

ABSTRAK

MANSUR AKHIRRUDIN, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2007, *Persentase Penurunan Lendutan Model Jembatan Rangka Baja Akibat Penggunaan Kabel Prategang Eksternal Tipe Segitiga*, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MT. dan Ir. Sugeng P. Budio, MS.

Perkembangan dunia konstruksi jembatan telah berhasil mengembangkan perencanaan jembatan rangka baja prategang. Konsep dasarnya adalah dengan memberikan tegangan awal pada struktur rangka jembatan. Perencanaan jembatan rangka baja prategang mampu menghemat jumlah struktur baja yang dibutuhkan, selain itu dapat juga digunakan sebagai alternatif peningkatan kekuatan struktur jembatan. Salah satu indikasi adanya peningkatan kekuatan struktur jembatan dapat ditinjau dari penurunan lendutan yang terjadi.

Penambahan kabel prategang pada struktur rangka jembatan digunakan untuk menghasilkan gaya prategang melalui proses *jacking* kabel. Gaya prategang ini digunakan untuk melawan lendutan akibat beban luar yang bekerja pada jembatan. Pada penelitian ini kabel prategang eksternal tipe segitiga akan digunakan pada model jembatan rangka baja dan diuji untuk mengetahui penurunan lendutannya. Model jembatan yang diuji adalah model jembatan rangka baja semi parabol tipe N tebalik dengan penambahan baja sling diameter 5 mm sebagai kabel prategang.

Pengujian beban dilakukan terhadap model jembatan rangka tanpa prategang maupun terhadap model jembatan rangka dengan prategang. Beban uji berupa beban terpusat di tengah bentang model jembatan dengan variasi beban yang sama untuk kedua model jembatan, yaitu 0, 69 kg, 138 kg, dan 207 kg. Besarnya beban uji dan gaya prategang maksimum yang diberikan masih menyebabkan kondisi elastis pada model jembatan. Lendutan hasil pengujian kedua model jembatan dianalisis untuk mengetahui persentase penurunan lendutan akibat penggunaan kabel prategang.

Berdasarkan hasil pengujian, lendutan maksimum pada model jembatan rangka tanpa prategang sebesar 2,050 mm ke bawah, sedangkan pada model jembatan rangka dengan prategang sebesar 1,390 mm ke bawah. Dari hasil tersebut didapatkan persentase penurunan lendutan maksimum akibat penggunaan kabel prategang eksternal tipe segitiga sebesar 32,195 % dari lendutan maksimum model jembatan rangka tanpa prategang sedangkan penurunan lendutan maksimum rata-ratanya sebesar 8,739 %.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam perkembangan kehidupan manusia, transportasi merupakan denyut nadi bagi pergerakan kegiatan manusia. Dimana sarana transportasi membutuhkan sebuah kesinambungan dalam rangka kelangsungan kegunaannya. Namun ada kalanya terjadi hambatan-hambatan yang menghalangi alur transportasi, sehingga akan sangat mempengaruhi kelancaran dari kegiatan manusia itu sendiri. Sebagai contoh adanya dua wilayah yang terpisah oleh sungai, solusi untuk mengatasi hambatan tersebut adalah dengan pembangunan jembatan. Jembatan dewasa ini tidak hanya berfungsi sebagai penghubung wilayah yang dipisahkan oleh keadaan topografi seperti sungai, jurang, lembah, tetapi juga telah dibangun jembatan yang melintasi daerah pemukiman dalam bentuk jembatan layang.

Struktur jembatan secara umum terdiri dari dua komponen, yaitu struktur atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*). Struktur atas secara umum merupakan bagian jembatan yang terletak diatas tumpuan jembatan, seperti lantai kendaraan, gelagar, rangka, dan ikatan pengaku. Struktur bawah merupakan bagian jembatan yang menyokong struktur atas jembatan, berupa tumpuan jembatan, abutmen, dan pilar jembatan (Narendra Taly, 1998).

Tipe jembatan dapat diklasifikasikan berdasar bebarapa karakteristik, diantaranya berdasarkan material konstruksi, berdasarkan bentuk struktur, dan berdasarkan panjang bentangnya. Berdasarkan material konstruksinya, jembatan dapat diidentifikasi dari material apa struktur atas jembatan tersebut terbuat. Beberapa material yang digunakan untuk struktur atas jembatan, yaitu baja, beton, kayu, alumunium, dan material komposit.

Baja sebagai material konstruksi jembatan tetap merupakan pilihan utama bagi para perancang dewasa ini. Pertimbangannya antara lain pelaksanaan yang relatif cepat, sifat elastik dan fatik yang baik dalam memikul beban berubah atau bolak-balik, berat sendiri yang relatif ringan, serta perkembangan pemakaian baja mutu tinggi dewasa ini juga memperluas pemakaian baja untuk jembatan dengan skala besar (Sri Murni Dewi, 1997).

Jembatan rangka baja merupakan salah satu bentuk struktur jembatan yang paling umum digunakan. Dinamakan jembatan rangka dikarenakan struktur atas jembatan terdiri dari elemen struktur rangka batang yang disambung pada titik-titik buhul (*joint*). Titik-titik buhul tersebut berupa engsel atau yang dianggap engsel baik melalaui pelat buhul maupun secara langsung. Dalam jembatan rangka gaya-gaya luar bekerja hanya pada titik-titik buhul, yang kemudian akan didistribusikan ke tumpuan melalui elemen batang yang berupa gaya aksial tarik atau tekan saja.

Penghematan material pada jembatan rangka baja dapat dilakukan dengan cara mengurangi besarnya lendutan yang terjadi akibat beban luar yang bekerja pada jembatan. Penggunaan kabel prategang adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi besarnya lendutan pada jembatan rangka. Gaya prategang yang terjadi akibat penggunaan kebel prategang memiliki arah yang berkebalikan dengan gaya-gaya luar yang bekerja.

Berdasarkan pemikiran tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan kabel prategang terhadap lendutan pada jembatan rangka baja. Penelitian dilakukan dengan membuat model jembatan rangka baja dengan penambahan kabel prategang eksternal tipe segitiga.

1.2 Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini, dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dan pengujian model jembatan dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.
2. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perilaku model jembatan dalam menerima beban.
3. Desain model jembatan yang dibuat adalah desain struktur jembatan bagian atas tanpa rantai kendaraan dan dengan penambahan kabel prategang.
4. Model jembatan ditumpu oleh tumpuan sendi-rol.
5. Pemberian beban uji tidak melebihi batas elastis elemen-elemen baja model jembatan.
6. Beban uji berupa beban terpusat yang diletakkan di tengah bentang model jembatan.
7. Tidak membahas beban maksimum yang dapat ditahan oleh model jembatan.

8. Sambungan dianggap sangat kuat sehingga mampu menerima gaya yang diakibatkan pemberian gaya prategang dan beban luar yang diberikan.
9. Besarnya gaya prategang yang diberikan pada setiap pengujian sebanding dengan beban uji yang diberikan.
10. Pengaruh kehilangan gaya prategang diabaikan.
11. Analisis komputer menggunakan program *STAADPro 2004* 3 dimensi.
12. Tidak membahas korosi yang terjadi pada material baja.
13. Tidak membahas efek dari perubahan temperatur.
14. Tidak membahas analisa ekonomi yang terjadi.
15. Semua material yang digunakan tersedia ditoko-toko bangunan di lingkup kota Malang.

1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah:

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

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan skripsi ini adalah:

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

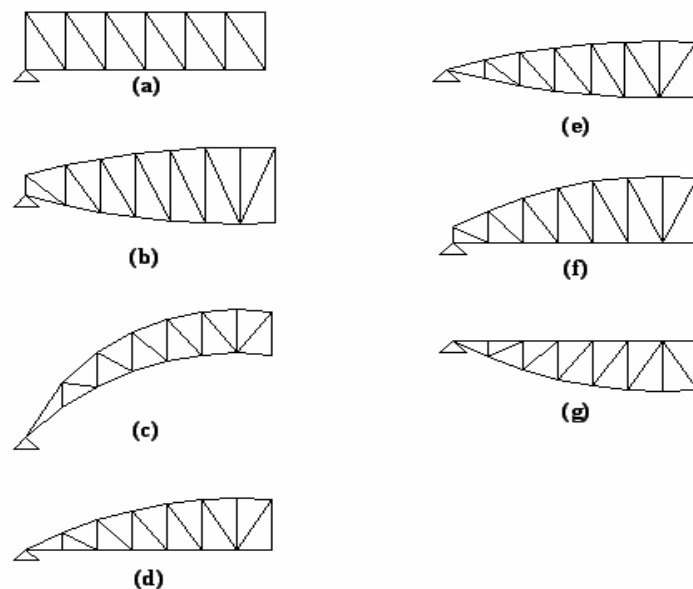
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dewasa ini terdapat konsep baru dalam perencanaan jembatan yaitu jembatan rangka baja prategang. Konsep dasar dari perencanaan jembatan rangka baja prategang adalah dengan memberikan tegangan awal pada struktur jembatan. Pertimbangan dalam menggunakan struktur jembatan rangka baja prategang yaitu dengan memberikan gaya prategang dapat menghemat jumlah struktur baja yang diperlukan, selain itu dapat digunakan sebagai alternatif peningkatan kekuatan struktur jembatan yang sudah ada tanpa perlu adanya rekonstruksi struktur jembatan (Troitsky, 1990).

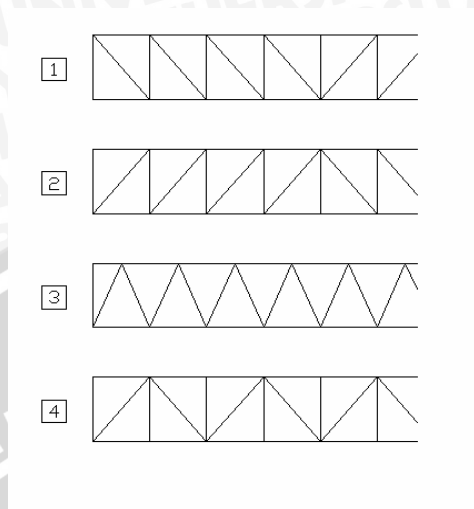
2.2 Jembatan Rangka Batang

Struktur utama dari jembatan rangka baja prategang adalah struktur rangka batang. Struktur jembatan rangka batang dapat dibuat dengan tinggi yang sama atau dengan tinggi yang bervariasi sepanjang bentang. Pembagian jenis struktur jembatan rangka batang berdasar bentuk tepinya dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1. Jenis-jenis rangka: (a) Paralel, (b) Lensa, (c) Sabit, (d) Parabol, (e) Parabol Rangkap, (f) Semi Parabol, (g) Perut Ikan
(Sumber: Soemono, 1979 : 42)

Untuk jenis struktur rangka batang paralel sendiri dapat dibagi dalam empat tipe berdasar bentuk rangka didalamnya (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Tipe rangka: (1) Rangka N, (2) Rangka N terbalik, (3) Rangka V, (4) Rangka V dengan batang vertikal (Sumber: Soemono, 1979 : 42)

Struktur model jembatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur rangka semi parabol tipe N terbalik. Dengan permukaan yang melengkung adalah permukaan bagian bawah, sedangkan permukaan bagian atas berbentuk datar. Tinggi dari struktur jembatan rangka batang tergantung dari distribusi beban dan kekakuan yang dikehendaki. Semakin tinggi rangkanya, maka semakin besar kekakuan jembatan yang didapat. Hal ini kurang menguntungkan bila ditinjau dari segi ekonomisnya. Pada penelitian ini ketinggian permukaan bawah struktur model jembatan yang digunakan semakin mengecil di tengah bentang sehingga lebih ekonomis.

2.3 Gaya Batang dan Tegangan Pada Elemen Batang

Gaya batang merupakan gaya dalam yang terjadi pada elemen-elemen batang suatu struktur rangka akibat beban luar yang bekerja. Mekanisme gaya dalam yang terjadi pada struktur rangka batang adalah gaya tarik atau gaya tekan. Besarnya gaya batang yang terjadi dapat dicari dengan Persamaan (2-3).

Tegangan merupakan gaya aksial (tarik/tekan) yang beraksi di dalam komponen apabila dibagi dengan luas penampang lintang di mana aksi bekerja (Istimawan, 2001). Besarnya tegangan pada batang yang mengalami gaya aksial dapat dihitung dengan Persamaan (2-1).

$$f = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

Hukum Hook menyatakan bahwa modulus elastisitas:

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

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

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

Sehingga besarnya gaya aksial batang yang terjadi adalah:

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

dengan:

f = tegangan normal (kg/cm^2)

P = gaya aksial batang (kg)

A = luas penampang (cm^2)

E = modulus elastisitas (kg/cm^2)

ε = regangan

Berdasarkan **SNI 03-1729-2002** kuat tekan nominal untuk komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor harus memenuhi persyaratan berikut.

$$P_u \leq \phi_c P_n \quad (2-4)$$

Kuat tekan nominal komponen struktur dihitung sebagai berikut.

$$P_n = A_g \cdot f_{cr} \quad (2-5)$$

Sedangkan untuk tegangan kritis dapat dihitung dengan Persamaan (2-6) berikut.

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad (2-6)$$

Nilai faktor tekuk (ω) diperoleh dari besarnya parameter kelangsingan kolom (λ_c) sebagai berikut.

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2-7)$$

dengan:

L_k = panjang tekuk (cm) = $k_c L$

r = jari-jari girasi (cm) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$



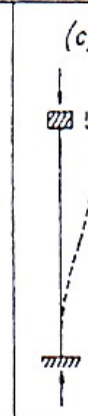
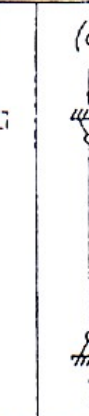
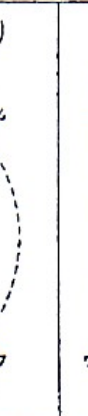






Untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1$ (2-8.a)

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$ (2-8.b)

Untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25\lambda_c^2$ (2-8.c)

Nilai faktor panjang tekuk (k_c) untuk kolom dengan ujung-ujung ideal dapat ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Nilai panjang tekuk (L_k) untuk kolom dengan ujung-ujung ideal

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk						
Nilai k_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai k_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung	 <ul style="list-style-type: none">  Jepit  Sendi  Roll tanpa putaran sudut  Ujung bebas 					

Sumber: SNI 03-1729-2002 : 15

2.4 Lendutan

2.4.1 Konsep Dasar Lendutan

Lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur jembatan. Dampak psikologis bagi para pengguna jalan akibat lendutan yang berlebihan juga perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur jembatan. Besarnya lendutan maksimum yang diizinkan seharusnya proporsional dengan bentang jembatan yang bersangkutan. Pada peraturan BMS (*Bridge Management System*) disyaratkan lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi $L/800$ (BMS, 1992 : 6-18).

2.4.2 Lendutan Struktur Rangka Batang

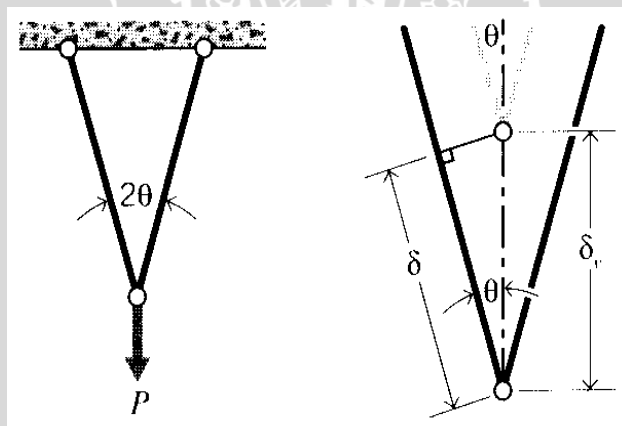
Lendutan pada struktur rangka batang merupakan deformasi total elemen batang pada titik pertemuannya akibat gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut. Deformasi yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (2-13) berikut.

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2-9)$$

Dalam dua buah elemen rangka batang simetris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut, titik pertemuan batang-batang akan berpindah menuju ke bawah secara vertikal. Hubungan antara deformasi aksial (δ) dari elemen dan lendutan vertikal dari titik buhul (δ_v) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\delta_v = \frac{\delta}{\cos \theta} \quad (2-10)$$

Dalam kasus Gambar 2.3 besarnya sudut θ tidak berubah meskipun beban telah diberikan. Dari persamaan diatas deformasi yang terjadi dianggap sangat kecil sehingga geometris rangka tidak berubah.



Gambar 2.3. Lendutan 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 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, tetapi jika lendutan yang terjadi kecil pola tersebut dapat diperkirakan dari sebuah hubungan pitagoras.

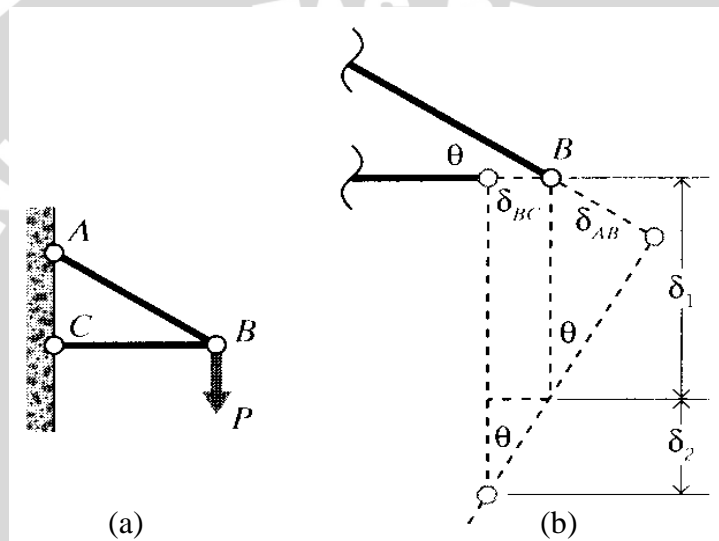
Dalam elemen rangka batang pada Gambar 2.4(a), jika sendi pada titik B dihilangkan, lendutan elemen akan menjadi:

$$\delta_{AB} = \frac{P}{\sin \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{AB} \quad (\text{tarik}) \quad (2-11)$$

$$\delta_{BC} = \frac{P}{\tan \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{BC} \quad (\text{tekan}) \quad (2-12)$$

Maka total lendutan ke bawah pada titik B menjadi (Gambar 2.4(b)):

$$\delta_v = \delta_1 + \delta_2 = \frac{\delta_{SB}}{\sin \theta} + \frac{\delta_{BC}}{\tan \theta} = \frac{P}{\sin^2 \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{AB} + \frac{P}{\tan^2 \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{BC} \quad (2-13)$$



Gambar 2.4. (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.

$$\delta_k = \delta_{BC} = \frac{P}{\tan \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{BC} \quad (2-14)$$

2.5 Prategang

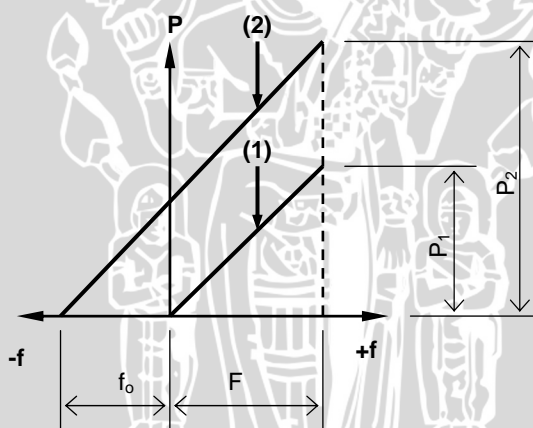
2.5.1 Pengertian Dasar Prategang

Prategang merupakan suatu sistem pemberian dan pendistribusian tegangan pada penampang melintang elemen struktur untuk meningkatkan kekuatan struktur tersebut. Pada beton prategang, pemberian gaya prategang bertujuan agar tegangan tekan pada seluruh penampang beton menjadi sangat dominan atau bahkan tidak menyebabkan

tegangan tarik pada penampang beton. Sedangkan pada penampang melintang baja prategang, akibat beban yang bekerja akan mengakibatkan gaya tarik dan gaya tekan. Reaksi dari penampang melintang struktur baja lebih besar dari pada struktur beton, sehingga struktur baja prategang lebih ekonomis dibanding dengan struktur beton prategang (Troitsky, 1990).

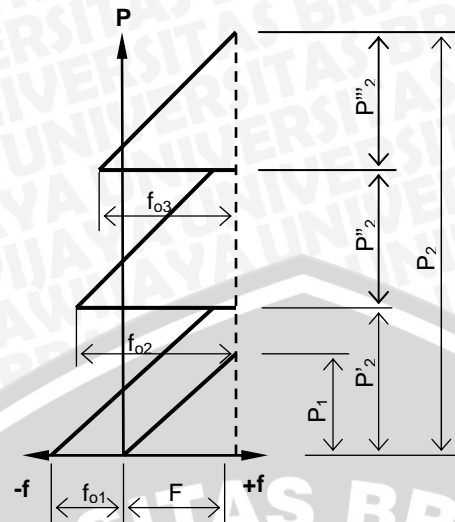
2.5.2 Konsep Dasar Prategang

Dalam struktur ataupun elemen baja prategang, tegangan terjadi akibat dibuat dan secara umum melawan tegangan yang terjadi akibat pembebanan. Ketika dalam sebuah struktur terdapat prategang f_o dengan tegangan yang berlawanan akibat reaksi dari pembebanan, maka regangan dari kerja elastis material akan meningkat sehingga tegangan awal f_o tercipta (Gambar 2.5(2)). Ketika sebuah beban P diberikan untuk menimbulkan tegangan pada batang hingga mencapai nilai tegangan yang diijinkan (F), maka gaya tarik pada batang yang diberi prategang nilainya lebih besar dari pada batang tanpa diberi prategang (Gambar 2.5(1)).



Gambar 2.5. Diagram kerja batang: (1) tanpa prategang, (2) dengan prategang (Sumber: Troitsky, 1990 : 9)

Kemungkinan untuk meningkatkan kapasitas pelayanan yang lebih dapat dilakukan dengan menerapkan prategang bertahap (Gambar 2.6). Akibat beban P_1 terjadi tegangan awal f_{o1} pada batang hingga nilai batas F diperoleh. Dalam siklus selanjutnya, tegangan awal f_{o2} diberikan untuk menurunkan tegangan akibat beban P'_2 . Setelah beberapa siklus serupa, jumlah dari beban ($\sum P'_2$) lebih besar dari beban P_1 yang dapat ditahan oleh struktur tanpa adanya prategang.



Gambar 2.6. Diagram kerja batang dengan prategang bertahap
(Sumber: Troitsky, 1990: 9)

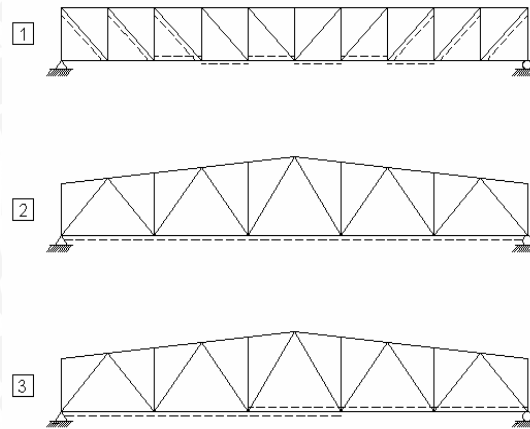
2.5.3 Prategang Pada Rangka Batang

Efektifitas dari prategang rangka batang tergantung dari desain rangkanya. Prategang rangka batang dapat dibagi menjadi dua tipe dasar, yaitu:

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

Pada rangka baja yang memiliki gaya batang tarik akibat pembebanan, maka kabel dipasang sepanjang batang untuk memberi gaya tekan (Gambar 2.7). Pemberian prategang pada metode ini dilakukan pada saat pelaksanaan fabrikasi atau selama proses pemasangan di tempat konstruksi. Prategang jenis ini jauh lebih rumit dalam desain dan membutuhkan jangkar kabel yang lebih banyak, sehingga lebih efektif diterapkan pada jembatan bentang panjang. Penghematan baja dapat mencapai 10-15% (Troitsky, 1990).



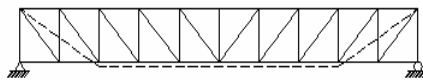
Gambar 2.7. Tipe pemasangan kabel prategang pada batang: (1) Prategang pada batang-batang tarik rangka, (2) Prategang sepanjang bentang rangka, (3) Dua atau lebih prategang sepanjang bentang rangka
(Sumber: Troitsky, 1990 : 269)

2.5.3.2 Prategang Pada Struktur Rangka Batang

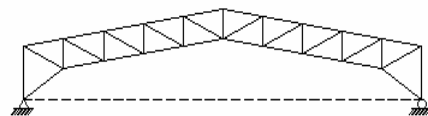
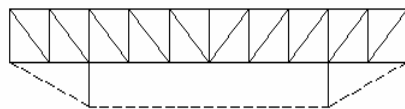
Prategang metode ini memberikan kemungkinan yang lebih luas dalam hal konfigurasi dan skema penempatan kabel dibandingkan dengan metode prategang pada elemen batang. Ada dua cara dalam pemasangan kabel prategang pada metode ini.

1. Pemasangan kabel prategang poligonal

Kabel diletakkan sepanjang bentang tarik dan dibentangkan melalui beberapa panel (Gambar 2.8). Dalam hal ini kabel menyebabkan prategang disepanjang panel tersebut. Penghematan baja dapat mencapai 10-15%.



Gambar 2.8. Rangka dengan kabel poligonal
(Sumber: Troitsky, 1990 : 268)



Gambar 2.9. Rangka dengan kabel eksternal (*externally located tendons*)
(Sumber: Troitsky, 1990 : 268)

2. Pemasangan kabel prategang eksternal

Kabel diletakkan di luar dari rangka batang (Gambar 2.9), namun kabel prategang eksternal tidak selalu dapat digunakan perlu mempertimbangkan kondisi desain dan konfigurasi rangka batang. Penghematan baja dapat mencapai 25-30%.

2.6 Dalil *Betti* dan Dalil 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. Dalil *Betti* merupakan penurunan dari hukum kekekalan energi tersebut dan diterapkan pada struktur linier. Pada perhitungan perpindahan akibat pemberian gaya pada struktur-struktur elastis, dalil *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 (Ghali, 1986).

$$\sum_{i=n}^n F_i D_{iQ} = \sum_{i=n+1}^m Q_i D_{iF} \quad (2-15)$$

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 koordinat j , maka dengan menerapkan persamaan (2-15), didapatkan:

$$D_{iQ} = D_{jF} \quad (2-16)$$

atau

$$f_{ij} = f_{ji} \quad (2-17)$$

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)

$i = 1, 2, \dots, n.$

$j = n + 1, n + 2, \dots, m.$

Persamaan (2-17) di atas merupakan Dalil Timbal Balik *Maxwell* yang menyatakan bahwa pada struktur elastis linier, perpindahan di koordinat i akibat gaya satu satuan di koordinat j , sama dengan perpindahan di j akibat gaya satu satuan yang bekerja di i (Ghali, 1986). Secara sederhana dapat diartikan bahwa pada suatu struktur dalam kondisi elastis besarnya perpindahan yang terjadi sebanding dengan besarnya gaya yang menyebabkan perpindahan tersebut sesuai dengan Persamaan (2-18) berikut.

$$\frac{D_{1F}}{F_1} = \frac{D_{2F}}{F_2} = \dots = \frac{D_{iF}}{F_i} \quad (2-18)$$

Persamaan (2-15) dan (2-16) menunjukkan bahwa Dalil *Betti* merupakan hasil superposisi Dalil 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 (Ghali, 1986).

2.7 Desain dan Analisis Model Jembatan

2.7.1 Desain Model Jembatan

Pembuatan *engineering model* pada dasarnya adalah membuat duplikat dari suatu produk tertentu yang menunjukkan kinerja yang sama dengan produk aktualnya, yang disebut purwarupa (*prototype*) yang sedang didesain atau dikonstruksi.

Model harus memenuhi syarat akurasi sifat-sifat model dan ketahanan dalam lingkungan pengujian. Dalam pengujian, beberapa syarat yang perlu diperhatikan adalah syarat akurasi presisi dengan mengusahakan untuk tetap mempertahankan rasio geometris yang telah direncanakan dalam semua arah koordinat, kontrukabilitas yang mudah, dan kemampuan model mempertahankan bentuknya.

Untuk mendisain jembatan rangka prategang diperlukan bahan struktur utama maupun alat-alat pendukung lainnya, agar fungsi dari model tersebut dalam pengujian dapat bekerja semestinya. Dalam penelitian ini bahan struktur utama dan alat-alat pendukung yang digunakan dibagi dalam tiga kelompok sebagai berikut.

a. Struktur Utama

Struktur utama adalah struktur yang menjadi objek penelitian, dalam hal ini adalah model jembatan itu sendiri. Komponen utama penyusun model jembatan yaitu rangka baja dan kabel prategang. Dimensi rangka baja yang dibuat yaitu 450×90×40 cm, sedangkan kabel prategang yang digunakan adalah baja sling dengan diameter 5 mm.

b. Pendukung Struktur

Yang dimaksud pendukung struktur dalam model jembatan adalah semua bahan-bahan yang digunakan untuk membantu pemasangan kabel pada rangka jembatan, misalnya klem kabel, baut, mur, jarum pengeras, laker, dan lain-lain.

c. Detail Struktur (asesoris)

Detail atau asesoris model jembatan merupakan alat-alat yang dapat digunakan untuk pengujian model baik secara langsung maupun tak langsung. Secara langsung maksudnya digunakan langsung pada benda uji, misalnya *load cell*, *profing ring*, dan tumpuan sendi-rol. Secara tak langsung artinya alat-alat yang digunakan sebagai pelengkap model atau untuk menempatkan pengukuran benda uji, misalnya balok beton sebagai tempat tumpuan dan lain sebagainya.

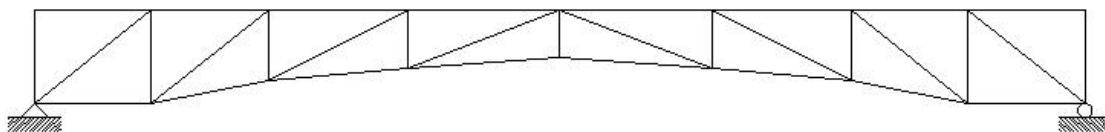
2.7.2 Pengujian Dengan Variasi Pembebanan

Sistem perlakuan terhadap model struktur yang diuji akan mempengaruhi keakuratan hasil penelitian. Jumlah variasi pengujian merupakan salah satu faktor untuk memperoleh keakuratan data. Oleh karena itu pada pengujian ini terdapat tiga variasi pembebanan dengan harapan hasil yang diperoleh akan lebih akurat.

Beban uji dalam penelitian ini berupa beban terpusat pada bagian tengah bentang model jembatan. Beban terpusat adalah beban yang bertitik tangkap di sebuah titik. Besarnya variasi pembebanan yang diberikan lebih kecil dari beban ijin yang mengakibatkan elemen-elemen batang terlemah masih berada dalam kondisi elastis linier. Selain itu variasi pembebanan juga dibatasi oleh besarnya lendutan ijin, sehingga lendutan yang terjadi tidak melebihi lendutan ijin jembatan rangka batang.

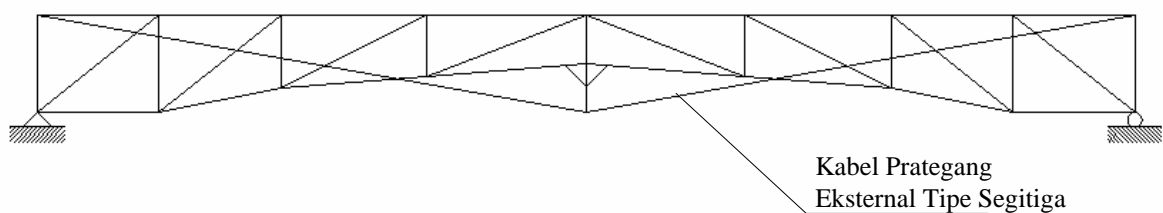
2.7.3 Analisis Model Jembatan

Rangka pada jembatan secara umum dapat berperan sebagai pengaku atau struktur utama. Dalam jembatan rangka prategang, rangka merupakan struktur utama yang digunakan untuk menahan sebagian berat sendiri dan beban luar yang diterima jembatan. Beban-beban tersebut didistribusikan ke titik-titik buhul yang kemudian ditahan oleh tumpuan. Bentuk rangka yang digunakan sebagai model dalam penelitian ini adalah model jembatan rangka semi parabol tipe N terbalik seperti pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10. Rangka semi parabol tipe N terbalik

Gaya prategang berfungsi untuk melawan lendutan akibat beban yang bekerja, maka arah lendutan yang diakibatkan oleh gaya prategang adalah ke atas. Pada kasus kabel prategang tipe segitiga, kabel prategang diletakkan pada titik buhul yang terletak di ujung-ujung bagian atas rangka melintang sisi luar. Untuk menghasilkan konfigurasi segitiga, pada tengah bentang digunakan elemen tambahan untuk memasang laker (Gambar 2.11). Pada saat proses *jacking* pada kabel dilakukan, mengakibatkan batang-batang pada bagian bawah akan mengalami tekan sedangkan batang-batang pada bagian atas akan mengalami tarik. Kondisi tersebut menyebabkan model jembatan mengalami lendutan ke atas.

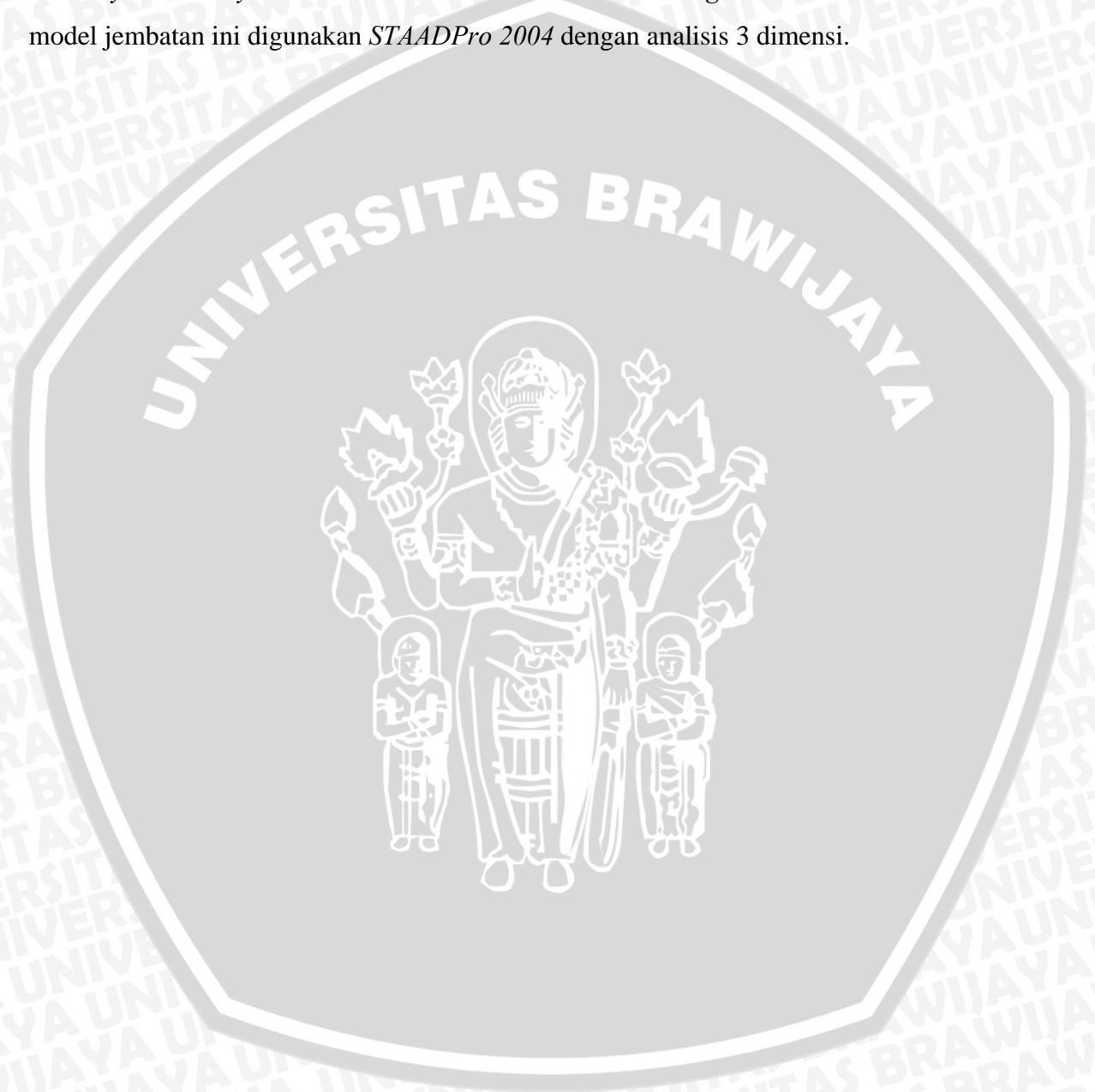


Gambar 2.11. Letak kabel prategang eksternal tipe segitiga

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

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

Analisis model jembatan rangka baja akan lebih mendekati kondisi riil di lapangan apabila dianalisis sebagai struktur ruang (3 dimensi). Untuk mendapatkan hasil perhitungan yang tepat dengan menggunakan analisis 3 dimensi tidak mudah apabila dilakukan tanpa bantuan program komputer. Paket program dalam bidang analisis struktur (*structural analysis software*) diantaranya adalah *SAP* yang dibuat oleh *Berkeley University Inc.* dan *STAADPro* oleh *Research Engineers Inc.* Pada analisis model jembatan ini digunakan *STAADPro 2004* dengan analisis 3 dimensi.



BAB III METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan dan pengujian model jembatan rangka baja 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:

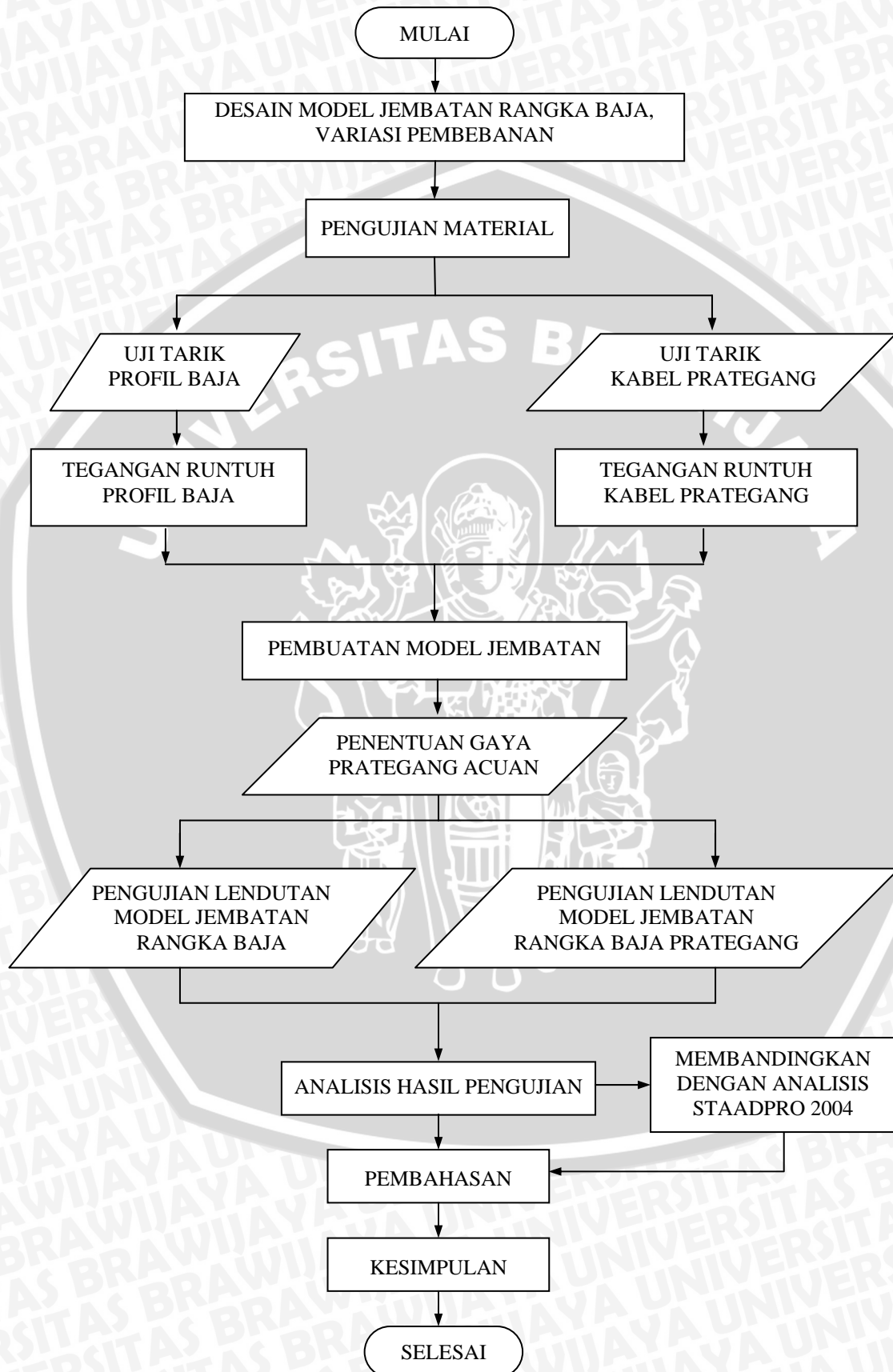
- *Waterpass*
- Alat pengukur peningkatan beban (*loadcell*) kapasitas 10 kN dan 20 kN
- Alat penghasil tekanan (*hydraulic jack*)
- Alat pengukur peningkatan beban (*profing ring*) dengan kapasitas 5 ton
- Alat Pengukur regangan (*strain gauge*)
- Alat pengukur lendutan (*dial gauge*)
- Portal uji (*loading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

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Model jembatan rangka semi parabol tipe N terbalik
 - Profil = *hollow tube*
 - Panjang = 4,5 m
 - Lebar = 0,9 m
 - Tinggi = 0,4 m
 - $E = 1161666,67 \text{ kg/cm}^2$
 - $f_y = 2604,167 \text{ kg/cm}^2$
- Baja sling sebagai kabel prategang dengan diameter 5 mm.

3.3 Rencana Penelitian

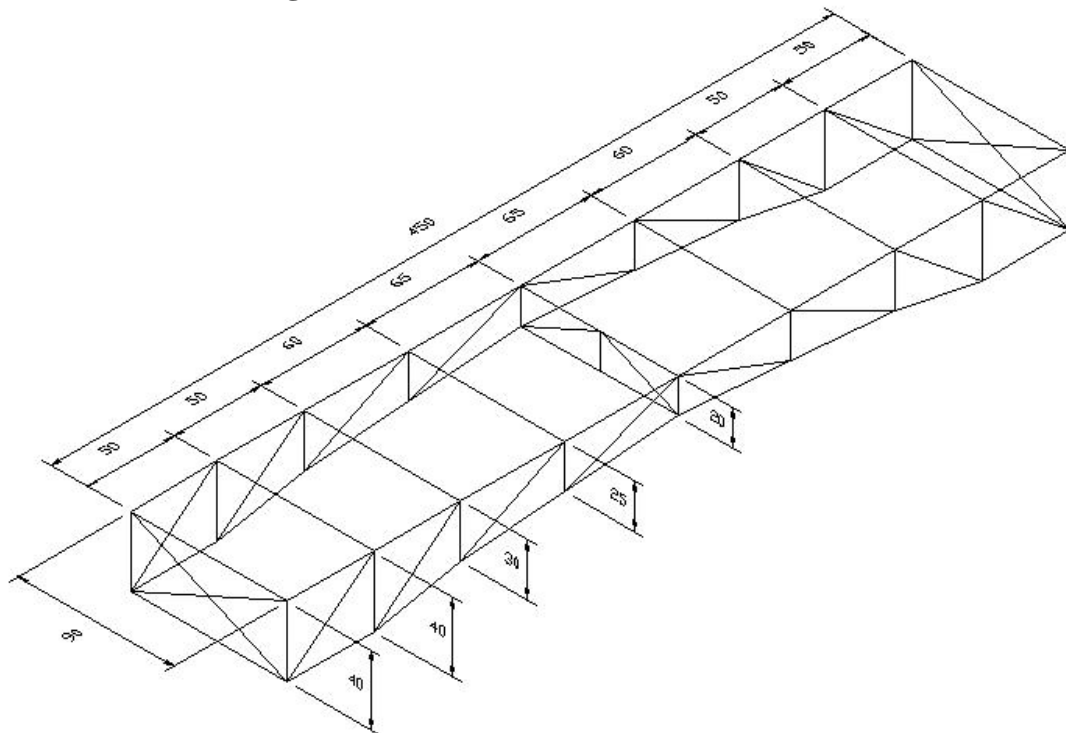
3.3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

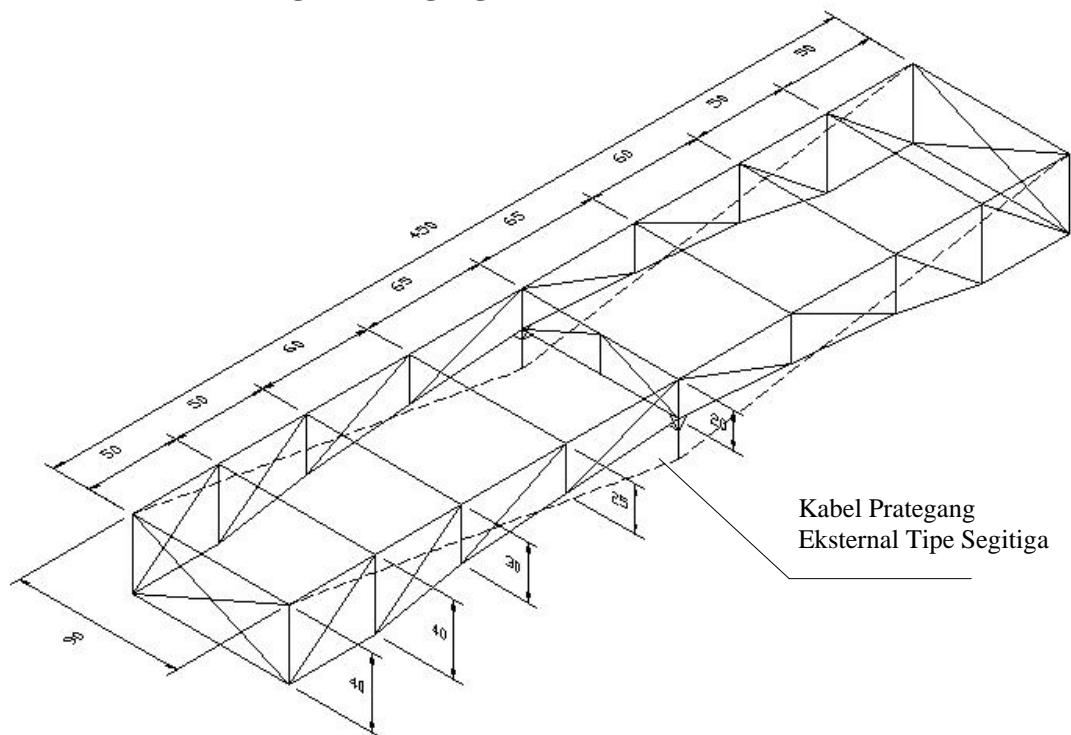
3.3.2 Rancangan Model Jembatan

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

3.3.3 Rancangan Pembebanan

Tabel 3.1. Rancangan pengujian beban pada model jembatan

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

Lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka akibat beban terpusat 69 kg menjadi dasar untuk menentukan besarnya gaya prategang acuan I. Gaya prategang acuan I merupakan gaya prategang yang diberikan agar model jembatan rangka prategang melendut ke atas sebesar lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka akibat beban terpusat 69 kg.

Untuk gaya prategang acuan II dan III besarnya sebanding dengan variasi beban terpusat yang diberikan. Atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{II} = \frac{138}{69} \times P_I = 2P_I \quad (3-1)$$

$$P_{III} = \frac{207}{69} \times P_I = 3P_I \quad (3-2)$$

dengan:

P_I = gaya prategang acuan I

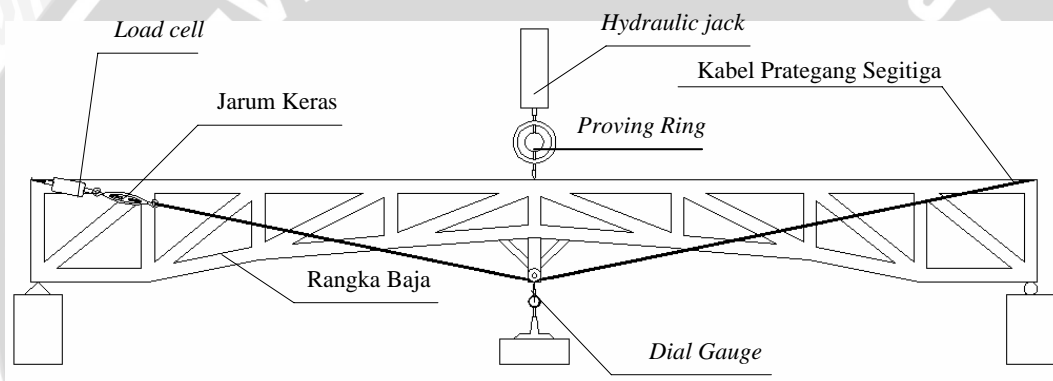
P_{II} = gaya prategang acuan II

P_{III} = gaya prategang acuan III

3.3.4 Prosedur Pemodelan

Pemodelan yang dilakukan pada dasarnya hanya menggunakan satu buah model yaitu model jembatan rangka semi parabol tipe N terbalik. Sedangkan untuk model jembatan rangka prategang, digunakan model jembatan rangka yang sama dengan penambahan kabel prategang pada kedua gelagar utama model jembatan.

Model tersebut ditempatkan pada portal pembebanan (*loading frame*), dengan penggunaan beberapa balok beton sebagai penompang tumpuan model jembatan. Tumpuan model jembatan menggunakan tumpuan sendi-rol pada masing-masing sudut tepi bagian bawah model jembatan. Beban yang diberikan pada model jembatan adalah beban terpusat pada bagian tengah bentang seperti yang terdapat pada skema pembebanan dibawah ini.



Gambar 3.4. Skema pembebanan

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

1. Pemasangan model jembatan rangka pada portal pembebanan (*loading frame*) dengan tumpuan sendi-rol.
2. Pemasangan alat pembaca beban (*proving ring*), alat pengukur regangan (*strain gauge*), dan alat pengukur lendutan (*dial gauge*).
3. Pembacaan alat sebelum diberikan beban terpusat.
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. Beban terpusat dinolkan, pembacaan alat.
8. Pembuatan model jembatan rangka prategang.
9. Pemasangan kabel prategang yang diposisikan pada kedua gelagar utama model jembatan.

10. *Jacking* kabel prategang secara bersama-sama untuk menghasilkan gaya prategang acuan I yang terbaca pada *load cell*.
11. Pembacaan alat sebelum diberikan beban terpusat.
12. Pemberian beban terpusat 69 kg, pembacaan alat, dan pembacaan gaya prategang efektif dengan *load cell*.
13. Pemberian beban terpusat 138 kg, pembacaan alat, dan pembacaan gaya prategang efektif dengan *load cell*.
14. Pemberian beban terpusat 207 kg, pembacaan alat, dan pembacaan gaya prategang efektif dengan *load cell*.
15. Beban terpusat dinolkan, pembacaan alat.
16. Ulangi dari langkah 10 untuk gaya prategang acuan II dan III.

3.3.5 Metode Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh dari dua kondisi model jembatan yang berbeda yaitu model jembatan rangka tanpa prategang dan model jembatan rangka dengan prategang. Pengambilan data dilakukan terhadap kedua model jembatan pada saat pengujian di laboratorium. Masing-masing kondisi model jembatan diuji dengan beban terpusat dengan variasi pembebanan yang telah ditentukan. Data-data yang diambil adalah lendutan, regangan, dan gaya prategang efektif. Caranya yaitu dengan mengamati dan mencatat data yang terukur pada masing-masing alat pembaca.

3.4 Analisis Penelitian

3.4.1 Input Data

Data-data yang diperlukan dalam analisis penelitian adalah sebagai berikut:

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 Beban, berupa:
 - Beban terpusat
 - Gaya prategang acuan

3.4.2 Prosedur Analisis

Analisis dilakukan dengan menggunakan program *STAADPro 2004*. Pada model jembatan rangka langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Struktur rangka model jembatan diasumsikan sebagai struktur 3 dimensi.
2. Input geometri model jembatan rangka.
3. Input model jembatan rangka.
4. Struktur didukung oleh tumpuan sendi-rol
5. Input beban secara berurutan: beban terpusat 69 kg, 138 kg, dan 207 kg.
6. Penjalanan Program (*Run Analysis*)
7. Analisis hasil penjalanan program *STAADPro 2004*, berupa: lendutan, gaya batang, dan tegangan yang terjadi.

Sedangkan pada model jembatan rangka prategang langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Struktur rangka model jembatan diasumsikan sebagai struktur 3 dimensi.
2. Input geometri model jembatan rangka.
3. Input material model jembatan rangka.
4. Struktur didukung oleh tumpuan sendi-rol.
5. Input gaya kabel prategang (*initial tension*).
6. Input beban secara berurutan: beban terpusat 69 kg, 138 kg, dan 207 kg.
7. Penjalanan Program (*Run Analysis*)
8. Analisis hasil penjalanan program *STAADPro 2004*, berupa: lendutan, gaya batang, tegangan, dan gaya prategang efektif yang terjadi.

Hasil analisis *STAADPro 2004* akan dibandingkan dengan analisis penelitian hasil laboratorium untuk mengetahui kesesuaian antara teori dengan penelitian laboratorium.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah:

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

3.6 Analisis Data

Besarnya persentase penurunan lendutan diperoleh dengan membandingkan antara lendutan pada model jembatan rangka dengan lendutan pada model jembatan rangka prategang. Kehilangan gaya prategang acuan dan efektif yang terjadi akibat variasi pembebanan tidak dibahas.



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Bahan Penelitian

4.1.1 Model Jembatan

Pada penelitian ini model jembatan yang digunakan adalah model jembatan rangka semi parabol tipe N terbalik (lampiran 1 sampai 3). Model jembatan terbuat dari profil baja kotak berlubang (*hollow tube*) dengan tegangan leleh (f_y) sebesar 2604,167 kg/cm², dan modulus elastisitas (E) sebesar 1161666,667 kg/cm² yang diperoleh dari hasil uji tarik dua buah benda uji profil baja (lampiran 4.3). Sambungan antar rangka pada *joint* menggunakan sambungan las dan baut.

4.1.2 Kabel

Material kabel yang digunakan untuk memprategang model jembatan adalah baja sling diameter 5 mm. Pada uji tarik kabel tidak diperoleh hasil yang maksimal, karena kabel putus pada daerah penjepitannya. Gaya tarik pada saat kabel putus diperoleh sebesar 12 kN. Sehingga pada saat kondisi kabel putus terdapat tegangan putus (f_{pu}) sebesar 6122,449 kg/cm² (lampiran 5). Untuk modulus elastisitas digunakan modulus elastisitas kabel baja pada umumnya yaitu $2,1 \times 10^6$ kg/cm².

4.2 Data Penelitian

Pengujian pembebanan dilakukan terhadap dua jenis model jembatan, yaitu model jembatan rangka dan model jembatan rangka prategang. Kedua model tersebut mendapatkan perlakuan yang sama dalam pengujian pembebanan. Beban yang digunakan adalah beban terpusat di tengah bentang, dengan menggunakan tiga variasi pembebanan yang masing-masing besarnya 69 kg, 138 kg, dan 207 kg. Data pembacaan alat dalam pengujian beban di laboratorium meliputi: data pembacaan *strain gauge*, data pembacaan *dial gauge*, dan data pembacaan *loadcell* (lampiran 6).

4.3 Pengujian Model Jembatan Rangka

4.3.1 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian pembebanan model jembatan rangka dilakukan pada portal uji (*loading frame*). Persiapan awal yang dilakukan yaitu memposisikan model jembatan melintang dari letak portal uji, hal ini dikarenakan panjang portal uji tidak mencukupi

panjang dari model jembatan. Untuk menumpu tumpuan model jembatan digunakan beberapa tumpukan balok beton dengan jumlah yang sama pada kedua sisi tumpuan.

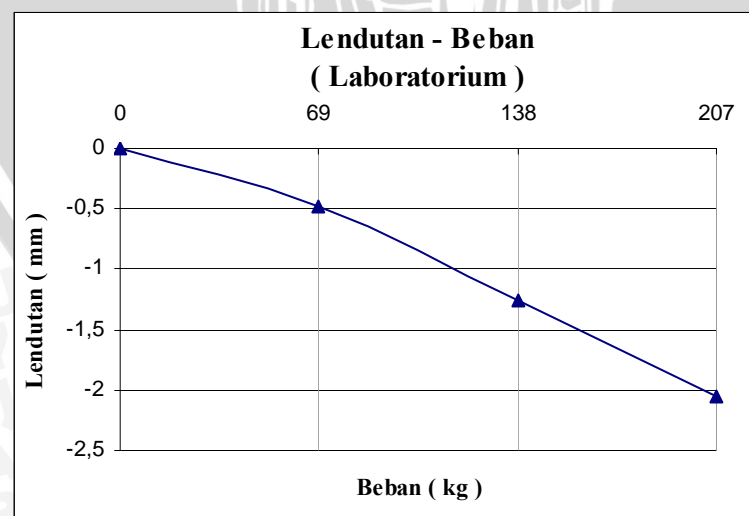
Langkah berikutnya melevelkan tinggi model jembatan agar sejajar, yaitu dengan menggunakan *waterpass*. Setelah tinggi model jembatan sejajar, dilanjutkan dengan pemasangan alat-alat pembaca pada model jembatan rangka berupa alat pembaca lendutan (*dial gauge*) dan alat pembaca regangan (*strain gauge*). Untuk memberikan beban terpusat pada model jembatan rangka digunakan profil tambahan dengan bentuk bulat dibagian bawahnya. Profil tambahan tersebut diletakan di rangka melintang tengah model jembatan yang kemudian akan ditekan oleh *profing ring*.

Sebelum pembebanan pertama dilakukan terlebih dahulu dicatat regangan awal, yaitu regangan pada saat beban 0 kg. Baru kemudian model jembatan rangka siap untuk dilakukan pembebanan sesuai dengan urutan variasi pembebanan, yaitu 69 kg, 138 kg, dan 207 kg. Setiap setelah beban terpusat diberikan, dicatat lendutan dan regangan yang terjadi.

4.3.2 Hasil Analisis Pengujian Laboratorium

4.3.2.1 Lendutan Maksimum

Lendutan maksimum yang terjadi akibat pembebanan adalah lendutan pada tengah bentang model jembatan. Lendutan dapat diketahui dari pembacaan *dial gauge* yang diposisikan pada titik buhul rangka melintang tengah dengan angka ketelitian alat 0,01 mm. Besarnya lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 berikut.



Gambar 4.1. Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium

Tabel 4.1. Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium

Beban (kg)	Pembacaan <i>Dial Gauge</i> (unit)	Lendutan (mm)
0	0	0,000
69	-48	-0,480
138	-125	-1,250
207	-205	-2,050
0	0	0,000

Sumber: hasil pembacaan *dial gauge*

4.3.2.2 Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah

Gaya batang dihitung dari data regangan hasil pengukuran *strain gauge* yang dihubungkan dengan *strainmeter* untuk membacanya, dengan angka ketelitian dari *strainmeter* sebesar 10^{-6} . Pembacaan unit pada *strainmeter* harus dikali 10^{-6} untuk mendapatkan nilai regangan pada batang.

Penentuan batang lemah diperlukan untuk pemasangan *strain gauge* pada batang model jembatan rangka. Penentuan tersebut didasarkan dari analisis *StaadPro 2004*, yaitu bahwa batang lemah terjadi pada batang-batang bagian atas tengah bentang rangka utama. Dari hasil penentuan batang lemah, maka *strain gauge* dipasang pada batang 5 dan batang 37 (lampiran 3.1).

Berikut merupakan contoh perhitungan gaya batang 5 akibat beban 69 kg:

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 E &= 1161666,667 \text{ kg/cm}^2 && \text{(dari hasil uji tarik profil)} \\
 A &= 3,44 \text{ cm}^2 && \text{(dari tabel } \textit{properties} \text{ profil } \textit{StaadPro2004}) \\
 \varepsilon &= 0,000024 \text{ (tekan)} && \text{(dari pembacaan unit } \textit{strainmeter}) \\
 I_y &= 5,298 \text{ cm}^4 && \text{(dari tabel } \textit{properties} \text{ profil } \textit{StaadPro2004}) \\
 L &= 65 \text{ cm} && \text{(dari data dimensi model jembatan rangka)}
 \end{aligned}$$

Dicari:

Gaya batang 5 (P_5) ?

Penyelesaian:

Gaya batang yang terjadi pada batang 5 dapat dihitung dengan Persamaan (2-3):

$$\begin{aligned}
 P_5 &= E \times A \times \varepsilon \\
 &= 1161666,667 \text{ kg/cm}^2 \times 3,44 \text{ cm}^2 \times 0,000024 \\
 &= 95,907 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$

Pada komponen struktur rangka batang yang mengalami gaya tekan konsentris, gaya batang yang terjadi dan kuat tekan nominalnya harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan (2-4).

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

dengan:

$$P_n = A_g \cdot f_{cr}$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega}$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 analisis tekuk komponen struktur tekan menggunakan parameter kelangsingan kolom (λ_c) yang dapat dihitung dari Persamaan (2-7).

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Dalam struktur rangka batang, pertemuan batang-batang pada buhulnya diasumsikan sendi. Berdasarkan dari Tabel 2.1 nilai faktor tekuk (k_c) yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi idiil sendi-sendi adalah 1,0.

$$L_k = k_c \cdot L = 1,0 \times 65 = 65 \text{ cm}$$

$$\text{Jari-jari girasi (r)} = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{5,298}{3,44}} = 1,241 \text{ cm}$$

$$\text{Parameter kelangsingan kolom } (\lambda_c) = \frac{1}{\pi} \frac{65}{1,241} \sqrt{\frac{2604,167}{1161666,667}} = 0,789$$

Sesuai dengan Persamaan (2-8.b) untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$, maka besarnya faktor tekuk:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,789)} = 1,335$$

$$\text{Tegangan kritis } (f_{cr}) = \frac{f_y}{\omega} = \frac{2604,167}{1,335} = 1950,687 \text{ kg/cm}^2$$

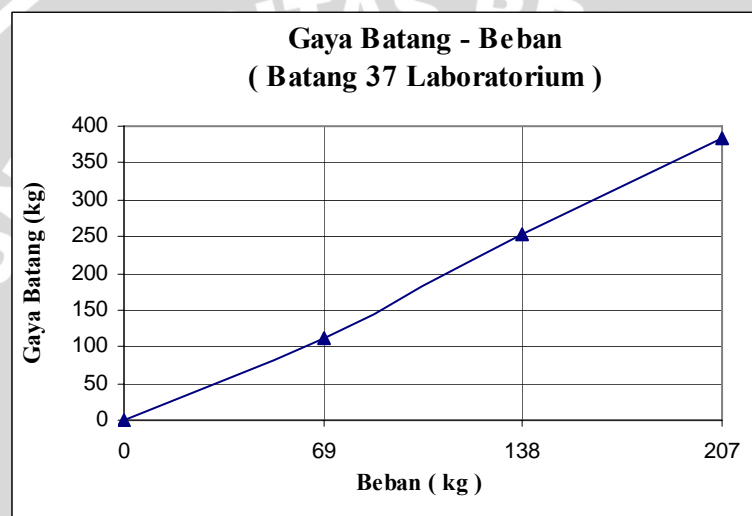
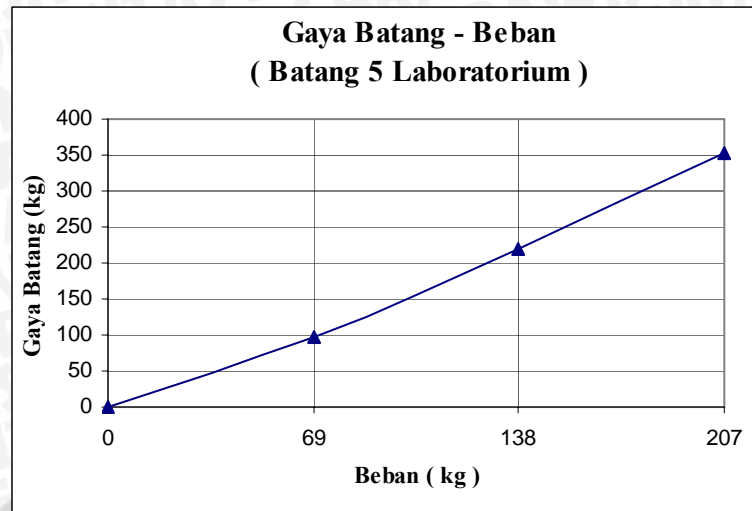
$$\text{Daya dukung nominal } (P_n) = A_g \cdot f_{cr} = 3,44 \times 1950,687 = 6710,363 \text{ kg}$$

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

$$95,907 \text{ kg} \leq 0,85 \times 6710,363 \text{ kg}$$

$$95,907 \text{ kg} < 5703,809 \text{ kg} \quad (\text{terpenuhi})$$

Dengan perhitungan yang sama untuk setiap variasi pembebanan, maka akan diperoleh besarnya gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2 berikut.



Gambar 4.2. Grafik gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium

Tabel 4.2. Nilai gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium

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

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

Beban (kg)	Batang 5			Batang 37		
	Regangan (ϵ)	Gaya Batang (kg)	Kondisi	Regangan (ϵ)	Gaya Batang (kg)	Kondisi
0	0,000000	0,000	-	0,000000	0,000	-
69	0,000024	95,907	Tekan	0,000028	111,892	Tekan
138	0,000055	219,787	Tekan	0,000063	251,756	Tekan
207	0,000088	351,660	Tekan	0,000096	383,629	Tekan
0	0,000000	0,000	-	0,000000	0,000	-

Sumber: hasil pembacaan *strainmeter* dan hasil perhitungan

Untuk mengontrol bahwa kondisi struktur masih elastis dapat ditinjau dari nilai regangan pada tabel di atas yang nilainya jauh dibawah nilai regangan leleh baja (ϵ_y) yaitu **0,002**, sehingga dapat dipastikan bahwa kondisi struktur masih elastis.

Berikut merupakan contoh perhitungan tegangan batang 5 akibat beban 69 kg:

Diketahui:

$$A = 3,44 \text{ cm}^2 \quad (\text{dari tabel } \textit{properties} \text{ profil } \textit{StaadPro2004})$$

$$P_5 = 95,907 \text{ kg (tekan)} \quad (\text{dari hasil perhitungan gaya batang})$$

Dicari:

Tegangan batang 5 (f_5) ?

Penyelesaian:

Tegangan yang terjadi pada batang 5 dapat dihitung dengan Persamaan (2-1):

$$f_5 = \frac{P_5}{A} = \frac{95,907}{3,44} = 27,880 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan perhitungan yang sama untuk setiap variasi pembebanan, maka akan diperoleh besarnya tegangan model jembatan rangka pengujian laboratorium yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Nilai tegangan model jembatan rangka pengujian laboratorium

$A = 3,44 \text{ cm}^2$						
Beban (kg)	Batang 5			Batang 37		
	Gaya Batang		f (kg/cm ²)	Gaya Batang		f (kg/cm ²)
	(kg)	Kondisi		(kg)	Kondisi	
0	0,000	-	0,000	0,000	-	0,000
69	95,907	Tekan	27,880	111,892	Tekan	32,527
138	219,787	Tekan	63,892	251,756	Tekan	73,185
207	351,660	Tekan	102,227	383,629	Tekan	111,520
0	0,000	-	0,000	0,000	-	0,000

Sumber: hasil perhitungan

4.3.3 Hasil Analisis *STAADPro 2004*

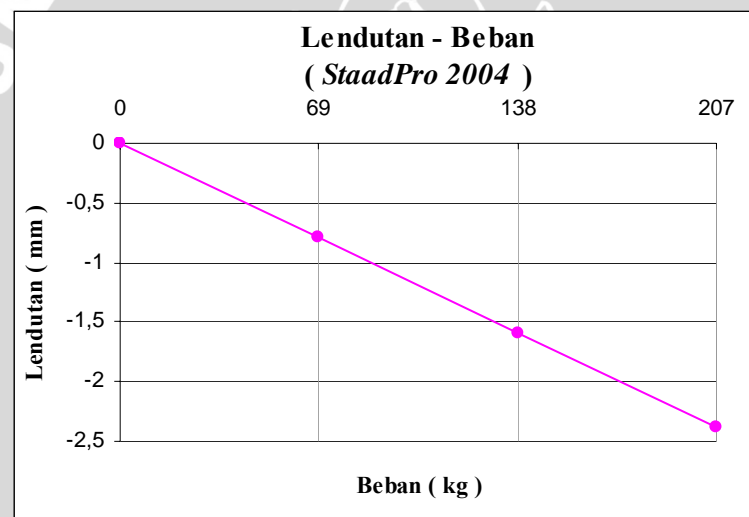
Dalam menganalisis model jembatan rangka dengan menggunakan *StaadPro 2004* diperlukan asumsi-asumsi yang bertujuan untuk menyesuaikan dengan kondisi riil model jembatan rangka di laboratorium. Asumsi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Struktur model jembatan merupakan struktur rangka ruang, sehingga digunakan analisis struktur rangka (*truss*) 3 dimensi.
2. Digunakan profil baja isotropik dengan sifat-sifat mekanis sebagai berikut:
 - Modulus Elastisitas (E) = 1161666,67 kg/cm²
 - Rasio *Poisson* (μ) = 0,3
 - Berat jenis (*density*) = 7833,410 kg/m³
3. Pertemuan batang-batang pada titik buhul berupa sendi.

4. Kekakuan elemen-elemen batang model jembatan, berat sendiri model jembatan, berat sambungan, serta berat alat-alat bantu lainnya diabaikan.
5. Beban uji yang diberikan adalah beban terpusat pada titik buhul rangka melintang tengah model jembatan.
6. Memberikan gaya horisontal pada kedua tumpuan sendi sebesar 0,002 kg untuk menganalisis kondisi model jembatan tanpa beban.
7. Metode yang digunakan untuk menganalisis elemen-elemen baja pada model jembatan adalah metode elastis.

4.3.3.1 Lendutan Maksimum

Besarnya lendutan maksimum model jembatan rangka analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.4 berikut.



Gambar 4.3. Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka analisis *StaadPro 2004*

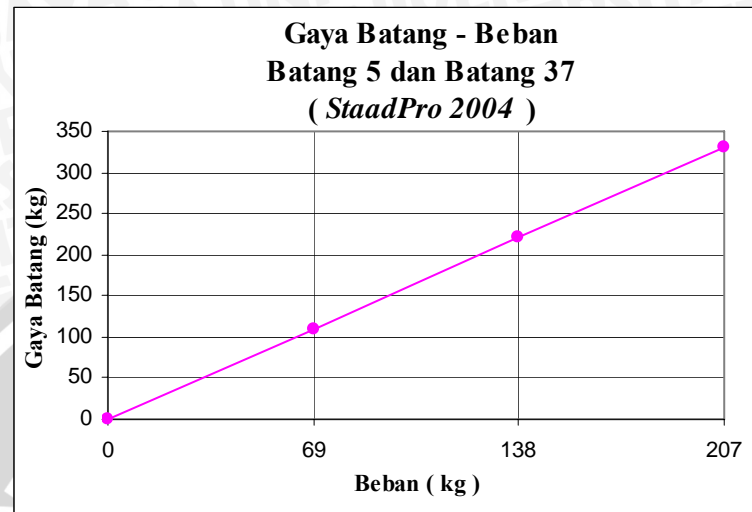
Tabel 4.4. Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka analisis *StaadPro 2004*

Beban (kg)	Lendutan (mm)
0	0,000
69	-0,796
138	-1,592
207	-2,389
0	0,000

Sumber: analisis *StaadPro 2004*

4.3.3.2 Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah

Besarnya gaya batang dan tegangan model jembatan rangka analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Gambar 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 berikut.



Gambar 4.4. Grafik gaya batang model jembatan rangka analisis *StaadPro 2004*

Tabel 4.5. Nilai gaya batang model jembatan rangka analisis *StaadPro 2004*

Beban	Batang 5		Batang 37	
	Gaya Batang (kg)	Kondisi	Gaya Batang (kg)	Kondisi
0	0,000	-	0,000	-
69	110,040	Tekan	110,040	Tekan
138	220,079	Tekan	220,079	Tekan
207	330,119	Tekan	330,119	Tekan
0	0,000	-	0,000	-

Sumber: analisis *StaadPro 2004*

Tabel 4.6. Nilai tegangan model jembatan rangka analisis *StaadPro 2004*

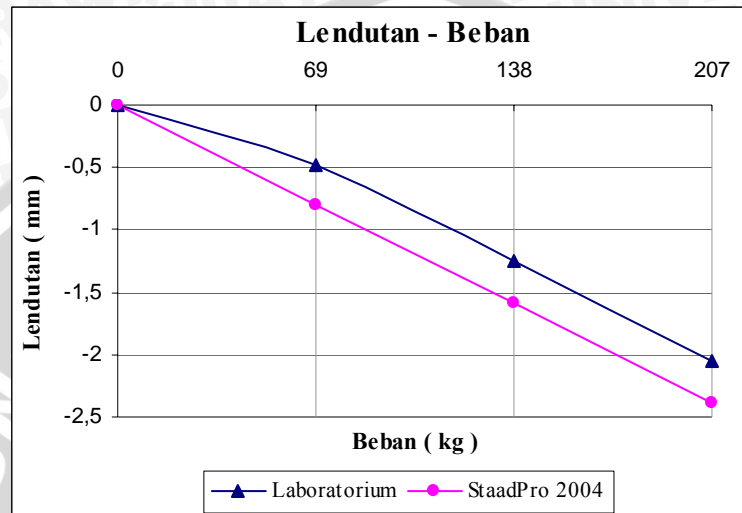
Beban (kg)	Batang 5		Batang 37	
	f		f	
	(kg/cm ²)	Kondisi	(kg/cm ²)	Kondisi
0	0,000	-	0,000	-
69	31,988	Tekan	31,988	Tekan
138	63,976	Tekan	63,976	Tekan
207	95,965	Tekan	95,965	Tekan
0	0,000	-	0,000	-

Sumber: analisis *StaadPro 2004*

4.3.4 Perbandingan Analisis Pengujian Laboratorium dengan *STAADPro 2004*

4.3.4.1 Lendutan Maksimum

Perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka antara pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Grafik 4.5 dan Tabel 4.7 berikut.



Gambar 4.5. Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

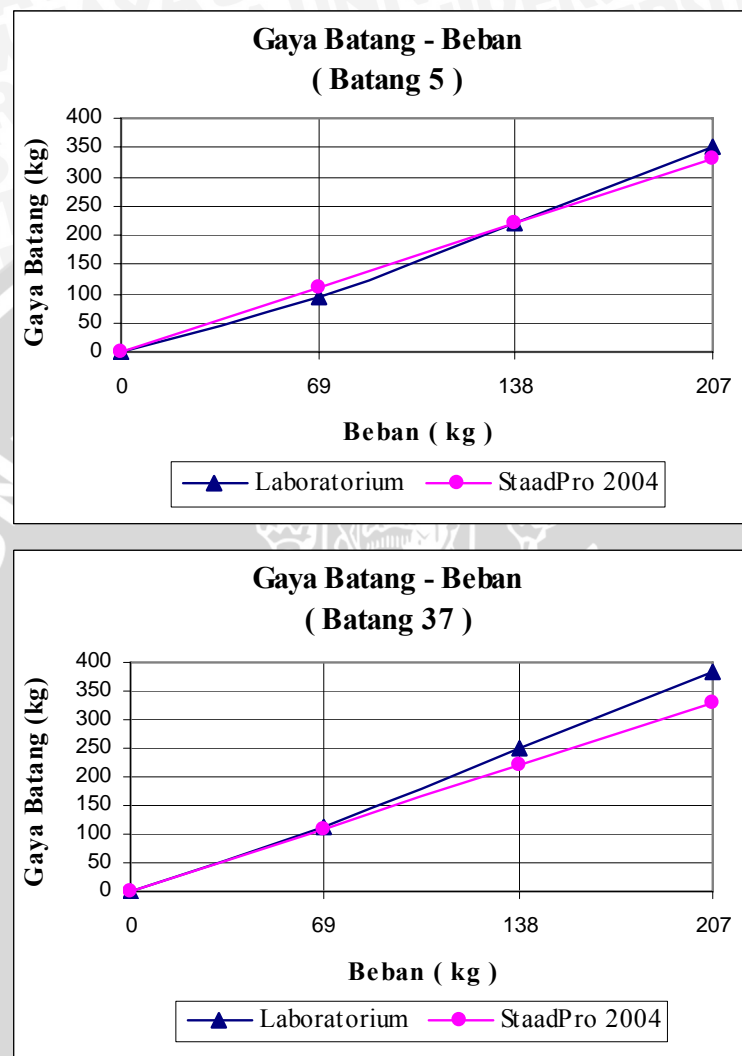
Tabel 4.7. Nilai perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

Beban (kg)	Lendutan (mm)	
	Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>
0	0,000	0,000
69	-0,480	-0,796
138	-1,250	-1,592
207	-2,050	-2,389
0	0,000	0,000

Sumber: analisis laboratorium dan analisis *StaadPro 2004*

4.3.4.2 Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah

Perbandingan gaya batang dan tegangan model jembatan rangka antara pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Gambar 4.6, Tabel 4.8, dan Tabel 4.9 berikut.



Gambar 4.6. Grafik perbandingan gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

Tabel 4.8. Nilai perbandingan gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

Beban (kg)	Gaya Batang (kg)			
	Batang 5		Batang 37	
	Laboratorium	StaadPro 2004	Laboratorium	StaadPro 2004
0	0,000	0,000	0,000	0,000
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	0,000	0,000	0,000	0,000

Sumber: analisis laboratorium dan analisis *StaadPro 2004*

Tabel 4.9. Nilai perbandingan tegangan model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

Beban (kg)	f (kg/cm ²)					
	Batang 5			Batang 37		
	Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>	Kondisi	Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>	Kondisi
0	0,000	0,000	-	0,000	0,000	-
69	27,880	31,988	Tekan	32,527	31,988	Tekan
138	63,892	63,976	Tekan	73,185	63,976	Tekan
207	102,227	95,965	Tekan	111,520	95,965	Tekan
0	0,000	0,000	-	0,000	0,000	-

Sumber: analisis laboratorium dan analisis *StaadPro 2004*

4.4 Pengujian Model Jembatan Rangka Prategang

4.4.1 Pelaksanaan Pengujian

Pada pengujian model jembatan rangka prategang masih menggunakan model jembatan yang sama dengan menambahkan kabel prategang sebelum pengujian pembebanan dilaksanakan. Penambahan kabel prategang diposisikan dengan membentuk segitiga pada sisi dalam kedua gelagar induk model jembatan. Untuk menghasilkan kabel prategang eksternal bentuk segitiga, maka digunakan profil tambahan yang dilas pada tengah bentang kedua gelagar induk model jembatan.

Metode pemasangan kabel pada kedua gelagar induk sama, yaitu kabel dipasang secara angkur hidup untuk salah satu sisi yang sama dan secara angkur mati pada sisi yang lainnya. Untuk metode angkur hidup kabel dipasang pada jarum keras yang dikaitkan pada *ring* pengkait yang telah dilas pada salah satu gelagar melintang bagian luar. Sedangkan untuk angkur mati kabel langsung dikaitkan pada plat yang telah dibentuk kotak dan disambung pada gelagar melintang sisi yang lain dengan sambungan baut. Plat yang dibentuk kotak tersebut sekaligus sebagai tempat *loadcell*, dimana kabel yang dikaitkan akan menekan *loadcell* yang ada dalam plat. Untuk mengikatkan kabel baik pada angkur hidup maupun angkur mati digunakan klem.

Proses penarikan (*jacking*) kabel prategang dilakukan dengan cara mengencangkan jarum keras secara bersama-sama pada kedua kabel. Hal ini bertujuan agar gaya prategang yang dihasilkan dari *jacking* kabel seimbang antara kedua sisinya. Untuk mengetahui besarnya gaya prategang yang ditimbulkan dari *jacking* kabel, *loadcell* dihubungkan dengan *loadmeter* sehingga gaya prategang yang timbul dapat terbaca.

Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan pemberian gaya prategang acuan pertama pada model jembatan. Gaya prategang acuan pertama

merupakan gaya prategang yang diberikan agar model jembatan rangka prategang melendut ke atas sebesar lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka akibat beban terpusat 69 kg. Regangan yang terjadi akibat pemberian gaya prategang dicatat, kemudian dilakukan pengujian untuk beban pertama 69 kg.

Data-data yang dicatat setelah pembebanan yaitu lendutan, regangan, dan gaya prategang efektif akibat pemberian beban. Gaya prategang acuan yang diberikan selanjutnya sebanding dengan beban yang diberikan dapat dilihat pada Persamaan (3-1) dan (3-2).

4.4.2 Hasil Analisis Pengujian Laboratorium

4.4.2.1 Gaya Prategang Acuan

Gaya prategang acuan merupakan gaya prategang yang diberikan untuk menghasilkan lendutan ke atas sebesar lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka ketika menerima beban sebesar 69 kg. Gaya prategang acuan pertama digunakan untuk menentukan gaya prategang acuan kedua dan ketiga, dengan variasi peningkatan gaya prategang acuan sebanding dengan besarnya variasi peningkatan pembebanan. Arah lendutan yang terjadi akibat pemberian gaya prategang acuan berlawanan dengan arah lendutan akibat pembebanan.

Dalam penelitian ini digunakan dua buah *loadcell* untuk mengukur besarnya gaya prategang pada rangka sisi kiri dan sisi kanan model jembatan. Kapasitas *loadcell* 1 sebesar 20 kN dengan angka kalibrasi $\frac{0,006673}{1 \times 10^{-6}} \text{ kN}$, sedangkan kapasitas *loadcell* 2 sebesar 10 kN dengan angka kalibrasi $\frac{0,003340}{1 \times 10^{-6}} \text{ kN}$. Besarnya nilai gaya prategang acuan rata-rata pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut.

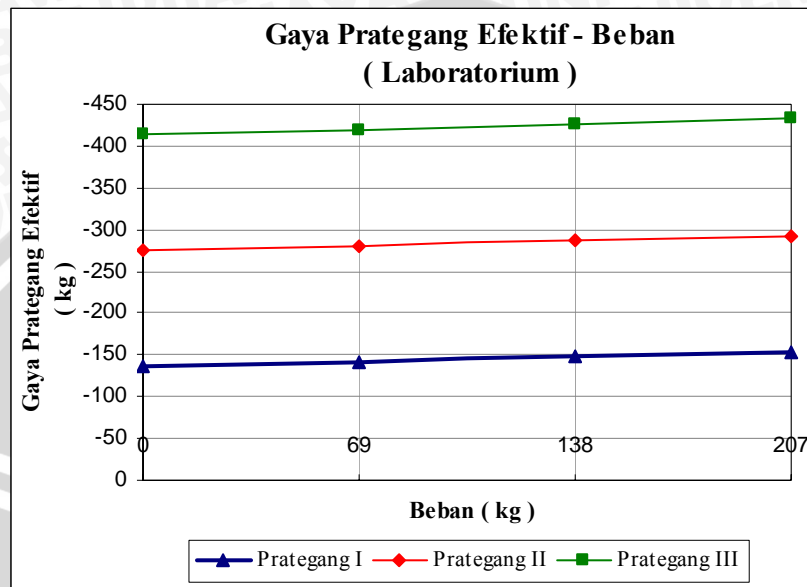
Tabel 4.10. Nilai gaya prategang acuan rata-rata pengujian laboratorium

No. Gaya Prategang	Pembacaan <i>Loadmeter</i> (N)		Gaya Prategang Acuan (kg)		
	<i>Loadcell</i> 1	<i>Loadcell</i> 2	<i>Loadcell</i> 1	<i>Loadcell</i> 2	Rata-rata
I	-206	-412	-137,464	-137,608	-137,536
II	-413	-825	-275,595	-275,550	-275,572
III	-619	-1237	-413,059	-413,158	-413,108

Sumber: hasil pembacaan *loadmeter*

4.4.2.2 Gaya Prategang Efektif

Gaya prategang efektif merupakan gaya tarik yang terjadi pada kabel akibat peningkatan beban pada model jembatan rangka prategang. Besarnya gaya prategang efektif rata-rata pengujian laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.11 berikut.



Gambar 4.7. Grafik gaya prategang efektif rata-rata pengujian laboratorium

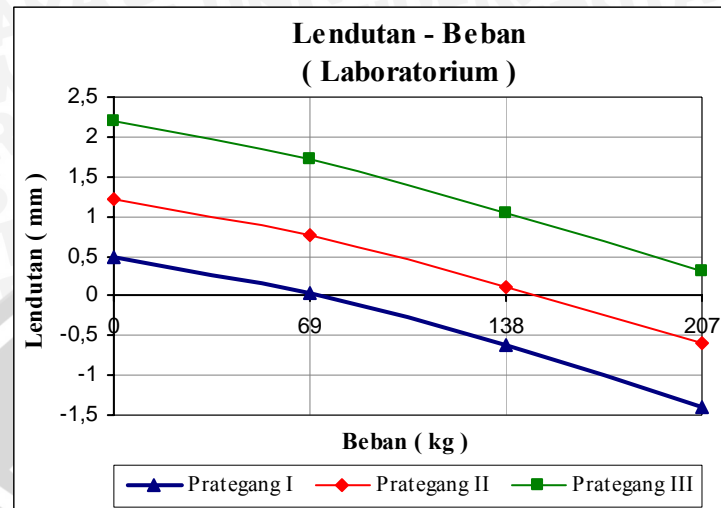
Tabel 4.11. Nilai gaya prategang efektif rata-rata pengujian laboratorium

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Pembacaan Loadmeter (N)		Gaya Prategang Efektif (kg)		
		Loadcell 1	Loadcell 2	Loadcell 1	Loadcell 2	Rata-rata
-137,536	0	-206	-412	-137,464	-137,608	-137,536
	69	-212	-428	-141,468	-142,952	-142,210
	138	-220	-445	-146,806	-148,630	-147,718
	207	-229	-463	-152,812	-154,642	-153,727
	0	-206	-412	-137,464	-137,608	-137,536
-275,572	0	-413	-825	-275,595	-275,550	-275,572
	69	-421	-841	-280,933	-280,894	-280,914
	138	-429	-859	-286,272	-286,906	-286,589
	207	-441	-873	-294,279	-291,582	-292,931
	0	-413	-825	-275,595	-275,550	-275,572
-413,108	0	-619	-1237	-413,059	-413,158	-413,108
	69	-627	-1256	-418,397	-419,504	-418,951
	138	-635	-1278	-423,736	-426,852	-425,294
	207	-644	-1301	-429,741	-434,534	-432,138
	0	-619	-1237	-413,059	-413,158	-413,108

Sumber: hasil pembacaan loadmeter

4.4.2.3 Lendutan Maksimum

Besarnya lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.12 berikut.



Gambar 4.8. Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium

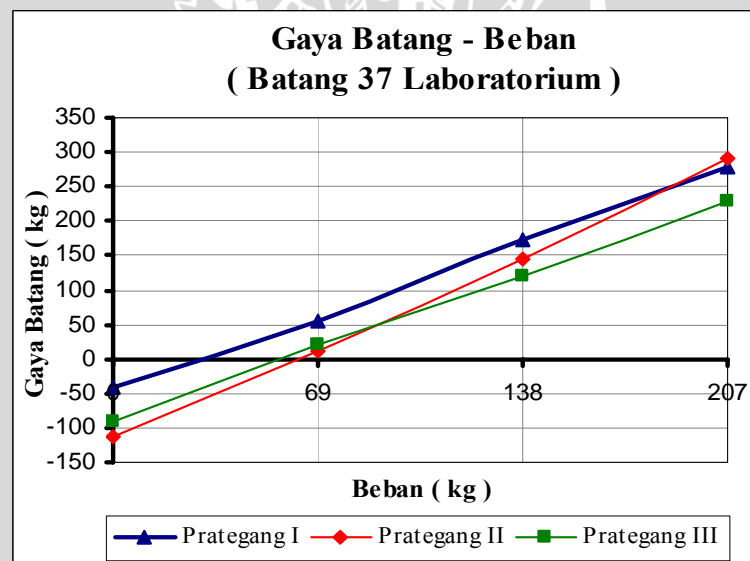
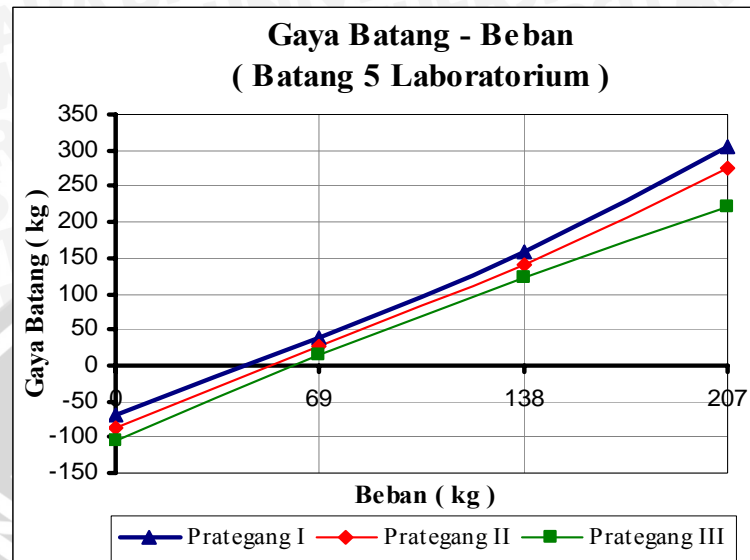
Tabel 4.12. Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium

Gaya Prategang Acuan Rata-rata (kg)	Beban (kg)	Pembacaan Dial Gauge (unit)	Lendutan (mm)
-137,536	0	48	0,480
	69	3	0,030
	138	-62	-0,620
	207	-139	-1,390
	0	48	0,480
-275,572	0	122	1,220
	69	77	0,770
	138	11	0,110
	207	-59	-0,590
	0	122	1,220
-413,108	0	220	2,200
	69	173	1,730
	138	105	1,050
	207	30	0,300
	0	220	2,200

Sumber: hasil pembacaan *dial gauge*

4.4.2.4 Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah

Besarnya gaya batang dan tegangan model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.9, Tabel 4.13, dan Tabel 4.14 berikut.



Gambar 4.9. Grafik gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium

Tabel 4.13. Nilai gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium

$$E = 1161666,67 \text{ kg/cm}^2$$

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

Gaya Prategang Acuan Rata-rata (kg)	Beban (kg)	Batang 5			Batang 37		
		Regangan (ϵ)	Gaya Batang (kg)	Kondisi	Regangan (ϵ)	Gaya Batang (kg)	Kondisi
-137,536	0	-0,000017	-67,934	Tarik	-0,00001	-39,961	Tarik
	69	0,00001	39,961	Tekan	0,000014	55,946	Tekan
	138	0,00004	159,845	Tekan	0,000043	171,834	Tekan
	207	0,000076	303,706	Tekan	0,00007	279,729	Tekan
	0	-0,000017	-67,934	Tarik	-0,00001	-39,961	Tarik
-275,572	0	-0,000022	-87,915	Tarik	-0,000028	-111,892	Tarik
	69	0,000007	27,973	Tekan	0,000003	11,988	Tekan
	138	0,000035	139,865	Tekan	0,000036	143,861	Tekan
	207	0,000069	275,733	Tekan	0,000073	291,718	Tekan
	0	-0,000022	-87,915	Tarik	-0,000028	-111,892	Tarik
-413,108	0	-0,000026	-103,899	Tarik	-0,000023	-91,911	Tarik
	69	0,000004	15,985	Tekan	0,000005	19,981	Tekan
	138	0,000031	123,880	Tekan	0,00003	119,884	Tekan
	207	0,000055	219,787	Tekan	0,000057	227,780	Tekan
	0	-0,000026	-103,899	Tarik	-0,000023	-91,911	Tarik

Sumber: hasil pembacaan *strainmeter* dan hasil perhitungan

Tabel 4.14. Nilai tegangan model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium

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

Gaya Prategang Acuan Rata-rata (kg)	Beban (kg)	Batang 5		Batang 37	
		Gaya Batang (kg)	f (kg/cm^2)	Gaya Batang (kg)	f (kg/cm^2)
-137,536	0	-67,934	-19,748	-39,961	-11,617
	69	39,961	11,617	55,946	16,263
	138	159,845	46,467	171,834	49,952
	207	303,706	88,287	279,729	81,317
	0	-67,934	-19,748	-39,961	-11,617
-275,572	0	-87,915	-25,557	-111,892	-32,527
	69	27,973	8,132	11,988	3,485
	138	139,865	40,658	143,861	41,820
	207	275,733	80,155	291,718	84,802
	0	-87,915	-25,557	-111,892	-32,527
-413,108	0	-103,899	-30,203	-91,911	-26,718
	69	15,985	4,647	19,981	5,808
	138	123,88	36,012	119,884	34,850
	207	219,787	63,892	227,78	66,215
	0	-103,899	-30,203	-91,911	-26,718

Sumber: hasil perhitungan

4.4.3 Hasil Analisis STAADPro 2004

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menganalisis model jembatan rangka prategang adalah sebagai berikut:

1. Struktur model jembatan merupakan struktur rangka ruang, sehingga digunakan analisis struktur rangka (*truss*) 3 dimensi.
2. Digunakan profil baja isotropik dengan sifat-sifat mekanis sebagai berikut:
 - Modulus Elastisitas (E) = 1161666,67 kg/cm²
 - Rasio *Poisson* (μ) = 0,3
 - Berat jenis (*density*) = 7833,410 kg/m³
3. Pertemuan batang-batang pada titik buhul berupa sendi.
4. Kekakuan elemen-elemen batang model jembatan, berat sendiri model jembatan, berat sambungan, serta berat alat-alat bantu lainnya diabaikan
5. Beban uji yang diberikan adalah beban terpusat pada titik buhul rangka melintang tengah model jembatan.
6. Struktur rangka batang model jembatan dan struktur kabel prategang dianggap sebagai struktur yang sebidang.
7. Memberikan gaya horisontal pada kedua tumpuan sendi sebesar 0,002 kg untuk menganalisis kondisi model jembatan tanpa beban.
8. Metode yang digunakan untuk menganalisis elemen-elemen baja pada model jembatan adalah metode elastis.

4.4.3.1 Gaya Prategang Acuan

Gaya prategang acuan dalam analisis *StaadPro 2004* sangat tergantung dari besarnya gaya tarik inisial (*initial tension*) yang diberikan pada model jembatan rangka. Besarnya nilai gaya prategang acuan analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut.

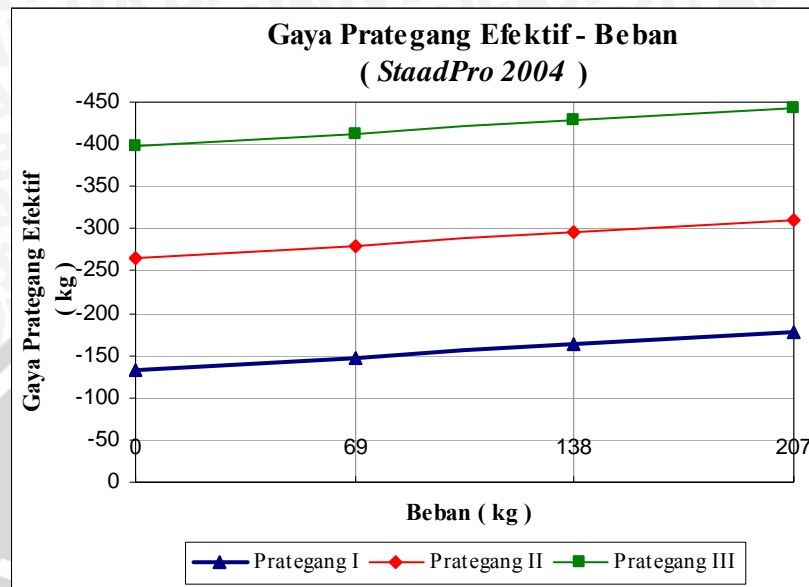
Tabel 4.15. Nilai gaya prategang acuan analisis *StaadPro 2004*

No. Gaya Prategang	Gaya Tarik Inisial (kg)	Gaya Prategang Acuan (kg)
I	163,929	-132,661
II	327,908	-265,322
III	491,870	-397,983

Sumber: hasil analisis *StaadPro 2004*

4.4.3.2 Gaya Prategang Efektif

Besarnya gaya prategang efektif analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.16 berikut.



Gambar 4.10. Grafik gaya prategang efektif analisis *StaadPro 2004*

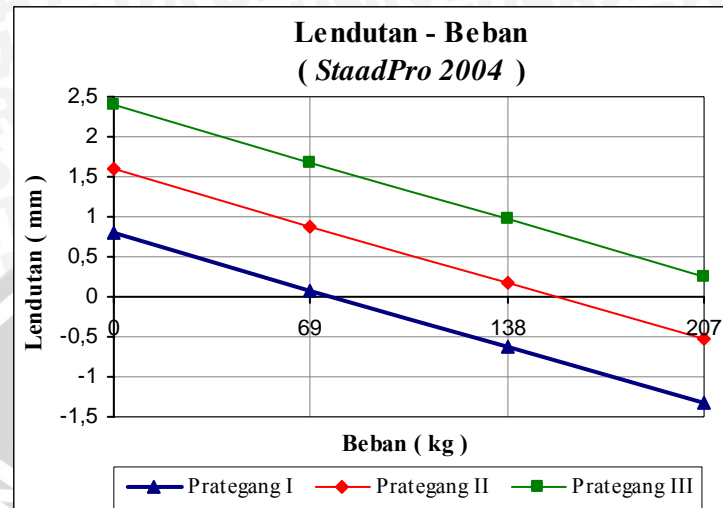
Tabel 4.16. Nilai gaya prategang efektif analisis *StaadPro 2004*

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Prategang Efektif (kg)
-132,661	0	-132,661
	69	-147,698
	138	-162,735
	207	-177,772
	0	-132,661
-265,322	0	-265,322
	69	-280,369
	138	-295,415
	207	-310,462
	0	-265,322
-397,983	0	-397,983
	69	-413,031
	138	-428,079
	207	-443,126
	0	-397,983

Sumber: hasil analisis *StaadPro 2004*

4.4.3.3 Lendutan Maksimum

Besarnya lendutan maksimum model jembatan rangka prategang analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.17 berikut.



Gambar 4.11. Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka prategang analisis *StaadPro 2004*

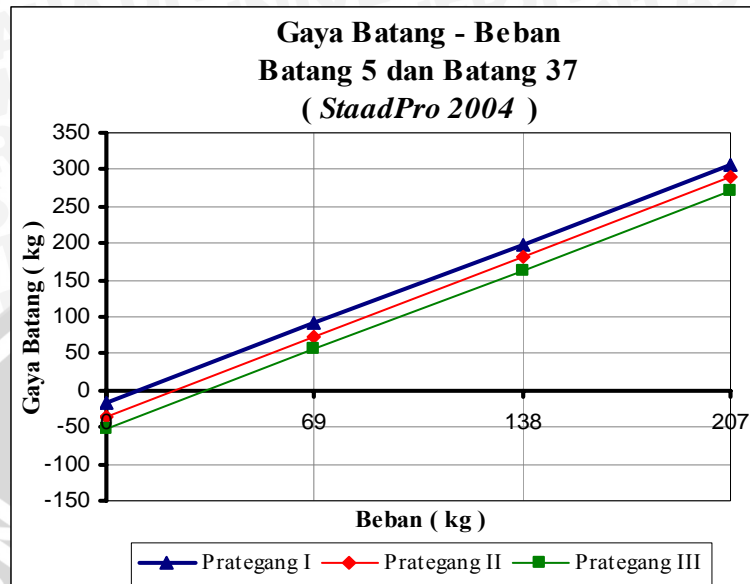
Tabel 4.17. Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka prategang analisis *StaadPro 2004*

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)
-132,661	0	0,796
	69	0,087
	138	-0,622
	207	-1,332
-265,322	0	0,796
	69	1,593
	138	0,883
	207	0,174
-397,983	0	-0,535
	69	1,593
	138	0,970
	207	0,261
	0	2,389

Sumber: hasil analisis *StaadPro 2004*

4.4.3.4 Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah

Besarnya gaya batang dan tegangan model jembatan rangka prategang analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Gambar 4.12, Tabel 4.18, dan Tabel 4.19 berikut.



Gambar 4.12. Grafik gaya batang model jembatan rangka prategang analisis *StaadPro 2004*

Tabel 4.18. Nilai gaya batang model jembatan rangka prategang analisis *StaadPro 2004*

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Batang (kg)		
		Batang 5	Batang 37	Kondisi
-132,661	0	-17,534	-17,534	Tarik
	69	90,518	90,518	Tekan
	138	198,569	198,569	Tekan
	207	306,620	306,620	Tekan
	0	-17,534	-17,534	Tarik
-265,322	0	-35,067	-35,067	Tarik
	69	72,984	72,984	Tekan
	138	181,034	181,034	Tekan
	207	289,083	289,083	Tekan
	0	-35,067	-35,067	Tarik
-397,983	0	-52,599	-52,599	Tarik
	69	55,451	55,451	Tekan
	138	163,501	163,501	Tekan
	207	271,550	271,550	Tekan
	0	-52,599	-52,599	Tarik

Sumber: hasil analisis *StaadPro 2004*

Tabel 4.19. Nilai tegangan model jembatan rangka prategang analisis *StaadPro 2004*

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Batang 5		Batang 37	
		f (kg/cm ²)	Kondisi	f (kg/cm ²)	Kondisi
-132,661	0	-5,097	Tarik	-5,097	Tarik
	69	26,313	Tekan	26,313	Tekan
	138	57,724	Tekan	57,724	Tekan
	207	89,134	Tekan	89,134	Tekan
	0	-5,097	Tarik	-5,097	Tarik
-265,322	0	-10,194	Tarik	-10,194	Tarik
	69	21,216	Tekan	21,216	Tekan
	138	52,626	Tekan	52,626	Tekan
	207	84,036	Tekan	84,036	Tekan
	0	-10,194	Tarik	-10,194	Tarik
-397,983	0	-15,290	Tarik	-15,290	Tarik
	69	16,120	Tekan	16,120	Tekan
	138	47,529	Tekan	47,529	Tekan
	207	78,939	Tekan	78,939	Tekan
	0	-15,290	Tarik	-15,290	Tarik

Sumber: hasil analisis *StaadPro 2004*

4.4.4 Perbandingan Analisis Pengujian Laboratorium dengan *STAADPro 2004*

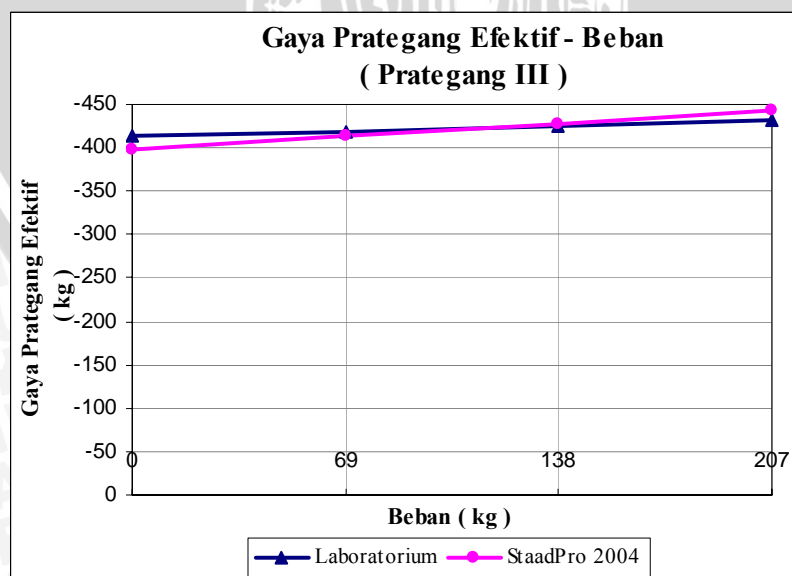
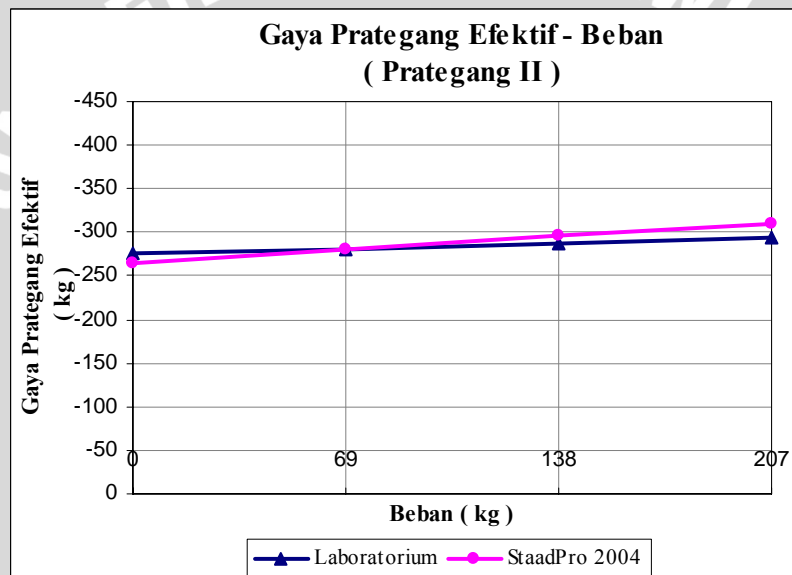
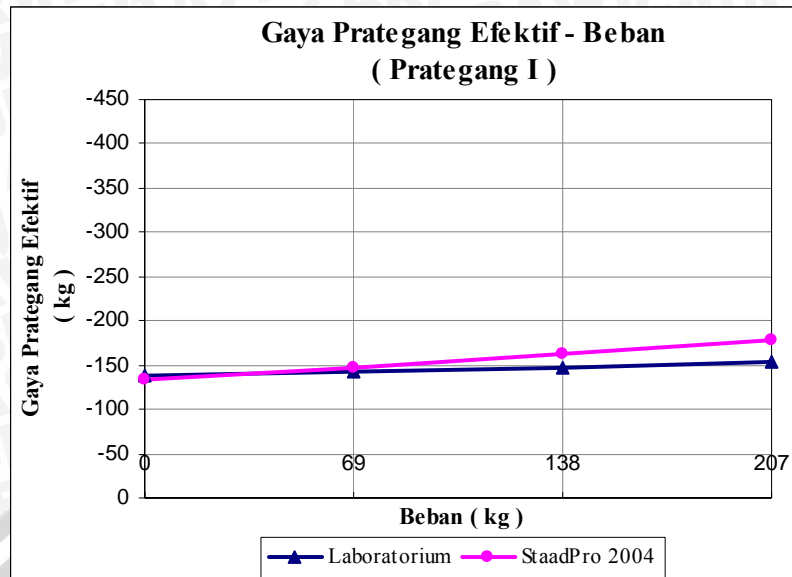
4.4.4.1 Gaya Prategang Efektif

Perbandingan gaya prategang efektif antara pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.13 berikut.

Tabel 4.20. Nilai perbandingan gaya prategang efektif pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

No. Gaya Prategang	Beban (kg)	Gaya Prategang Efektif (kg)	
		Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>
I	0	-137,536	-132,661
	69	-142,210	-147,698
	138	-147,718	-162,735
	207	-153,727	-177,772
	0	-137,536	-132,661
II	0	-275,572	-265,322
	69	-280,914	-280,369
	138	-286,589	-295,415
	207	-292,931	-310,462
	0	-275,572	-265,322
III	0	-413,108	-397,983
	69	-418,951	-413,031
	138	-425,294	-428,079
	207	-432,138	-443,126
	0	-413,108	-397,983

Sumber: analisis laboratorium dan analisis *StaadPro 2004*



Gambar 4.13. Grafik perbandingan gaya prategang efektif pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

4.4.4.2 Lendutan Maksimum

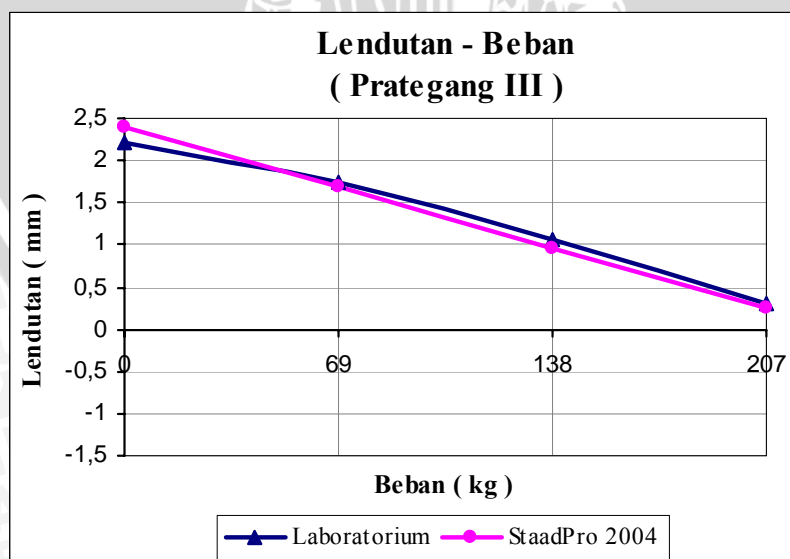
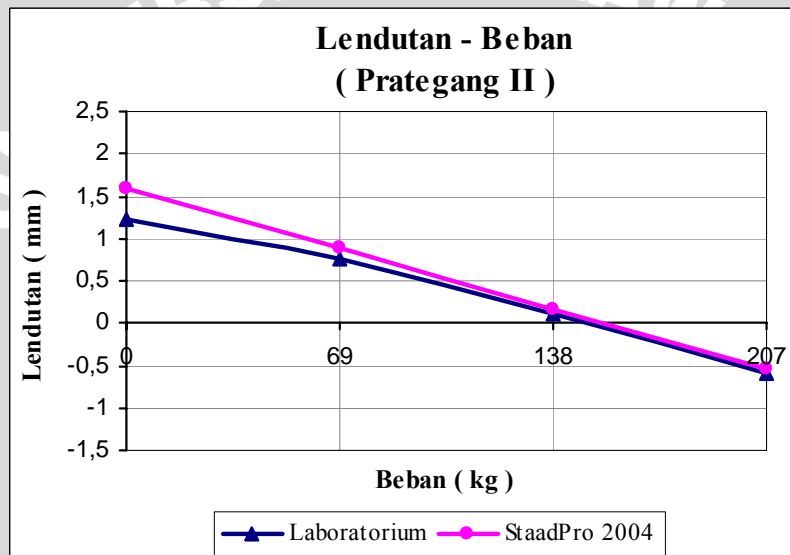
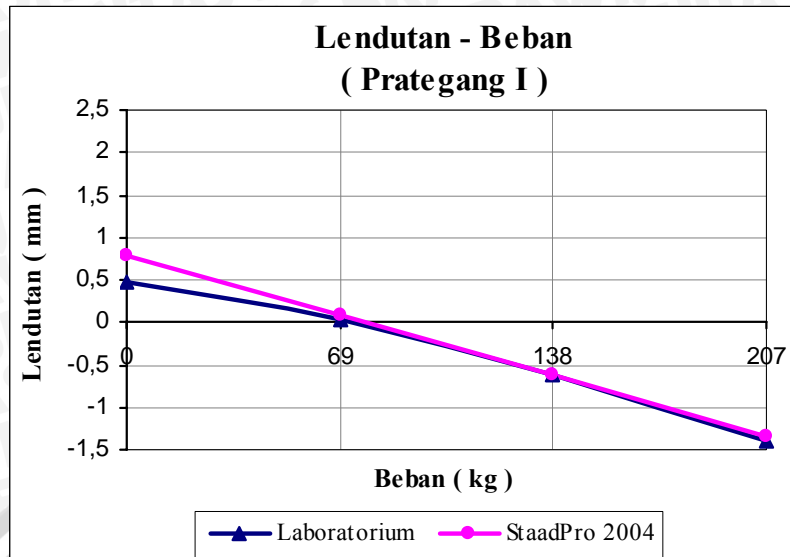
Perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka prategang antara pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.14 berikut.

Tabel 4.21. Nilai perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

No. Gaya Prategang	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
		Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>
I	0	0,480	0,796
	69	0,030	0,087
	138	-0,620	-0,622
	207	-1,390	-1,332
	0	0,480	0,796
II	0	1,220	1,593
	69	0,770	0,883
	138	0,110	0,174
	207	-0,590	-0,535
	0	1,220	1,593
III	0	2,200	2,389
	69	1,730	1,680
	138	1,050	0,970
	207	0,300	0,261
	0	2,200	2,389

Sumber: analisis laboratorium dan analisis *StaadPro 2004*





Gambar 4.14. Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

4.4.4.3 Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah

Perbandingan gaya batang dan tegangan model jembatan rangka prategang antara pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004* dapat dilihat pada Tabel 4.22, Tabel 4.23, dan Gambar 4.15 berikut.

Tabel 4.22. Nilai perbandingan gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

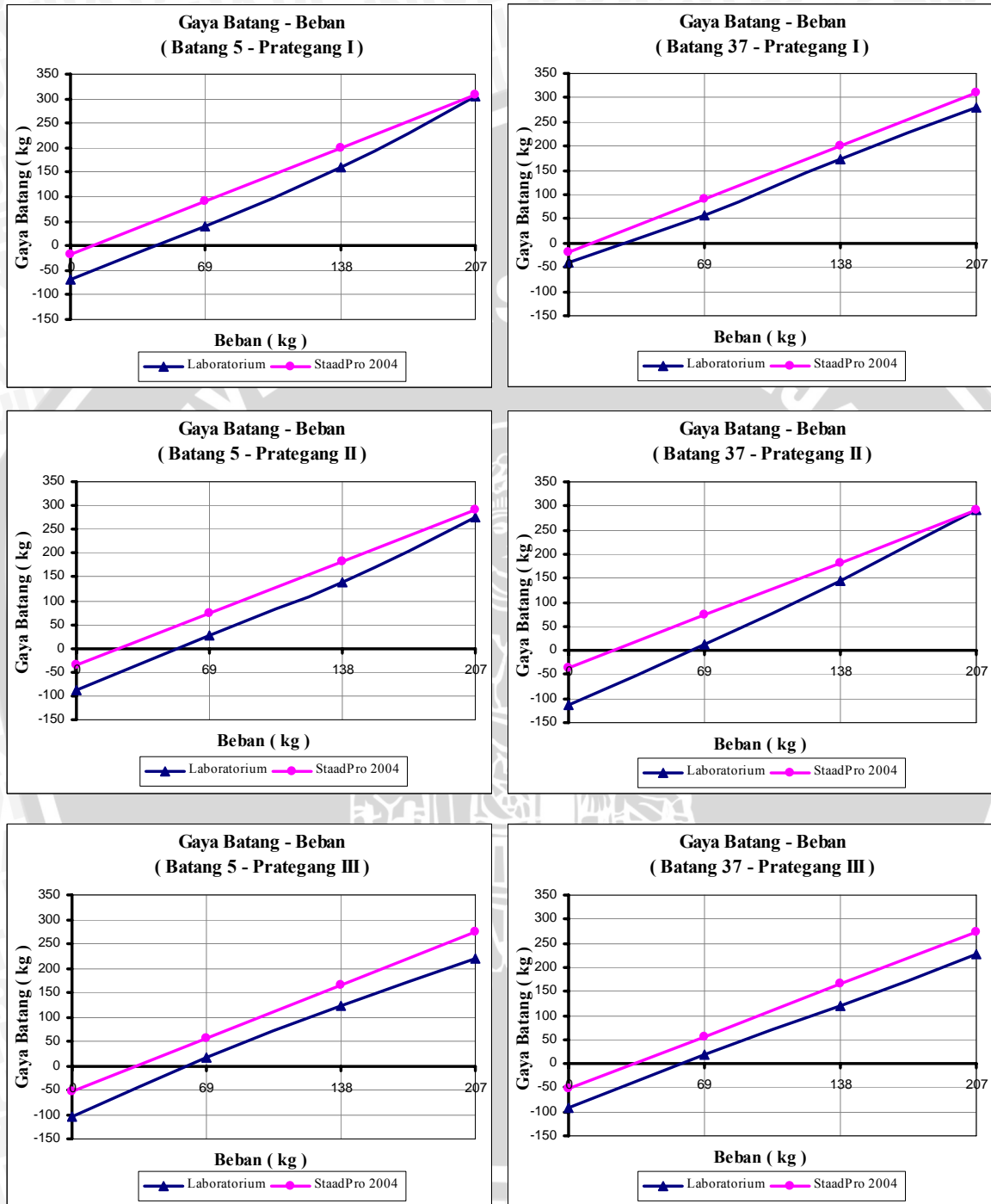
No. Gaya Prategang	Beban (kg)	Gaya Batang (kg)			
		Batang 5		Batang 37	
		Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>	Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>
I	0	-67,934	-17,534	-39,961	-17,534
	69	39,961	90,518	55,946	90,518
	138	159,845	198,569	171,834	198,569
	207	303,706	306,620	279,729	306,620
	0	-67,934	-17,534	-39,961	-17,534
II	0	-87,915	-35,067	-111,892	-35,067
	69	27,973	72,984	11,988	72,984
	138	139,865	181,034	143,861	181,034
	207	275,733	289,083	291,718	289,083
	0	-87,915	-35,067	-111,892	-35,067
III	0	-103,899	-52,599	-91,911	-52,599
	69	15,985	55,451	19,981	55,451
	138	123,880	163,501	119,884	163,501
	207	219,787	271,550	227,780	271,550
	0	-103,899	-52,599	-91,911	-52,599

Sumber: analisis laboratorium dan analisis *StaadPro 2004*

Tabel 4.23. Nilai perbandingan tegangan model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

No. Gaya Prategang	Beban (kg)	f (kg/cm ²)			
		Batang 5		Batang 37	
		Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>	Laboratorium	<i>StaadPro 2004</i>
I	0	-19,748	-5,097	-11,617	-5,097
	69	11,617	26,313	16,263	26,313
	138	46,467	57,724	49,952	57,724
	207	88,287	89,134	81,317	89,134
	0	-19,748	-5,097	-11,617	-5,097
II	0	-25,557	-10,194	-32,527	-10,194
	69	8,132	21,216	3,485	21,216
	138	40,658	52,626	41,820	52,626
	207	80,155	84,036	84,802	84,036
	0	-25,557	-10,194	-32,527	-10,194
III	0	-30,203	-15,290	-26,718	-15,290
	69	4,647	16,120	5,808	16,120
	138	36,012	47,529	34,850	47,529
	207	63,892	78,939	66,215	78,939
	0	-30,203	-15,290	-26,718	-15,290

Sumber: analisis laboratorium dan analisis *StaadPro 2004*

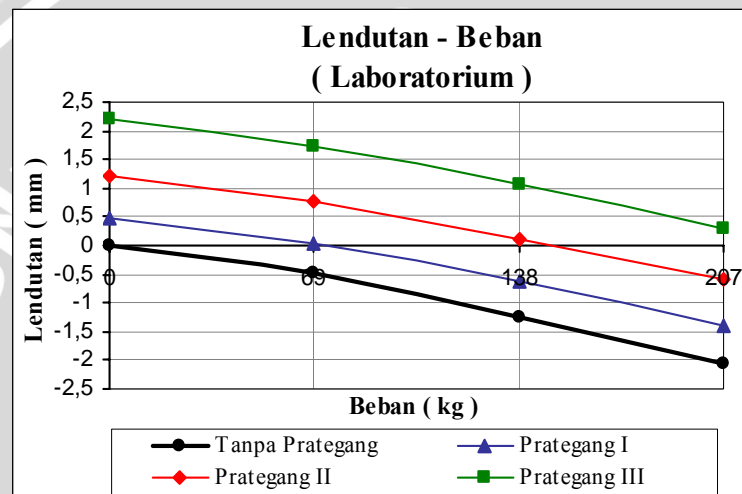


Gambar 4.15. Grafik perbandingan gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis *StaadPro 2004*

4.5 Pembahasan

4.5.1 Lendutan Maksimum

Lendutan maksimum merupakan deformasi vertikal terbesar pada tengah bentang model jembatan. Variasi peningkatan beban uji yang diberikan besarnya sama terhadap kedua model jembatan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan lendutannya. Dengan memberikan gaya prategang pada model jembatan rangka akan menyebabkan penurunan lendutan maksimum yang terjadi (Gambar 4.16). Nilai persentase penurunan lendutan maksimum akibat pemberian gaya prategang dapat dilihat pada Tabel 4.24 berikut.



Gambar 4.16. Grafik lendutan model jembatan sebelum dan sesudah diprategang

Tabel 4.24. Nilai persentase penurunan lendutan akibat pemberian gaya prategang pengujian laboratorium

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Lendutan				Penurunan Lendutan		Rata-rata Penurunan Lendutan (%)
		Tanpa Prategang (mm)	Selisih	Dengan Prategang (mm)	Selisih	(mm)	(%)	
-137,536	0	0,000	0,480	0,480	0,450	0,030	6,250	8,739
	69	-0,480	0,480	0,030	0,450	0,030	6,250	
	138	-1,250	0,770	-0,620	0,650	0,120	15,584	
	207	-2,050	0,800	-1,390	0,770	0,030	3,750	
-275,572	0	0,000	0,480	1,220	0,450	0,030	6,250	
	69	-0,480	0,480	0,770	0,450	0,030	6,250	
	138	-1,250	0,770	0,110	0,660	0,110	14,286	
	207	-2,050	0,800	-0,590	0,700	0,100	12,500	
-413,108	0	0,000	0,480	2,200	0,470	0,010	2,083	
	69	-0,480	0,480	1,730	0,680	0,090	11,688	
	138	-1,250	0,770	1,050	0,750	0,050	6,250	
	207	-2,050	0,800	0,300	0,750	0,050	6,250	

Sumber: analisis laboratorium

Pada pengujian model jembatan rangka lendutan maksimumnya sebesar 2,050 mm ke bawah, sedangkan pada model jembatan rangka prategang sebesar 1,390 mm ke bawah. Hal ini membuktikan bahwa dengan pemberian gaya prategang menyebabkan terjadinya penurunan lendutan model jembatan. Penurunan lendutan maksimumnya sebesar 0,660 mm atau 32,195 % dari lendutan maksimum model jembatan rangka. Rata-rata penurunan lendutannya sebesar 8,739 % dari selisih lendutan model jembatan rangka tanpa gaya prategang.

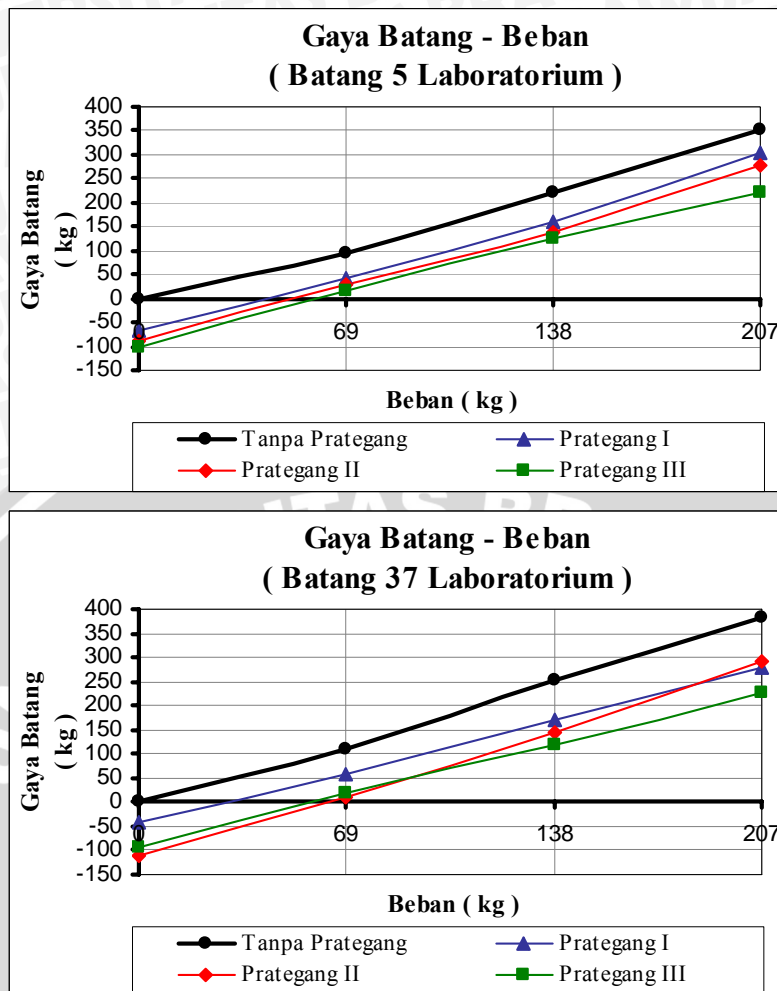
Gaya prategang acuan optimum diharapkan dapat menghasilkan lendutan terkecil baik lendutan ke atas maupun ke bawah ketika beban minimum ataupun beban maksimum bekerja. Pada penelitian ini gaya prategang acuan optimumnya sebesar 137,536 kg, karena lendutan yang dihasilkan terkecil apabila dibandingkan dengan lendutan akibat gaya prategang acuan lainnya dengan kondisi beban yang sama.

4.5.2 Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah

Batang lemah merupakan batang yang memiliki nilai tegangan maksimum akibat pembebanan dan pemberian gaya prategang, dalam hal ini batang 5 dan batang 37. Dari hasil pengujian laboratorium diperoleh nilai gaya batang maksimum pada model jembatan rangka sebesar 383,629 kg (tekan), sedangkan pada model jembatan rangka prategang sebesar 303,706 kg (tekan). Nilai gaya batang tersebut masih jauh dibawah nilai kuat tekan nominalnya yaitu sebesar 6710,363 kg. Besarnya gaya batang model jembatan sebelum dan sesudah diberikan gaya prategang dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Tabel 4.25 berikut.

Analisis tekuk komponen struktur tekan diperlukan untuk menjamin stabilitas struktur, sehingga parameter kelangsingan kolom (λ_c) digunakan untuk menentukan nilai faktor tekuk (ω) batang. Berdasarkan SNI 03-1729-2002 tegangan kritis komponen struktur tekan dapat ditentukan dari tegangan leleh dibagi dengan faktor tekuknya. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai faktor tekuk batang tekan 1,335 dan tegangan kritisnya sebesar 1950,687 kg/cm².

Tegangan maksimum yang diperoleh pada pengujian laboratorium untuk batang tekan sebesar 88,287 kg/cm², sedangkan untuk batang tarik sebesar 32,527 kg/cm². Pada kabel prategang tegangan maksimum yang terjadi diakibatkan oleh gaya prategang efektif terbesar, sehingga tegangan maksimumnya adalah gaya prategang efektif terbesar dibagi dengan luas penampang kabelnya yaitu sebesar 2204,786 kg/cm².



Gambar 4.17. Grafik gaya batang model jembatan sebelum dan sesudah diprategang

Tabel 4.25. Nilai gaya batang pengujian laboratorium

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Batang (kg)			
		Tanpa Prategang		Dengan Prategang	
		Batang 5	Batang 37	Batang 5	Batang 37
-137,536	0	0,000	0,000	-67,934	-39,961
	69	95,907	111,892	39,961	55,946
	138	219,787	251,756	159,845	171,834
	207	351,660	383,629	303,706	279,729
-275,572	0	0,000	0,000	-87,915	-111,892
	69	95,907	111,892	27,973	11,988
	138	219,787	251,756	139,865	143,861
	207	351,660	383,629	275,733	291,718
-413,108	0	0,000	0,000	-103,899	-91,911
	69	95,907	111,892	15,985	19,981
	138	219,787	251,756	123,880	119,884
	207	351,660	383,629	219,787	227,780

Sumber: analisis laboratorium

4.5.3 Gaya Prategang

4.5.3.1 Gaya Prategang Acuan

Pemberian gaya prategang acuan didasarkan pada gaya prategang yang digunakan untuk menimbulkan lendutan ke atas sebesar lendutan model jembatan rangka ketika menerima beban 69 kg. Gaya prategang acuan pada pengujian di laboratorium ditimbulkan dari proses *jacking* kabel, sehingga dapat diketahui secara langsung besarnya gaya prategang acuan yang terbaca pada *loadmeter*. Nilai yang terbaca pada *loadmeter* adalah besarnya gaya dalam pada kabel yang berupa gaya tarik.

Tabel 4.26. Nilai variasi gaya prategang acuan hasil pengujian laboratorium

No. Gaya Prategang	Gaya Prategang Acuan Rata-rata (kg)
I	-137,536
II	-275,572
III	-413,108

Sumber: hasil laboratorium

Dalam analisis *StaadPro 2004* gaya prategang acuan tidak dapat diketahui secara langsung karena ditentukan dari besarnya gaya tarik inisial (*initial tension*) yang diberikan pada kabel prategangnya. Gaya tarik inisial merupakan gaya tarik yang diberikan pada kabel dalam analisis menggunakan *StaadPro 2004*.

Tabel 4.27. Nilai variasi gaya prategang acuan hasil analisis *StaadPro 2004*

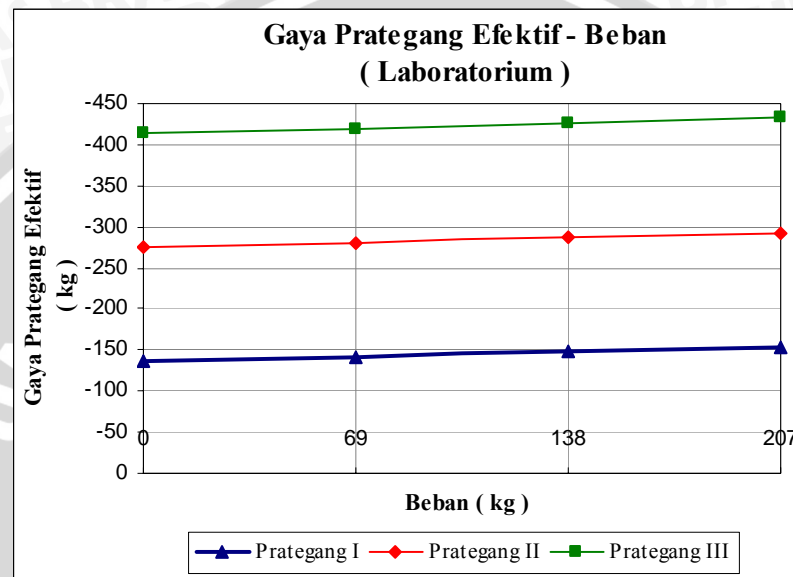
No. Gaya Prategang	Gaya Tarik Inisial (kg)	Gaya Prategang Acuan (kg)
I	163,929	-132,661
II	327,908	-265,322
III	491,870	-397,983

Sumber: hasil analisis *StaadPro 2004*

Dari Tabel 4.27 didapatkan bahwa besarnya gaya prategang acuan yang terjadi lebih kecil dari gaya tarik inisialnya. Hal ini menunjukkan adanya kehilangan gaya prategang pada kabel, namun kehilangan gaya prategang tidak dibahas dalam penelitian ini. Variasi pemberian gaya tarik inisial menghasilkan variasi gaya prategangan acuan yang bersifat linier. Kondisi ini menunjukkan bahwa model jembatan masih dalam keadaan elastis linier.

4.5.3.2 Gaya Prategang Efektif

Gaya prategang efektif adalah gaya tarik yang terjadi pada kabel akibat peningkatan beban pada model jembatan rangka prategang. Dengan bertambahnya beban, maka gaya prategang efektif yang terjadi juga akan semakin meningkat (Gambar 4.18). Nilai persentase peningkatan gaya prategang efektif hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.28 berikut.



Gambar 4.18. Grafik gaya prategang efektif pengujian laboratorium

Tabel 4.28. Nilai persentase peningkatan gaya prategang efektif hasil pengujian laboratorium

Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Prategang Efektif (kg)	Peningkatan Gaya Prategang Efektif		Rata-rata Peningkatan Gaya Prategang Efektif (%)
			(kg)	(%)	
-137,536	0	-137,536			4,248
	69	-142,210	-4,674	3,398	
	138	-147,718	-5,508	4,005	
	207	-153,727	-6,009	4,369	
-275,572	0	-275,572			
	69	-280,914	-5,342	3,884	
	138	-286,589	-5,675	4,126	
	207	-292,931	-6,342	4,611	
-413,108	0	-413,108			
	69	-418,951	-5,843	4,248	
	138	-425,294	-6,343	4,612	
	207	-432,138	-6,844	4,976	

Sumber: hasil analisis pengujian laboratorium

Rata-rata persentase peningkatan gaya prategang efektif adalah 4,248 % dari gaya prategang acuan pertama sebesar 137,536 kg. Nilai peningkatan gaya prategang efektif yang bervariasi disebabkan karena penggunaan dua buah *loadcell* dengan kapasitas dan faktor kalibrasi alat yang berbeda. Sehingga nilai gaya prategang efektif yang terbaca pada *loadmeter* merupakan rata-rata dari nilai gaya prategang efektif *loadcell* 1 dan *loadcell* 2.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemberian gaya prategang pada model jembatan rangka baja menyebabkan penurunan lendutan yang terjadi akibat peningkatan beban. Pemberian gaya prategang dengan kabel prategang eksternal tipe segitiga menghasilkan penurunan lendutan maksimum sebesar 32,195 % dari lendutan maksimum model jembatan rangka. Rata-rata penurunan lendutannya sebesar 8,739 % dari selisih lendutan pada model jembatan rangka tanpa prategang.
2. Gaya prategang acuan merupakan gaya prategang yang diberikan untuk menghasilkan lendutan ke atas sebesar lendutan model jembatan rangka ketika menerima beban 69 kg. Gaya prategang efektif merupakan gaya tarik yang terjadi pada kabel akibat peningkatan beban. Dengan peningkatan beban uji pada model jembatan menyebabkan gaya prategang efektif yang terjadi pada kabel meningkat. Rata-rata peningkatan gaya prategang efektif sebesar 4,248 % dari gaya prategang acuan pertama 137,536 kg. Selama beban uji dan gaya prategang acuan yang diberikan tidak melebihi batas elastis model jembatan, maka besarnya peningkatan gaya prategang efektif tersebut akan konstan. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi struktur model jembatan rangka prategang masih dalam keadaan elastis linier.

5.2 Saran

1. Pengujian material kabel perlu dilakukan sesuai dengan standar pengujiannya, sehingga data pengujian kabel yang diperoleh lebih akurat.
2. Proses *jacking* kabel prategang sebaiknya tidak dilakukan secara manual menggunakan jarum keras, penggunaan alat yang standar diperlukan supaya gaya prategang yang dihasilkan optimal.
3. Diupayakan menggunakan *loadcell* yang mempunyai kapasitas dan angka kalibrasi yang sama agar gaya prategang acuan yang diberikan sama besar pada kedua sisi rangka model jembatan.

4. Memperbanyak pengukuran regangan pada batang-batang model jembatan untuk mendapatkan tegangan masing-masing batang, sehingga kondisi elastis model jembatan diketahui dengan pasti.
5. Sebelum melakukan pengujian perlu diperhatikan kekakuan pada sambungan model jembatan rangka untuk meminimalkan terjadinya perbedaan regangan dan gaya prategang antara rangka sisi kanan dengan rangka sisi kiri.



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Jenis-jenis rangka: (a) Paralel, (b) Lensa, (c) Sabit, (d) Parabol, (e) Parabol Rangkap, (f) Semi Parabol, (g) Perut Ikan	4
Gambar 2.2.	Tipe rangka: (1) Rangka N, (2) Rangka N terbalik, (3) Rangka V, (4) Rangka V dengan batang vertikal	5
Gambar 2.3.	Lendutan pada rangka batang dengan geometris tetap	8
Gambar 2.4.	(a) Rangka batang dengan 2 elemen, (b) Deformasi rangka batang dengan asumsi titik buhul bebas	9
Gambar 2.5.	Diagram kerja batang: (1) tanpa prategang, (2) dengan prategang	10
Gambar 2.6.	Diagram kerja batang dengan prategang bertahap	11
Gambar 2.7.	Tipe pemasangan kabel prategang pada batang: (1) Prategang pada batang-batang tarik rangka, (2) Prategang sepanjang bentang rangka, (3) Dua atau lebih prategang sepanjang bentang rangka	12
Gambar 2.8.	Rangka dengan kabel poligonal	12
Gambar 2.9.	Rangka dengan kabel eksternal (<i>externally located tendons</i>)	12
Gambar 2.10.	Rangka semi parabol tipe N terbalik	15
Gambar 2.11.	Letak kabel prategang eksternal tipe segitiga	16
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2.	Model jembatan rangka	20
Gambar 3.3.	Model jembatan rangka prategang	20
Gambar 3.4.	Skema pembebanan	22
Gambar 4.1.	Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium	27
Gambar 4.2.	Grafik gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium	30
Gambar 4.3.	Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka analisis <i>StaadPro 2004</i>	32
Gambar 4.4.	Grafik gaya batang model jembatan rangka analisis <i>StaadPro 2004</i>	33
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	34
Gambar 4.6.	Grafik perbandingan gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	35
Gambar 4.7.	Grafik gaya prategang efektif rata-rata pengujian laboratorium	38

No.	Judul	Halaman
Gambar 4.8.	Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium	39
Gambar 4.9.	Grafik gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium	40
Gambar 4.10.	Grafik gaya prategang efektif analisis <i>StaadPro 2004</i>	43
Gambar 4.11.	Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka prategang analisis <i>StaadPro 2004</i>	44
Gambar 4.12.	Grafik gaya batang model jembatan rangka prategang analisis <i>StaadPro 2004</i>	45
Gambar 4.13.	Grafik perbandingan gaya prategang efektif pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	47
Gambar 4.14.	Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	49
Gambar 4.15.	Grafik perbandingan gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	51
Gambar 4.16.	Grafik lendutan model jembatan sebelum dan sesudah diprategang	52
Gambar 4.17.	Grafik gaya batang model jembatan sebelum dan sesudah diprategang	54
Gambar 4.18.	Grafik gaya prategang efektif rata-rata pengujian laboratorium	56
Gambar L.1.	Dimensi profil yang diuji tarik (satuan cm)	66
Gambar L.2.	Hasil uji tarik profil baja	66
Gambar L.3.	Hasil uji tarik kabel prategang	67

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SIMBOL	ix
ABSTRAK	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Jembatan Rangka Batang	4
2.3 Gaya Batang dan Tegangan Pada Elemen Batang	5
2.4 Lendutan	7
2.4.1 Konsep Dasar Lendutan	7
2.4.2 Lendutan Struktur Rangka Batang	8
2.5 Prategang	9
2.5.1 Pengertian Dasar Prategang	9
2.5.2 Konsep Dasar Prategang	10
2.5.3 Prategang Pada Rangka Batang	11
2.5.3.1 Prategang Pada Elemen Batang	11
2.5.3.2 Prategang Pada Struktur Rangka Batang	12
2.6 Dalil <i>Betti</i> dan Dalil Timbal Balik <i>Maxwell</i>	13
2.7 Desain dan Analisis Model Jembatan	14
2.7.1 Desain Model Jembatan	14
2.7.2 Pengujian Dengan Variasi Pembebanan	15
2.7.3 Analisis Model Jembatan	15
III METODOLOGI	18
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	18
3.3 Rencana Penelitian	19
3.3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.3.2 Rancangan Model Jembatan	20
3.3.2.1 Jembatan Rangka	20
3.3.2.2 Jembatan Rangka Prategang	20
3.3.3 Rancangan Pembebanan	21
3.3.4 Prosedur Pemodelan	22
3.3.5 Metode Pengumpulan Data	23
3.4 Analisis Penelitian	23
3.4.1 Input Data	23
3.4.2 Prosedur Analisis	24

3.5	Variabel Penelitian	24
3.6	Analisis Data	25
IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	26
4.1	Analisis Bahan Penelitian	26
4.1.1	Model Jembatan	26
4.1.2	Kabel	26
4.2	Data Penelitian	26
4.3	Pengujian Model Jembatan Rangka	26
4.3.1	Pelaksanaan Pengujian	26
4.3.2	Hasil Analisis Pengujian Laboratorium	27
4.3.2.1	Lendutan Maksimum	27
4.3.2.2	Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah	28
4.3.3	Hasil Analisis <i>STAADPro 2004</i>	31
4.3.3.1	Lendutan Maksimum	32
4.3.3.2	Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah	33
4.3.4	Perbandingan Analisis Pengujian Laboratorium dengan <i>STAADPro 2004</i>	34
4.3.4.1	Lendutan Maksimum	34
4.3.4.2	Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah	35
4.4	Pengujian Model Jembatan Rangka Prategang	36
4.4.1	Pelaksanaan Pengujian	36
4.4.2	Hasil Analisis Pengujian Laboratorium	37
4.4.2.1	Gaya Prategang Acuan	37
4.4.2.2	Gaya Prategang Efektif	38
4.4.2.3	Lendutan Maksimum	39
4.4.2.4	Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah	40
4.4.3	Hasil Analisis <i>STAADPro 2004</i>	42
4.4.3.1	Gaya Prategang Acuan	42
4.4.3.2	Gaya Prategang Efektif	43
4.4.3.3	Lendutan Maksimum	44
4.4.3.4	Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah	45
4.4.4	Perbandingan Analisis Pengujian Laboratorium dengan <i>STAADPro 2004</i>	46
4.4.4.1	Gaya Prategang Efektif	46
4.4.4.2	Lendutan Maksimum	48
4.4.4.3	Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah	50
4.5	Pembahasan	52
4.5.1	Lendutan Maksimum	52
4.5.2	Gaya Batang dan Tegangan Pada Batang Lemah	53
4.5.3	Gaya Prategang	55
4.5.3.1	Gaya Prategang Acuan	55
4.5.3.2	Gaya Prategang Efektif	56
V	PENUTUP	58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN DAN GAMBAR		

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Dimensi Model Jembatan	60
Lampiran 2	Penomoran Batang	61
Lampiran 3.1	Skema Alat Model Jembatan Rangka	62
Lampiran 3.2	Skema Alat Model Jembatan Rangka Prategang	63
Lampiran 4.1	Grafik Uji Tarik Benda Uji I	64
Lampiran 4.2	Grafik Uji Tarik Benda Uji II	65
Lampiran 4.3	Hasil Uji Tarik Profil Baja	66
Lampiran 5	Hasil Uji Tarik Kabel Prategang	67
Lampiran 6	Data Pembacaan Alat	68
Lampiran 7	Analisis <i>StaadPro 2004</i>	71
Lampiran 8	Hasil Uji Statistik	81



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- BMS. 1991. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Binamarga.
- Dewi, Sri Murni. 1997. *Jembatan Baja*. Surabaya: Karya Abditama.
- Dipohusodo, Istimawan. 2001. *Analisis Struktur*. Jilid 1. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- 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 Unibraw, 2006.
- 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 Unibraw, 2005.
- Roylance, David. 2000. *Trusses*. Cambridge, Department of Materials Science and Engineering. www.cse.ucsd.edu/users/atkinson/felt/Truss.pdf.
- Soemono. 1979. *Statika 2*. Bandung: ITB.
- Taly, Narendra. 1998. *Design Of Modenn Highway Bridges*. Canada: John Wiley and Sons.
- Troitsky, M.S. 1990. *Prestressed Steel Bridges Theory and Design*. New York: Van Nostrand Renhold Company.
- Xanthakos. 1994. *Theory and Design Bridges*. New York: John Wiley and Sans. Inc.
- Wira. 1986. *Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik dan Matriks*. Edisi II, terjemahan A. Ghali A. M Neville. Jakarta: Erlangga.

DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan	Simbol
Beban	kg	P
Beban terfaktor	kg	P_u
Bentang	cm	L
Berat jenis	kg/m^3	γ
Deformasi aksial	mm	δ
Diameter	mm	ϕ
Faktor tekuk	-	ω
Faktor panjang tekuk	-	k_c
Faktor reduksi kekuatan	-	ϕ_c
Gaya aksial batang	kg	P
Gaya dari sistem F	kg	F_i
Gaya dari sistem Q	kg	Q_i
Gaya prategang acuan I	kg	P_I
Gaya prategang acuan II	kg	P_{II}
Gaya prategang acuan III	kg	P_{III}
Jari-jari girasi	cm	r
Kuat tekan nominal	kg	P_n
Lendutan horizontal	mm	δ_h
Lendutan vertikal	mm	δ_v
Luas penampang	cm^2	A
Luas penampang kotor	cm^2	A_g
Modulus elastisitas	kg/cm^2	E
Momen inersia batang	cm^4	I
Momen inersia batang sumbu y	cm^4	I_y
Panjang tekuk	cm	L_k
Parameter kelangsingan batang	-	λ_c
Perpindahan akibat sistem F	mm	D_{iF}
Perpindahan akibat sistem Q	mm	D_{iQ}
Perpindahan di i akibat gaya satu satuan di j	mm	f_{ij}
Perpindahan di j akibat gaya satu satuan di i	mm	f_{ji}
Rasio <i>Poisson</i>	-	μ
Regangan	-	ϵ
Sudut	o	θ
Tegangan awal	kg/cm^2	f_o
Tegangan kritis	kg/cm^2	f_{cr}
Tegangan leleh	kg/cm^2	f_y
Tegangan normal	kg/cm^2	f
Tegangan putus kabel	kg/cm^2	f_{Pu}
Tegangan yang diijinkan	kg/cm^2	F

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Nilai panjang tekuk (L_k) untuk kolom dengan ujung-ujung ideal	7
Tabel 3.1.	Rancangan pengujian beban pada model jembatan	21
Tabel 4.1.	Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium	28
Tabel 4.2.	Nilai gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium	30
Tabel 4.3.	Nilai tegangan model jembatan rangka pengujian laboratorium	31
Tabel 4.4.	Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka analisis <i>StaadPro 2004</i>	32
Tabel 4.5.	Nilai gaya batang model jembatan rangka analisis <i>StaadPro 2004</i>	33
Tabel 4.6.	Nilai tegangan model jembatan rangka analisis <i>StaadPro 2004</i>	33
Tabel 4.7.	Nilai perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	34
Tabel 4.8.	Nilai perbandingan gaya batang model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	35
Tabel 4.9.	Nilai perbandingan tegangan model jembatan rangka pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	36
Tabel 4.10.	Nilai gaya prategang acuan rata-rata pengujian laboratorium	37
Tabel 4.11.	Nilai gaya prategang efektif rata-rata pengujian laboratorium	38
Tabel 4.12.	Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium	39
Tabel 4.13.	Nilai gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium	41
Tabel 4.14.	Nilai tegangan model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium	41
Tabel 4.15.	Nilai gaya prategang acuan analisis <i>StaadPro 2004</i>	42
Tabel 4.16.	Nilai gaya prategang efektif analisis <i>StaadPro 2004</i>	43
Tabel 4.17.	Nilai lendutan maksimum model jembatan rangka prategang analisis <i>StaadPro 2004</i>	44
Tabel 4.18.	Nilai gaya batang model jembatan rangka prategang analisis <i>StaadPro 2004</i>	45
Tabel 4.19.	Nilai tegangan model jembatan rangka prategang analisis <i>StaadPro 2004</i>	46
Tabel 4.20.	Nilai perbandingan gaya prategang efektif pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	46

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.21.	Nilai perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	48
Tabel 4.22.	Nilai perbandingan gaya batang model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	50
Tabel 4.23.	Nilai perbandingan tegangan model jembatan rangka prategang pengujian laboratorium dengan analisis <i>StaadPro 2004</i>	50
Tabel 4.24.	Nilai persentase penurunan lendutan akibat pemberian gaya prategang pengujian laboratorium	52
Tabel 4.25.	Nilai gaya batang pengujian laboratorium	54
Tabel 4.26.	Nilai variasi gaya prategang acuan hasil pengujian laboratorium	55
Tabel 4.27.	Nilai variasi gaya prategang acuan hasil analisis <i>StaadPro 2004</i>	55
Tabel 4.28.	Nilai persentase peningkatan gaya prategang efektif hasil pengujian laboratorium	56
Tabel L.1.	Data uji tarik profil baja	66
Tabel L.2.	Data pembacaan <i>strainmeter</i> model jembatan rangka	68
Tabel L.3.	Data pembacaan <i>strainmeter</i> model jembatan rangka prategang	68
Tabel L.4.	Data pembacaan <i>dial gauge</i> model jembatan rangka	69
Tabel L.5.	Data pembacaan <i>dial gauge</i> model jembatan rangka prategang	69
Tabel L.6.	Data pembacaan <i>loadmeter</i>	70
Tabel L.7.	Data pembacaan <i>loadmeter</i> setelah dikalikan angka kalibrasi	70

Gambar



Model jembatan rangka baja



Tumpuan sendi



Tumpuan rol



Profing ring dan dialgauge



Loadmeter dan loadcell



Pemasangan *loadcell* pada dudukannya



Pemasangan *straingauge* pada batang lemah



Alat uji tarik baja



Alat pembaca pada uji tarik baja

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “PERSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG EKSTERNAL TIPE SEGITIGA”, sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian model jembatan rangka baja di laboratorium. Penelitian dilakukan terhadap dua buah model jembatan rangka baja, yaitu model jembatan rangka baja tanpa prategang dan model jembatan rangka baja dengan prategang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase penurunan lendutan yang terjadi akibat penggunaan kabel prategang eksternal tipe segitiga.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Kedua orang tua saya dan keluarga** yang telah memberikan dukungan moral dan material.
2. **Ir. Achmad Wicaksono, M.Eng., Ph.D.**, selaku Ketua Jurusan Sipil FT Unibraw.
3. **Ir. Wisnumurti, MT.**, selaku Sekretaris Jurusan Sipil dan juga selaku ketua majelis seminar proposal.
4. **Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MT.**, selaku dosen pembimbing I dalam skripsi ini.
5. **Ir. Sugeng P. Budio, MS.**, selaku dosen pembimbing II dalam skripsi ini.
6. **Keluarga besar sipil 2002**, atas semua bantuan dan persaudaraannya selama ini.
7. Semua pihak yang telah membantu selama penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu segala saran dan kritikan yang membangun sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik lagi. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Mei 2007

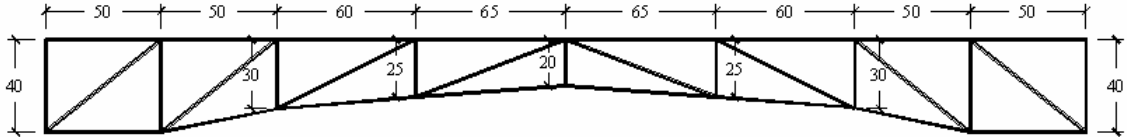
penulis

Lampiran 1

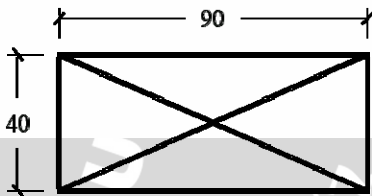
Dimensi Model Jembatan

(Satuan dalam cm)

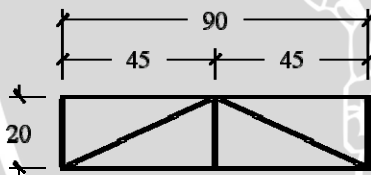
a) Rangka utama



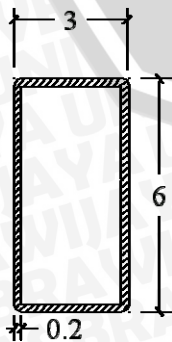
b) Rangka melintang sisi luar



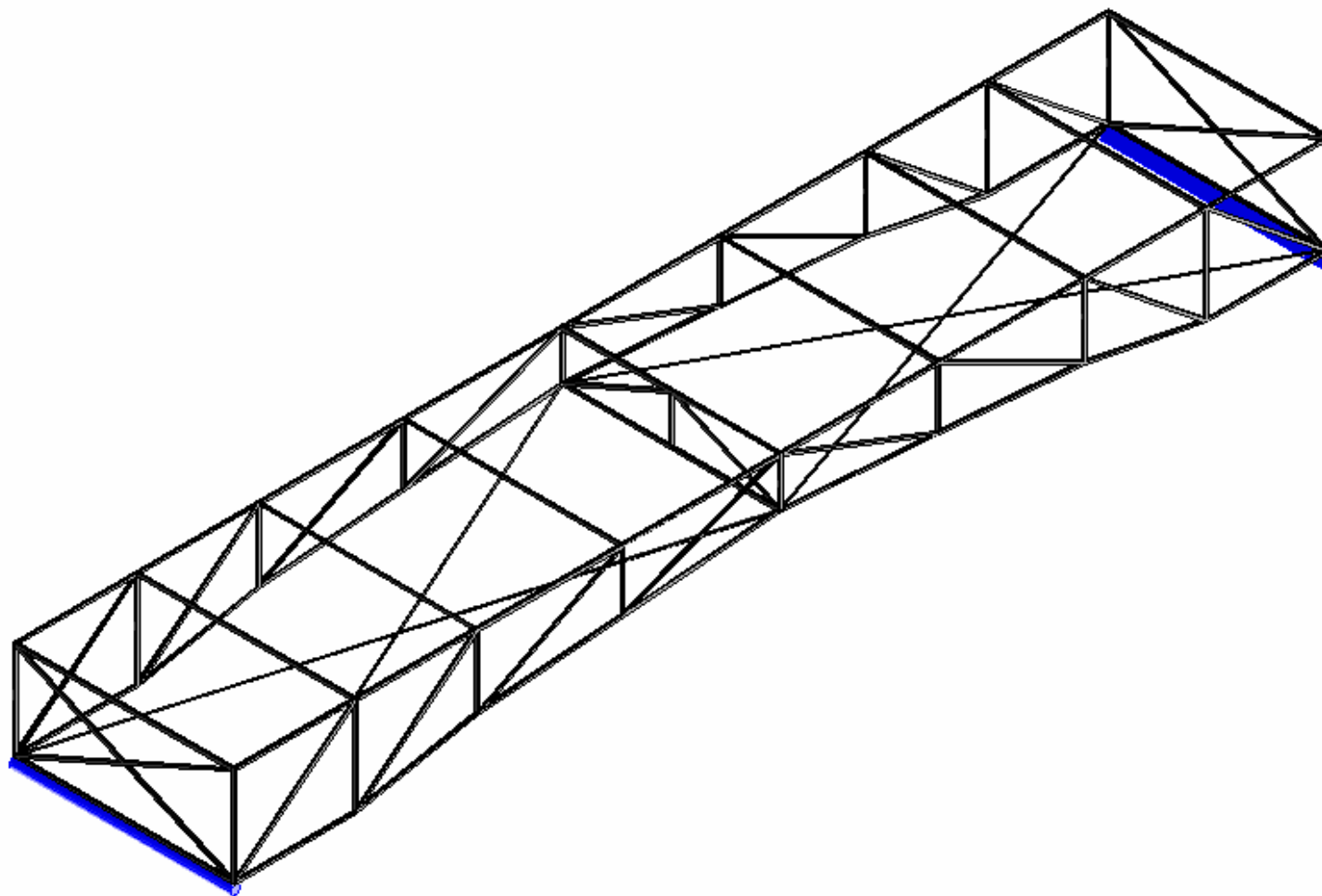
c) Rangka melintang tengah



d) Penampang profil *hollow tube*

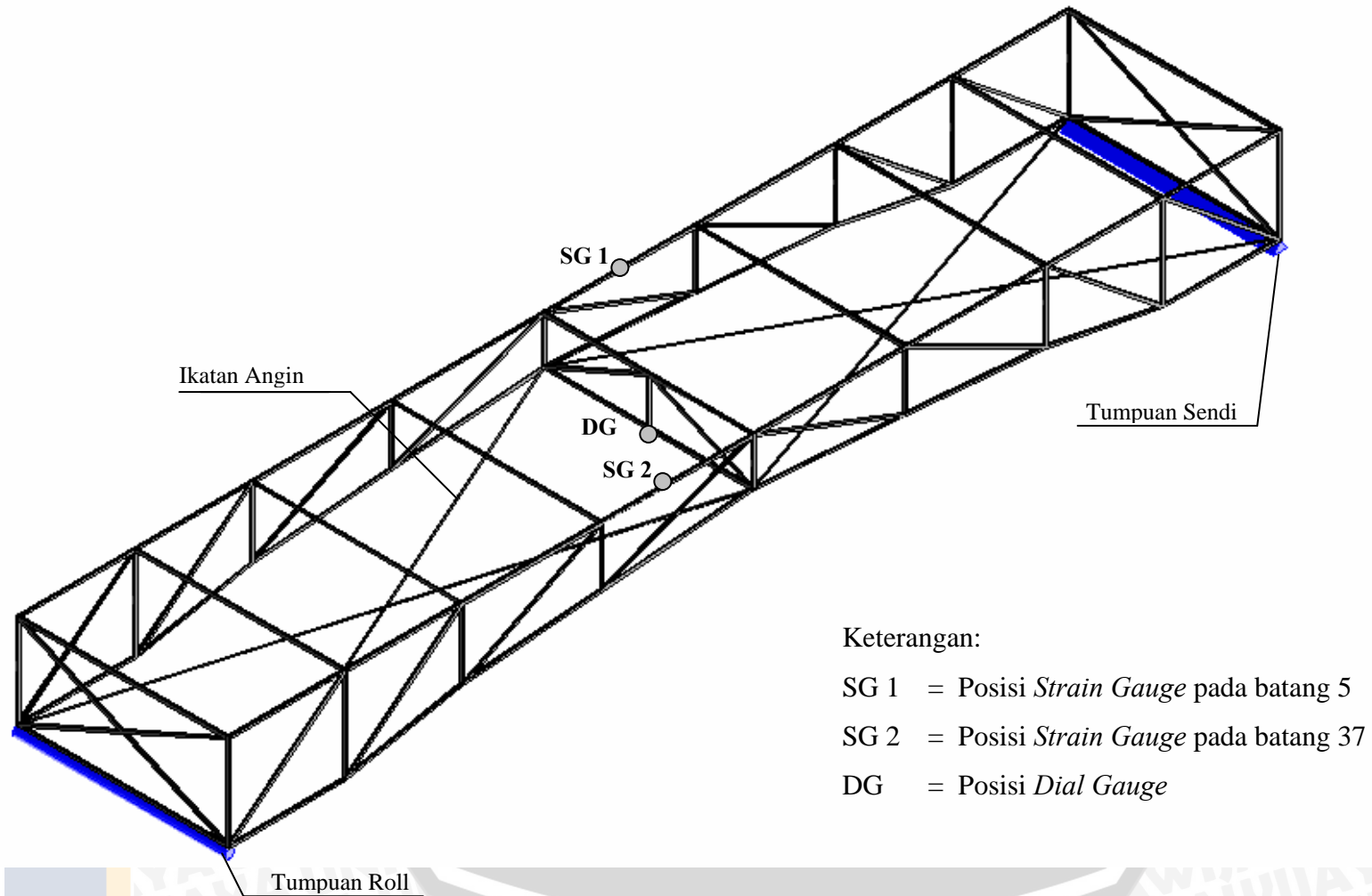


Lampiran 2
Penomoran Batang



Lampiran 3.1

Skema Alat Model Jembatan Rangka



Keterangan:

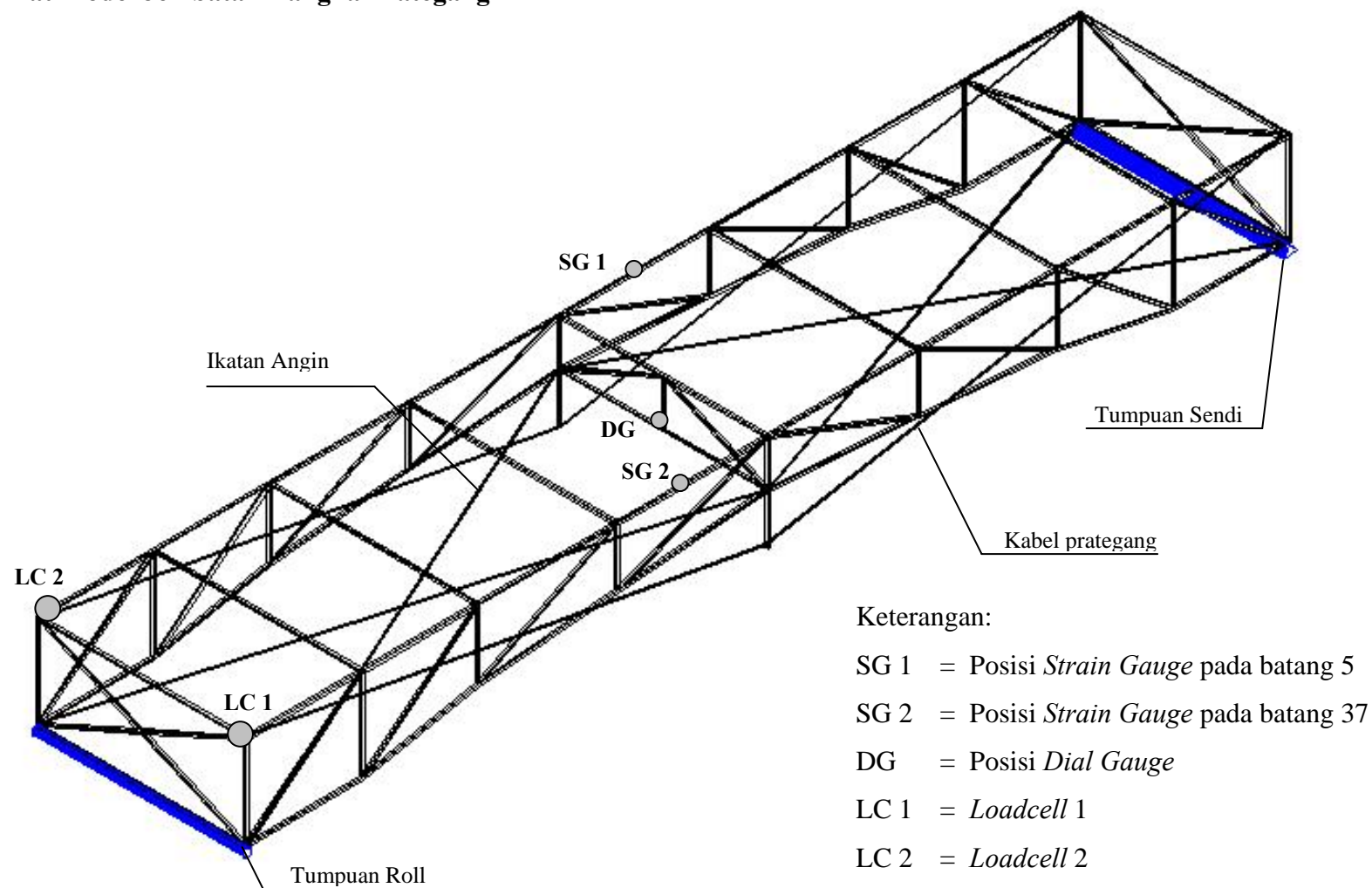
SG 1 = Posisi *Strain Gauge* pada batang 5

SG 2 = Posisi *Strain Gauge* pada batang 37

DG = Posisi *Dial Gauge*

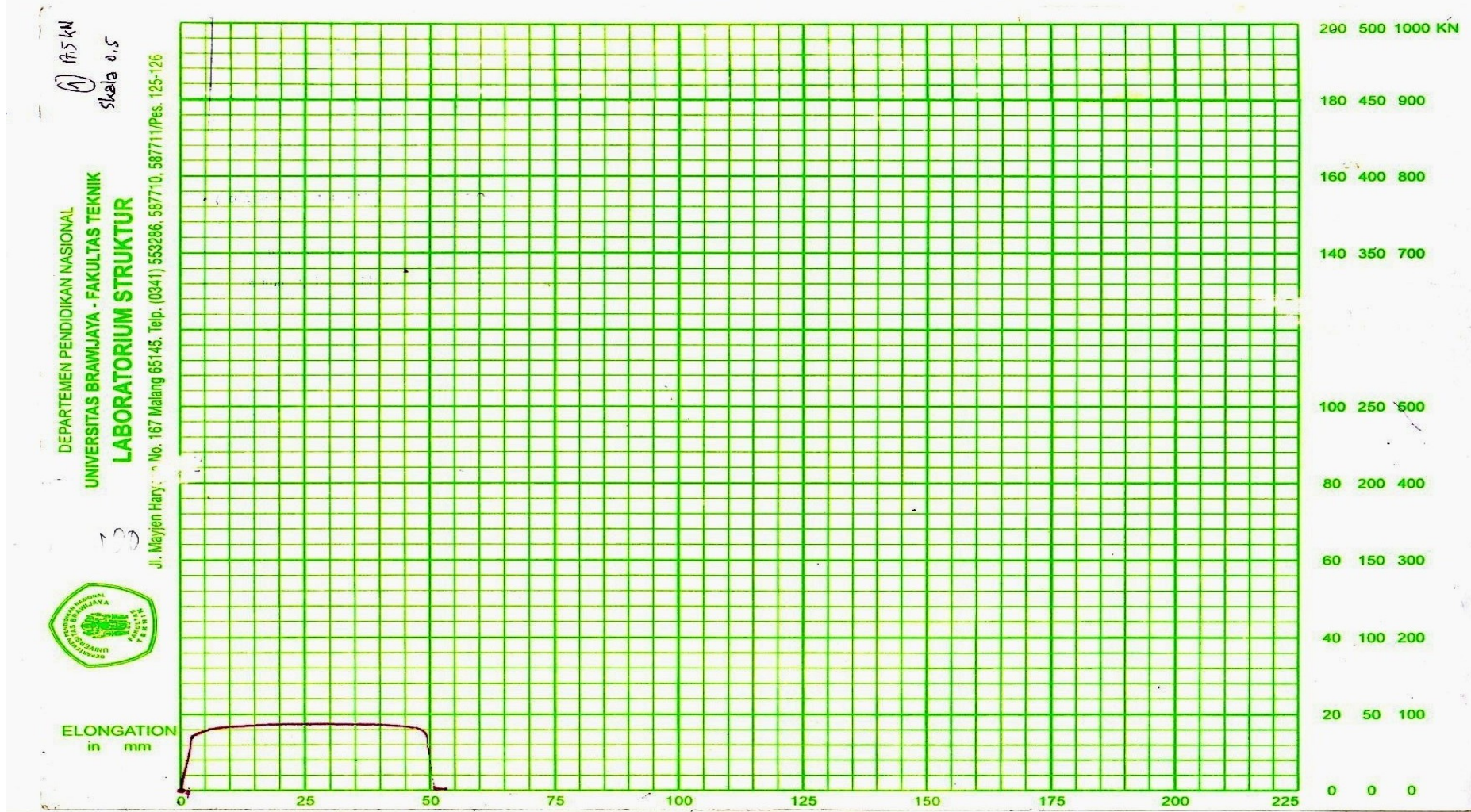
Lampiran 3.2

Skema Alat Model Jembatan Rangka Prategang



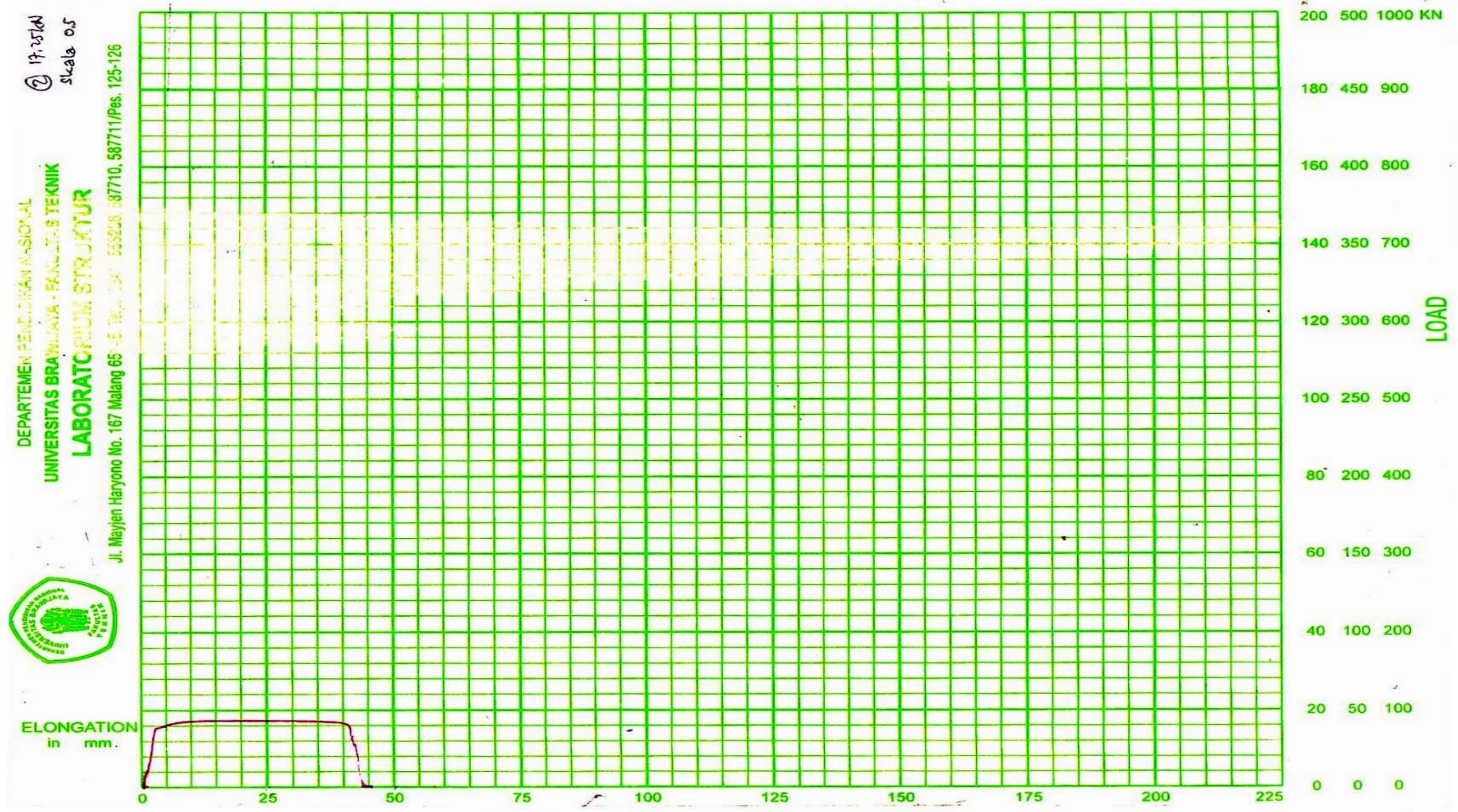
Lampiran 4.1

Grafik Uji Tarik Benda Uji I



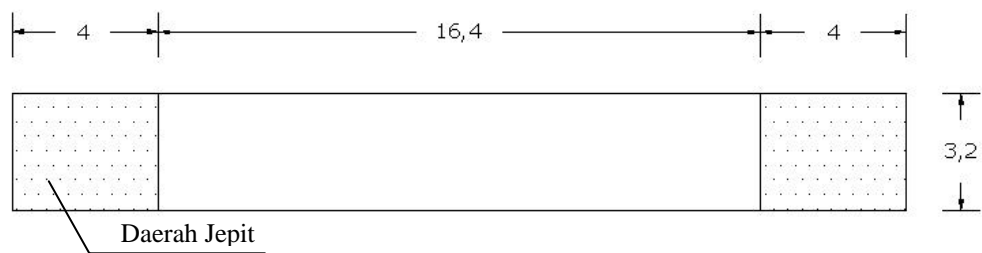
Lampiran 4.2

Grafik Uji Tarik Benda Uji II



Lampiran 4.3

Hasil Uji Tarik Profil Baja



Gambar L.1. Dimensi profil yang diuji tarik (satuan cm)

$$t = 1,8 \text{ mm}$$

$$A = l \times t = 3,2 \times 0,18 = 0,576 \text{ cm}^2$$

Tabel L.1. Data uji tarik profil baja

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



Gambar L.2. Hasil uji tarik profil baja

Lampiran 5

Hasil Uji Tarik Kabel Prategang

Uji tarik kabel tidak mendapatkan tegangan leleh yang sesungguhnya, karena pada saat pengujian kabel putus pada daerah penjepitannya. Gaya tarik (P_u) yang menyebabkan kabel putus pada daerah jepit yaitu sebesar 12 kN.

Data yang diketahui:

$$d = 5 \text{ mm}$$

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

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

Data yang didapatkan:

- Tegangan putus kabel (f_{Pu})

$$f_{Pu} = \frac{P_u}{A} = \frac{1200}{0,196} = 6122,449 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar L.3. Hasil uji tarik kabel prategang

Lampiran 6

Data Pembacaan Alat

a) *Strain Gauge*

Tabel L.2. Data pembacaan *strainmeter* 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

Tabel L.3. Data pembacaan *strainmeter* model jembatan rangka prategang

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Regangan			
		Batang 5		Batang 37	
		$\mu\epsilon$	ϵ	$\mu\epsilon$	ϵ
I	0	-17	-0,000017	-10	-0,00001
	69	10	0,00001	14	0,000014
	138	40	0,00004	43	0,000043
	207	76	0,000076	70	0,00007
	0	-17	-0,000017	-10	-0,00001
II	0	-22	-0,000022	-28	-0,000028
	69	7	0,000007	3	0,000003
	138	35	0,000035	36	0,000036
	207	69	0,000069	73	0,000073
	0	-22	-0,000022	-28	-0,000028
III	0	-26	-0,000026	-23	-0,000023
	69	4	0,000004	5	0,000005
	138	31	0,000031	30	0,00003
	207	55	0,000055	57	0,000057
	0	-26	-0,000026	-23	-0,000023

Keterangan:

Angka ketelitian alat 10^{-6}

Nilai negatif (-) = kondisi tarik

Nilai positif (+) = kondisi tekan

b) *Dial Gauge*

Tabel L.4. Data pembacaan *dial gauge* model jembatan rangka

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

Tabel L.5. Data pembacaan *dial gauge* model jembatan rangka prategang

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Pembacaan <i>Dial Gauge</i> (unit)	Lendutan (mm)
I	0	48	0,480
	69	3	0,030
	138	-62	-0,620
	207	-139	-1,390
	0	48	0,480
II	0	122	1,220
	69	77	0,770
	138	11	0,110
	207	-59	-0,590
	0	122	1,220
III	0	220	2,200
	69	173	1,730
	138	105	1,050
	207	30	0,300
	0	220	2,200

Keterangan:

Angka ketelitian alat 0,01 mm

Nilai negatif (-) = lendutan ke bawah

Nilai positif (+) = lendutan ke atas

c) *Loadcell*

Tabel L.6. Data pembacaan *loadmeter*

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Acuan (N)		Beban (kg)	Gaya Prategang Efektif (N)	
	Loadcell 1	Loadcell 2		Loadcell 1	Loadcell 2
I	206	412	0	-206	-412
			69	-212	-428
			138	-220	-445
			207	-229	-463
			0	-206	-412
II	413	825	0	-413	-825
			69	-421	-841
			138	-429	-859
			207	-441	-873
			0	-413	-825
III	619	1237	0	-619	-1237
			69	-627	-1256
			138	-635	-1278
			207	-644	-1301
			0	-619	-1237

Tabel L.7. Data pembacaan *loadmeter* setelah dikalikan angka kalibrasi

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Acuan (kg)		Beban (kg)	Gaya Prategang Efektif (kg)	
	Loadcell 1	Loadcell 2		Loadcell 1	Loadcell 2
I	-137,464	-137,608	0	-137,464	-137,608
			69	-141,468	-142,952
			138	-146,806	-148,630
			207	-152,812	-154,642
			0	-137,464	-137,608
II	-275,595	-275,55	0	-275,595	-275,550
			69	-280,933	-280,894
			138	-286,272	-286,906
			207	-294,279	-291,582
			0	-275,595	-275,550
III	-413,059	-413,158	0	-413,059	-413,158
			69	-418,397	-419,504
			138	-423,736	-426,852
			207	-429,741	-434,534
			0	-413,059	-413,158

Keterangan:

Loadcell 1

Kapasitas = 20 kN

Angka Kalibrasi = $\frac{0,006673}{1 \times 10^{-6}} \text{ kN}$

Nilai negatif (-) = gaya prategang tarik

Loadcell 2

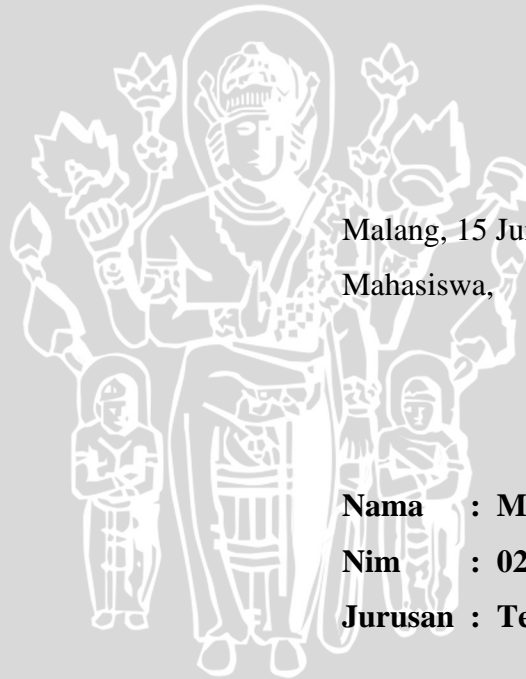
Kapasitas = 10 kN

Angka Kalibrasi = $\frac{0,003340}{1 \times 10^{-6}} \text{ kN}$

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila terdapat di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku yaitu UU. No. 20 Thn 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70.



Malang, 15 Juni 2007

Mahasiswa,

Nama : Mansur Akhirrudin

Nim : 0210610049

Jurusan : Teknik Sipil

**PERSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
EKSTERNAL TIPE SEGITIGA**

SKRIPSI

Diajukan dalam memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

MANSUR AKHIRRUDIN
NIM. 0210610049

DOSEN PEMBIMBING:

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

Ir. Sugeng P. Budio, MS.
NIP. 131 574 852

**PERSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
EKSTERNAL TIPE SEGITIGA**

Disusun oleh :

**MANSUR AKHIRRUDIN
NIM. 0210610049**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 28 Mei 2007

DOSEN PENGUJI

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

Ir. Sugeng P. Budio, MS.
NIP. 131 574 852

Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 131 879 046

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Ku Persembahkan Skripsi Ini Untuk...

Kedua Orang Tuaku Tercinta Abdul Kahar Suparman & Suprantini,

Keluarga Besar Abdul Kahar Suparman: (Muhajito Pradiman-Utantri Nuraediati, Idayu

Romiyanti-Agung Setyo Prabowo, Imam Santoso, Uswah Hasanah-Abdul Rahman, Nail

Ramli),

Keponakan Baruku: (Almira & Azkha),

My Beautiful Eliza ,

Civilliang 2002



**PERSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
EKSTERNAL TIPE SEGITIGA**

SKRIPSI

Diajukan dalam memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

MANSUR AKHIRRUDIN
NIM. 0210610049

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

MALANG

2007