturan BMS (*Bridge Management System*) disyaratkan tidak boleh melebihi $L/800$ (BMS, 1992. Hal. 6-18).

2.4.2. Lendutan pada struktur rangka batang

Lendutan pada struktur rangka batang merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik-titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang akibat gaya-gaya aksial tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

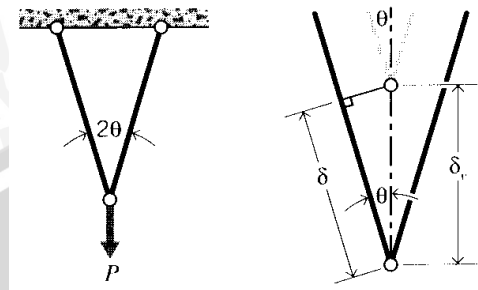
$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2 - 13)$$

Besarnya lendutan pada setiap titik buhul rangka batang dapat ditentukan secara geometris, dengan mengasumsikan bahwa setiap elemen batang dalam kondisi sendi pada tiap titik pertemuannya.

Dalam dua elemen rangka batang simetris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, tentu saja titik pertemuan batang-batang tersebut akan berpindah ke arah bawah secara vertikal. Hubungan antara deformasi aksial δ dari elemen dan lendutan vertikal dari titik buhul δ_v dapat dilihat sebagai

$$\delta_v = \frac{\delta}{\cos \theta} \quad (2 - 14)$$

Pada persamaan di atas, deformasi yang terjadi dianggap sangat kecil sehingga geometris rangka tidak berubah. Dalam kasus Gambar 2.4 besarnya sudut θ tidak berubah meskipun beban-beban telah diberikan.



Gambar 2.4. Lenturan pada rangka batang dengan geometris tetap
 Sumber : Roylance, 2000 ; 6

Untuk analisis geometris yang lebih mendetail, akan jauh lebih mudah apabila beberapa titik buhul pada rangka digambarkan tidak dalam kondisi sendi. Dengan demikian deformasi yang terjadi pada elemen-elemen batang akan sesuai dengan gaya aksial yang terjadi pada batang. Batang-batang yang sudah mengalami deformasi tersebut kemudian diputar kembali mengelilingi titik buhul yang masih dianggap dalam kondisi sendi hingga lokasi dari sendi kembali seperti semula. Gerakan dari ujung bebas akan membentuk pola melingkar, tapi jika lendutan yang terjadi kecil pola tersebut dapat diperkirakan dari sebuah hubungan pitagoras.

Dalam elemen rangka batang pada Gambar 2.5(a), jika sendi pada titik B dihilangkan, lendutan elemen akan menjadi:

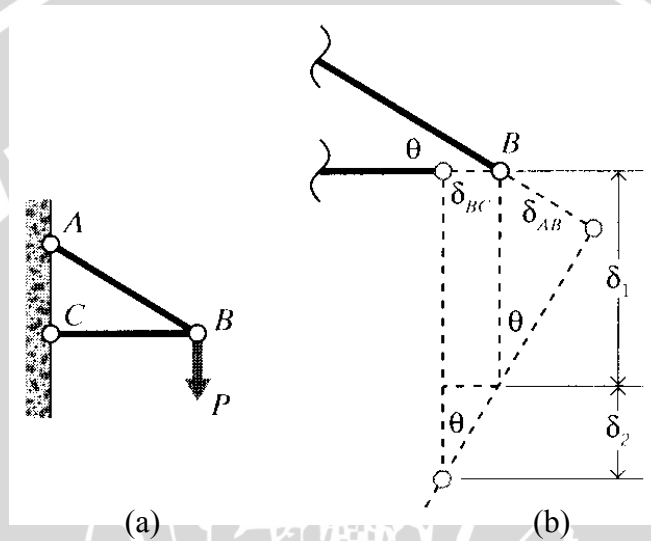
$$\delta_{AB} = \frac{P}{\sin \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{AB} \quad (\text{Tarik}) \quad (2 - 15a)$$

$$\delta_{BC} = \frac{P}{\tan \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{BC} \quad (\text{Tekan}) \quad (2 - 15b)$$

Maka total lendutan ke bawah pada titik B menjadi :

$$\delta_v = \delta_1 + \delta_2 = \frac{\delta_{AB}}{\sin \theta} + \frac{\delta_{BC}}{\tan \theta} = \frac{P}{\sin \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{AB} + \frac{P}{\tan \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{BC} \quad (2-15c)$$

Lendutan ini ditunjukkan pada Gambar 2.5(b)



Gambar 2.5. a. Rangka batang dengan 2 elemen, b. Deformasi rangka batang dengan asumsi titik buhul bebas

Sumber : Roylance, 2000 ; 7

Lendutan horizontal δ_h pada sendi lebih mudah untuk dihitung, karena itu hanya merupakan deformasi dari elemen BC :

$$\delta_k = \delta_{BC} = \frac{P}{\tan \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{BC} \quad (2-16)$$

2.5. Prategang

2.5.1. Pengertian dasar prategang

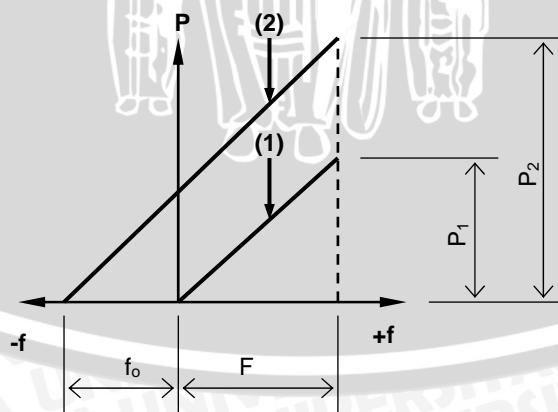
Prategang merupakan suatu sistem pemberian dan pendistribusian tegangan dengan besaran tertentu pada penampang melintang elemen struktur untuk meningkatkan kekuatan struktur tersebut. Tujuan dari prategang pada beton prategang adalah agar setiap penampang beton menerima gaya yang diakibatkan

oleh adanya prategang dan beban yang diberikan, sehingga tegangan tekan pada seluruh penampang beton menjadi sangat dominan atau bahkan tidak terjadi tegangan tarik pada penampang beton prategang tersebut. Namun, pada penampang melintang yang sama dari baja prategang dalam pembebanan, terdapat gaya tarik dan gaya tekan. Reaksi dari penampang melintang struktur baja lebih besar dari pada struktur beton, sehingga struktur baja prategang lebih ekonomis dari struktur beton prategang (Troitsky, 1990).

2.5.2. Konsep dasar prategang

Dalam struktur baja prategang ataupun elemen dari struktur baja prategang, tegangan tercipta secara buatan dan secara umum melawan tegangan yang tercipta akibat pembebanan.

Ketika dalam sebuah struktur kita menciptakan prategang f_o yang memiliki tegangan yang berlawanan dengan reaksi dari pembebanan, regangan dari kerja elastis material meningkat (Gambar 2.6.(2)). Sehingga tegangan awal f_o tercipta. Kemudian sebuah beban, P , di berikan untuk menimbulkan tegangan pada batang hingga mencapai nilai tegangan yang diijinkan, F . Gaya tarik yang diterima oleh baja yang diberi prategang nilainya lebih besar $f_o A$ daripada gaya yang diambil oleh batang yang sama tanpa adanya prategang (Gambar 2.6.(1))

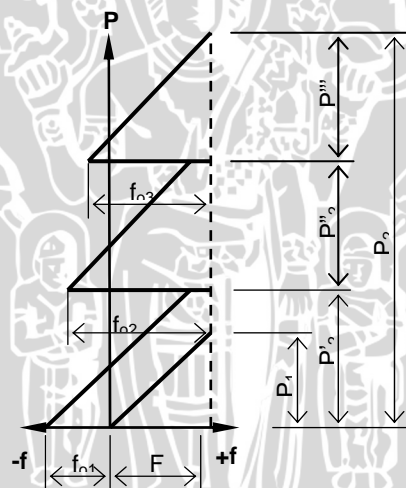


Gambar 2.6. Diagram kerja batang (1) tanpa prategang dan (2) dengan prategang
Sumber : Troitsky, 1990 ; 9

Sangat mungkin untuk meningkatkan kapasitas pelayanan lebih jauh dengan menerapkan prategang bertahap, dengan prategang dan beban yang diperlukan diperoleh melalui beberapa tahapan (Gambar 2.7).

Dibawah pengaruh beban P_1 , sebuah tegangan awal f_0 dihasilkan pada batang hingga nilai batas F diperoleh. Di siklus ke-2, tegangan awal f_{02} sekali lagi diberikan, yang menurunkan tegangan yang didapatkan dan berikan beban P_2 . Setelah beberapa siklus serupa, jumlah dari beban $\sum P_2$, dapat beberapa kali lebih besar daripada beban P_1 , yang dapat ditahan oleh struktur tanpa adanya prategang. Biasanya pembebanan yang dibutuhkan dapat dicapai dalam tiga atau empat siklus.

Prategang selalu dihubungkan dengan deformasi, dimana dapat pula berupa kebalikan dari tanda dari deformasi yang terjadi akibat pembebanan. Dalam beberapa kasus, deformasi ini dapat membatasi prategang, dikarenakan ada kemungkinan kehilangan kestabilan.



Gambar 2.7. Diagram kerja batang dengan prategang bertahap
 Sumber : Troitsky, 1990 ; 9

2.5.3. Prategang pada rangka batang

Efektifitas dari prategang rangka bergantung pada desain dari rangka terhadap performa struktur, prategang rangka dapat dibagi menjadi 2 tipe dasar :

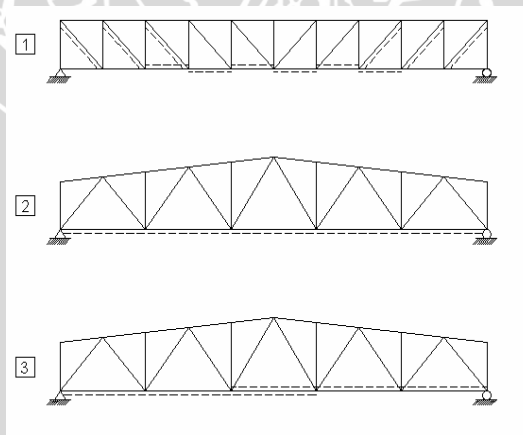
1. Rangka dimana kabelnya terletak di batasan dari batang yang paling besar menerima tegangan.

2. Rangka dimana kabelnya diletakkan di seluruh atau di sepanjang bentang dan diberikan prategang pada beberapa atau semua anggota rangka batang.

2.5.3.1. Prategang pada elemen batang

Dalam rangka baja yang memiliki batang yang bereaksi tarik akibat pembebanan, tendon di pasang sepanjang batang untuk memberi gaya tekan akibat prategang (Gambar 2.8). Batang-batang tersebut diberi gaya prategang pada saat pelaksanaan fabrikasi atau selama proses pemasangan di tempat konstruksi. Jenis rangka baja berikut jauh lebih rumit dalam desain dan membutuhkan jangkar tendon yang jauh lebih banyak. Jenis rangka prategang seperti ini hanya efektif pada bentang panjang dan beban dimana setiap batang prategang adalah sebuah unit individual dari proses fabrikasi.

Penghematan dalam penggunaan prategang dengan menggunakan metode seperti ini dapat mencapai 10-15% (Troitsky, 1990).



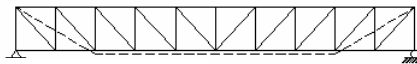
Gambar 2.8. Tipe pemasangan kabel prategang pada batang; 1) pemasangan prategang pada batang-batang tarik rangka, 2) pemasangan prategang sepanjang bentang rangka, 3) pemasangan dua atau lebih prategang sepanjang bentang rangka.

Sumber : Troitsky, 1990 ; 269

2.5.3.2. Prategang pada struktur rangka batang

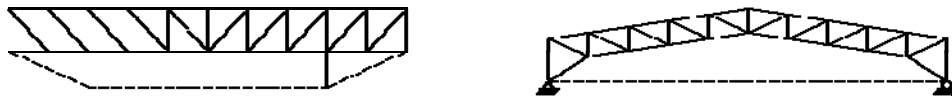
Pemberian prategang pada jenis rangka ini memberikan kemungkinan yang jauh lebih luas dalam hal konfigurasi kabel dan skema penempatan dari kabel tersebut dibandingkan dengan apabila prategang diberikan pada batang

secara individual. Terdapat dua cara dalam pemasangan kabel prategang pada jenis prategang ini. Cara yang paling sederhana adalah dengan pemasangan kabel prategang poligonal. Pada kabel prategang poligonal, kabel diletakkan sepanjang bentang tarik dan dibentangkan melalui beberapa panel (gambar 2.9). Dalam hal ini kabel menciptakan prategang disepanjang panel tersebut dimana ia diletakkan, namun bagaimanapun juga batang rangka yang lain tidak diprategang. Penghematan baja dapat mencapai 10-15%.



Gambar 2.9. Rangka dengan kabel poligonal

Sumber : Troitsky, 1990 ; 268



Gambar 2.10. Rangka dengan kabel eksternal

Sumber : Troitsky, 1990 ; 268

Cara yang kedua yaitu pemasangan kabel prategang eksternal. Kabel diletakkan di luar dari rangka batang, dimungkinkan untuk mencapai penghematan ekonomi baja hingga 25-30% (Gambar 2.10) (Troitsky, 1990).

2.6. Hukum Betti dan Hukum Timbal Balik Maxwell

Prinsip energi didasarkan pada hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa kerja yang dilakukan oleh gaya luar pada struktur elastis disimpan dalam bentuk energi regangan yang seluruhnya akan dipulihkan bila beban dihilangkan. *Hukum Betti* merupakan penurunan dari hukum kekekalan energi tersebut dan diterapkan pada struktur linier. Pada perhitungan perpindahan akibat pemberian gaya pada struktur-struktur elastis, *Hukum Betti* dapat dinyatakan sebagai jumlah hasil kali gaya-gaya dari sistem F dengan perpindahan di koordinat yang selarasnya akibat sistem Q adalah sama dengan jumlah hasil kali gaya-gaya dari

sistem Q dengan perpindahan di koordinat yang selarasnya akibat sistem F (Wira, 1986).

$$\sum_{i=n}^n F_i D_{iQ} = \sum_{i=n+1}^m Q_i D_{iF} \quad (2 - 17)$$

dengan:

F_i = gaya dari sistem F (kg)

D_{iQ} = perpindahan akibat sistem Q (mm)

Q_i = gaya dari sistem Q (kg)

D_{iF} = perpindahan akibat sistem F (mm)

Pada kondisi lain ketika sistem F hanya terdiri dari sebuah gaya $F_i = 1$ yang bekerja di koordinat i dan sistem Q hanya mempunyai sebuah gaya $Q_j = 1$ yang bekerja di j , maka dengan menerapkan persamaan (2 – 17), didapatkan:

$$D_{iQ} = D_{jF} \quad (2 - 18)$$

atau

$$f_{ij} = f_{ji} \quad (2 - 19)$$

dengan :

f_{ij} = perpindahan di i akibat gaya satu satuan di j (mm)

f_{ji} = perpindahan di j akibat gaya satu satuan di i (mm)

i = 1, 2,, n.

j = n + 1, n + 2,, m.

Persamaan (2 – 19) di atas merupakan *Hukum Timbal Balik Maxwell* yang menyatakan bahwa pada struktur elastis linier, perpindahan dikoordinat i akibat gaya satu satuan di koordinat j , sama dengan perpindahan di j akibat gaya satu satuan yang bekerja di i (Wira, 1986). Atau secara sederhana dapat diartikan bahwa besarnya perpindahan yang terjadi pada suatu struktur dalam keadaan elastis adalah sebanding dengan besar gaya yang menyebabkan perpindahan tersebut.

$$\frac{D_{1F}}{F_1} = \frac{D_{2F}}{F_2} = \dots\dots\dots = \frac{D_{iF}}{F_i} \quad (2 - 20)$$

Persamaan (2 – 17) dan (2 – 18) menunjukkan bahwa *Hukum Betti* merupakan hasil superposisi *Hukum Timbal Balik Maxwell*. Prinsip Superposisi menyatakan bahwa perpindahan akibat beberapa gaya yang bekerja secara

serentak, sama dengan jumlah perpindahan akibat masing-masing gaya yang bekerja secara terpisah. Prinsip ini hanya berlaku jika perubahan bentuk struktur sebanding dengan beban yang bekerja (Wira, 1986).

2.7 Desain dan analisa model jembatan

2.7.1 Desain model jembatan

Untuk mendesain jembatan rangka prategang diperlukan bahan struktur utama maupun alat-alat pendukung lainnya, agar fungsi dari model tersebut dalam pengujian dapat bekerja semestinya. Struktur utama yang dimaksud di sini adalah struktur yang menjadi objek penelitian, dalam hal ini adalah Jembatan itu sendiri. Pada dasarnya jembatan ini terdiri dari dua komponen utama yaitu rangka baja dan kabel prategang. Sedangkan yang dimaksud dengan pendukung struktur dalam model jembatan adalah semua bahan-bahan yang digunakan untuk membantu pengujian. Pelat baja untuk pemasangan kabel pada rangka jembatan, klem, baut, mur, tumpuan sendi-rol dan lain-lain (*lampiran 1*).

2.7.2 Pengujian dengan variasi pembebanan

Beban yang diberikan pada percobaan ini berupa beban terpusat pada bagian tengah bentang jembatan. Variasi pembebanan yang diberikan adalah lebih kecil dari beban ijin yang mengakibatkan elemen-elemen batang terlemah dari struktur rangka batang masih berada dalam kondisi elastis.

2.7.3 Analisis model jembatan

Fungsi dari pemberian prategang pada jembatan adalah untuk melawan lendutan akibat beban yang bekerja pada jembatan sehingga lendutan yang timbul menjadi lebih kecil atau bahkan tidak terjadi lendutan sama sekali. Karena lendutan yang terjadi akibat gaya prategang berfungsi untuk melawan lendutan akibat beban yang bekerja pada jembatan maka arah lendutan yang diakibatkan oleh gaya prategang adalah ke atas.

Pada kasus prategang tipe linier, kabel prategang diletakkan pada titik buhul yang terletak di ujung-ujung luar bagian bawah rangka jembatan (Gambar 2.11 atas). Hal ini mengakibatkan batang-batang pada bagian bawah jembatan mengalami tekan sedang batang-batang bagian atas mengalami tarik ketika

jecking diberikan pada kabel. Kondisi tersebut menyebabkan jembatan mengalami lendutan ke atas.

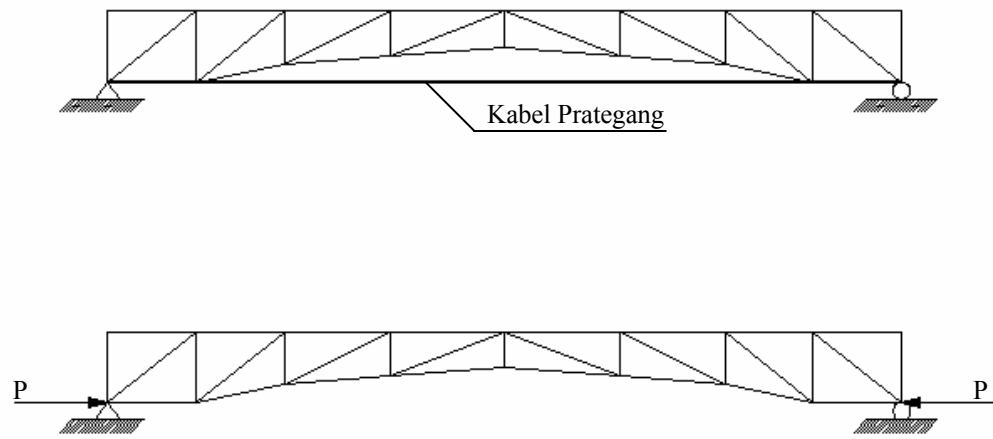
Untuk mempermudah analisis, maka pada analisis model jembatan rangka baja prategang dilakukan penyederhanaan dengan membuat asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Struktur rangka batang model jembatan dan struktur kabel prategang dianggap sebagai struktur yang sebidang.
2. Kabel seragam dengan fleksibilitas sempurna.
3. Titik pertemuan antara kabel dengan rangka, dan rangka dengan tumpuan merupakan titik (*node*) yang memiliki kedudukan yang sesuai dengan koordinat masing-masing.
4. Beban merupakan beban terpusat pada tengah bentang model jembatan yang tegak lurus bidang horisontal.
5. Setiap elemen yang menghubungkan titik buhul (*node*) memiliki nomor tersendiri sehingga perpindahan yang terjadi pada masing-masing titik buhul dapat diketahui.
6. Seluruh struktur dianggap kaku sehingga dapat menahan beban yang bekerja tegak lurus bidang horisontal.
7. Tumpuan pada jembatan adalah sendi-rol.

Analisis jembatan rangka baja akan lebih mendekati kondisi riil di lapangan apabila dianalisis sebagai struktur ruang (analisis 3 dimensi). Tetapi untuk mendapatkan hasil perhitungan yang tepat dengan menggunakan analisis 3 dimensi tidak mudah apabila dilakukan tanpa bantuan program komputer. Pada saat ini telah banyak berkembang paket program dalam bidang analisis struktur (*structural analysis software*), beberapa diantaranya adalah paket program yang sudah terkenal di kalangan *Civil Engineers*, *SAP* yang dibuat oleh Berkeley University Inc. dan *STAADPro* oleh Research Engineers, Inc. Untuk analisis jembatan rangka baja prategang ini digunakan *STAADPro 2004* dengan analisis 3 dimensi (*space*).

Pada perhitungan dengan menggunakan *STAADPro 2004*, gaya prategang yang dihasilkan oleh kabel prategang merupakan gaya aksial yang bekerja pada titik pertemuan antara kabel dan rangka yang sejajar dengan garis netral kabel

prategang (P). Gaya aksial tersebut merupakan gaya dalam yang muncul akibat adanya *jecking* yang diberikan pada kabel (Gambar 2.11 bawah).



Gambar 2.11. Statika akibat pengaruh gaya prategang



BAB III METODOLOGI

3.1. Tempat dan waktu penelitian

Pembuatan dan pengujian model jembatan prategang dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, sedangkan pelaksanaan penelitian dilakukan mulai bulan Desember 2006.

3.2. Peralatan dan bahan penelitian

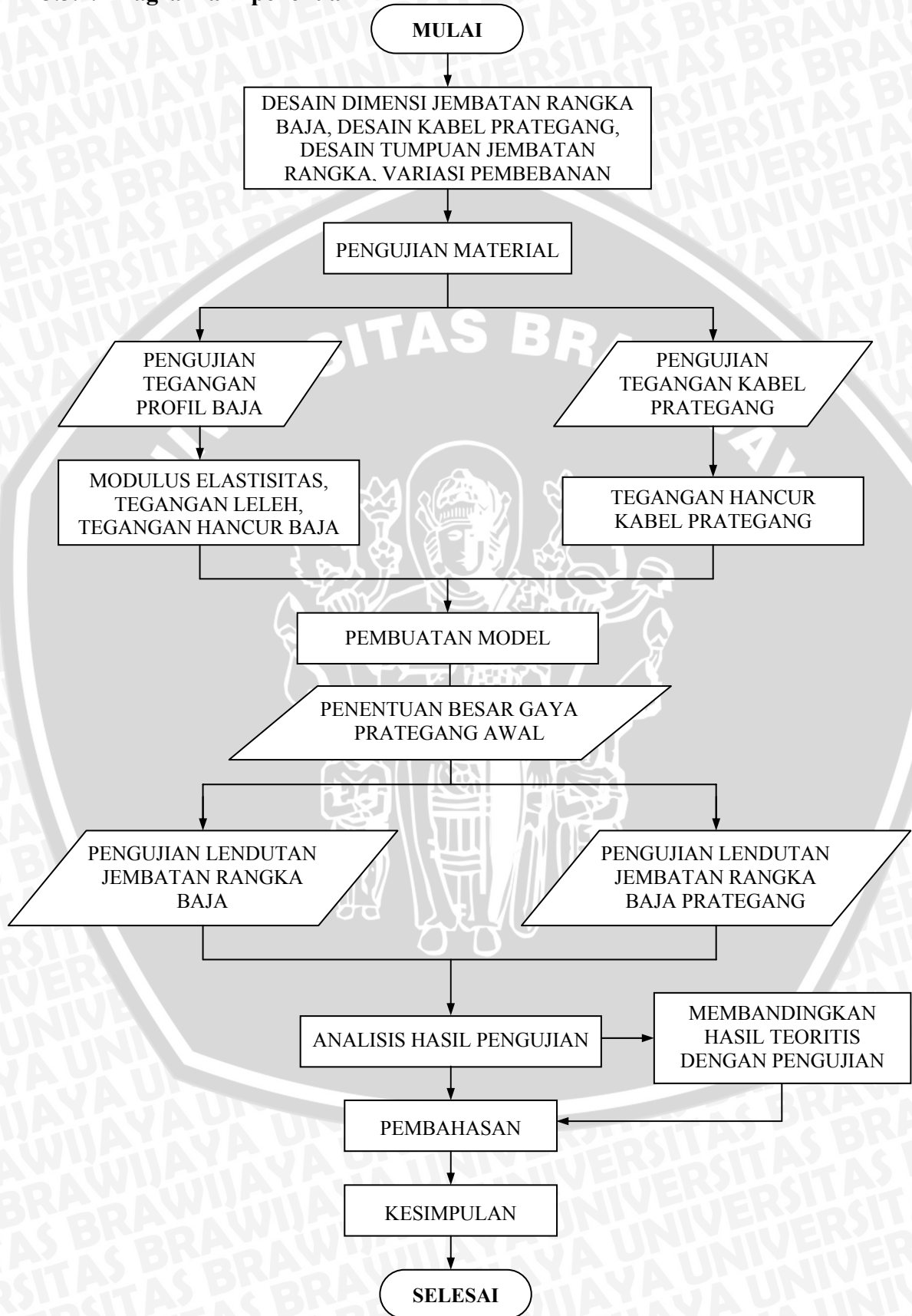
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Jangka sorong dan meteran.
- Alat penyeimbang (*waterpass*).
- Alat penghasil tekanan (*hydraulic jack*).
- Jarum keras.
- Timbangan.
- Alat pengukur peningkatan beban (*loadcell*) dengan kapasitas 10 kN dan 20 kN.
- Alat pengukur peningkatan beban (*profing ring*) dengan kapasitas 5 ton.
- Alat pengukur lendutan (*dial gauge*).
- Alat pengukur regangan (*strain gauge*)
- Portal uji (*loading frame*)
- Balok beton sebagai penompang tumpuan jembatan.
- *Software* STAADPro 2004.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Model Jembatan Rangka Tipe Semi Parabola jenis N terbalik dengan panjang bentang 4,5 meter, profil baja *hollow tube* (kotak berlubang) dengan $E = 1161666.667 \text{ kg/cm}^2$ dan $f_y = 2604,167 \text{ kg/cm}^2$.
- Baja Sling sebagai kabel dengan diameter 5 mm.

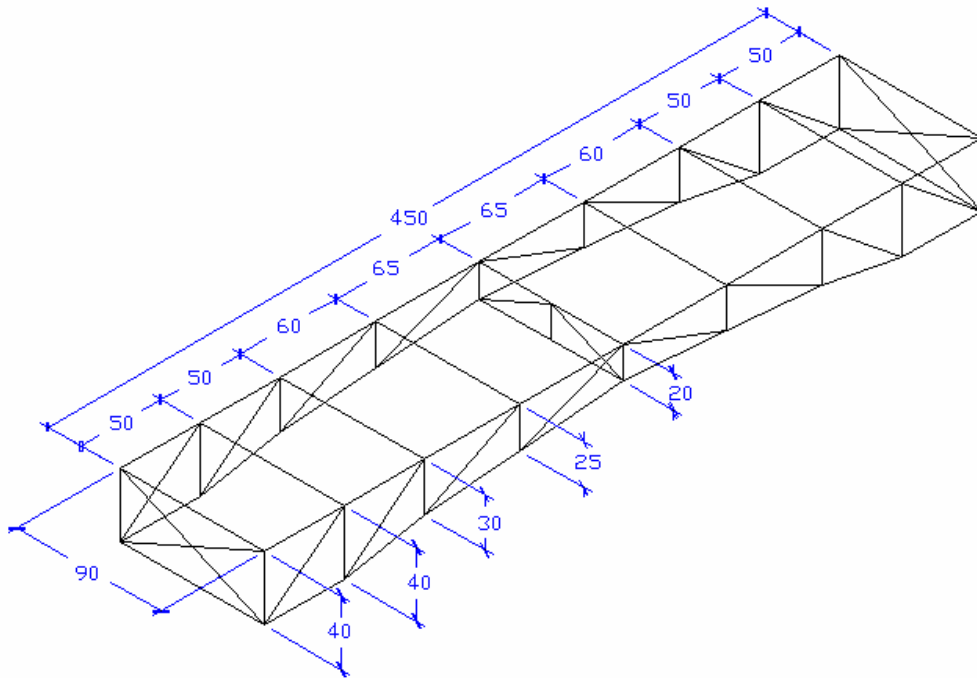
3.3. Rencana penelitian
3.3.1. Diagram alir penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

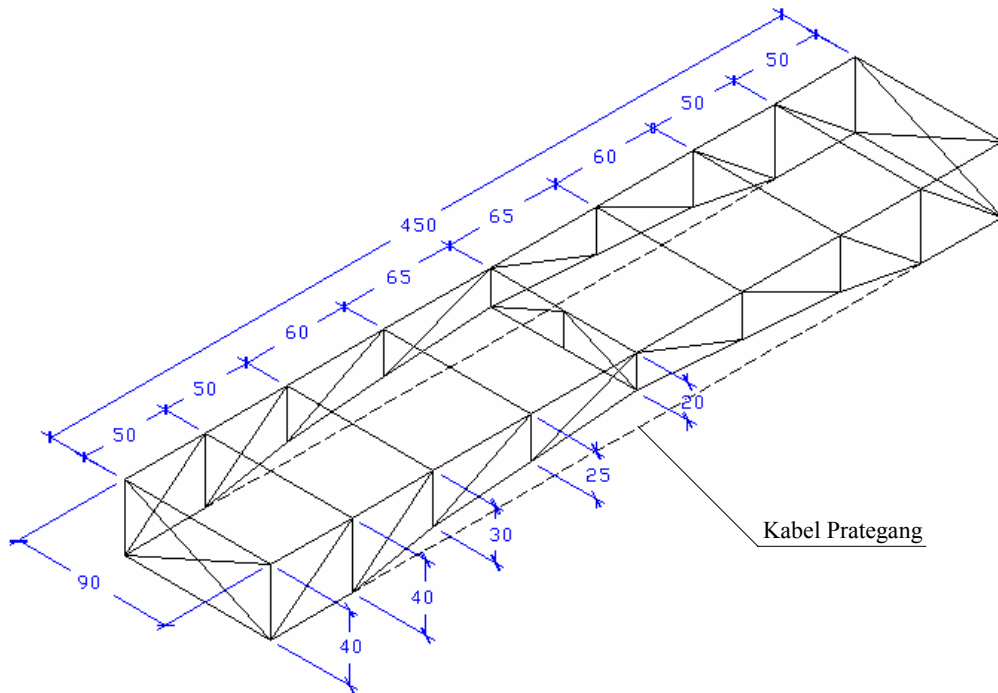


3.3.2. Rancangan model jembatan
3.3.2.1. Jembatan rangka



Gambar 3.2. Model jembatan rangka

3.3.2.2 Jembatan rangka prategang



Gambar 3.3. Model jembatan rangka prategang

3.3.2. Rancangan pembebanan

Tabel 3.1. Perlakuan terhadap model jembatan dalam percobaan pembebanan di laboratorium

No.	Model	Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban Terpusat (kg)
1	Jembatan Rangka	-	0
2	Jembatan Rangka	-	69
3	Jembatan Rangka	-	138
4	Jembatan Rangka	-	207
5	Jembatan Rangka	-	0
6	Jembatan Rangka Prategang	I	0
7	Jembatan Rangka Prategang	I	69
8	Jembatan Rangka Prategang	I	138
9	Jembatan Rangka Prategang	I	207
10	Jembatan Rangka Prategang	I	0
11	Jembatan Rangka Prategang	II	0
12	Jembatan Rangka Prategang	II	69
13	Jembatan Rangka Prategang	II	138
14	Jembatan Rangka Prategang	II	207
15	Jembatan Rangka Prategang	II	0
16	Jembatan Rangka Prategang	III	0
17	Jembatan Rangka Prategang	III	69
18	Jembatan Rangka Prategang	III	138
19	Jembatan Rangka Prategang	III	207
20	Jembatan Rangka Prategang	III	0

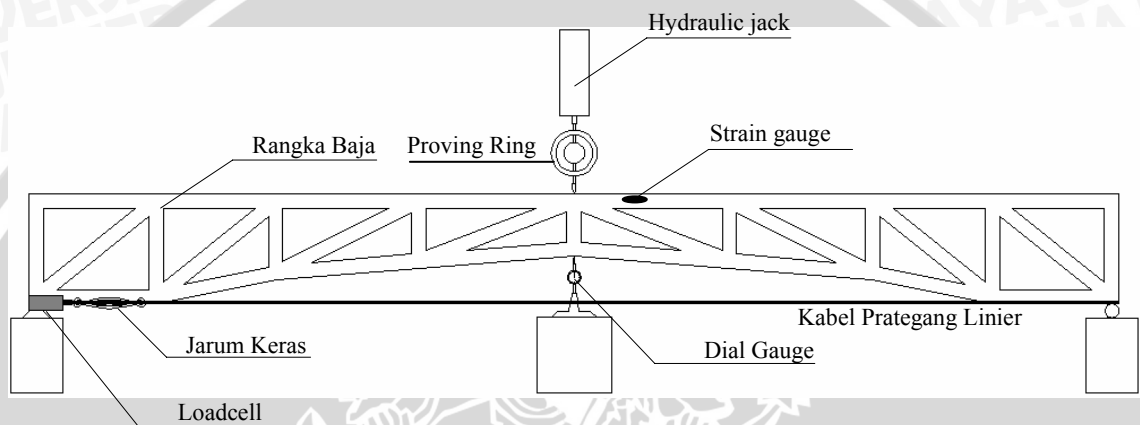
Besarnya gaya prategang acuan I diperoleh melalui percobaan yang dilakukan di laboratorium. Pada percobaan ini gaya prategang acuan I merupakan gaya prategang yang mengakibatkan model jembatan rangka prategang mengalami lendutan ke atas sebesar lendutan ke bawah yang terjadi akibat pemberian beban 69 kg pada model jembatan rangka.

Sedangkan gaya prategang acuan II dan III adalah variasi gaya prategang yang diberikan pada model jembatan rangka prategang yang merupakan kelipatan pertama gaya prategang acuan I.

3.3.3. Prosedur pemodelan

Pemodelan yang dilakukan pada dasarnya hanya menggunakan satu buah model yaitu Jembatan Rangka Tipe Semi Parabola jenis N terbalik sebagai model

jembatan rangka. Sedangkan untuk model jembatan rangka prategang, digunakan model jembatan rangka yang sama dengan penambahan kabel prategang pada struktur jembatan rangka dengan kabel yang diletakkan pada titik-titik buhul yang telah ditentukan. Model tersebut ditempatkan pada portal pembebanan (*loading frame*) dengan tumpuan sendi-rol pada masing-masing sudut tepi bagian bawah jembatan. Beban yang diberikan pada model jembatan adalah beban terpusat vertikal pada bagian tengah bentang.



Gambar 3.4. Skema pembebanan

Adapun langkah-langkah percobaan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran berat masing-masing model jembatan rangka dan kabel.
2. Pemasangan model jembatan rangka pada portal pembebanan (*loading frame*) dengan tumpuan sendi-rol.
3. Pemasangan alat-alat pembacaan regangan (*strain gauge*), pembaca beban (*proving ring*), dan pengukur lendutan (*dial gauge*).
4. Pemberian beban terpusat 69 kg, pembacaan alat.
5. Pemberian beban terpusat 138 kg, pembacaan alat.
6. Pemberian beban terpusat 207 kg, pembacaan alat.
7. Pemasangan kabel prategang.
8. Pemasangan alat pembacaan gaya (*loadcell*)
9. Pemberian gaya prategang I pada kabel yang diposisikan pada kedua rangka utama jembatan secara bersama-sama.

10. pembacaan alat.
11. Pemberian beban terpusat 69 kg, pembacaan alat.
12. Pemberian beban terpusat 138 kg, pembacaan alat.
13. Pemberian beban terpusat 207 kg, pembacaan alat.
14. mengulangi lagi langkah 9 untuk gaya prategang II dan III

3.3.4. Metode pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan membuat dua kondisi model yang berbeda yaitu model jembatan rangka dan model jembatan rangka prategang. Dalam percobaan ini masing-masing kondisi jembatan akan mendapatkan perlakuan yang sama. Model akan dikenai beban terpusat dengan variasi besaran yang telah ditentukan dan gaya prategang dengan variasi yang telah ditentukan pula. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati dan mencatat lendutan, besarnya gaya prategang dan regangan yang terjadi akibat variasi pembebanan.

3.4. Analisis lendutan

3.4.1. Input data

Data-data yang diperlukan untuk mendapatkan tegangan, dan lendutan yang terjadi adalah :

1. Data Geometri

Berupa :

- Bentuk dan koordinat setiap titik;
- Panjang, tinggi, lebar bentang;
- Jenis tumpuan.

2. Data Material

Berupa :

- Data profil baja dan kabel
- Modulus Elastisitas, tegangan leleh, dan tegangan runtuh

3. Data Gaya Luar

Berupa :

- Beban terpusat
- Gaya Prategang

3.4.2. Prosedur analisis

Analisis dilakukan dengan menggunakan program STAADPro 2004. Langkah untuk mendapatkan gaya batang, tegangan dan lendutan untuk model jembatan rangka adalah sebagai berikut:

1. Struktur rangka jembatan diasumsikan sebagai struktur 3 dimensi.
2. Memberikan data masukan geometri jembatan rangka.
3. Memberikan data masukan material jembatan rangka.
4. Struktur didukung oleh tumpuan sendi-rol
5. Input beban yang diberikan secara berurutan adalah: akibat beban terpusat 69 kg, 138 kg dan 207 kg.
6. Penjalanan Program (*Run Anaysis*)
7. Analisis data, dalam hal ini lendutan, gaya dalam dan tegangan yang terjadi.

Sedangkan untuk mendapatkan gaya prategang, gaya batang, tegangan dan lendutan model jembatan rangka prategang adalah sebagai berikut:

1. Struktur rangka jembatan diasumsikan sebagai struktur 3 dimensi.
2. Memberikan data masukan geometri jembatan rangka prategang.
3. Memberikan data masukan material jembatan rangka prategang.
4. Struktur didukung oleh tumpuan sendi-rol.
5. Memberikan data masukan gaya prategang awal (*initial prestress*) pada kabel.
6. Input beban yang diberikan secara berurutan adalah: akibat beban terpusat 69 kg, 138 kg dan 207 kg.
7. Penjalanan Program (*Run Anaysis*)
8. Analisis hasil penjalanan program STAADPro 2004, dalam hal ini lendutan, gaya batang pada kabel sebagai gaya prategang efektif, gaya batang dan tegangan yang terjadi.

Variabel terikat yang diperoleh pada percobaan di laboratorium akan dibandingkan dengan variabel terikat yang diperoleh dari analisis dengan STAADPro 2004. Sehingga kesesuaian antara percobaan di laboratorium dengan teori yang ada dapat diketahui.

Selain itu data lendutan yang diperoleh, nantinya juga digunakan untuk menentukan besarnya prosentase penurunan lendutan akibat pemberian gaya prategang pada model jembatan rangka prategang. Prosentase penurunan lendutan tersebut didapatkan dari perbandingan lendutan akibat pembebanan pada jembatan rangka dengan lendutan akibat pembebanan dan pemberian gaya prategang pada jembatan rangka prategang.

3.5. Variabel penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah besarnya beban terpusat yang dibeban pada model jembatan rangka dan besarnya gaya prategang awal.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besarnya lendutan, gaya prategang efektif, tegangan dan gaya batang.

3.6. Analisis data

Data-data yang diperoleh dari percobaan di laboratorium dianalisis dengan menggunakan perhitungan dalam keadaan elastis sehingga besarnya tegangan yang terjadi pada batang-batang mobil jembatan dibatasi oleh besarnya tegangan ijin batang-batang tersebut.

Dari data lendutan pada pada model jembatan rangka dan model jembatan rangka prategang akibat pembebanan, diperoleh besarnya prosentase penurunan nilai lendutan yang diakibatkan oleh penambahan gaya prategang pada struktur model jembatan rangka. Selain itu dengan menggunakan data-data gaya-gaya prategang baik gaya prategang acuan ataupun gaya prategang efektif besarnya besarnya kehilangan gaya prategang dapat diketahui. Akan tetapi pembahasan mengenai kehilangan prategang pada penelitian ini tidak dilakukan.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Pelaksanaan penelitian di laboratorium

4.1.1. Analisis bahan yang digunakan

4.1.1.1. Model jembatan rangka

Model jembatan rangka yang digunakan terbuat dari baja profil kotak berlubang (*hollow tube*) dengan tegangan leleh $2604,167 \text{ kg/cm}^2$ dan modulus elastisitas $1161666,667 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan sambungan pada titil buhul rangka model jembatan berupa sambungan baut dan las.

4.1.1.2. Kabel prategang

Kabel prategang yang digunakan pada model jembatan rangka prategang adalah baja sling dengan diameter 5 mm. Pada pengujian tarik kabel tidak diperoleh besarnya tegangan putus kabel yang sesungguhnya karena putus pada daerah jepit. Besarnya gaya tarik yang mengakibatkan kabel putus pada daerah jepit adalah sebesar 12 kN. Pada kondisi tersebut didapatkan tegangan putus (f_{Pu}) sebesar $6114,650 \text{ kg/cm}^2$ dan tegangan leleh (f_y) sebesar $5808,917 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan modulus elastisitas kabel (E_c) digunakan modulus elastisitas kabel baja pada umumnya sebesar $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.2. Pelaksanaan percobaan pembebanan

Percobaan pembebanan pada model jembatan berupa pemberian beban terpusat pada bagian tengah-tengah model jembatan yang diletakkan di atas tumpuan sendi-rol. Beban terpusat pada percobaan ini berupa tekanan yang dihasilkan oleh *hydroulic jeck* yang diletakkan pada *loading frame*. Besarnya tekanan yang terjadi diamati dengan menggunakan *proving ring* yang diletakkan tepat di bawah *hydroulic jeck*. Untuk menyalurkan tekanan tersebut digunakan baja profil yang diletakkan secara vertikal pada bagian tengah-tengah bentang model jembatan dan tepat di bawah *profing ring*. Sedangkan tumpuan model jembatan diletakkan pada balok-balok beton yang disusun secara vertikal sehingga ketinggian antara tumpuan model jembatan dengan *loading frame* sama dan posisi jembatan dalam keadaan stabil. Dalam hal ini model jembatan rangka dan model jembatan rangka prategang mendapatkan perlakuan yang sama.

Besarnya lendutan yang terjadi diamati dengan menggunakan *dial gauge* yang diletakkan di bawah bentang tengah model jembatan. Besarnya lendutan yang terjadi merupakan selisih antara pembacaan yang ditunjukkan oleh *dial gauge* pada keadaan awal dan keadaan akhir. Sedangkan besarnya regangan yang terjadi diamati dengan menggunakan *strainmeter* yang dihubungkan dengan *strain gauge* yang diletakkan pada batang-batang lemah model jembatan.

Pada model jembatan rangka prategang, gaya prategang dihasilkan dari pemutaran jarum keras yang dihubungkan dengan kabel prategang. Besarnya gaya prategang tersebut dapat diamati dengan menggunakan *loadmeter* yang dihubungkan dengan *loadcell* yang dihubungkan lagi dengan salah satu ujung kabel prategang dan diletakkan pada titik buhul model jembatan rangka prategang yang merupakan titik pertemuan antara kabel prategang dengan model jembatan.

4.2. Pembebanan model jembatan rangka

4.2.1. Analisis dengan STAADPro 2004

4.2.1.1. Asumsi-asumsi yang digunakan

Dalam proses analisis dengan menggunakan STAADPro 2004 perlu adanya asumsi-asumsi terhadap kondisi di laboratorium yang tidak dapat diketahui secara pasti karena untuk mengetahui kondisi tersebut dibutuhkan penelitian-penelitian dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam percobaan pembebanan model jembatan rangka adalah sebagai berikut:

1. Model Jembatan merupakan struktur rangka ruang sehingga menggunakan analisis 3 dimensi untuk jenis struktur rangka (*Truss*).
2. Profil baja yang digunakan adalah adalah profil baja yang isotropik dengan:
Angka Poisson = 0,3
Densitas / berat jenis = 7833,41 kg/m³
3. Beban uji yang diberikan adalah beban terpusat pada titik buhul gelagar melintang di tengah bentang model jembatan
4. Berat sendiri model jembatan, berat sambungan, serta berat alat-alat bantu percobaan lainnya diabaikan
5. Analisis elemen-elemen baja pada model adalah analisis dengan menggunakan Metode Elastis (*AISC ASD*).

6. Untuk kondisi model jembatan tanpa beban, analisis dilakukan dengan cara memberikan gaya horisontal pada kedua tumpuan sendi sebesar 0,002 kg.
7. Kekakuan model jembatan diabaikan.

4.2.1.2. Analisis gaya batang pada batang lemah

Tabel 4.1. Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Beban (kg)	Gaya Batang	
	batang 5 (kg)	batang 37 (kg)
0	0	0
69	110,040	110,040
138	220,079	220,079
207	330,119	330,119
0	0	0

Nilai negatif (-) mendefinisikan kondisi batang tarik

Nilai positif (+) mendefinisikan kondisi batang tekan

Dari nilai gaya batang tersebut besarnya tegangan yang terjadi pada batang dapat diketahui. Dengan mengetahui besarnya tegangan maka kontrol tegangan dapat dilakukan. Kontrol tegangan perlu dilakukan karena tujuan akhir dari percobaan ini adalah model jembatan masih dalam keadaan elastis. Hal ini berarti bahwa kondisi model tidak berubah meskipun pembebanan maksimum dari percobaan telah diberikan.

Contoh perhitungan tegangan pada batang 5 dan batang 37 akibat beban 69 kg

Data Umum:

$$A = 3,44 \quad \text{cm}^2$$

$$I_y = 5,298 \quad \text{cm}^4$$

$$f_y = 2604,167 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$L_0 = 65 \quad \text{cm}$$

$$E = 1161666,667 \quad \text{kg/cm}^2$$

Data Hasil Perhitungan:

$$P_{69} \text{ tekan} = 110,040 \text{ kg}$$

Dicari:

$$f_{ijin} = \text{tegangan ijin profil baja (kg/cm}^2 \text{)}$$

f_{69} tekan = tegangan yang terjadi akibat beban 69 kg (kg/cm²)

Penyelesaian:

$$f_{ijin} = \frac{f_y}{1,12} = 2325,149 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{69} = \frac{P_{69}}{A}$$

$$f_{69} = \frac{110,040}{3,44} = 31,988 \text{ kg/cm}^2$$

Karena batang tekan maka disyaratkan besarnya tegangan yang terjadi adalah:

$$\omega \frac{P}{A} \leq f_{ijin} \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$\lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{0,7\sigma_1}} = \pi \sqrt{\frac{1161666,666}{0,7 \times 2604,167}} = 79,306$$

$$\lambda_s = \frac{\lambda}{\lambda_g}$$

$$\lambda = \frac{L_k}{i} \quad \dots \dots \dots (11)$$

Karena pada struktur rangka batang, tumpuan batang-batangnya diasumsikan sendi maka dari Tabel 4.1 didapatkan bahwa:

$$L_k = L_0 = 65 \text{ cm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{5,298}{3,44}} = 1,241 \text{ cm}$$

sehingga:

$$\lambda = \frac{65}{1,241} = 52,377$$

$$\lambda_s = \frac{52,377}{79,306} = 0,660$$

karena $0,183 < \lambda_s < 1$ maka

$$\omega = \frac{1,41}{1,593 - \lambda_s} = \frac{1,41}{1,593 - 0,660} = 1,512$$

sehingga:



$$\omega \frac{P_{69}}{A} \leq f_{ijin}$$

$$\omega \cdot f_{69} \leq f_{ijin}$$

$$1,512 \times 31,988 < 2325,149 \text{ kg/cm}^2$$

$$48,364 \text{ kg/cm}^2 < 2325,149 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Tabel 4.2. Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Batang	Beban	f	Kondisi	ω	ωf
	(kg)	(kg/cm ²)			
5	0	0	-	-	0
	69	31,988	tekan	1,512	48,364
	138	63,976	tekan	1,512	96,729
	207	95,965	tekan	1,512	145,095
	0	0	-	-	0
37	0	0	-	-	0
	69	31,988	tekan	1,512	48,364
	138	63,976	tekan	1,512	96,729
	207	95,965	tekan	1,512	145,095
	0	0	-	-	0

4.2.1.3. Analisis lendutan maksimum

Tabel 4.3. Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Beban	Lendutan
(kg)	(mm)
0	0
69	-0,796
138	-1,592
207	-2,389
0	0

Nilai negatif (-) mendefinisikan lendutan ke bawah

Nilai positif (+) mendefinisikan lendutan ke atas

4.2.2. Pengolahan data hasil percobaan di laboratoium

4.2.2.1. Analisis gaya batang pada batang lemah

Gaya-gaya batang dapat dihitung dari data pembacaan regangan pada *strainmeter* yang dihubungkan dengan *strain gauge* yang dilekatkan pada batang model jembatan.

Contoh: perhitungan gaya batang pada batang 37 akibat beban 69 kg

Data Umum:

$$E = 1161666,667 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = 3,44 \text{ cm}^2$$

Data Hasil Laboratorium:

$$\varepsilon_{69} \text{ batang 37} = 0,000028 \text{ (tekan)}$$

Dicari:

$$P_{69} \text{ batang 37} = \text{gaya batang (kg)}$$

Penyelesaian:

$$P_{69} = E \cdot A \cdot \varepsilon_{69}$$

$$P_{69} = 1161666,667 \times 3,44 \times 0,000028 = \mathbf{111,892 \text{ kg (tekan)}}$$

Dengan cara yang sama untuk setiap variasi pembebanan maka diperoleh nilai gaya batang yang terjadi pada rangka model jembatan, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Nilai gaya batang pada batang Lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium

$$E = 1161666,667 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = 3,44 \text{ cm}^2$$

Beban (kg)	Batang 5			Batang 37		
	Regangan (ε)	Kondisi	Gaya Batang (kg)	Regangan (ε)	Kondisi	Gaya Batang (kg)
0	0	-	0	0	-	0
69	0,000024	tekan	95,907	0,000028	tekan	111,892
138	0,000055	tekan	219,787	0,000063	tekan	251,756
207	0,000088	tekan	351,660	0,000096	tekan	383,629
0	0	-	0	0	-	0

Dengan cara yang sama pula untuk setiap variasi pembebanan dari gaya batang pada Tabel 4.4 didapatkan besarnya tegangan yang terjadi pada batang lemah.

Tabel 4.5. Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium

$A = 3,44 \text{ cm}^2$ $\omega = 1,512$

Beban (kg)	batang 5			batang 37		
	Gaya Batang (kg)	f (kg/cm ²)	ωf (kg/cm ²)	Gaya Batang (kg)	f (kg/cm ²)	ωf (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0
69	95,907	27,880	42,153	111,892	32,527	49,179
138	219,787	63,892	96,601	251,756	73,185	110,653
207	351,660	102,227	154,562	383,629	111,520	168,613
0	0	0	0	0	0	0

4.2.2.2. Analisis lendutan maksimum

Besarnya lendutan yang dapat diketahui dari *dial gauge* yang diletakkan di bawah jembatan. Angka ketelitian *dial gauge* yang digunakan adalah 0.01 mm.

Tabel 4.6. Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium

Beban (kg)	Pembacaan Dial Gauge (unit)	Lendutan (mm)
0	0	0
69	-48	-0,48
138	-125	-1,25
207	-205	-2,05
0	0	0

Nilai negatif (-) mendefinisikan lendutan ke bawah

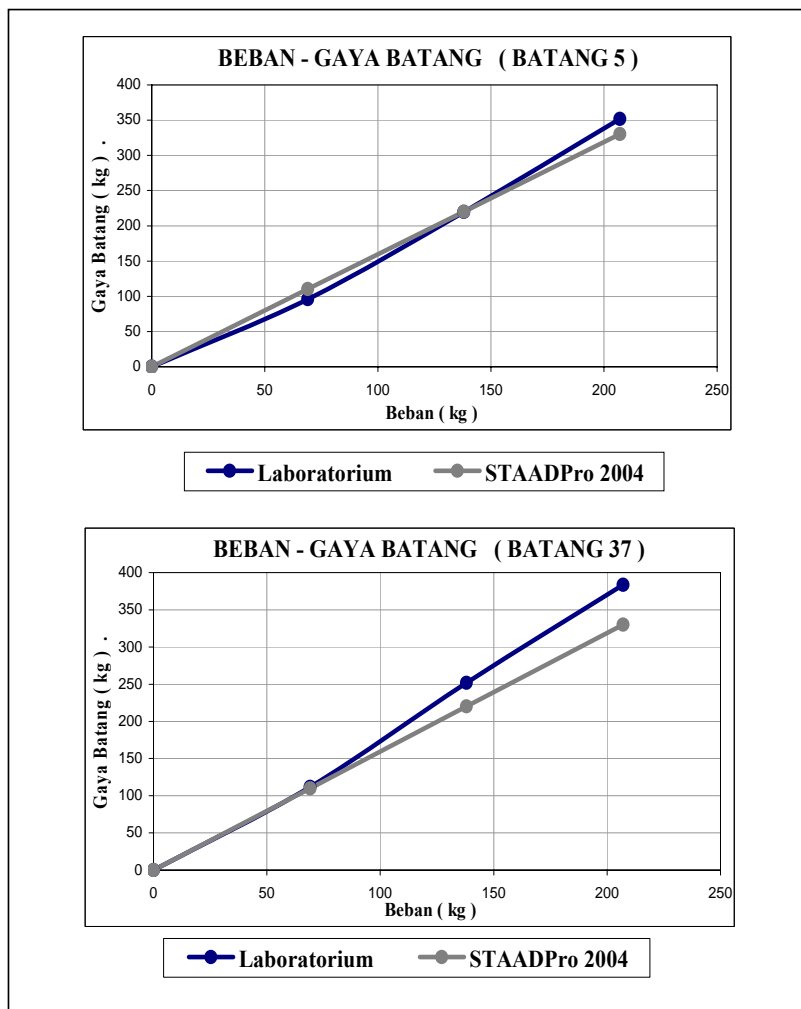
Nilai positif (+) mendefinisikan lendutan ke atas

4.2.3. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004

4.2.3.1. Gaya batang pada batang lemah

Tabel 4.7. Perbandingan nilai gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004

Beban (kg)	Gaya Batang			
	batang 5		batang 37	
	Laboratorium (kg)	STAADPro (kg)	Laboratorium (kg)	STAADPro (kg)
0	0	0	0	0
69	95,907	110,040	111,892	110,040
138	219,787	220,079	251,756	220,079
207	351,660	330,119	383,629	330,119
0	0	0	0	0



Gambar 4.1. Grafik perbandingan gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis STAADPro 2004

Sedangkan perbandingan nilai tegangannya dapat dilihat pada Tabel 4.8. Perbandingan nilai tegangan memiliki pola yang sama dengan perbandingan nilai gaya prategang, maka dari itu grafik perbandingan nilai tegangan tidak perlu ditampilkan.

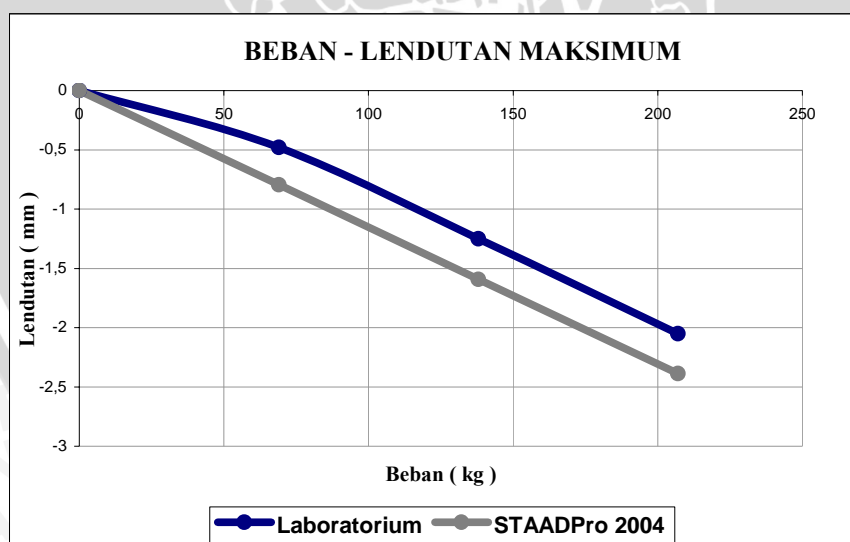
Tabel 4.8. Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis STAADPro 2004

Beban (kg)	Tegangan			
	batang 5		batang 37	
	Laboratorium (kg/cm ²)	STAADPro (kg/cm ²)	Laboratorium (kg/cm ²)	STAADPro (kg/cm ²)
0	0	0	0	0
69	27,880	31,988	32,527	31,988
138	63,892	63,976	73,185	63,976
207	102,227	95,965	111,520	95,965
0	0	0	0	0

4.2.3.2. Lendutan maksimum

Tabel 4.9. Perbandingan nilai lendutan maksimum Model Jembatan Rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Beban (kg)	Lendutan	
	Laboratorium (mm)	STAADPro (mm)
0	0	0
69	-0,48	-0,796
138	-1,25	-1,592
207	-2,05	-2,389
0	0	0



Gambar 4.2. Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

4.3. Pembebanan model jembatan rangka prategang

4.3.1. Analisis dengan STAADPro 2004

4.3.1.1. Asumsi-asumsi yang digunakan

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam percobaan pembebanan model jembatan rangka pretegang adalah sebagai berikut:

1. Model Jembatan merupakan struktur rangka ruang sehingga menggunakan analisis 3 dimensi untuk jenis struktur rangka (*Truss*)
2. Struktur Rangka Batang Model Jembatan dan struktur kabel prategang dianggap sebagai struktur yang sebidang.
3. Titik pertemuan antara kabel dengan rangka, dan rangka dengan tumpuan merupakan titik (*node*) yang memiliki kedudukan yang sesuai dengan koordinat masing-masing.
4. Profil baja yang digunakan adalah adalah profil baja yang isotropik dengan:
 - Angka Poisson = 0.3
 - Densitas / berat jenis = 7833.41 kg/m^3
5. Struktur rangka batang model jembatan sebidang dengan struktur kabel prategang
6. Beban uji yang diberikan adalah beban terpusat pada titik buhul gelagar melintang di tengah bentang model jembatan
7. Berat sendiri model jembatan, berat sambungan, serta berat alat-alat bantu percobaan lainnya diabaikan
8. Analisis elemen-elemen baja pada model adalah analisis dengan menggunakan Metode Elastis (*AISC ASD*).
9. Untuk kondisi model jembatan sebelum pembebanan, analisis dilakukan dengan memberikan beban terpusat arah horisontal pada kedua tumpuan sendi sebesar 0.002 kg pada model jembatan.
10. Kekakuan model jembatan diabaikan.

4.3.1.2. Gaya prategang

Tabel 4.10. Nilai gaya prategang hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Prategang Awal	Prategang Acuan	Beban	Prategang efektif
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
I	-143,017	-113,701	0	-113,701
			69	-131,119
			138	-148,537
			207	-165,955
			0	-113,701
II	-286,322	-227,402	0	-227,402
			69	-244,888
			138	-262,374
			207	-279,860
			0	-227,402
III	-429,526	-341,103	0	-341,103
			69	-358,596
			138	-376,088
			207	-393,581
			0	-341,103

4.3.1.3. Analisis gaya batang pada batang lemah

Tabel 4.11. Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Batang	
			batang 5 (kg)	batang 37 (kg)
I	-113,701	0	-67,646	-67,646
		69	32,031	32,031
		138	131,708	131,708
		207	231,385	231,385
		0	-67,646	-67,646
II	-227,402	0	-135,291	-135,291
		69	-35,655	-35,655
		138	63,981	63,981
		207	163,618	163,618
		0	-135,291	-135,291
III	-341,103	0	-202,937	-202,937
		69	-103,305	-103,305
		138	-3,672	-3,672
		207	95,960	95,960
		0	-202,937	-202,937

Tabel 4.12. Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan (kg)	Batang	Beban (kg)	f	Kondisi	ω	ωf		
				(kg/cm ²)			(kg/cm ²)		
I	-113,701	5	0	-19,664	tarik	1,000	-19,664		
			69	9,311	tekan	1,512	14,078		
			138	38,287	tekan	1,512	57,888		
			207	67,263	tekan	1,512	101,699		
			0	-19,664	tarik	1,000	-19,664		
		37	0	-19,664	tarik	1,000	-19,664		
			69	9,311	tekan	1,512	14,078		
			138	38,287	tekan	1,512	57,888		
			207	67,263	tekan	1,512	101,699		
			0	-19,664	tarik	1,000	-19,664		
		II	-227,402	5	0	-39,329	tarik	1,000	-39,329
					69	-10,365	tarik	1,000	-10,365
					138	18,599	tekan	1,512	28,121
					207	47,563	tekan	1,512	71,913
0	-39,329				tarik	1,000	-39,329		
37	0			-39,329	tarik	1,000	-39,329		
	69			-10,365	tarik	1,000	-10,365		
	138			18,599	tekan	1,512	28,121		
	207			47,563	tekan	1,512	71,913		
	0			-39,329	tarik	1,000	-39,329		
III	-341,103			5	0	-58,993	tarik	1,000	-58,993
					69	-30,030	tarik	1,000	-30,030
					138	-1,068	tarik	1,000	-1,068
					207	27,895	tekan	1,512	42,176
		0	-58,993		tarik	1,000	-58,993		
		37	0	-58,993	tarik	1,000	-58,993		
			69	-30,030	tarik	1,000	-30,030		
			138	-1,068	tarik	1,000	-1,068		
			207	27,895	tekan	1,512	42,176		
			0	-58,993	tarik	1,000	-58,993		

4.3.1.4. Analisis lendutan maksimum

Tabel 4.13. Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan	Beban (kg)	Lendutan (mm)
	(kg)		
I	-113,701	0	0,796
		69	0,122
		138	-0,552
		207	-1,227
		0	0,796
II	-227,402	0	1,592
		69	0,918
		138	0,245
		207	-0,429
		0	1,592
III	-341,103	0	2,388
		69	-1,714
		138	1,041
		207	0,367
		0	2,388

4.3.2. Pengolahan data hasil percobaan di laboratoium

4.3.2.1. Gaya prategang

Tabel 4.14. Nilai gaya prategang hasil percobaan di laboratorium

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan			Beban (kg)	Prategang Efektif		
	Loadcell 1 (kg)	Loadcell 2 (kg)	Rata-rata (kg)		Loadcell 1 (kg)	Loadcell 2 (kg)	Rata-rata (kg)
I	-117,445	-117,568	-117,506	0	-117,445	-117,568	-117,506
				69	-122,116	-122,912	-122,514
				138	-128,122	-129,926	-129,024
				207	-135,462	-137,608	-136,535
				0	-117,445	-117,568	-117,506
II	-234,890	-235,136	-235,013	0	-234,890	-235,136	-235,013
				69	-242,230	-241,482	-241,856
				138	-248,236	-248,162	-248,199
				207	-256,911	-257,180	-257,045
				0	-234,890	-234,468	-234,679
III	-352,334	-352,704	-352,519	0	-352,334	-352,704	-352,519
				69	-357,673	-359,384	-358,528
				138	-363,011	-366,398	-364,705
				207	-370,352	-376,084	-373,218
				0	-348,331	-351,702	-350,016

4.3.2.2. Analisis gaya batang pada batang lemah

Tabel 4.15. Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium

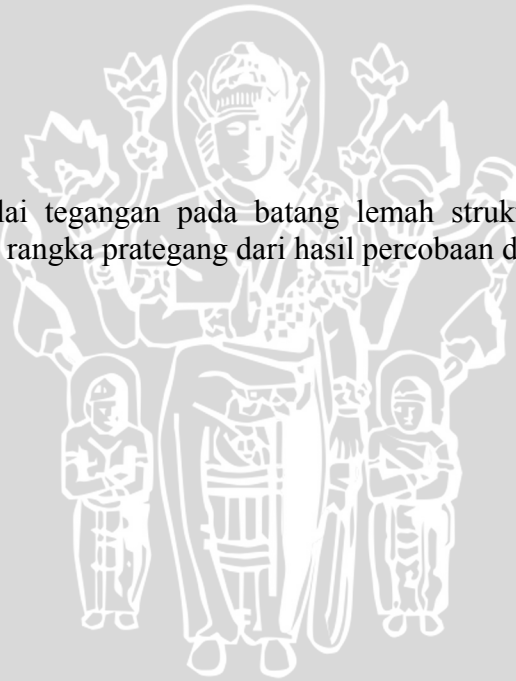
$$E = 1161666,667 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = 3,44 \text{ cm}^2$$

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Batang 5		Batang 37	
		Regangan (ϵ)	Gaya Batang (kg)	Regangan (ϵ)	Gaya Batang (kg)
I	0	-0,000023	-91,911	-0,000012	-47,954
	69	0,000007	27,973	0,000005	19,981
	138	0,000004	159,845	0,000031	123,880
	207	0,000071	283,725	0,000068	271,737
	0	-0,000029	-115,888	-0,000013	-51,950
II	0	-0,000004	-159,845	-0,000039	-155,849
	69	-0,000012	-47,954	-0,000005	-19,981
	138	0,000002	79,923	0,000027	107,896
	207	0,000057	227,780	0,000062	247,760
	0	-0,000044	-175,830	-0,000047	-187,818
III	0	-0,000056	-223,783	-0,000059	-235,772
	69	-0,000003	-119,884	-0,000027	-107,896
	138	0,000005	19,981	0,000008	31,969
	207	0,000046	183,822	0,000044	175,830
	0	-0,000056	-223,783	-0,000059	-235,772

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 4.16. Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium



$$A = 3.44 \text{ cm}^2$$

Nomor Gaya Prategang	Batang	Beban	Gaya Batang	f	Kondisi	ω	ωf
		(kg)	(kg)	(kg/cm ²)			(kg/cm ²)
I	5	0	-91,911	-26,718	tarik	1	-26,718
		69	27,973	8,132	tekan	1,512	12,295
		138	159,845	46,467	tekan	1,512	70,256
		207	283,725	82,478	tekan	1,512	124,704
		0	-115,888	-33,688	tarik	1	-33,688
	37	0	-47,954	-13,940	tarik	1	-13,940
		69	19,981	5,808	tekan	1,512	8,782
		138	123,880	36,012	tekan	1,512	54,448
		207	271,737	78,993	tekan	1,512	119,435
		0	-51,950	-15,102	tarik	1	-15,102
II	5	0	-159,845	-46,467	tarik	1	-46,467
		69	-47,954	-13,940	tarik	1	-13,940
		138	79,923	23,233	tekan	1,512	35,128
		207	227,780	66,215	tekan	1,512	100,114
		0	-175,830	-51,113	tarik	1	-51,113
	37	0	-155,849	-45,305	tarik	1	-45,305
		69	-19,981	-5,808	tarik	1	-5,808
		138	107,896	31,365	tekan	1,512	47,423
		207	247,760	72,023	tekan	1,512	108,896
		0	-187,818	-54,598	tarik	1	-54,598
III	5	0	-223,783	-65,053	tarik	1	-65,053
		69	-119,884	-34,850	tarik	1	-34,850
		138	19,981	5,808	tekan	1,512	8,782
		207	183,822	53,437	tekan	1,512	80,794
		0	-223,783	-65,053	tarik	1	-65,053
	37	0	-235,772	-68,538	tarik	1	-68,538
		69	-107,896	-31,365	tarik	1	-31,365
		138	31,969	9,293	tekan	1,512	14,051
		207	175,830	51,113	tekan	1,512	77,281
		0	-235,772	-68,538	tarik	1	-68,538

4.3.2.3. Analisis lendutan maksimum

Tabel 4.17. Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium

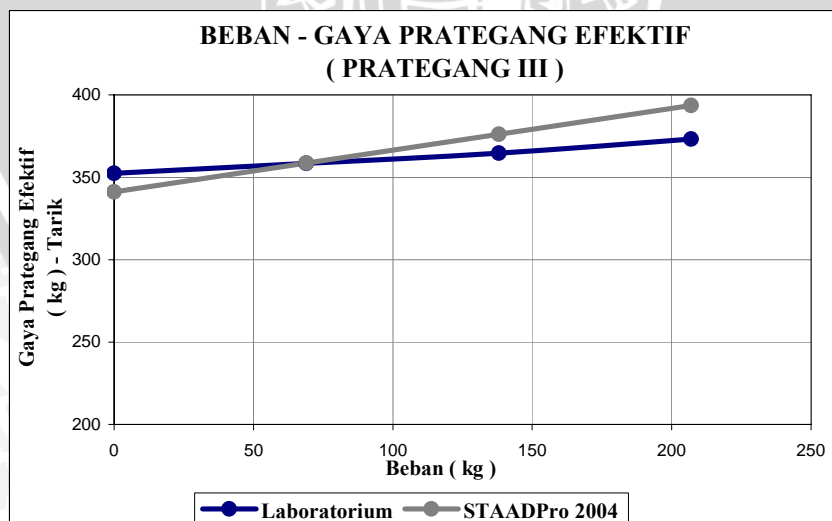
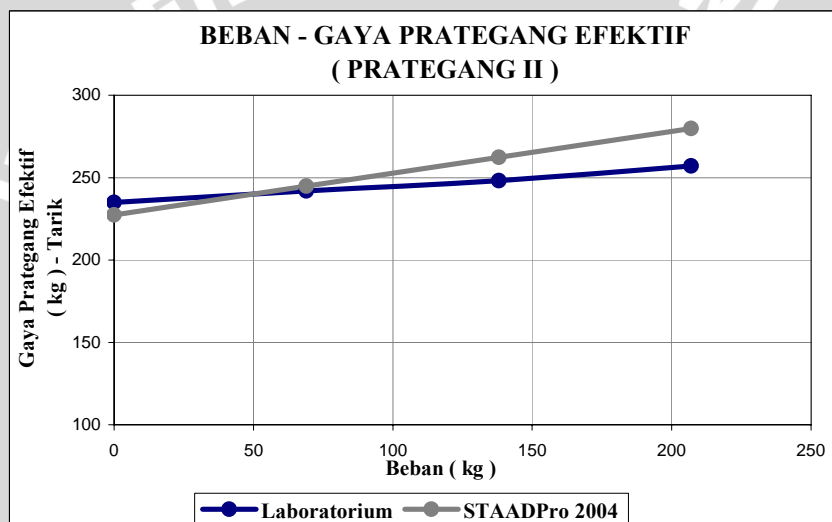
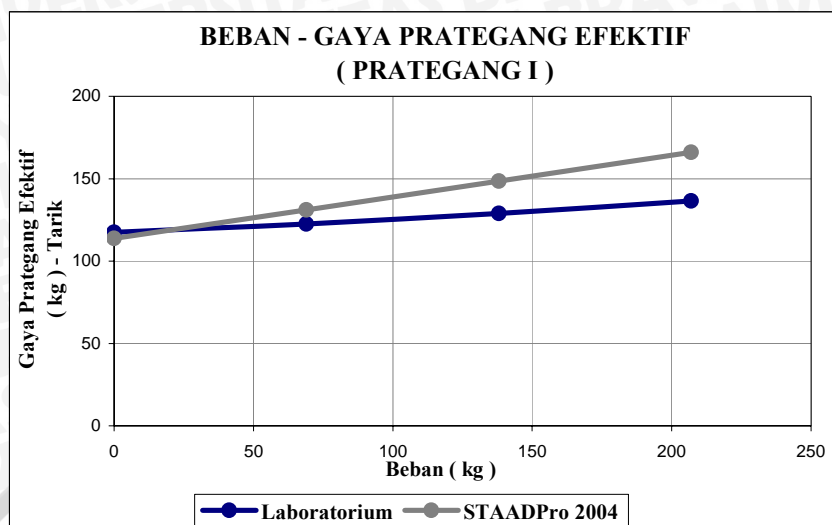
Nomor Gaya Prategang	Beban	Pembacaan Dial Gauge	Lendutan
	(kg)	(unit)	(mm)
I	0	48	0,480
	69	4	0,040
	138	-64	-0,640
	207	-138	-1,380
	0	48	0,480
II	0	149	1,490
	69	107	1,070
	138	39	0,390
	207	-34	-0,340
	0	165	1,650
III	0	199	1,990
	69	154	1,540
	138	87	0,870
	207	12	0,120
	0	199	1,990

4.3.3. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004

4.3.3.1. Gaya prategang

Tabel 4.18. Perbandingan nilai gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Gaya Prategang Efektif	
		STAADPro (kg)	Laboratorium (kg)
I	0	-113,701	-117,506
	69	-131,119	-122,514
	138	-148,537	-129,024
	207	-165,955	-136,535
	0	-113,701	-117,506
II	0	-227,402	-235,013
	69	-244,888	-241,856
	138	-262,374	-248,199
	207	-279,86	-257,045
	0	-227,402	-234,679
III	0	-341,103	-352,519
	69	-358,596	-358,528
	138	-376,088	-364,705
	207	-393,581	-373,218
	0	-341,103	-350,016

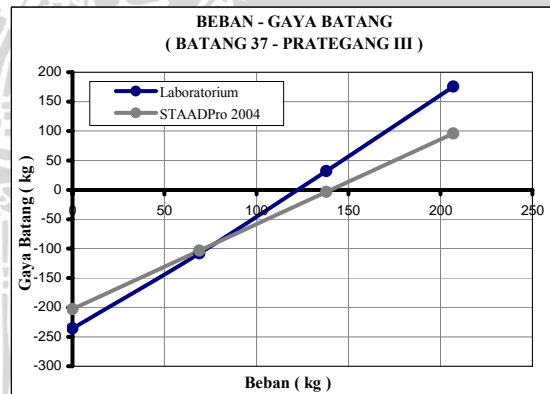
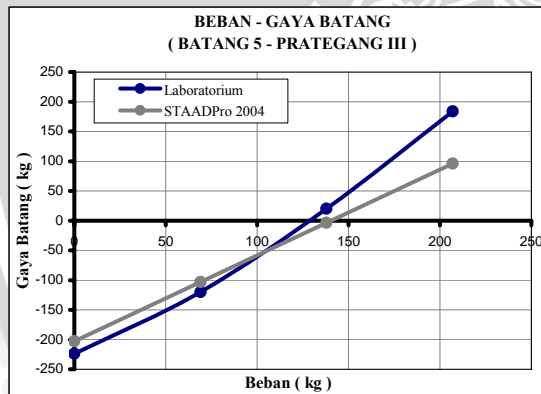
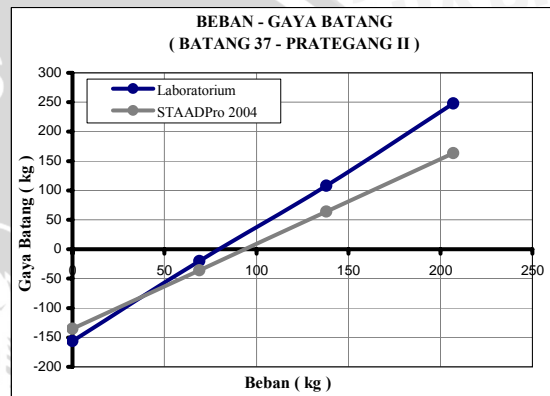
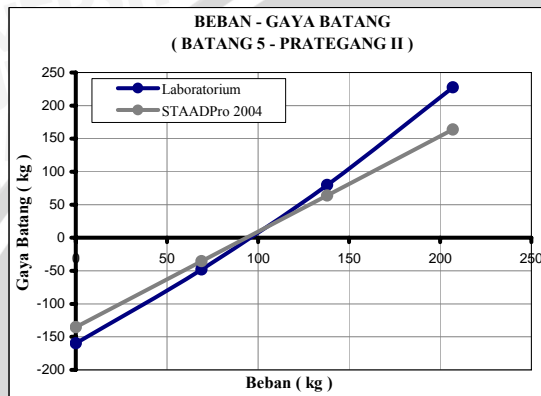
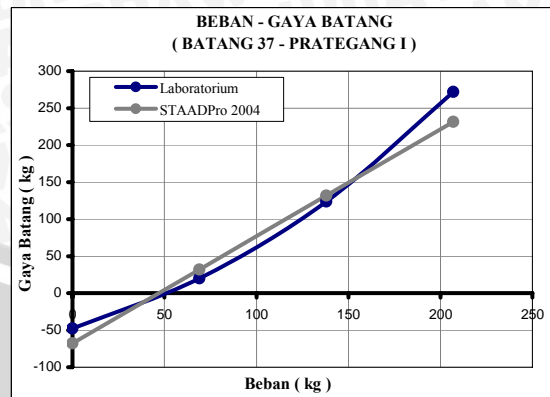
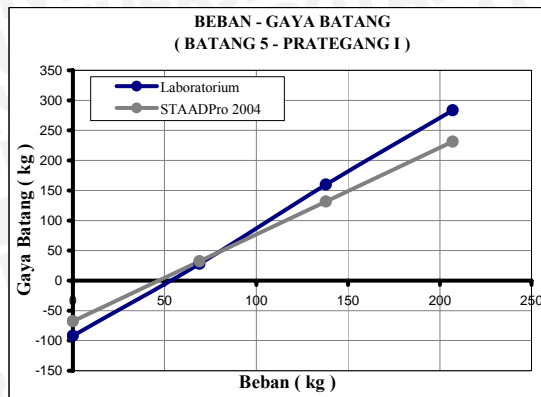


Gambar 4.3. Grafik perbandingan gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

4.3.3.2. Gaya batang pada batang lemah

Tabel 4.19. Perbandingan nilai gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Gaya Batang (kg)			
		Batang 5		Batang 37	
		STAADPro	Laboratorium	STAADPro	Laboratorium
I	0	-67,646	-91,911	-67,646	-47,954
	69	32,031	27,973	32,031	19,981
	138	131,708	159,845	131,708	123,880
	207	231,385	283,725	231,385	271,737
	0	-67,646	-115,888	-67,646	-51,950
II	0	-135,291	-159,845	-135,291	-155,849
	69	-35,655	-47,954	-35,655	-19,981
	138	63,981	79,923	63,981	107,896
	207	163,618	227,780	163,618	247,760
	0	-135,291	-175,830	-135,291	-187,818
III	0	-202,937	-223,783	-202,937	-235,772
	69	-103,305	-119,884	-103,305	-107,896
	138	-3,672	19,981	-3,672	31,969
	207	95,96	183,822	95,96	175,830
	0	-202,937	-223,783	-202,937	-235,772



Gambar 4.4. Grafik perbandingan gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

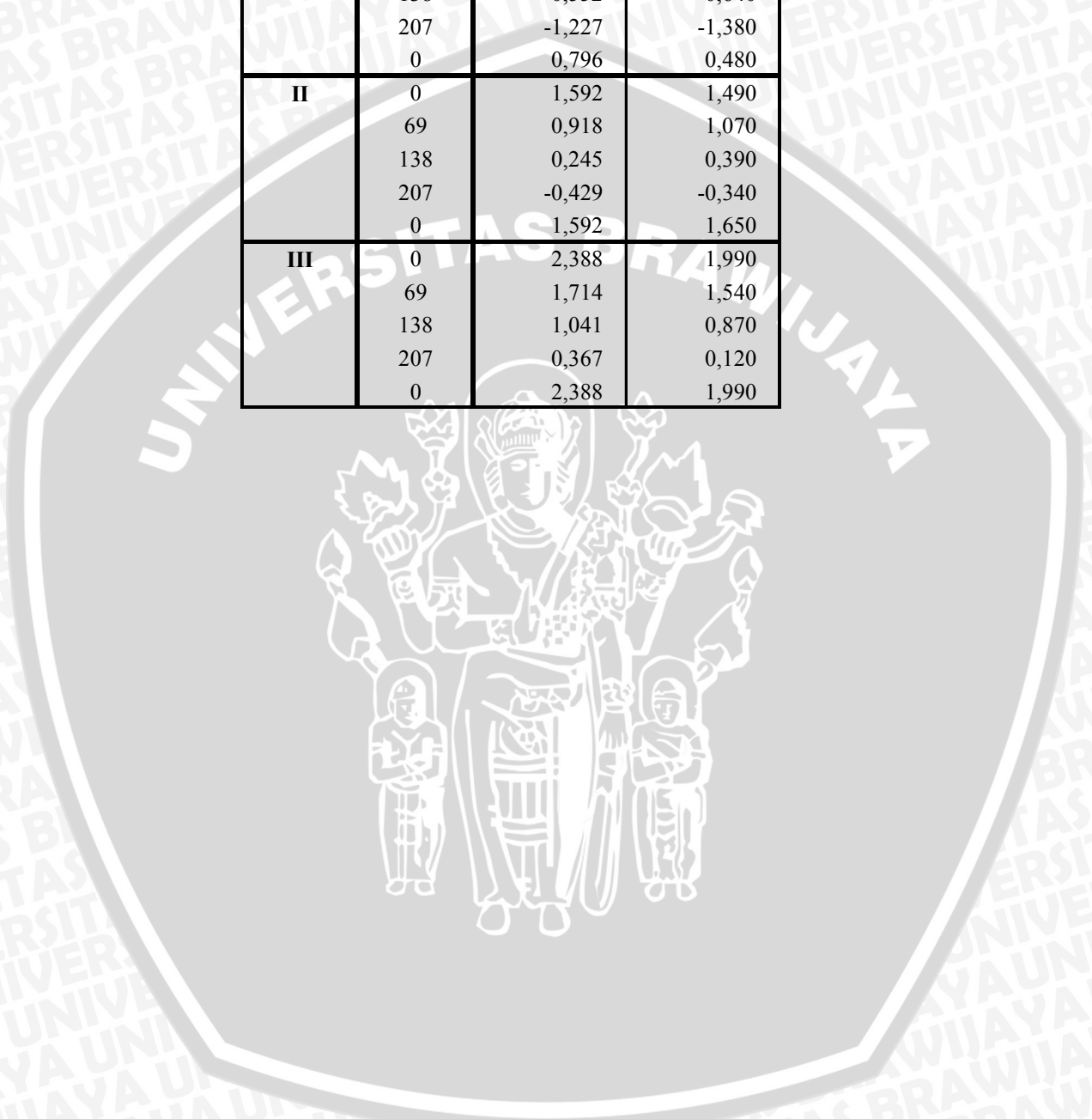
Tabel 4.20. Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

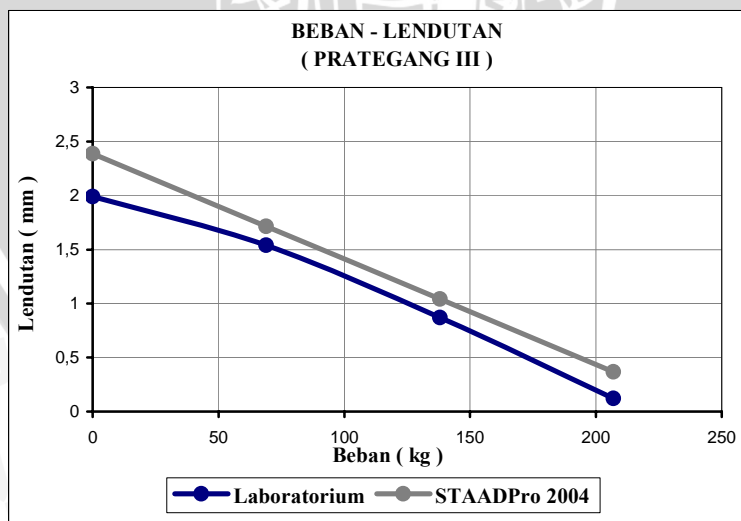
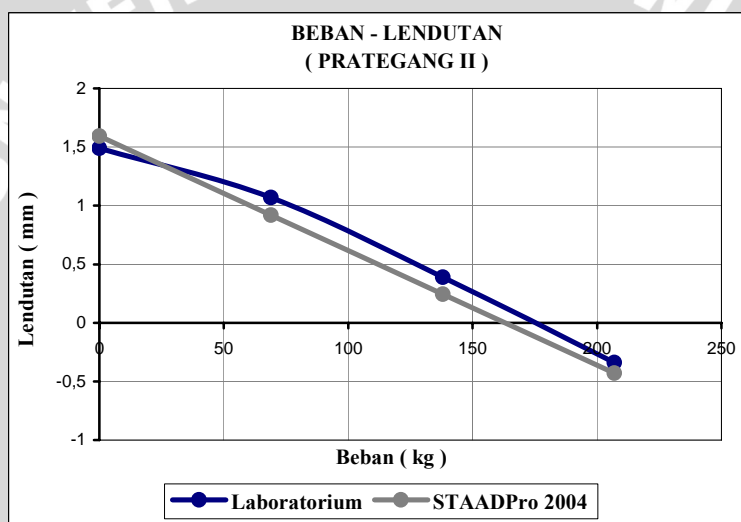
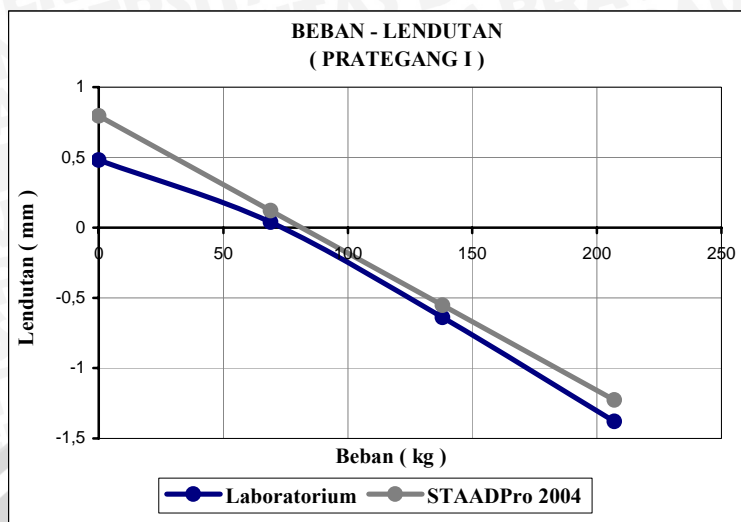
Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Tegangan (kg/cm ²)			
		Batang 5		Batang 37	
		STAADPro	Laboratorium	STAADPro	Laboratorium
I	0	-19,664	-26,718	-19,664	-13,940
	69	9,311	8,132	9,311	5,808
	138	38,287	46,467	38,287	36,012
	207	67,263	82,478	67,263	78,993
	0	-19,664	-33,688	-19,664	-15,102
II	0	-39,329	-46,467	-39,329	-45,305
	69	-10,365	-13,940	-10,365	-5,808
	138	18,599	23,233	18,599	31,365
	207	47,563	66,215	47,563	72,023
	0	-39,329	-51,113	-39,329	-54,598
III	0	-58,993	-65,053	-58,993	-68,538
	69	-30,03	-34,850	-30,030	-31,365
	138	-1,068	5,808	-1,068	9,293
	207	27,895	53,437	27,895	51,113
	0	-58,993	-65,053	-58,993	-68,538

4.3.3.3. Lendutan maksimum

Tabel 4.21. Perbandingan nilai lendutan model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Lendutan	
		STAADPro (mm)	Laboratorium (mm)
I	0	0,796	0,480
	69	0,122	0,040
	138	-0,552	-0,640
	207	-1,227	-1,380
	0	0,796	0,480
II	0	1,592	1,490
	69	0,918	1,070
	138	0,245	0,390
	207	-0,429	-0,340
	0	1,592	1,650
III	0	2,388	1,990
	69	1,714	1,540
	138	1,041	0,870
	207	0,367	0,120
	0	2,388	1,990





Gambar 4.5. Grafik perbandingan lendutan model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004



4.4. Pembahasan

4.4.1. Gaya batang pada batang lemah

Gaya batang merupakan gaya aksial yang terjadi pada elemen struktur rangka batang akibat pemberian gaya-gaya luar pada struktur rangka batang yang merupakan struktur gelagar induk model jembatan. Sedangkan yang dimaksud dengan batang lemah pada percobaan ini adalah batang-batang yang memiliki nilai tegangan terbesar sebagai akibat dari pemberian beban luar dan pemberian gaya prategang pada model jembatan dalam hal ini adalah batang 5 dan 37.

Metode analisis data-data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode elastis sehingga kondisi akhir model jembatan setelah percobaan dilakukan masih dalam keadaan elastis. Untuk itu diperlukan perhitungan tegangan ijin batang-batang model jembatan. Tegangan ijin merupakan besarnya tegangan maksimum yang diperbolehkan terjadi pada elemen-elemen model jembatan akibat pembebanan dan pemberian gaya prategang sehingga kondisi model masih dalam keadaan elastis. Tegangan ijin elemen-elemen batang model jembatan pada percobaan ini adalah sebesar $2325,149 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan tegangan ijin untuk elemen-elemen kabel adalah sebesar $3417,010 \text{ kg/cm}^2$.

Pada batang tekan, nilai tegangan yang terjadi harus dikalikan dengan faktor tekuk batang (ω) yang dipengaruhi oleh mutu dan dimensi batang. Untuk batang 5 dan 37 apabila dalam kondisi tekan maka faktor tekuknya adalah sebesar 1,512. Sedangkan untuk batang tarik besarnya faktor tekuk adalah 1. Dari keseluruhan percobaan yang dilakukan besarnya tegangan maksimum yang terjadi pada batang terlemah setelah dikalikan faktor tekuk adalah sebesar $124,704 \text{ kg/cm}^2$ untuk batang tekan dan $68,538 \text{ kg/cm}^2$ untuk batang tarik. Sedangkan pada kabel tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar:

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{maks}}{A_{kabel}} \\ &= \frac{373,218}{0,196} = 1904.173 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan-tegangan tersebut masih berada jauh di bawah tegangan ijin elemen-elemen batang dan kabel model jembatan sehingga kondisi model jembatan setelah percobaan dilakukan masih dalam keadaan elastis.

Pada dasarnya tujuan utama dari pemberian gaya prategang adalah untuk meningkatkan kekuatan struktur model jembatan. Secara teknis peningkatan yang dimaksud dapat berupa penurunan tegangan yang terjadi akibat beban yang besarnya sama dengan beban pada model jembatan tanpa prategang. Jadi dapat disimpulkan bahwa gaya prategang acuan yang paling efektif adalah gaya prategang yang menghasilkan tegangan terkecil baik berupa tegangan tarik maupun tegangan tekan dengan variasi pembebanan yang sama, yang sudah dikalikan dengan faktor tekuknya.

4.4.2. Gaya prategang

4.4.2.1. Gaya prategang acuan

Gaya prategang acuan adalah besarnya gaya tarik yang terjadi pada kabel prategang akibat proses *jacking* pada kabel tersebut. Variasi gaya prategang acuan ditentukan oleh besarnya gaya tarik yang terjadi pada kabel model jembatan rangka prategang sehingga gaya tersebut mampu menimbulkan lendutan yang besarnya sama dengan lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka ketika model tersebut menerima beban sebesar 69 kg. Arah lendutan yang timbul akibat pemberian gaya prategang berlawanan dengan arah lendutan akibat beban.

4.4.2.1.1. Hasil analisis dengan STAADPro 2004

Dalam STAADPro 2004, nilai gaya prategang acuan tidak dapat ditentukan secara langsung karena nilai tersebut sangat tergantung dari besarnya gaya prategang awal yang diberikan pada kabel prategang. Gaya prategang awal merupakan besarnya gaya tarik yang diberikan pada saat proses *jacking*. Dari analisis dengan menggunakan STAADPro 2004 didapatkan bahwa besarnya gaya prategang acuan lebih kecil apabila dibandingkan dengan besarnya gaya prategang awal. Hal ini diakibatkan adanya kehilangan gaya prategang pada kabel prategang. Pada penelitian ini kehilangan gaya prategang tidak dibahas.

Tabel 4.22. Variasi gaya prategang acuan hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Awal (kg)	Gaya Prategang Acuan (kg)
I	-132,891	-103,653
II	-266,138	-207,306
III	-399,262	-310,959

Pada analisis dengan menggunakan STAADPro 2004, besarnya variasi gaya prategangan acuan yang dihasil dari pemberian variasi gaya prategang awal bersifat *linier*. Karena kondisi jembatan masih dalam keadaan elastis linier, maka *Hukum Timbal Balik Maxwell* masih berlaku. Dengan demikian besarnya perpindahan yang terjadi akibat gaya prategang acuan sebanding dengan besarnya variasi gaya prategang awal. Karena variasi gaya prategang acuan yang menyebabkan terjadinya perpindahan bersifat linier, maka variasi gaya prategang awal juga bersifat linier.

Akan tetapi dari hasil analisis dengan STAADPro 2004, variasi gaya prategang awal tidak bersifat linier. Hal ini diakibatkan karena pembulatan angka hasil analisis dengan STAADPro 2004 hanya dibatasi sampai tiga angka dibelakang koma.

4.4.2.1.2. Hasil percobaan di laboratorium

Gaya prategang acuan pada percobaan di laboratorium dapat ditentukan secara langsung dengan menggunakan *loadmeter* yang dihubungkan dengan *loadcell* yang terpasang pada salah satu ujung kabel yang kemudian disambungkan dengan titik buhul model jembatan. Nilai yang terbaca pada *loadmeter* adalah besarnya gaya dalam pada kabel dalam hal ini berupa gaya tarik.

Tabel 4.23. Variasi gaya prategang acuan hasil percobaan di laboratorium

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Acuan (kg)
I	-117,506
II	-235,013
III	-352,519

4.4.2.2. Gaya prategang efektif

Gaya prategang efektif adalah besarnya gaya tarik yang terjadi pada kabel prategang akibat adanya pembebanan pada model jembatan rangka prategang. Gaya prategang efektif sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang diberikan pada model jembatan rangka prategang.

Tabel 4.24. Prosentase peningkatan gaya prategang akibat pembebanan

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Prategang efektif (kg)	Peningkatan Gaya Prategang (kg)	Prosentase Peningkatan Prategang (%)
I	-117,506	0	-117,506	-5,008	4,26
		69	-122,514	-6,510	5,54
		138	-129,024	-7,511	6,39
		207	-136,535		
II	-235,013	0	-235,013	-6,843	5,82
		69	-241,856	-6,343	5,40
		138	-248,199	-8,846	7,53
		207	-257,045		
III	-352,519	0	-352,519	-6,009	5,11
		69	-358,528	-6,176	5,26
		138	-364,705	-8,513	7,24
		207	-373,218		

Tabel 4.24 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan gaya prategang pada kabel prategang akibat pemberian beban. Berdasarkan *Hukum Timbal Balik Maxwell* dapat disimpulkan bahwa besarnya peningkatan gaya prategang efektif yang terjadi akibat peningkatan beban sebesar 69 kg adalah sama pada setiap nomor gaya prategang. Dari Tabel 4.24 besarnya prosentase peningkatan prategang rata-rata adalah sebesar 5,480 % dari gaya prategang acuan pertama sebesar 117,506 kg. Peningkatan gaya prategang tersebut terjadi akibat adanya perubahan bentuk struktur rangka batang model jembatan akibat proses pembebanan. Sedangkan nilai peningkatan prategang yang bervariasi pada hasil

percobaan ini disebabkan karena pengaruh faktor kalibrasi alat. *Loadcell* yang digunakan pada percobaan ini adalah dua buah *loadcell* yang memiliki kapasitas yang berbeda sehingga faktor kalibrasi alatnya berbeda. Sehingga besarnya gaya prategang yang terbaca pada *loadmeter* yang terhubung dengan *loadcell* 1 dan *loadcell* 2 tidak sama. Nilai gaya prategang yang ditampilkan pada Tabel 4.24 merupakan nilai rata-rata gaya prategang yang terbaca pada *loadcell* 1 dan *loadcell* 2.

4.4.3. Lendutan maksimum

Yang dimaksud lendutan maksimum pada percobaan ini adalah deformasi terbesar yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada model jembatan. Munculnya deformasi tersebut disebabkan oleh adanya perpindahan titik-titik buhul rangka batang yang merupakan struktur gelagar induk model jembatan sebagai akibat pemberian gaya-gaya luar. Pada percobaan ini gaya-gaya luar tersebut merupakan beban terpusat tepat di tengah-tengah bentang jembatan sehingga lendutan maksimum yang terjadi pada model jembatan akibat beban tersebut adalah lendutan pada tengah-tengah bentang model jembatan.

Pemberian gaya prategang pada struktur rangka model jembatan akan mempengaruhi besarnya lendutan maksimum yang terjadi pada model jembatan tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.25 yang menampilkan perbandingan lendutan antara model jembatan rangka dengan model jembatan rangka prategang.

Tabel 4.25. Prosentase penurunan lendutan akibat pembebanan dan pemberian gaya prategang

Gaya prategang acuan	Beban	Lendutan		Selisih lendutan akibat peningkatan beban			Prosentase penurunan lendutan
		rangka	prategang	rangka	prategang	penurunan	
kg	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)
-117,506	0	0,000	0,480	0,480	0,440	0,040	8,333
	69	-0,480	0,040	0,770	0,680	0,090	11,688
	138	-1,250	-0,640	0,800	0,740	0,060	7,500
	207	-2,050	-1,380				
-235,013	0	0,000	1,490	0,480	0,420	0,060	12,500
	69	-0,480	1,070	0,770	0,680	0,090	11,688
	138	-1,250	0,390	0,800	0,730	0,070	8,750
	207	-2,050	-0,340				
-352,519	0	0,000	1,990	0,480	0,450	0,030	6,250
	69	-0,480	1,540	0,770	0,670	0,100	12,987
	138	-1,250	0,870	0,800	0,750	0,050	6,250
	207	-2,050	0,120				

Tabel 4.25 di atas, menunjukkan besarnya peningkatan lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka akibat peningkatan beban sebesar 69 kg. Besarnya peningkatan lendutan rata-rata yang terjadi pada model jembatan rangka adalah sebesar 0,683 mm. Sedangkan pada model jembatan rangka prategang, besarnya peningkatan lendutan rata-rata yang diakibatkan oleh peningkatan beban yang sama adalah sebesar 0,618 mm. Besarnya peningkatan lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka prategang lebih kecil apabila dibandingkan dengan besarnya peningkatan lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka. Perbedaan tersebut membuktikan bahwa telah terjadi penurunan besarnya peningkatan lendutan akibat penambahan beban pada model jembatan rangka ketika model jembatan tersebut diberi kabel prategang. Pada percobaan pembebanan pada model jembatan rangka prategang tipe semi parabol dengan jenis N terbalik, penurunan rata-rata yang terjadi adalah sebesar 9,550 % dari selisih lendutan akibat peningkatan beban pada model jembatan rangka sebelum diberi kabel prategang.

Pada Tabel 4.25, terlihat adanya peningkatan besarnya lendutan ke atas akibat penambahan gaya prategang acuan pada saat beban minimum (beban 0) bekerja pada model jembatan. Akan tetapi pada saat beban maksimum (beban

207 kg) bekerja, terjadi penurunan besarnya lendutan ke bawah akibat penambahan gaya prategang acuan. Hal ini berarti bahwa gaya prategang yang terlalu besar dapat mengakibatkan lendutan ke atas yang besar ketika beban minimum bekerja pada model jembatan dan gaya prategang yang terlalu kecil juga dapat mengakibatkan lendutan ke bawah yang besar pula pada saat beban maksimum bekerja pada jembatan. Gaya prategang optimum adalah gaya prategang yang menghasilkan lendutan terkecil baik berupa lendutan ke atas maupun ke bawah ketika beban maksimum ataupun beban minimum bekerja.

Pada percobaan ini gaya prategang acuan optimum adalah sebesar 117,506 kg. Gaya prategang acuan tersebut mengakibatkan lendutan ke atas sebesar 0,48 mm akibat beban 0 dan lendutan ke bawah sebesar 1,38 mm akibat beban 207 kg. Lendutan-lendutan tersebut merupakan lendutan terkecil apabila dibandingkan dengan lendutan-lendutan akibat gaya prategang acuan lainnya yang diberikan pada percobaan ini dengan kondisi pembebanan yang sama.

Pada model jembatan rangka, lendutan maksimum adalah lendutan ke bawah sebesar 2,050 mm akibat beban sebesar 207 kg, sedangkan pada model jembatan rangka prategang lendutan maksimum adalah lendutan ke bawah sebesar 1,38 mm akibat beban sebesar 207 kg dan gaya prategang acuan optimum sebesar 117,506 kg. Penurunan lendutan yang terjadi adalah sebesar 0,67 mm atau 32,683 % dari lendutan maksimum model jembatan rangka.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Gaya prategang merupakan gaya tarik yang terjadi pada kabel prategang akibat proses *jacking* pada kabel tersebut. Besarnya gaya prategang yang terjadi pada model jembatan rangka prategang akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan beban yang diberikan pada model jembatan tersebut. Peningkatan beban yang diberikan pada model jembatan pada percobaan ini adalah sebesar 69 kg sedangkan besarnya peningkatan gaya prategang yang terjadi adalah sebesar 5,480 % dari gaya prategang acuan pertama sebesar 117.506 kg. Besarnya peningkatan gaya prategang akibat penambahan beban tersebut akan bersifat konstan selama beban dan gaya prategang yang diberikan tidak melebihi batas elastis model jembatan sehingga kondisi struktur model jembatan rangka prategang masih dalam keadaan elastis linier.
2. Pemberian kabel pada model jembatan rangka dapat mengakibatkan besarnya peningkatan lendutan yang terjadi akibat peningkatan beban berkurang. Pada percobaan pembebanan model jembatan rangka baja tipe semi parabol jenis N terbalik, pemberian kabel prategang eksternal tipe linier mengakibatkan besarnya peningkatan lendutan akibat penambahan beban terpusat sebesar 69 kg yang terjadi pada model jembatan rangka mengalami penurunan sebesar 9,550 % dari besarnya peningkatan lendutan akibat penambahan beban pada model jembatan rangka sebelum penambahan kabel prategang. Penurunan besarnya peningkatan lendutan tersebut tidak dipengaruhi oleh besarnya gaya prategang yang diberikan pada kabel prategang selama kondisi struktur jembatan rangka prategang masih dalam keadaan elastis linier.
3. Besarnya gaya prategang yang diberikan pada kabel prategang akan mempengaruhi besarnya lendutan yang terjadi pada jembatan rangka. Gaya prategang yang terlalu besar dapat mengakibatkan lendutan ke atas

yang besar ketika beban minimum pada jembatan bekerja. Akan tetapi gaya prategang yang terlalu kecil juga dapat mengakibatkan lendutan ke bawah yang sangat besar pula ketika beban maksimum pada jembatan bekerja. Pada percobaan ini besarnya gaya prategang yang menghasilkan lendutan terkecil baik berupa lendutan ke atas maupun lendutan ke bawah ketika beban minimum dan maksimum bekerja adalah sebesar 117,506 kg. Gaya prategang tersebut mengakibatkan penurunan lendutan maksimum pada model jembatan akibat penambahan kabel prategang eksternal tipe linier. Besarnya prosentase penurunan lendutan maksimum pada pengujian ini adalah sebesar 32,683 % dari lendutan maksimum model jembatan rangka sebesar 2,050 mm. Beban maksimum pada percobaan ini adalah beban terpusat ditengah-tengah bentang jembatan sebesar 207 kg, sedangkan beban minimum terjadi ketika kondisi model jembatan tidak menerima beban luar sama sekali (beban 0).

5.2. Saran

1. Agar data-data mekanis kabel dapat diketahui dengan benar, sebaiknya perlu dipikirkan cara pengujian material terhadap kabel. Hal ini dikarenakan pengujian material baja biasa tidak dapat diterapkan pada kabel.
2. *Loadcell* yang digunakan, diusahakan memiliki angka kalibrasi yang sama sehingga besarnya gaya prategang acuan yang diberikan pada rangka kanan dan rangka kiri sama besar.
3. Kekakuan model jembatan rangka perlu diperhatikan sehingga perbedaan-perbedaan regangan, lendutan, dan gaya prategang yang terjadi antara rangka kanan dan rangka kiri dapat diminimalkan.
4. Sebaiknya pengukuran besarnya regangan pada batang-batang model jembatan rangka diperbanyak, sehingga perilaku dan besarnya tegangan pada masing-masing batang dapat diketahui dan kondisi elastis linier jembatan dapat diketahui dengan pasti.
5. Perlu adanya penelitian mengenai perilaku model jembatan rangka ketika beban dan gaya prategang yang diberikan melampaui batas elastis.

DAFTAR PUSTAKA

- BMS. 1991. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (BMS)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Binamarga.
- Rakhmawati, Yusi. 2005. “Desain, Analisis, dan Pengujian Distribusi Gaya Dalam Pada Jembatan Hibrid Rangka dan “Cable Stayed” Tipe Radial di Tengah”. *Skripsi* tidak diterbitkan. Malang : Jurusan Sipil FT Universitas Brawijaya.
- Rahmanova, Ira. 2006. “Desain, Pengujian dan Analisis Distribusi Gaya Dalam Pada Jembatan Hibrid Rangka dan Cable Stayed Tipe Radial Satu Sisi”. *Skripsi* tidak diterbitkan. Malang : Jurusan Sipil FT Universitas Brawijaya.
- Soemono. 1979. *Statika 2*. Bandung : ITB.
- Taly, Narendra. 1998. *Design Of Modenn Highway Bridges*. Jonh Wiley and Sons. Canada.
- Roylance, David. 2000. *Trusses*. Cambridge, Department of Materials science and Engineering. www.wce.ucsd.edu/users/atkinson/felt/Truss.pdf
- Troitsky. 1990. *Prestressed Steel Bridges Theory and Design*. New York : Van Nostrand Renhold Company.
- Xanthakos. 1973. *Theory and Design Bridges*. New York : John Wiley and Sans. Inc.
- PPBBI. 1984. *Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia Tahun 1984*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan
- Wira. 1986. *Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik dan Matriks. Edisi II, terjemahan A. Ghali A. M Neville*. Jakarta: Erlangga.

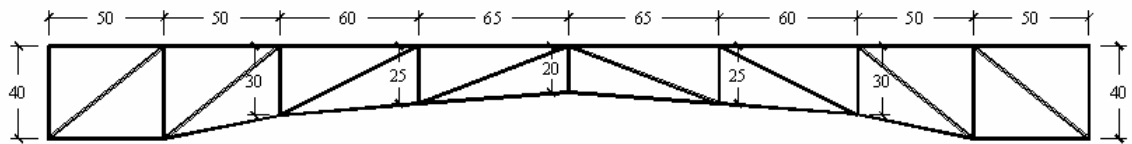
LAMPIRAN 1

DIMENSI DAN SKEMA MODEL JEMBATAN

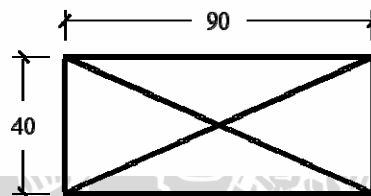
A. Dimensi

(Satuan dalam cm)

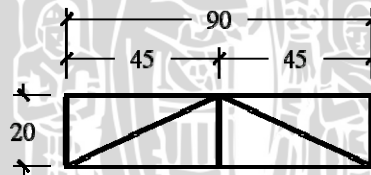
1. Rangka Utama



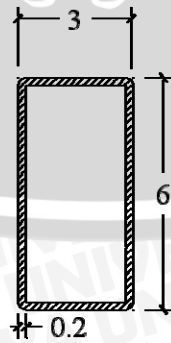
2. Rangka Melintang Sisi Luar



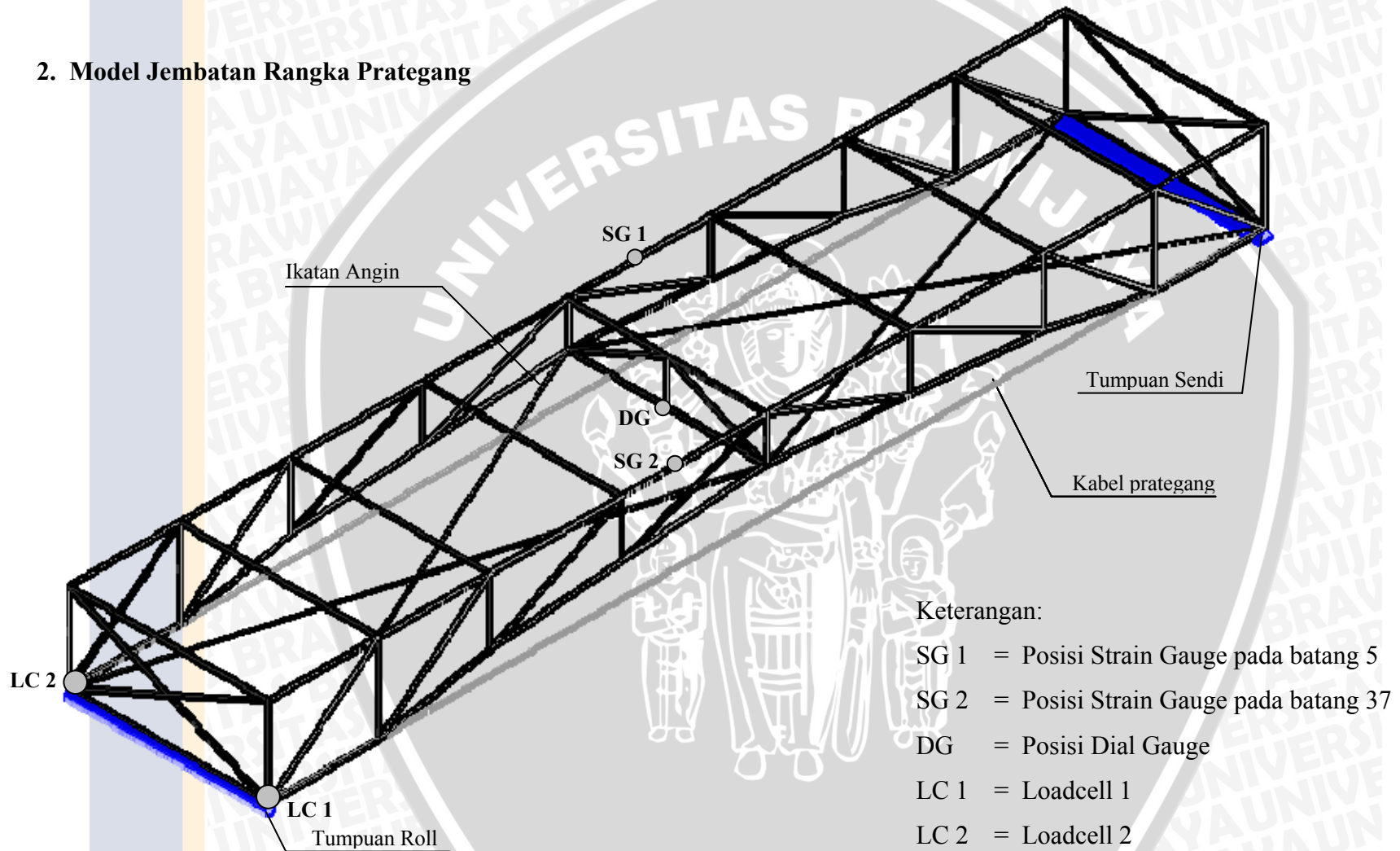
3. Rangka Melintang Tengah



4. Penampang Profil Baja

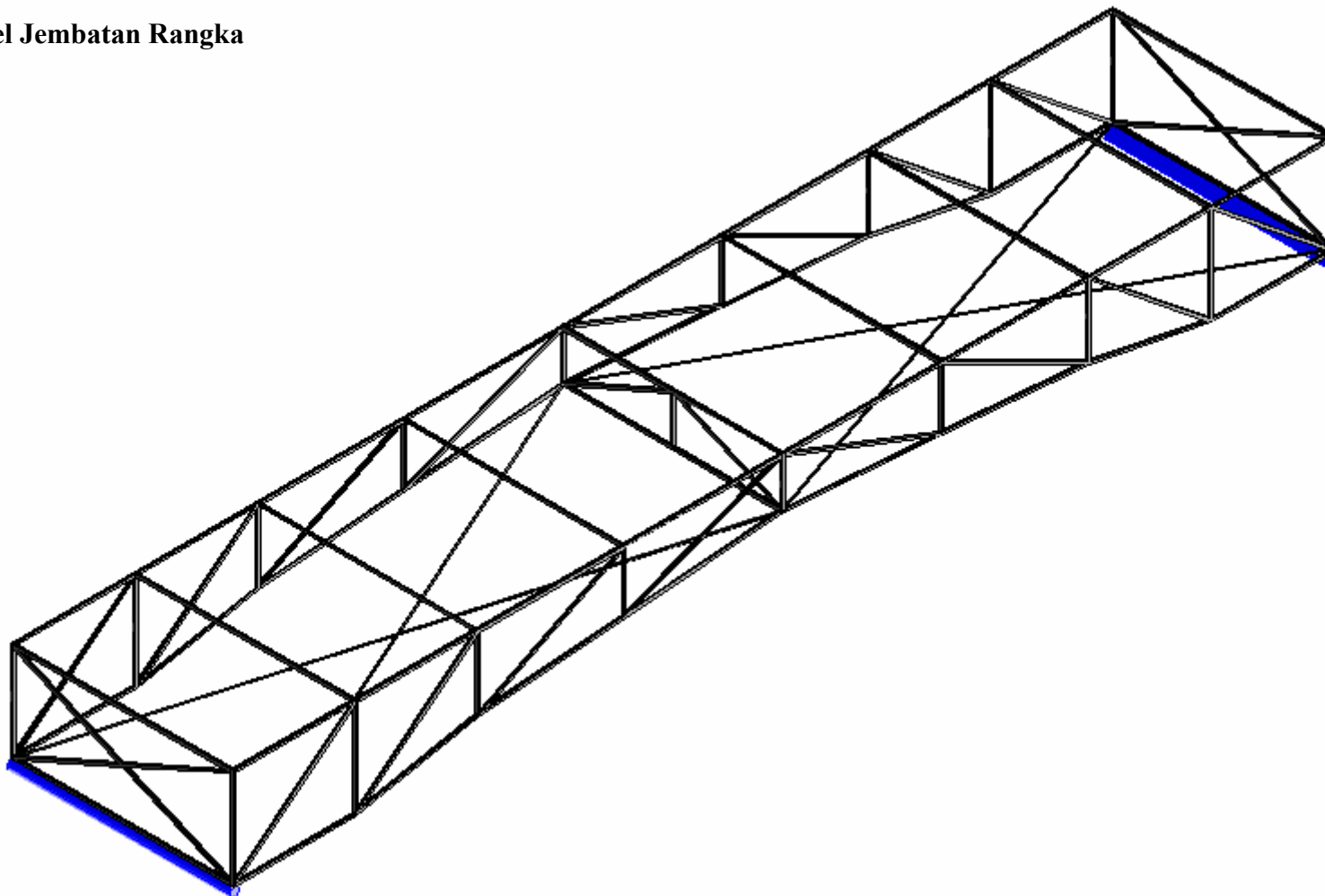


2. Model Jembatan Rangka Prategang

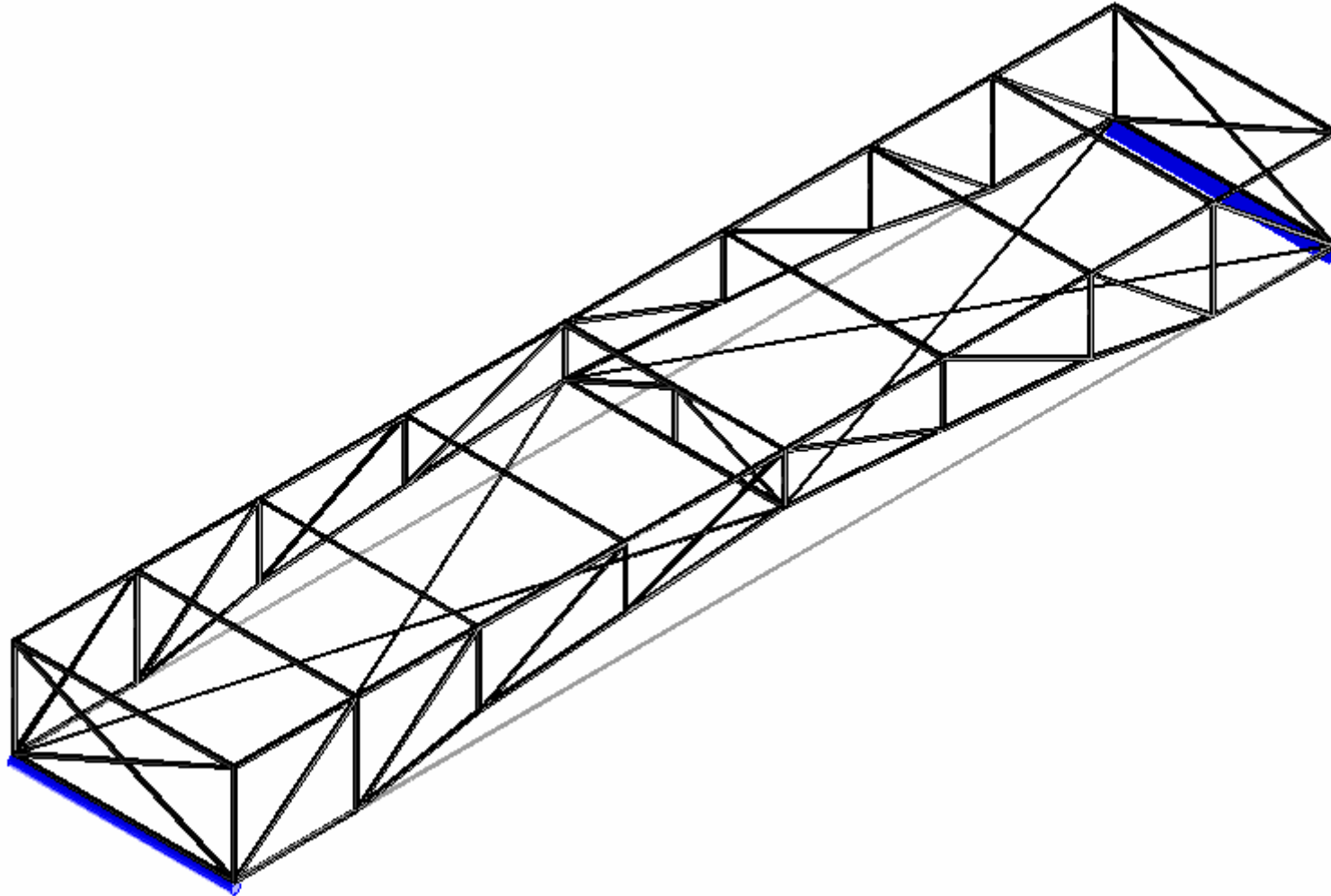


LAMPIRAN 2
PENOMORAN BATANG

A. Model Jembatan Rangka

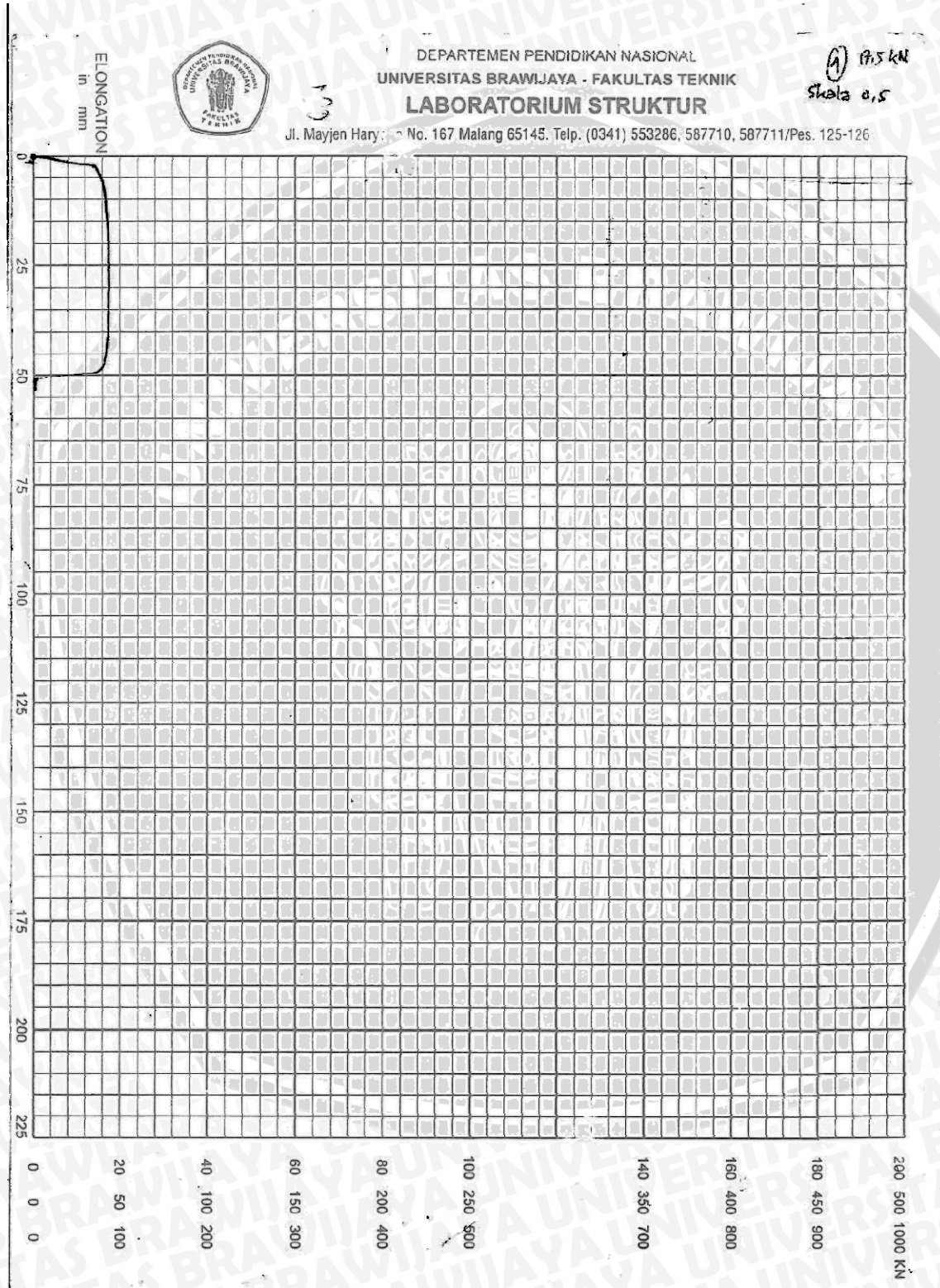


B. Model Jembatan Rangka Prategang



LAMPIRAN 3

GRAFIK HASIL UJI TARIK BAJA

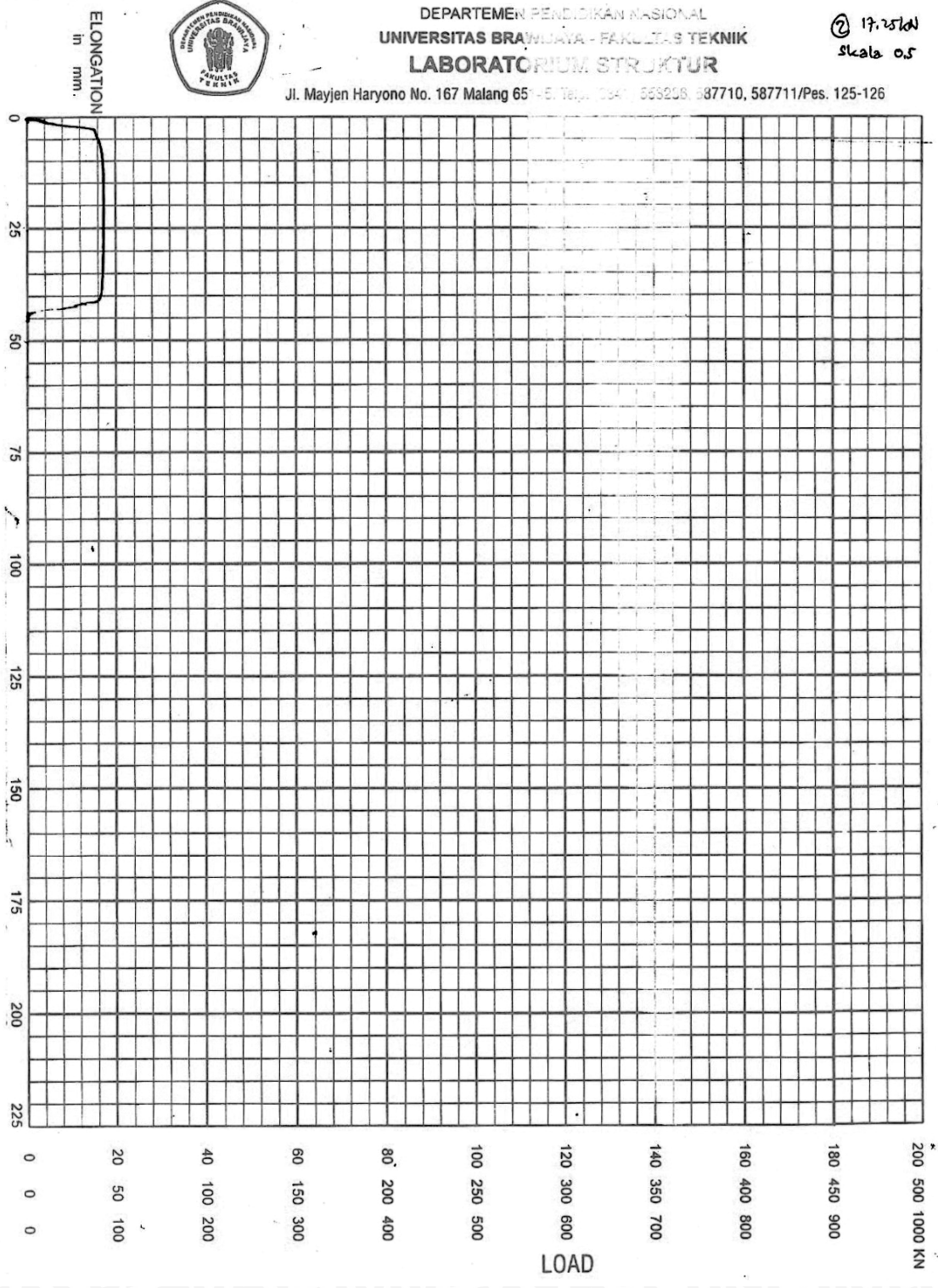




DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA - FAKULTAS TEKNIK
LABORATORIUM STRUKTUR

Jl. Mayjen Haryono No. 167 Malang 65146 Telp. 0341- 663208, 687710, 587711/Pes. 125-126

17.25.14
skala 0.5



LAMPIRAN 4

DATA HASIL UJI TARIK BAJA

a. Baja profil tube 30 × 60 mm; tebal 2 mm

Nomor	A	P_y	f_y	f_y rata-rata	E_s	E_s rata-rata
	(cm^2)	(kg)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
1	0,576	1450	2517,361	2604,167	1138888,889	1161666,667
2	0,576	1550	2690,972		1184444,444	

b. Kabel Sling diameter 5 mm

Pengujian tarik pada kabel tidak didapatkan tegangan leleh yang sesungguhnya pada kabel karena pada saat pengujian kabel putus pada daerah jepit. Besarnya gaya tarik yang mengakibatkan kabel putus pada daerah jepit (P_u) adalah sebesar 12 kN.

$$P_u = 12 \text{ kN} = 1200 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2 \\ &= 0,196 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$f_{Pu} = \frac{P_u}{A} = \frac{1200}{0,196} = 6114,650 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} f_y &= 0,95 f_{Pu} \\ &= 5808,917 \text{ kg}/\text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ijin} &= \frac{f_y}{1,5} = \frac{5808,917}{1,5} \\ &= 3872,611 \text{ kg}/\text{cm}^2 \end{aligned}$$



LAMPIRAN 5

DATA-DATA PENELITIAN

A. Data Pembacaan Strain Gauge

1. Model Jembatan Rangka

Beban (kg)	Regangan			
	Batang 5		Batang 37	
	$\mu\epsilon$	ϵ	$\mu\epsilon$	ϵ
0	0	0	0	0
69	24	0,000024	28	0,000028
138	55	0,000055	63	0,000063
207	88	0,000088	96	0,000096
0	0	0	0	0

2. Model Jembatan Rangka Prategang

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Regangan			
		Batang 5		Batang 37	
		$\mu\epsilon$	ϵ	$\mu\epsilon$	ϵ
I	0	-23	-0,000023	-12	-0,000012
	69	7	0,000007	5	0,000005
	138	40	0,00004	31	0,000031
	207	71	0,000071	68	0,000068
	0	-29	-0,000029	-13	-0,000013
II	0	-40	-0,00004	-39	-0,000039
	69	-12	-0,000012	-5	-0,000005
	138	20	0,00002	27	0,000027
	207	57	0,000057	62	0,000062
	0	-44	-0,000044	-47	-0,000047
III	0	-56	-0,000056	-59	-0,000059
	69	-30	-0,00003	-27	-0,000027
	138	5	0,000005	8	0,000008
	207	46	0,000046	44	0,000044
	0	-56	-0,000056	-59	-0,000059

Nilai negatif (-) mendefinisikan kondisi tarik

Nilai positif (+) mendefinisikan kondisi tekan

B. Data Pembacaan Dial Gauge

1. Model Jembatan Rangka

Beban (kg)	Pembacaan Dial Gauge (unit)	Lendutan (mm)
0	0	0
69	-48	-0,48
138	-125	-1,25
207	-205	-2,05
0	0	0

Angka ketelitian alat 0.01 mm

2. Model Jembatan Rangka Prategang

Nomor Gaya Prategang	Beban	Pembacaan Dial Gauge	Lendutan
	(kg)	(unit)	(mm)
I	0	48	0,480
	69	4	0,040
	138	-64	-0,640
	207	-138	-1,380
	0	48	0,480
II	0	149	1,490
	69	107	1,070
	138	39	0,390
	207	-34	-0,340
	0	165	1,650
III	0	199	1,990
	69	154	1,540
	138	87	0,870
	207	12	0,120
	0	199	1,990

Angka ketelitian alat 0.01 mm

Nilai negatif (-) mendefinisikan lendutan ke bawah

Nilai positif (+) mendefinisikan lendutan ke atas

C. Data Pembacaan Loadcell

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan		Beban (kg)	Prategang Efektif	
	Loadcell 1 (Unit)	Loadcell 2 (Unit)		Loadcell 1 (Unit)	Loadcell 2 (Unit)
I	-176	-352	0	-176	-352
			69	-183	-368
			138	-192	-389
			207	-203	-412
			0	-176	-352
II	-352	-704	0	-352	-704
			69	-363	-723
			138	-372	-743
			207	-385	-770
			0	-352	-702
III	-528	-1056	0	-528	-1056
			69	-536	-1076
			138	-544	-1097
			207	-555	-1126
			0	-522	-1053

Angka kalibrasi alat:

Loadcell 1

Kapasitas : 20 kN

Kalibrasi : $0.006673 \text{ kN} / 1 \times 10^{-6}$

Loadcell 2

Kapasitas : 10 kN

Kalibrasi : $0.003340 \text{ kN} / 1 \times 10^{-6}$

Data Pembacaan Loadcell setelah dikalikan angka kalibrasi

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan		Beban (kg)	Prategang Efektif	
	Loadcell 1 (kg)	Loadcell 2 (kg)		Loadcell 1 (kg)	Loadcell 2 (kg)
I	-117,445	-117,568	0	-117,445	-117,568
			69	-122,116	-122,912
			138	-128,122	-129,926
			207	-135,462	-137,608
			0	-117,445	-117,568
II	-234,890	-235,136	0	-234,890	-235,136
			69	-242,230	-241,482
			138	-248,236	-248,162
			207	-256,911	-257,180
			0	-234,890	-234,468
III	-352,334	-352,704	0	-352,334	-352,704
			69	-357,673	-359,384
			138	-363,011	-366,398
			207	-370,352	-376,084
			0	-348,331	-351,702

LAMPIRAN 6

ANALISIS STAADPro 2004

A. Model jembatan rangka

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Lulus P

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

1 0 0 0; 2 50 0 0; 3 100 0 0; 4 160 0 0; 5 225 0 0; 6 290 0 0; 7 350 0 0;
8 400 0 0; 9 450 0 0; 10 0 -40 0; 11 50 -40 0; 12 100 -30 0; 13 160 -25 0;
14 225 -20 0; 15 290 -25 0; 16 350 -30 0; 17 400 -40 0; 18 450 -40 0;
19 0 0 90; 20 50 0 90; 21 100 0 90; 22 160 0 90; 23 225 0 90; 24 290 0 90;
25 350 0 90; 26 400 0 90; 27 450 0 90; 28 0 -40 90; 29 50 -40 90;
30 100 -30 90; 31 160 -25 90; 32 225 -20 90; 33 290 -25 90; 34 350 -30 90;
35 400 -40 90; 36 450 -40 90; 37 0 -20 45; 38 225 0 45; 39 225 -20 45;
40 450 -20 45;

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 1 10; 10 10 2;
11 2 11; 12 11 3; 13 3 12; 14 12 4; 15 4 13; 16 13 5; 17 5 14; 18 5 15;
19 15 6; 20 6 16; 21 16 7; 22 7 17; 23 17 8; 24 8 18; 25 18 9; 26 10 11;
27 11 12; 28 12 13; 29 13 14; 30 14 15; 31 15 16; 32 16 17; 33 17 18; 34 19 20;
35 20 21; 36 21 22; 37 22 23; 38 23 24; 39 24 25; 40 25 26; 41 26 27; 42 19 28;
43 28 20; 44 20 29; 45 29 21; 46 21 30; 47 30 22; 48 22 31; 49 31 23; 50 23 32;
51 23 33; 52 33 24; 53 24 34; 54 34 25; 55 25 35; 56 35 26; 57 26 36; 58 36 27;
59 28 29; 60 29 30; 61 30 31; 62 31 32; 63 32 33; 64 33 34; 65 34 35; 66 35 36;
67 1 37; 68 37 19; 69 10 37; 70 37 28; 71 10 28; 72 14 38; 73 38 32; 74 14 39;
75 39 32; 76 38 39; 77 9 40; 78 40 27; 79 18 40; 80 40 36; 81 18 36; 82 1 19;
83 2 20; 84 3 21; 85 4 22; 86 5 38; 87 38 23; 88 6 24; 89 7 25; 90 8 26;
91 9 27; 92 10 32; 93 28 14; 94 14 36; 95 32 18;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 95

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONNECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

1 TO 91 TABLE ST TUBE TH 0.2 WT 3 DT 6

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 95

SUPPORTS

10 28 PINNED

18 36 FIXED BUT FX MZ

SLAVE MZ MASTER 1 JOINT 1 TO 9 19 TO 27 38

LOAD 1 BBN. 0

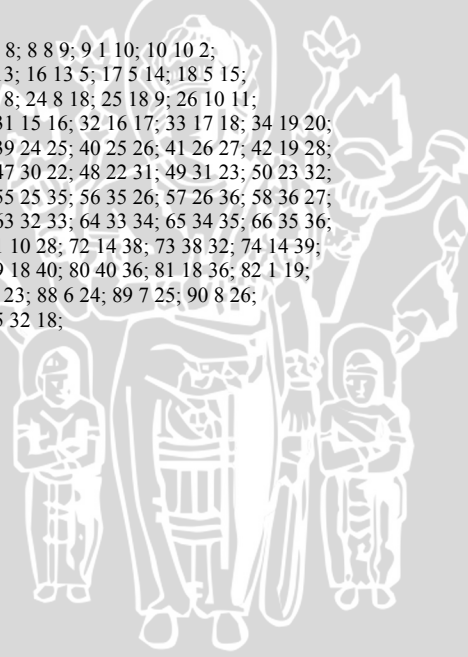
JOINT LOAD

10 28 FX 0.002

LOAD 2 BBN. 69

JOINT LOAD

38 FY -69



LOAD 3 BBN. 138
JOINT LOAD
38 FY -138
LOAD 4 BBN. 207
JOINT LOAD
38 FY -207
PERFORM ANALYSIS PRINT ALL
FINISH



B. Model jembatan rangka prategang

1. Akibat gaya prategang I

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Lulus P

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

1 0 0 0; 2 50 0 0; 3 100 0 0; 4 160 0 0; 5 225 0 0; 6 290 0 0; 7 350 0 0;
8 400 0 0; 9 450 0 0; 10 0 -40 0; 11 50 -40 0; 12 100 -30 0; 13 160 -25 0;
14 225 -20 0; 15 290 -25 0; 16 350 -30 0; 17 400 -40 0; 18 450 -40 0;
19 0 0 90; 20 50 0 90; 21 100 0 90; 22 160 0 90; 23 225 0 90; 24 290 0 90;
25 350 0 90; 26 400 0 90; 27 450 0 90; 28 0 -40 90; 29 50 -40 90;
30 100 -30 90; 31 160 -25 90; 32 225 -20 90; 33 290 -25 90; 34 350 -30 90;
35 400 -40 90; 36 450 -40 90; 37 0 -20 45; 38 225 0 45; 39 225 -20 45;
40 450 -20 45;

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 1 10; 10 10 2;
11 2 11; 12 11 3; 13 3 12; 14 12 4; 15 4 13; 16 13 5; 17 5 14; 18 5 15;
19 15 6; 20 6 16; 21 16 7; 22 7 17; 23 17 8; 24 8 18; 25 18 9; 26 10 11;
27 11 12; 28 12 13; 29 13 14; 30 14 15; 31 15 16; 32 16 17; 33 17 18; 34 19 20;
35 20 21; 36 21 22; 37 22 23; 38 23 24; 39 24 25; 40 25 26; 41 26 27; 42 19 28;
43 28 20; 44 20 29; 45 29 21; 46 21 30; 47 30 22; 48 22 31; 49 31 23; 50 23 32;
51 23 33; 52 33 24; 53 24 34; 54 34 25; 55 25 35; 56 35 26; 57 26 36; 58 36 27;
59 28 29; 60 29 30; 61 30 31; 62 31 32; 63 32 33; 64 33 34; 65 34 35; 66 35 36;
67 1 37; 68 37 19; 69 10 37; 70 37 28; 71 10 28; 72 14 38; 73 38 32; 74 14 39;
75 39 32; 76 38 39; 77 9 40; 78 40 27; 79 18 40; 80 40 36; 81 18 36; 82 1 19;
83 2 20; 84 3 21; 85 4 22; 86 5 38; 87 38 23; 88 6 24; 89 7 25; 90 8 26;
91 9 27; 92 10 32; 93 28 14; 94 14 36; 95 32 18; 96 28 36; 97 10 18;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

ISOTROPIC CABEL

E 2.09042e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 95

MATERIAL CABEL MEMB 96 97

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

1 TO 91 TABLE ST TUBE TH 0.2 WT 3 DT 6

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER PROPERTY AMERICAN

96 97 PRIS YD 0.5

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 97

SUPPORTS

10 28 PINNED

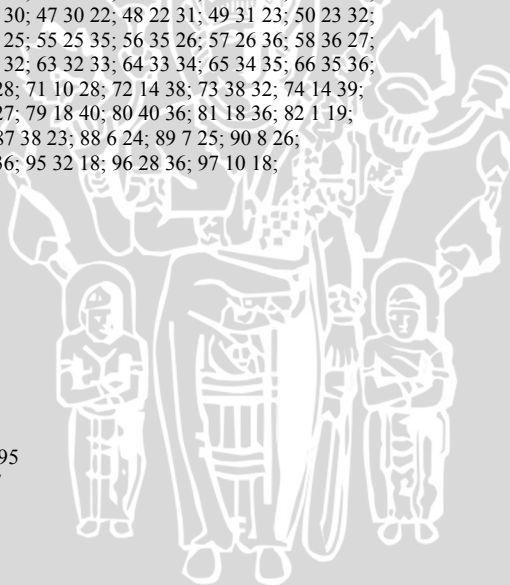
18 36 FIXED BUT FX MZ

MEMBER CABLE

96 97 TENSION 143.017

SLAVE MZ MASTER 1 JOINT 1 TO 9 19 TO 27 38

LOAD 1 BBN. 0



JOINT LOAD
10 28 FX 0.002
LOAD 2 BBN. 69
JOINT LOAD
38 FY -69
LOAD 3 BBN. 138
JOINT LOAD
38 FY -138
LOAD 4 BBN. 207
JOINT LOAD
38 FY -207
PERFORM ANALYSIS
PERFORM ANALYSIS PRINT ALL
FINISH



2. Akibat gaya prategang II

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Lulus P

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

1 0 0 0; 2 50 0 0; 3 100 0 0; 4 160 0 0; 5 225 0 0; 6 290 0 0; 7 350 0 0;
8 400 0 0; 9 450 0 0; 10 0 -40 0; 11 50 -40 0; 12 100 -30 0; 13 160 -25 0;
14 225 -20 0; 15 290 -25 0; 16 350 -30 0; 17 400 -40 0; 18 450 -40 0;
19 0 0 90; 20 50 0 90; 21 100 0 90; 22 160 0 90; 23 225 0 90; 24 290 0 90;
25 350 0 90; 26 400 0 90; 27 450 0 90; 28 0 -40 90; 29 50 -40 90;
30 100 -30 90; 31 160 -25 90; 32 225 -20 90; 33 290 -25 90; 34 350 -30 90;
35 400 -40 90; 36 450 -40 90; 37 0 -20 45; 38 225 0 45; 39 225 -20 45;
40 450 -20 45;

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 1 10; 10 10 2;
11 2 11; 12 11 3; 13 3 12; 14 12 4; 15 4 13; 16 13 5; 17 5 14; 18 5 15;
19 15 6; 20 6 16; 21 16 7; 22 7 17; 23 17 8; 24 8 18; 25 18 9; 26 10 11;
27 11 12; 28 12 13; 29 13 14; 30 14 15; 31 15 16; 32 16 17; 33 17 18; 34 19 20;
35 20 21; 36 21 22; 37 22 23; 38 23 24; 39 24 25; 40 25 26; 41 26 27; 42 19 28;
43 28 20; 44 20 29; 45 29 21; 46 21 30; 47 30 22; 48 22 31; 49 31 23; 50 23 32;
51 23 33; 52 33 24; 53 24 34; 54 34 25; 55 25 35; 56 35 26; 57 26 36; 58 36 27;
59 28 29; 60 29 30; 61 30 31; 62 31 32; 63 32 33; 64 33 34; 65 34 35; 66 35 36;
67 1 37; 68 37 19; 69 10 37; 70 37 28; 71 10 28; 72 14 38; 73 38 32; 74 14 39;
75 39 32; 76 38 39; 77 9 40; 78 40 27; 79 18 40; 80 40 36; 81 18 36; 82 1 19;
83 2 20; 84 3 21; 85 4 22; 86 5 38; 87 38 23; 88 6 24; 89 7 25; 90 8 26;
91 9 27; 92 10 32; 93 28 14; 94 14 36; 95 32 18; 96 28 36; 97 10 18;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

ISOTROPIC CABEL

E 2.09042e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 95

MATERIAL CABEL MEMB 96 97

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

1 TO 91 TABLE ST TUBE TH 0.2 WT 3 DT 6

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER PROPERTY AMERICAN

96 97 PRIS YD 0.5

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 97

SUPPORTS

10 28 PINNED

18 36 FIXED BUT FX MZ

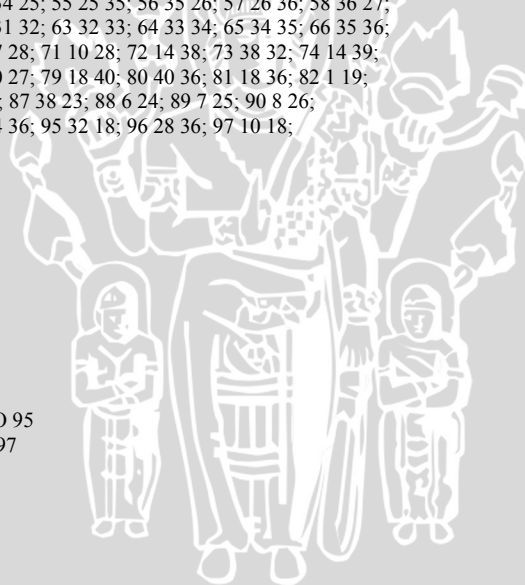
MEMBER CABLE

96 97 TENSION 286.322

SLAVE MZ MASTER 1 JOINT 1 TO 9 19 TO 27 38

LOAD 1 BBN. 0

JOINT LOAD



10 28 FX 0.002
LOAD 2 BBN. 69
JOINT LOAD
38 FY -69
LOAD 3 BBN. 138
JOINT LOAD
38 FY -138
LOAD 4 BBN. 207
JOINT LOAD
38 FY -207
PERFORM ANALYSIS
PERFORM ANALYSIS PRINT ALL
FINISH



3. Akibat gaya prategang III

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Lulus P

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

1 0 0 0; 2 50 0 0; 3 100 0 0; 4 160 0 0; 5 225 0 0; 6 290 0 0; 7 350 0 0;
8 400 0 0; 9 450 0 0; 10 0 -40 0; 11 50 -40 0; 12 100 -30 0; 13 160 -25 0;
14 225 -20 0; 15 290 -25 0; 16 350 -30 0; 17 400 -40 0; 18 450 -40 0;
19 0 0 90; 20 50 0 90; 21 100 0 90; 22 160 0 90; 23 225 0 90; 24 290 0 90;
25 350 0 90; 26 400 0 90; 27 450 0 90; 28 0 -40 90; 29 50 -40 90;
30 100 -30 90; 31 160 -25 90; 32 225 -20 90; 33 290 -25 90; 34 350 -30 90;
35 400 -40 90; 36 450 -40 90; 37 0 -20 45; 38 225 0 45; 39 225 -20 45;
40 450 -20 45;

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 1 10; 10 10 2;
11 2 11; 12 11 3; 13 3 12; 14 12 4; 15 4 13; 16 13 5; 17 5 14; 18 5 15;
19 15 6; 20 6 16; 21 16 7; 22 7 17; 23 17 8; 24 8 18; 25 18 9; 26 10 11;
27 11 12; 28 12 13; 29 13 14; 30 14 15; 31 15 16; 32 16 17; 33 17 18; 34 19 20;
35 20 21; 36 21 22; 37 22 23; 38 23 24; 39 24 25; 40 25 26; 41 26 27; 42 19 28;
43 28 20; 44 20 29; 45 29 21; 46 21 30; 47 30 22; 48 22 31; 49 31 23; 50 23 32;
51 23 33; 52 33 24; 53 24 34; 54 34 25; 55 25 35; 56 35 26; 57 26 36; 58 36 27;
59 28 29; 60 29 30; 61 30 31; 62 31 32; 63 32 33; 64 33 34; 65 34 35; 66 35 36;
67 1 37; 68 37 19; 69 10 37; 70 37 28; 71 10 28; 72 14 38; 73 38 32; 74 14 39;
75 39 32; 76 38 39; 77 9 40; 78 40 27; 79 18 40; 80 40 36; 81 18 36; 82 1 19;
83 2 20; 84 3 21; 85 4 22; 86 5 38; 87 38 23; 88 6 24; 89 7 25; 90 8 26;
91 9 27; 92 10 32; 93 28 14; 94 14 36; 95 32 18; 96 28 36; 97 10 18;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

ISOTROPIC CABEL

E 2.09042e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 95

MATERIAL CABEL MEMB 96 97

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

1 TO 91 TABLE ST TUBE TH 0.2 WT 3 DT 6

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER PROPERTY AMERICAN

96 97 PRIS YD 0.5

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 97

SUPPORTS

10 28 PINNED

18 36 FIXED BUT FX MZ

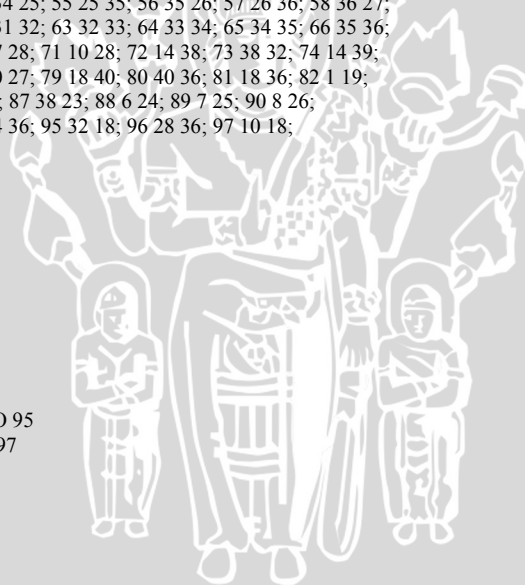
MEMBER CABLE

96 97 TENSION 429.526

SLAVE MZ MASTER 1 JOINT 1 TO 9 19 TO 27 38

LOAD 1 BBN. 0

JOINT LOAD



10 28 FX 0.002
LOAD 2 BBN. 69
JOINT LOAD
38 FY -69
LOAD 3 BBN. 138
JOINT LOAD
38 FY -138
LOAD 4 BBN. 207
JOINT LOAD
38 FY -207
PERFORM ANALYSIS
PERFORM ANALYSIS PRINT ALL
FINISH





Gambar Model jembatan rangka prategang



Gambar tumpuan sendi



Gambar tumpuan rol



Gambar pemasangan profing ring



Gambar pemasangan dialgauge



Gambar pemasangan strain gauge



Gambar pemasangan loadcell



Gambar strainmeter (kiri bawah), loadmeter (kanan bawah), Paralel conector (atas)