

**PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
INTERNAL TIPE SEGITIGA**

SKRIPSI

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



Disusun Oleh :

**I KOMANG ANTARA
NIM : 0210610039**

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

ABSTRAKSI

I KOMANG ANTARA, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2007, PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG INTERNAL TIPE SEGITIGA, Dosen Pembimbing : Ir. Sugeng P. Budio, MS. dan Ari Wibowo, ST.,MT.

Perkembangan ekonomi menyebabkan meningkatnya arus transportasi yang menuntut peningkatan sarana dan prasarana transportasi. Salah satu sarana transportasi yang secara langsung harus ditingkatkan dengan adanya peningkatan arus transportasi adalah jembatan. Pada jaman yang semakin modern ini jembatan dibangun tidak hanya ditingkatkan secara kuantitas tetapi juga secara kualitas. Peningkatan kualitas jembatan dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan meningkatkan mutu bahan yang dipergunakan dan dengan memberikan gaya prategang pada jembatan sebagai upaya peningkatan mutu jembatan yang sudah ada. Untuk mengetahui besarnya peningkatan kekuatan jembatan akibat penambahan kabel prategang tersebut maka dilakukan penelitian terhadap jembatan prategang

Untuk melihat seberapa besar pengaruh penambahan kabel prategang maka jembatan ditambahkan dengan kabel prategang internal tipe segitiga. Pengujian pun dilakukan dengan dua kondisi yaitu kondisi pertama ketika jembatan belum ditambahkan prategang dan kondisi kedua ketika jembatan ditambahkan prategang internal tipe segitiga. Dengan harapan hasil yang diperoleh dapat dibandingkan. Secara spesifik hasil pengujian yang dibandingkan adalah besarnya lendutan yang terjadi. Selain dibandingkan dengan dua kondisi diatas hasil pengujian di laboratorium juga dibandingkan dengan hasil pengujian secara teoritis dengan menggunakan software StaadPro 2004 tiga dimensi.

Besarnya gaya prategang yang diberikan pada kabel prategang akan mempengaruhi besarnya lendutan yang terjadi pada jembatan rangka. Gaya prategang yang terlalu besar dapat mengakibatkan lendutan ke atas yang besar ketika beban minimum pada jembatan bekerja. Akan tetapi gaya prategang yang terlalu kecil juga dapat mengakibatkan lendutan ke bawah yang sangat besar pula ketika beban maksimum pada jembatan bekerja. Pada percobaan ini besarnya gaya prategang yang menghasilkan lendutan terkecil baik berupa lendutan ke atas maupun lendutan ke bawah ketika beban minimum dan maksimum bekerja adalah sebesar 484,714 kg. Sedangkan prosentase penurunan lendutan yang terjadi dari penelitian ini berkisar antara 1,786 % sampai 10,345 % dari gaya prategang acuan pertama 242,357 kg.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam setiap pergerakan manusia, sarana transportasi memegang peranan yang sangat penting. Pada perkembangannya, pergerakan manusia semakin kompleks, pergerakan tersebut tidak hanya terjadi dalam satu pulau saja, tetapi juga antar pulau bahkan antar benua. Jalur-jalur transportasi baik yang berada dalam satu pulau maupun antar pulau, memiliki masalah-masalah yang hampir sama. Yaitu adanya pemisah yang berupa sungai, lembah, kanal, jurang, laut, ataupun fasilitas-fasilitas umum jalan tol, jalan raya, atau pemukiman penduduk.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, manusia menciptakan suatu jalan penghubung dengan komponen yang ada di dalam yang membentuk suatu jembatan. Jembatan terbagi menjadi dua struktur utama, yaitu struktur atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*) yang secara bersama-sama menerima dan mendistribusikan beban-beban yang bekerja pada jembatan tersebut sampai pada akhirnya beban akan ditahan sepenuhnya oleh tanah.

Dalam perencanaan sebuah jembatan, kekuatan struktur jembatan menjadi unsur utama yang harus diperhatikan. Akan tetapi ini bukan berarti jembatan memiliki kekuatan yang tidak terbatas. Keterbatasan itu dipengarungi oleh dua unsur lain yang juga tidak kalah pentingnya dalam perencanaan sebuah jembatan. Unsur-unsur tersebut adalah unsur finansial dan operasional pelaksanaan. Unsur finansial berhubungan erat dengan efisiensi biaya konstruksi sedangkan operasional pelaksanaan erat kaitannya dengan kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi.

Dalam bidang *engineering* ada bermacam-macam jenis-jenis jembatan berdasarkan material dan bentuk struktur. Salah satunya adalah jembatan rangka. Jembatan rangka terdiri dari batang-batang yang membentuk segitiga-segitiga yang kokoh dengan perantara titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan. Gaya-gaya yang bekerja pada jembatan rangka adalah gaya-gaya terpusat pada titik-titik simpul rangka, sehingga pada elemen-elemen batang hanya akan menerima beban yang berupa beban aksial saja.

Untuk meningkatkan kekuatan struktur jembatan, banyak sekali metode-metode yang dapat dilakukan. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan

menambahkan gaya prategang pada struktur jembatan rangka. Dengan menambahkan gaya prategang dalam hal ini menambahkan kabel prategang pada struktur jembatan rangka maka tidak perlu dilakukan perubahan terhadap struktur jembatan rangka. Atas dasar pemikiran tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian terhadap struktur model jembatan rangka guna mengetahui prosentase penurunan lendutan model jembatan rangka baja akibat penggunaan kabel prategang internal tipe segitiga.

1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya :

1. Penelitian dilakukan pada model jembatan yang dibuat pada laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.
2. Pengujian dilakukan untuk mengetahui distribusi beban yang diterima oleh rangka dan kabel prategang, serta perilaku model jembatan dalam menerima beban.
3. Desain yang dibuat adalah desain keseluruhan struktur jembatan bagian atas (*superstructure*) struktur jembatan rangka dengan menggunakan penambahan kabel prategang.
4. Beban uji adalah beban terpusat yang diletakkan di tengah-tengah bentang model jembatan.
5. Pemberian beban uji tidak melebihi batas elastis elemen-elemen model jembatan rangka batang.
6. Model jembatan ditumpu oleh tumpuan sederhana sendi-rol.
7. Tidak membahas beban maksimum yang dapat ditahan oleh model jembatan.
8. Sambungan dianggap sangat kuat sehingga mampu menerima gaya yang diakibatkan oleh kabel prategang dan beban luar yang diberikan.
9. Tidak membahas analisa ekonomi yang terjadi.
10. Analisis komputer menggunakan program STAADPro 2004 3 dimensi.
11. Tidak membahas korosi yang terjadi pada material baja.
12. Tidak membahas efek dari perubahan temperatur.
13. Kehilangan prategang sangat kecil sehingga pengaruh kehilangan prategang dapat diabaikan.
14. Semua material yang digunakan tersedia di toko-toko bangunan di lingkup kota Malang.

1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah :

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

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan skripsi ini adalah :

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

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

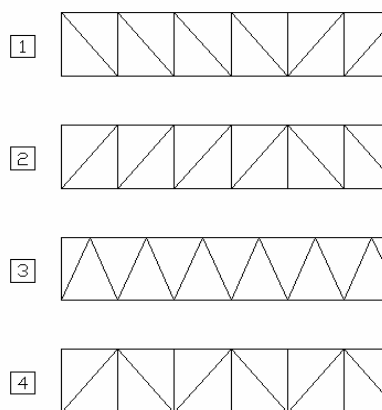
Pemilihan jenis konstruksi jembatan prategang didasarkan pada beberapa pertimbangan adalah :

1. Prategang dapat digunakan sebagai alternatif peningkatan kekuatan struktur jembatan yang sudah ada, dalam hal ini jembatan rangka, tanpa perlu adanya rekonstruksi struktur jembatan (Troitsky, 1990)
2. Penggunaan prategang menghemat jumlah struktur baja yang diperlukan untuk menahan beban yang bekerja jika dibandingkan dengan desain struktur baja konvensional (Troitsky, 1990)
3. Penggunaan prategang pada baja tidak menimbulkan kehilangan friksi seperti pada beton prategang, dimana beton tidak dapat menahan tegangan tarik, karena penampang baja tidak memerlukan distribusi tegangan khusus. (Troitsky, 1990)
4. Prategang baja pada daerah tarik menimbulkan tekan, yang dapat menambah kekakuan struktur. (Troitsky, 1990)

2.2 Jembatan Rangka Batang

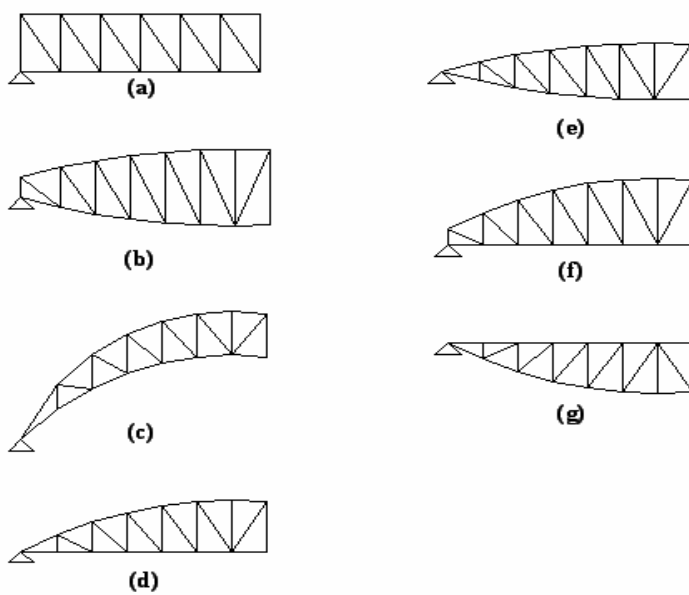
Jembatan rangka merupakan struktur utama dari jembatan rangka prategang. Jembatan ini berfungsi untuk menahan beban-beban yang diterima oleh struktur jembatan baik berupa beban mati maupun beban hidup.

Jembatan rangka dapat dibuat dengan tinggi yang sama atau dengan tinggi yang bervariasi sepanjang bentang. Berdasarkan bentuk bagian dalamnya terbagi atas empat jenis yaitu rangka N, rangka N terbalik, rangka V, dan rangka V dengan batang tegak (Soemono, 1979)



Gambar 2.1 Jenis Rangka: 1. Rangka N, 2. Rangka N terbalik, 3. Rangka V, 4. Rangka V dengan batang vertikal

Sedangkan berdasarkan dengan bentuk tepinya, rangka batang terbagi atas rangka paralel, lensa, sabit (arit), parabol, parabol rangkap, semi parabol, dan perut ikan (soemono,1979)



Gambar 2.2 Jenis Rangka: a. Rangka Paralel, b. Rangka Lensa, c. Rangka Sabit, d. Rangka Parabol, e. Rangka Parabol Rangkap, f. Rangka Semi Parabol, g. Rangka Perut Ikan, Sumber : Soemono, 1979 ; 42

Dalam hal ini perencana memilih bentuk rangka semi parabola dengan ketinggian yang semakin mengecil di tengah bentang. Rangka semi parabola yaitu rangka yang tepi bawah berbentuk parabol dan tepi atas lurus (gambar 2.2(g)). Sedangkan untuk bagian dalamnya perencana memilih tipe rangka N terbalik (gambar2.1(2)). Untuk rangka tersebut, batang tepi horisontal atas dan batang tepi

vertikal bisa dihilangkan, tetapi sering pula dibiarkan ada untuk membentuk portal angin.

Berdasar anggapan tersebut, sebagai akibat beban luar, timbullah beberapa gaya di dalam batang yang garis kerjanya bersatu dengan sumbunya, dan dengan demikian gaya itu bersifat gaya normal memusat, menarik (positif) atau menekan (negatif), tidak disertai oleh momen dan gaya lintang. Gaya tersebut dinamakan gaya batang (Soemono, 1979)

Tinggi dari jembatan rangka ini tergantung dari pendistribusian beban dan kekakuan yang dikehendaki. Makin tinggi, makin besar kekakuan jembatan yang didapat tapi berkurang segi ekonomisnya.

2.3 Gaya Batang

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

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

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

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

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

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

dengan :

E = modulus elastisitas baja (kg/cm²)

σ = tegangan baja (kg/cm²)

P = gaya batang (kg)

ε = regangan baja

A = luas penampang bersih profil baja (cm²)

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

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

Daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut.

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

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:

$$L_k = \text{panjang tekuk} = k_c L$$

$$r = \text{jari-jari girasi} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$f_y = \text{tegangan leleh material}$$

$$E = \text{modulus elastisitas}$$

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

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

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

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 idil	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

Sumber: SNI 03-1729-2002 : 15

2.4 Lendutan Pada Rangka

2.4.1 Konsep Dasar Lendutan

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

2.4.2 Lendutan Pada Struktur Rangka Batang

Ketika nilai gaya aksial dalam elemen batang sudah diketahui, maka nilai deformasi individual elemen dapat langsung diketahui dengan menggunakan :

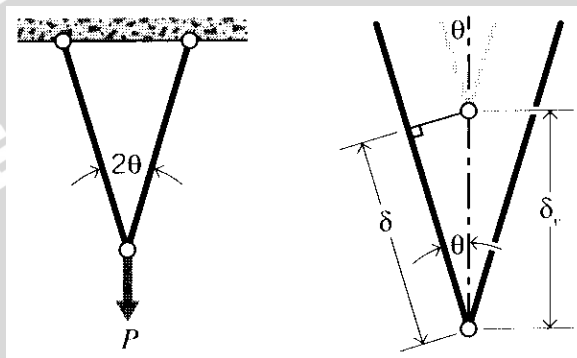
$$\delta = \frac{PxL}{AxE} \quad (2-9)$$

Defleksi pada titik mana saja pada batang dapat ditentukan secara geometris. Dengan asumsi bahwa elemen tetap dalam kondisi sendi di tiap titik pertemuan batangnya.

Dalam dua elemen rangka batang simetris seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Join B tentu saja akan berpindah ke arah bawah secara vertical. Hubungan antara deformasi aksial δ dari elemen dan defleksi vertical dari join δ_v dapat dilihat sebagai

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

Diasumsikan disini bahwa deformasi yang terjadi sangatlah kecil sehingga aspek geometri dianggap tidak berubah, dalam kasus ini bahwa sudut θ adalah sama seperti sebelum dan setelah beban diberikan.



Gambar 2.3 Lendutan pada rangka batang dengan geometris tetap (Sumber : Roylance, 2000 ; 6)

Dalam analisis geometris rangka yang lebih rumit, terkadang jauh lebih mudah untuk memvisualisasikan bahwa pada beberapa join elemen tidak dalam kondisi sendi, menyebabkan elemen untuk memanjang atau memendek sesuai dengan gaya aksial yang mereka transmisikan, dan kemudian memutar mereka kembali mengelilingi join yang masih dianggap sendi hingga lokasi dari sendi kembali cocok. Gerakan dari ujung bebas akan membentuk pola melingkar, tapi jika defleksi yang terjadi kecil pola tersebut dapat diperkirakan dari sebuah hubungan Pythagoras.

Dalam elemen rangka batang sebelumnya pada gambar 2.3, kita dapatkan $P_{AB} = P/\sin \theta$ dan $P_{BC} = P/\tan \theta$. Jika sendi di B dihilangkan, defleksi elemen akan menjadi

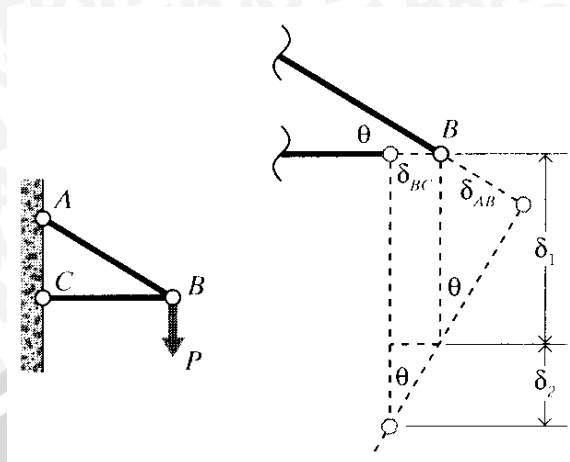
$$\delta_{AB} = \frac{P}{\sin \theta} \left(\frac{L}{AE} \right)_{AB} \quad (\text{Tarik}) \quad (2 - 11)$$

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

Maka total defleksi ke bawah pada titik B menjadi :

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

Defleksi ini ditunjukkan pada 2.4(b)



Gambar 2.4 (a) Rangka Batang dengan 2 elemen
(b) Deformasi rangka batang dengan asumsi join bebas
(Sumber : Roynance, 2000 ; 7)

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

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

2.5. Prategang

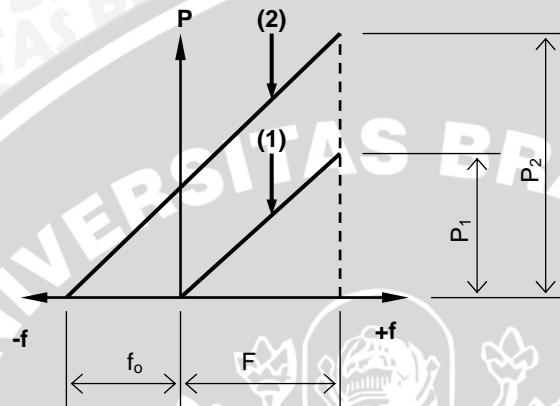
2.5.1. Pengertian dasar Prategang

Prategang adalah pemberian dan pendistribusian tegangan yang sudah diperhitungkan pada potongan melintang penampang elemen struktur untuk meningkatkan kekuatan struktur. Tujuan dari prategang pada beton prategang adalah untuk mencapai kondisi setiap penampang beton menerima gaya yang diakibatkan oleh adanya prategang dan beban yang diberikan, sehingga tegangan tekan pada seluruh penampang beton menjadi sangat dominan atau bahkan tidak terjadi tegangan tarik pada penampang beton prategang tersebut. Namun, pada penampang melintang yang sama dari baja prategang dalam pembebanan, terdapat gaya tarik dan gaya tekan. Reaksi dari penampang melintang struktur baja lebih besar dari pada struktur beton, sehingga struktur baja prategang lebih ekonomis dari struktur beton prategang. (Troitsky, 1990)

2.5.2. Konsep Dasar Prategang

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

Ketika dalam sebuah struktur kita menciptakan prategang f_0 yang memiliki tegangan yang berlawanan dengan reaksi dari pembebanan, regangan dari kerja elastis material meningkat (gambar 2.5.(2)). Sehingga tegangan awal f_0 tercipta. Kemudian sebuah beban, P , di berikan untuk menimbulkan tegangan pada batang hingga mencapai nilai tegangan yang diijinkan, F . Gaya tarik yang diterima oleh baja yang diberi prategang nilainya lebih besar $f_0 A$ daripada gaya yang diambil oleh batang yang sama tanpa adanya prategang (gambar 2.5.(1))

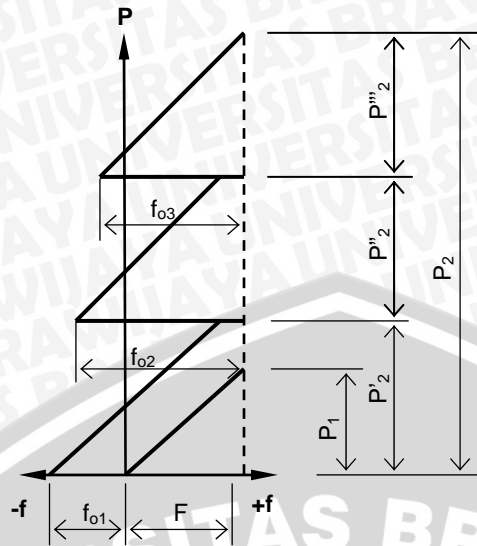


Gambar 2.5 Diagram kerja batang (1) tanpa prategang, dan (2) dengan prategang

Sangat mungkin untuk meningkatkan kapasitas pelayanan lebih jauh dengan menerapkan prategang bertahap, dengan prategang dan beban yang diperlukan diperoleh melalui beberapa tahapan (gambar 2.5).

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

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



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

2.5.3. Prategang Pada Rangka Batang

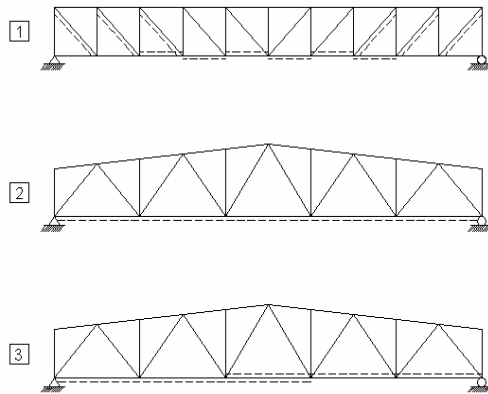
Efektifitas dari prategang rangka bergantung pada desain dari rangka terhadap performa struktur, prategang rangka dapat dibagi menjadi 2 tipe dasar :

1. Rangka dimana kabelnya terletak di batasan dari batang yang paling besar menerima tegangan.
2. Rangka dimana kabelnya diletakkan di seluruh atau di sepanjang bentang dan diberikan prategang pada beberapa atau semua anggota rangka batang.

2.5.3.1. Prategang Pada Elemen Batang

Dalam rangka baja yang memiliki batang yang bereaksi tarik akibat pembebanan, tendon di pasang sepanjang batang untuk memberi gaya tekan akibat prategang (gambar 2.6). Batang-batang tersebut diberi gaya prategang pada saat pelaksanaan fabrikasi atau selama proses pemasangan di tempat konstruksi. Jenis rangka baja berikut jauh lebih rumit dalam desain dan membutuhkan jangkar tendon yang jauh lebih banyak. Jenis rangka prategang seperti ini hanya efektif pada bentang panjang dan beban dimana setiap batang prategang adalah sebuah unit individual dari proses fabrikasi.

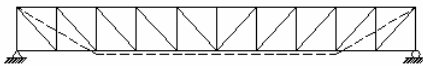
Penghematan dalam penggunaan prategang dengan menggunakan metode seperti ini dapat mencapai 10-15%. (Troitsky, 1990)



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

2.5.3.2. Prategang Pada Struktur Rangka Batang

Pemberian prategang pada jenis rangka ini memberikan kemungkinan yang jauh lebih luas dalam hal konfigurasi kabel dan skema penempatan dari kabel tersebut dibandingkan dengan apabila prategang diberikan pada batang secara individual. Cara yang paling sederhana adalah ketika kabel diletakkan sepanjang bentang tarik dibentangkan melalui beberapa panel (gambar 2.7). Dalam hal ini kabel menciptakan prategang disepanjang panel tersebut dimana ia diletakkan, namun bagaimanapun juga batang rangka yang lain tidak diprategang. Penghematan baja dapat mencapai 10-15%.



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



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

Ketika kabel diletakkan di luar dari rangka batang, dimungkinkan untuk mencapai penghematan ekonomi baja hingga 25-30% (gambar 2.9). Namun, kabel eksternal tidak selalu dapat digunakan, mempertimbangkan kondisi desain dan konfigurasi rangka batang.

2.6 Hukum Betti dan Hukum Timbal Balik Maxwell

Prinsip energi didasarkan pada hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa kerja yang dilakukan oleh gaya luar pada struktur elastis disimpan dalam bentuk energi regangan yang seluruhnya akan dipulihkan bila beban dihilangkan. *Hukum Betti* merupakan penurunan dari hukum kekekalan energi tersebut dan diterapkan pada struktur linier. Pada perhitungan perpindahan akibat pemberian gaya pada struktur-struktur elastis, *Hukum Betti* dapat dinyatakan sebagai jumlah hasil kali gaya-gaya dari sistem F dengan perpindahan di koordinat yang selarasnya akibat sistem Q adalah sama dengan jumlah hasil kali gaya-gaya dari sistem Q dengan perpindahan di koordinat yang selarasnya akibat sistem F . (Ghali 1986)

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

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 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,, n.

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

Persamaan (2 – 17) di atas merupakan *Hukum Timbal Balik Maxwell* yang menyatakan bahwa pada struktur elastis linier, perpindahan dikoordinat i akibat gaya satu satuan di koordinat j , sama dengan perpindahan di j akibat gaya satu satuan yang bekerja di i . (Ghali 1986) Atau secara sederhana dapat diartikan bahwa besarnya perpindahan yang terjadi pada suatu struktur dalam keadaan elastis adalah sebanding dengan besar gaya yang menyebabkan perpindahan tersebut.

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

Persamaan (2 – 19) dan (2 – 20) menunjukkan bahwa *Hukum Betti* merupakan hasil superposisi *Hukum Timbal Balik Maxwell*. Prinsip Superposisi menyatakan bahwa perpindahan akibat beberapa gaya yang bekerja secara serentak, sama dengan jumlah perpindahan akibat masing-masing gaya yang bekerja secara terpisah. Prinsip ini hanya berlaku jika perubahan bentuk struktur sebanding dengan beban yang bekerja. (Ghali 1986)

2.7 Desain dan Analisa Model Jembatan

2.7.1 Desain Model Jembatan

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

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

a. Struktur Utama

Struktur utama yang dimaksud di sini adalah struktur yang menjadi objek penelitian yang dilakukan, dalam hal ini adalah Jembatan itu sendiri. Struktur utama harus sudah tersedia terlebih dahulu sebelum alat-alat pendukung ditambahkan.

Pada dasarnya jembatan ini terdiri dari dua komponen utama yaitu rangka baja dan kabel prategang. Rangka baja yang dibuat adalah rangka dengan ukuran $450 \times 90 \times 40$ cm dan sling dengan diameter 0.5 cm sebagai kabel prategang.

b. Pendukung Struktur

Yang dimaksud pendukung struktur dalam model jembatan rangka prategang adalah semua bahan-bahan yang digunakan untuk membantu pengujian baja siku untuk pemasangan kabel pada rangka jembatan, klem, baut, mur, 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: tempat dudukan dial pembebanan, rel penggeseran tumpuan, balok-balok beton sebagai pemberat tumpuan dan lain sebagainya.

2.7.2 Pengujian Dengan Variasi Pembebanan

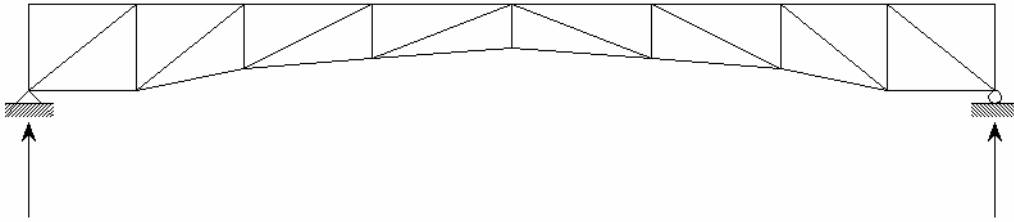
Sistem perlakuan terhadap struktur model akan mempengaruhi keakuratan hasil penelitian. Oleh karena itu pada pengujian ini terdapat 5 variasi pembebanan dengan harapan hasil yang diperoleh akan lebih akurat.

Dalam hal ini beban berupa beban terpusat / beban titik pada bagian tengah bentang jembatan. Beban terpusat adalah beban yang bertitik tangkap di sebuah titik. Variasi pembebanan yang diberikan adalah lebih kecil dari beban ijin yang mengakibatkan elemen-elemen batang terlemah dari struktur rangka batang masih berada dalam kondisi elastis linier. Selain itu variasi pembebanan juga dibatasi oleh besarnya lendutan ijin, sehingga lendutan akibat variasi pembebanan tersebut 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 beban yang diterima jembatan, dalam hal ini adalah berat sendiri jembatan dan beban luar. Beban-beban tersebut didistribusikan ke titik-titik buhul yang kemudian ditahan oleh tumpuan. Bentuk rangka yang digunakan

sebagai model adalah model jembatan rangka tipe semi parabola jenis N terbalik seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Rangka Semi Parabola Jenis N terbalik

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

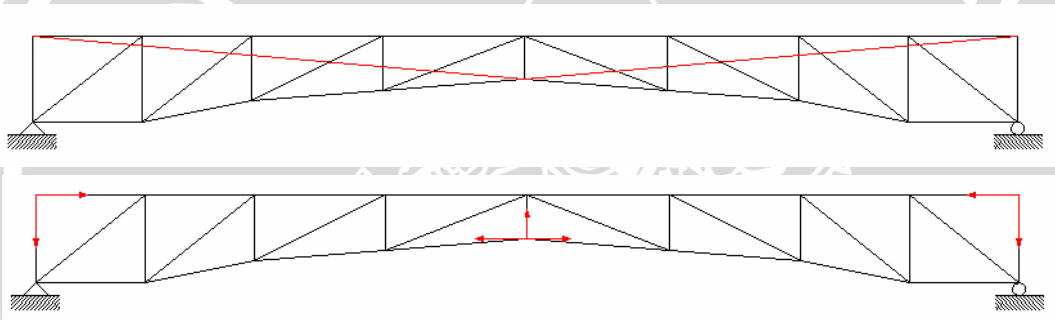
Untuk mempermudah analisis, maka pada analisis model jembatan rangka baja prategang dilakukan penyederhanaan dengan membuat asumsi-asumsi sebagai berikut:

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

Analisis jembatan rangka baja akan lebih mendekati kondisi riil di lapangan apabila dianalisis sebagai struktur ruang (analisis 3 dimensi). Tetapi untuk mendapatkan

hasil perhitungan yang tepat dengan menggunakan analisis 3 dimensi tidak mudah apabila dilakukan tanpa bantuan program komputer. Pada saat ini telah banyak berkembang paket program dalam bidang analisis struktur (*structural analysis software*), beberapa diantaranya adalah paket program yang sudah terkenal di kalangan *Civil Engineers*, *SAP 2000* yang dibuat oleh Berkeley University Inc. dan *STAADPro 2004* oleh Research Engineers, Inc. Untuk analisis jembatan rangka baja prategang ini digunakan *STAADPro 2004* dengan analisis 3 dimensi (*space*).

Pada perhitungan dengan menggunakan *STAADPro 2004*, gaya prategang yang dihasilkan oleh kabel prategang merupakan gaya aksial yang bekerja pada titik pertemuan antara kabel dan rangka yang sejajar dengan garis netral kabel prategang (P). Gaya aksial tersebut merupakan gaya dalam yang muncul akibat adanya *jecking* yang diberikan pada kabel (Gambar 2.11 bawah).



Gambar 2.11 Statika Akibat Pengaruh Gaya Prategang

BAB III METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

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

3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

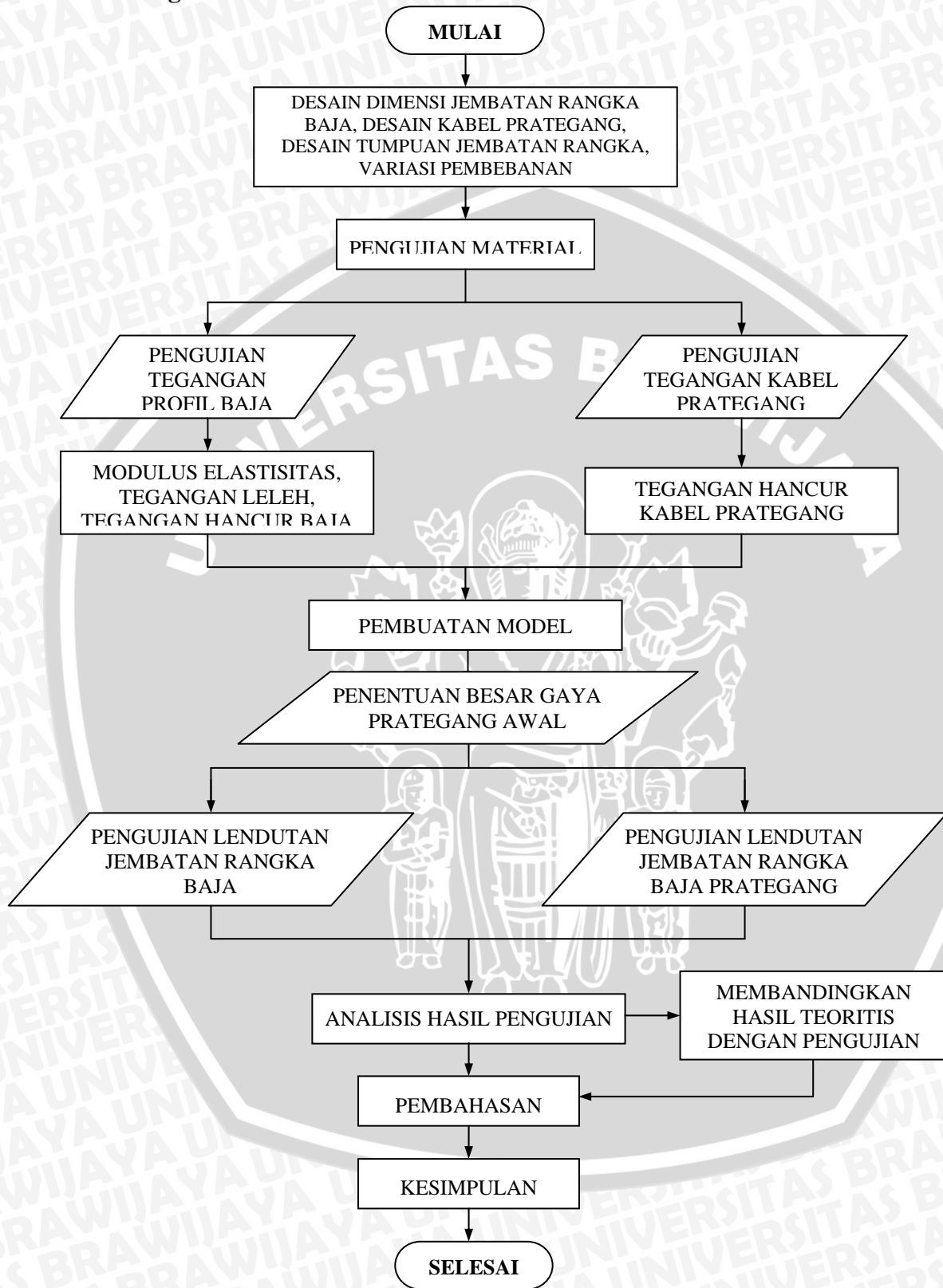
- Jangka sorong dan meteran.
- Timbangan.
- Alat pengukur peningkatan beban (*loadcell*) dengan kapasitas 10 ton dan 20 ton.
- Alat pengukur peningkatan beban (*profing ring*) dengan kapasitas 5 ton.
- Alat pengukur lendutan (*dial gauge*).
- Portal uji (*loading frame*)
- Balok beton sebagai penompang tumpuan jembatan.
- *Software STAADPro 2004*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Model Jembatan Rangka Tipe Semi Parabola jenis N terbalik dengan panjang bentang 4,5 meter, profil baja *hollow tube* (kotak berlubang) dengan $f_u = 3240 \text{ kg/cm}^2$ dan $f_y = 2700 \text{ kg/cm}^2$.
- Baja Sling sebagai kabel dengan diameter 5 mm.

3.3 Rencana Penelitian

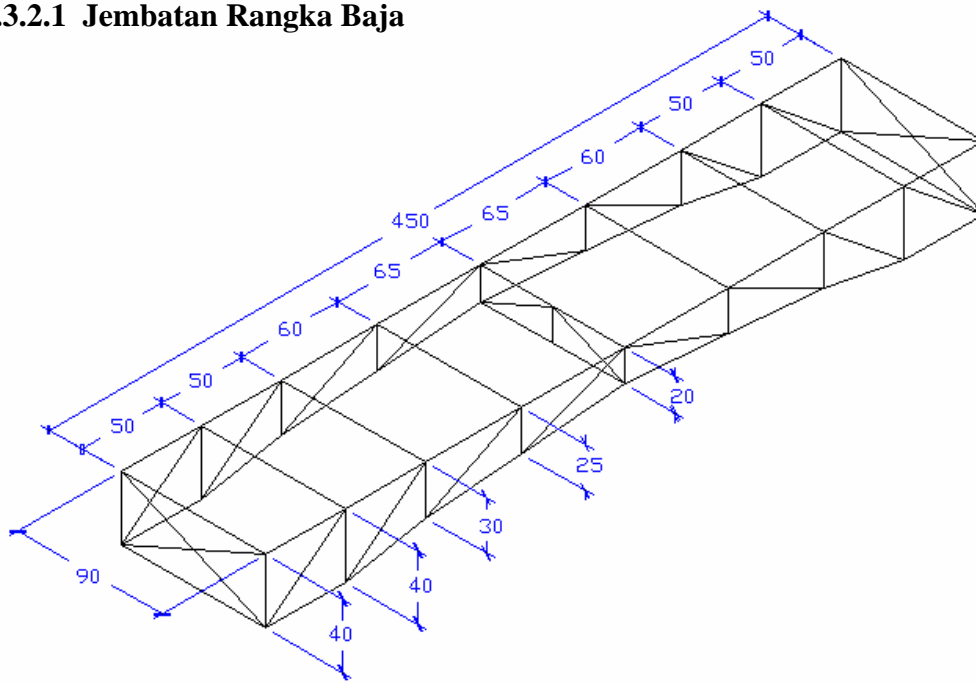
3.3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

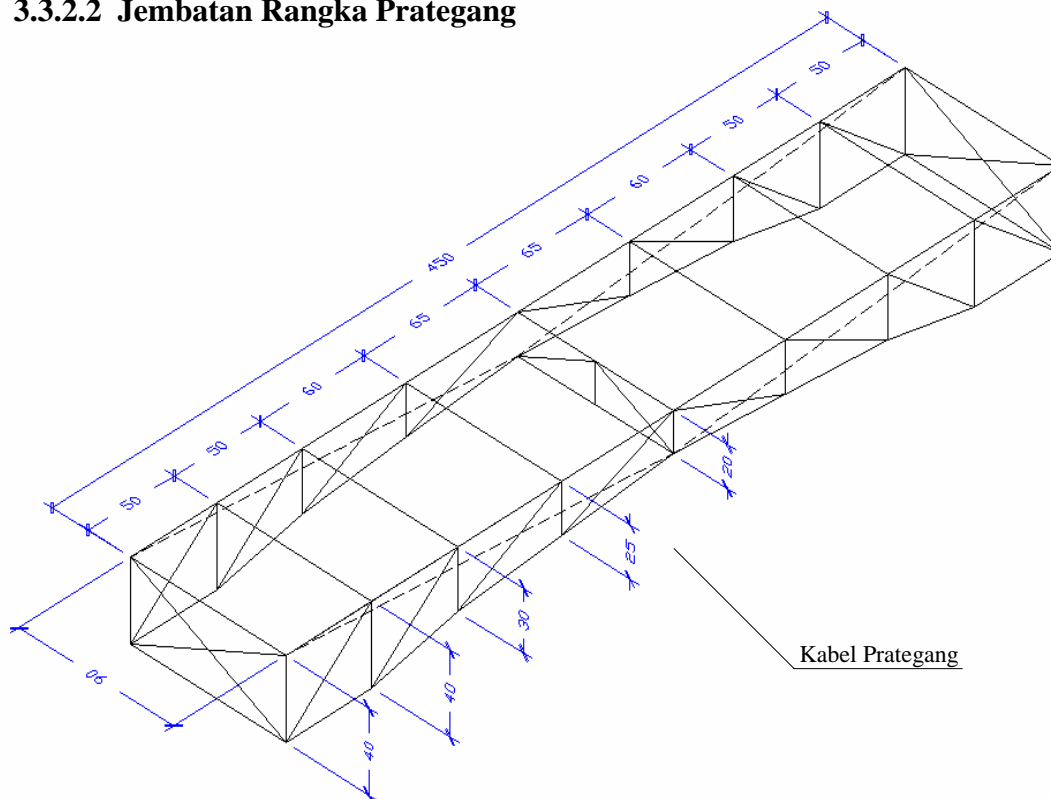
3.3.2 Rancangan Model Jembatan

3.3.2.1 Jembatan Rangka Baja



Gambar 3.2 Model Jembatan Rangka Baja

3.3.2.2 Jembatan Rangka Prategang



Gambar 3.3 Model Jembatan Rangka Baja Prategang

3.3.2 Rancangan Pembebanan

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

No.	Model	Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban Terpusat (kg)
1	Jembatan Rangka	-	0
2	Jembatan Rangka	-	46
3	Jembatan Rangka	-	92
4	Jembatan Rangka	-	138
5	Jembatan Rangka	-	0
6	Jembatan Rangka Prategang	I	0
7	Jembatan Rangka Prategang	I	46
8	Jembatan Rangka Prategang	I	92
9	Jembatan Rangka Prategang	I	138
10	Jembatan Rangka Prategang	I	0
11	Jembatan Rangka Prategang	II	0
12	Jembatan Rangka Prategang	II	46
13	Jembatan Rangka Prategang	II	92
14	Jembatan Rangka Prategang	II	138
15	Jembatan Rangka Prategang	II	0
16	Jembatan Rangka Prategang	III	0
17	Jembatan Rangka Prategang	III	46
18	Jembatan Rangka Prategang	III	92
19	Jembatan Rangka Prategang	III	138
20	Jembatan Rangka Prategang	III	0

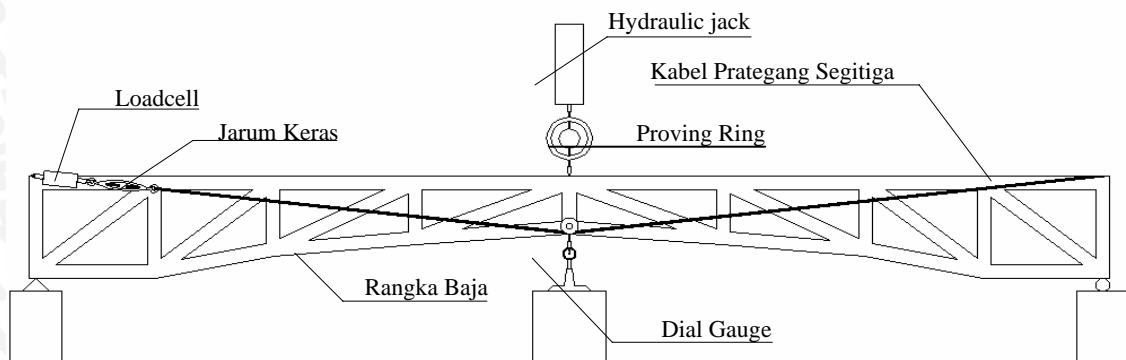
Besarnya gaya prategang acuan I diperoleh melalui percobaan yang dilakukan di laboratorium. Pada percobaan ini gaya prategang acuan I merupakan gaya prategang yang mengakibatkan model jembatan rangka prategang mengalami lendutan ke atas sebesar lendutan ke bawah yang terjadi akibat pemberian beban 46 kg pada model jembatan rangka.

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

3.3.3 Prosedur Pemodelan

Pemodelan yang dilakukan pada dasarnya hanya menggunakan satu buah model yaitu Jembatan Rangka Tipe Semi Parabola jenis N terbalik sebagai model jembatan rangka baja. Sedangkan untuk jembatan rangka prategang, digunakan jembatan rangka

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



Gambar 3.4 Skema Pembebanan

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

1. Pengukuran berat masing-masing model jembatan rangka dan kabel.
2. Pemasangan model jembatan rangka pada portal pembebanan (*loading frame*) dengan tumpuan sendi-rol.
3. Pemasangan alat-alat pembaca beban (*profing ring*), dan pengukur lendutan (*dial gauge*).
4. Pemberian beban terpusat 46 kg, pembacaan alat.
5. Pemberian beban terpusat 92 kg, pembacaan alat.
6. Pemberian beban terpusat 138 kg, pembacaan alat.
7. Pemasangan kabel prategang
8. Pemasangan alat pembaca gaya (load cell).
9. Pemberian gaya prategang I pada kabel yang diposisikan pada kedua rangka utama jembatan secara bersama-sama.
10. Pembacaan alat.
11. Pemberian beban terpusat 46 kg, pembacaan alat.
12. Pemberian beban terpusat 92 kg, pembacaan alat.
13. Pemberian beban terpusat 138 kg, pembacaan alat.
14. mengulangi lagi langkah 9 untuk gaya prategang II dan III

3.3.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan membuat dua kondisi jembatan yang berbeda yaitu jembatan rangka baja tanpa prategang dan jembatan rangka baja dengan prategang. Dalam pemodelan ini masing-masing kondisi jembatan akan mendapatkan perlakuan yang sama. Jembatan akan dikenai beban terpusat dengan variasi besaran yang telah ditentukan. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati dan mencatat lendutan dan reaksi tumpuan yang terjadi akibat variasi pembebanan.

3.4 Analisis Lendutan

3.4.1 Input Data

Data-data yang diperlukan untuk mendapatkan reaksi tumpuan dan lendutan yang terjadi adalah :

1. Data Geometri

Berupa:

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

2. Data Material

Berupa:

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

3. Data Beban

Berupa:

- Beban terpusat
- Gaya Prategang

3.4.2 Prosedur Analisis Lendutan

Analisis lendutan dilakukan dengan menggunakan program *STAADPro 2004*. Langkah untuk mendapatkan reaksi tumpuan dan lendutan untuk Struktur Jembatan Rangka adalah sebagai berikut:

1. Struktur rangka jembatan diasumsikan sebagai struktur 3 dimensi.
2. Memberikan data masukan geometri jembatan rangka.
3. Memberikan data masukan material jembatan rangka.
4. Struktur didukung oleh tumpuan sendi-rol

5. Input beban yang diberikan secara berurutan adalah: akibat beban terpusat 46 kg, 92 kg, dan 138 kg
6. Penjalanan Program (*Run Anaysis*)
7. Analisis data, dalam hal ini lendutan dan reaksi tumpuan yang terjadi.
Sedangkan untuk mendapatkan reaksi tumpuan dan lendutan Struktur Jembatan

Rangka Prategang adalah sebagai berikut:

1. Struktur rangka jembatan diasumsikan sebagai struktur 3 dimensi.
2. Memberikan data masukan geometri jembatan rangka.
3. Memberikan data masukan material jembatan rangka.
4. Struktur didukung oleh tumpuan sendi-rol.
5. Input gaya-gaya akibat pengaruh kabel prategang yang diasumsikan sebagai beban terpusat pada ujung-ujung kabel.
6. Input beban yang diberikan secara berurutan adalah: akibat beban terpusat 46 kg, 92 kg, dan 138 kg
7. Penjalanan Program (*Run Anaysis*)
8. Analisis hasil penjalanan program *STAADPro 2004*, dalam hal ini lendutan dan reaksi tumpuan yang terjadi.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah:

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

3.6 Analisis Data

Data lendutan yang diperoleh, nantinya digunakan untuk menentukan besarnya prosentase lendutan yang hilang akibat pemberian gaya prategang dengan besaran tertentu pada struktur jembatan rangka prategang. Dimana saat pengujian jembatan dalam keadaan elastis.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Bahan Penelitian

4.1.1. Model Jembatan

Model jembatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah model jembatan rangka yang memiliki panjang bentang 4,5 m dengan jarak melintang 0,9 m. Dimana model jembatan terbagi menjadi 6 segmen dengan segmen terpanjang 65 cm. Model jembatan merupakan jembatan dengan bentuk N terbalik yang melengkung pada tengah – tengah model jembatan. Model jembatan ditumpu oleh tumpuan sederhana sendi –rol. Profil yang digunakan adalah profil kotak berlubang (*hollow tube*). Sambungan yang digunakan adalah sambungan baut dan sambungan las.

4.1.2. Kabel

Kabel prategang yang digunakan pada model jembatan rangka prategang adalah baja sling. Dimana kabel sling merupakan gabungan dari serabut – serabut kecil yang digabungkan sehingga membentuk satu kesatuan utuh dari kabel tersebut. Dimensi dari kabel sling ini mempunyai diameter 5 mm.

4.2. Pelaksanaan penelitian

4.2.1. Uji Pendahuluan

Dalam uji pendahuluan ini dilakukan dua pengujian pendahuluan yaitu, pengujian terhadap profil baja yang dipergunakan untuk membuat jembatan serta pengujian yang terhadap kabel sling yang dipergunakan sebagai kabel prategang.

4.2.1.1. Pengujian Profil Baja

Model jembatan dibuat dari profil kotak berlubang dengan dimensi profil 6 cm x 3 cm dan dengan tebal profil 2 mm. Pengujian dilakukan pada alat uji tarik baja dengan output grafik tegangan - regangan. Dari uji pendahuluan diperoleh modulus elastisitas profil 1161666,667 kg/cm² dan tegangan leleh profil 2604,167 kg/cm².

4.2.1.2. Pengujian Kabel Sling

Pengujian kabel sling ini dilakukan pada alat uji tarik baja, seperti halnya pada pengujian profil baja dari hasil pengujian akan diperoleh grafik hubungan tegangan dan regangan kabel sling. Pada pengujian kuat tarik kabel tidak diperoleh kuat *ultimate* yang

pasti dari kabel, hal ini disebabkan karena sebelum mencapai kuat tekan *ultimate* kabel mengalami putus di ujung (alat jepit). Namun ketika mengalami putus tegangan kabel masih lebih besar dari tegangan putus dari profil sehingga kabel aman digunakan. Besarnya gaya tarik yang mengakibatkan kabel putus pada daerah jepit adalah sebesar 12 kN. Pada kondisi tersebut didapatkan tegangan putus (f_{pu}) sebesar 6114,650 kg/cm² dan tegangan leleh (f_y) sebesar 5808,917 kg/cm². Sedangkan modulus elastisitas kabel (E_c) digunakan modulus elastisitas kabel baja pada umumnya sebesar $2,1 \times 10^6$ kg/cm².

4.2.2. Pengujian Model Jembatan Laboratorium

Pengujian model jembatan dilakukan dengan menempatkan model jembatan secara melintang pada *loading frame* karena panjang model jembatan lebih panjang dari *loading frame*, sehingga model jembatan tidak dalam satu sistem kerja dengan *loading frame*. Sedangkan tumpuan yang digunakan adalah tumpuan sendi-rol, dimana untuk perletakan tumpuan sendi-rol ditopang oleh balok-balok beton. Beban yang bekerja pada model jembatan adalah beban terpusat yang dihasilkan oleh tekanan yang dipompakan pada *hydroulic jack*. Dari *hydroulic jack* tekanan akan disalurkan ke *profing ring*, dimana dari *profing ring* ini besarnya tekanan dapat kita ketahui. Dengan kapasitas *profing ring* yang digunakan sebesar 5 ton. Untuk menyalurkan tekanan tersebut digunakan baja profil yang diletakkan secara vertikal pada bagian tengah-tengah bentang model jembatan dan tepat di bawah *profing ring*. Variasi pembebanan yang diberikan adalah 46 kg, 92 kg, dan 138 kg. Dalam hal pembebanan model jembatan rangka dan model jembatan rangka prategang mendapatkan perlakuan yang sama.

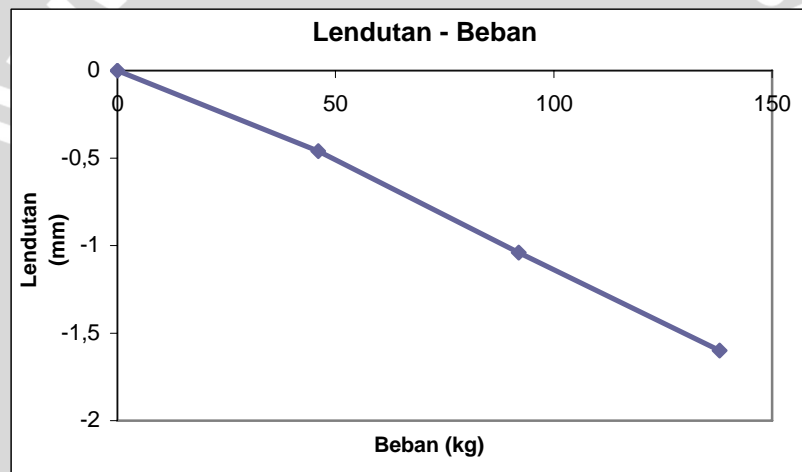
Karena beban yang dikerjakan adalah beban terpusat yang terletak tepat di tengah-tengah model jembatan maka untuk mengamati besarnya lendutan yang terjadi digunakan *dial gauge* yang diletakan tepat di tengah-tengah model jembatan. Pada batang terlemah yang merupakan batang yang terletak disebelah atas ditengah-tengah dari model jembatan diletakan *strainmeter* untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi.

Kabel prategang dihubungkan dengan jarum keras. Jarum keras ini digunakan untuk mendapatkan kondisi tegangan kabel yang diinginkan dengan cara memutar jarum secara manual secara bersama-sama. Untuk mengetahui besarnya tegangan yang bekerja pada kabel dihubungkan dengan *load cell*. Dimana untuk menghindari

hilangnya tegangan kabel akibat berat sendiri *load cell*, maka *load cell* diletakkan pada rumahan yang terbuat dari plat baja yang dipasang pada ujung model jembatan.

4.2.2.1. Lendutan Maksimum

Sesuai dengan beban yang direncanakan, beban dikerjakan pada jembatan dengan cara memompa *hydraulic jack*. Dengan bekerjanya beban pada jembatan maka akan terjadi perpindahan titik yang terjadi pada buhul model jembatan. Perpindahan titik ini pada buhul model jembatan rangka disebut dengan lendutan. Perpindahan titik ini dapat diketahui dengan memasang *dial gauge* pada buhul di tengah – tengah model jembatan yang merupakan daerah terjadinya lendutan maksimum sehingga besarnya lendutan maksimum dapat diketahui. Dalam pengujian penelitian ini besarnya lendutan maksimum dapat dilihat dalam grafik 4.1. dan tabel 4.1 dibawah.



Grafik 4.1. Gambar Lendutan maksimum model jembatan rangka hasil pengujian laboratorium

Tabel 4.1. Nilai lendutan maksimum pada tengah bentang model jembatan rangka dari hasil pengujian di laboratorium

Beban (kg)	Pembacaan Dial Gauge (unit)	Lendutan (mm)
0	0	0
46	-46	-0,46
92	-104	-1,04
138	-160	-1,60
0	0	0

Nilai negatif (-) mendefinisikan lendutan ke bawah

Nilai positif (+) mendefinisikan lendutan ke atas

4.2.2.2 Gaya Batang Terlemah

Pada model jembatan ini batang terlemah adalah batang 4, batang 5, batang 37, dan batang 38. Untuk mendapatkan gaya-gaya batang, dapat diketahui dari pembacaan regangan pada batang terlemah. Untuk mendapat regangan pada batang terlemah pada batang tersebut dipasang *strainmeter* yang dihubungkan dengan *strain gauge* yang diletakan pada sisi atas batang terlemah.

Contoh: perhitungan gaya batang pada batang 37 akibat beban 46 kg

Data Umum:

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

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

Data Hasil Laboratorium:

$$\varepsilon_{46} \text{ batang 37} = 0,000028 \quad (\text{tekan})$$

Dicari:

$$P_{46} \text{ batang 37} = \text{gaya batang (kg)}$$

Penyelesaian:

$$P_{46} = E \cdot A \cdot \varepsilon_{46}$$

$$\begin{aligned} P_{46} &= 1161666,667 \times 3,44 \times 0,000028 \\ &= 71,930 \text{ kg (tekan)} \end{aligned}$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas profil (kg/cm^2) ε = Regangan profil

A = Luas profil (cm^2) P = Gaya Batang (kg)

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 untuk batang tekan analisis tekuk struktur berlaku persamaan.

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

dengan:

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

Dimana :

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

Pertemuan batang-batang pada buhulnya diasumsikan sendi. Berdasarkan dari Tabel 2.1 didapatkan bahwa untuk kondisi sendi-sendi nilai faktor tekuk (k_c) adalah 1,0.

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

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

Parameter kelangsingan kolom

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

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{65}{1,241} \sqrt{\frac{2604,167}{1161666,667}} = 0,789$$

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

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

Tegangan kritis :

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

Daya dukung nominal :

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

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

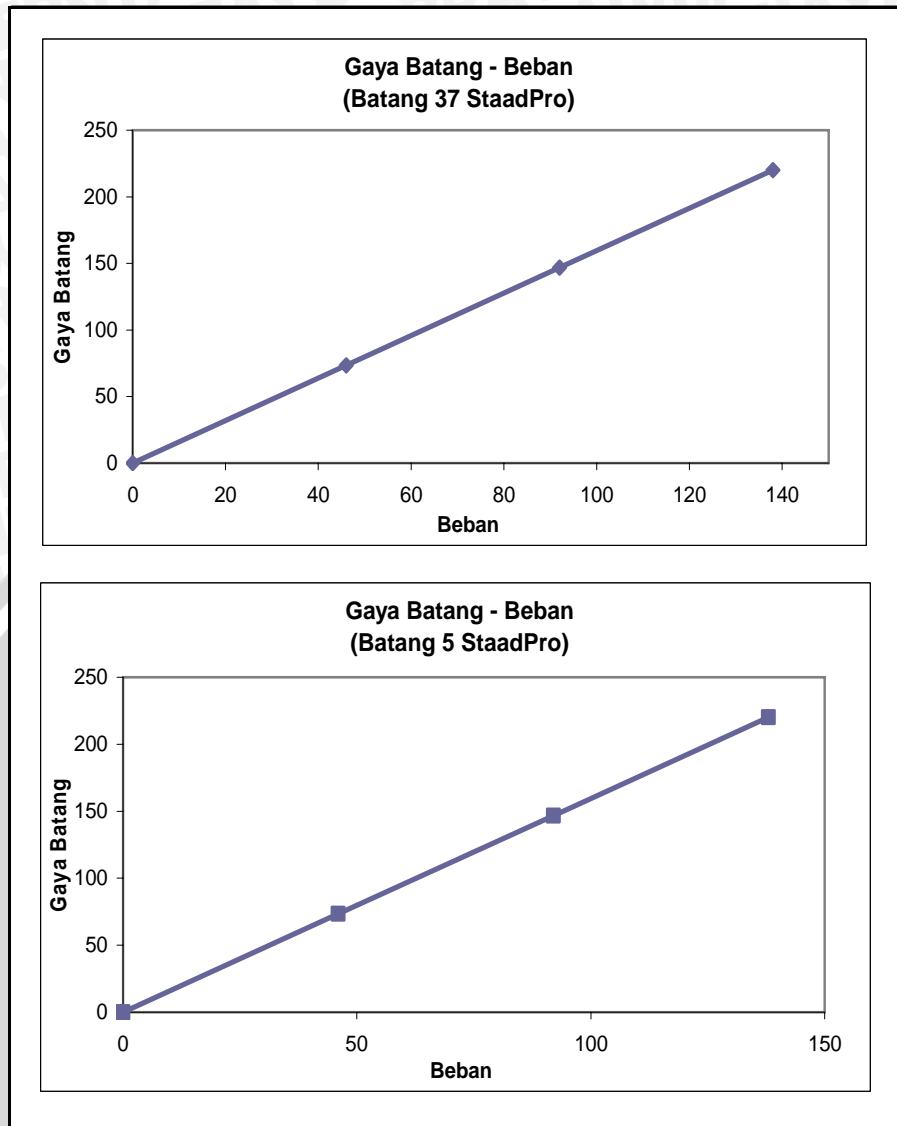
$$71,930 \text{ kg} \leq 0,85 \times 6710,363 \text{ kg}$$

$$71,930 \text{ kg} < 5703,809 \text{ kg} \quad (\text{terpenuhi})$$

Gaya-gaya batang yang lainnya dengan variasi pembebanan dapat diketahui dengan melakukan perhitungan yang sama dengan perhitungan diatas dengan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium

Beban (kg)	Batang 5			Batang 37		
	Regangan (ε)	Kondisi	Gaya Batang (kg)	Regangan (ε)	Kondisi	Gaya Batang (kg)
0	0	-	0	0	-	0
46	0,000018	tekan	71,930	0,000017	tekan	67,934
92	0,000039	tekan	155,849	0,000035	tekan	139,865
138	0,000058	tekan	231,776	0,000054	tekan	215,791
0	0	-	0	0	-	0



Gambar 4.2. Grafik gaya batang pada batang terlemah model jembatan rangka hasil pengujian laboratorium

4.2.2.3. Tegangan Pada Batang Lemah

Dari perhitungan gaya batang terlemah maka dapat dipergunakan untuk mendapatkan tegangan pada batang lemah dari masing-masing batang tersebut.

Contoh perhitungan tegangan pada batang 5 dan batang 37 akibat beban 46 kg

Data Yang Diketahui :

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

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

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

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

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

Dari Perhitungan Batang Lemah :

$$P_{46} \text{ tekan} = 71,930 \text{ kg}$$

Dihitung :

$$f_{46} \text{ tekan} = \text{tegangan yang terjadi akibat beban } 46 \text{ kg (kg/cm}^2\text{)}$$

Penyelesaian:

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

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

Tabel 4.3. Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis laboratorium

Beban (kg)	batang 5			batang 37		
	Gaya Batang (kg)	<i>f</i> (kg/cm ²)	<i>kondisi</i>	Gaya Batang (kg)	<i>f</i> (kg/cm ²)	<i>kondisi</i>
0	0	0	-	0	0	0
46	71,930	20,910	tekan	67,934	19,748	tekan
92	155,849	45,305	tekan	139,865	40,658	tekan
138	231,776	67,377	tekan	215,791	62,730	tekan
0	0	0	-	0	0	-

Dari variasi pembebanan yang dilakukan, tegangan pada batang yang diperoleh baik dari pembebanan yang paling kecil yaitu 46 kg sampai pembebanan yang maksimum yaitu 138, menghasilkan regangan yang jauh lebih kecil dari regangan leleh baja yang sebesar 0,002 sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi model jembatan masih elastis.

4.2.3. Pelaksanaan Pengujian Dengan Software StaadPro 2004

4.2.3.1. Asumsi-Asumsi Yang Digunakan

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

1. Model Jembatan merupakan struktur rangka ruang sehingga menggunakan analisis 3 dimensi untuk jenis struktur rangka (*Truss*).
2. Tumpuan pada titik -titik buhul adalah tumpuan sendi.

3. Profil baja yang digunakan adalah adalah profil baja yang isotropik dengan:

$$\text{Angka Poisson} = 0,3$$

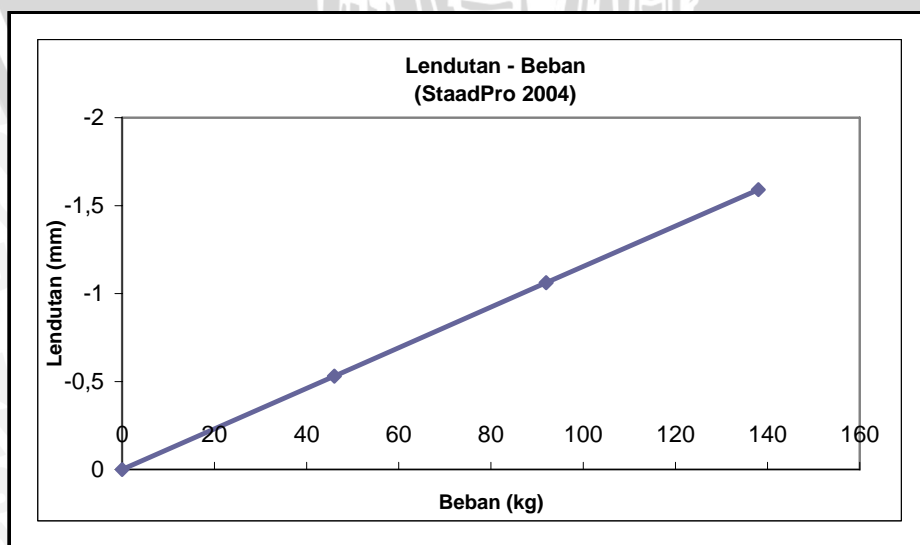
$$\text{Densitas / berat jenis} = 7833,41 \text{ kg/m}^3$$

4. Berat sendiri model jembatan, berat sambungan, serta berat alat-alat bantu percobaan lainnya diabaikan.
5. Beban uji yang diberikan adalah beban terpusat pada titik buhul gelagar melintang di tengah bentang model jembatan.
6. Analisis elemen-elemen baja pada model adalah analisis dengan menggunakan Metode Elastis (*AISC ASD*).
7. Untuk kondisi model jembatan tanpa beban, analisis dilakukan dengan cara memberikan gaya horisontal pada kedua tumpuan sendi sebesar 0.002 kg.
8. Kekakuan model jembatan diabaikan.

4.2.3.2. Analisis Lendutan Maksimum

Tabel 4.4. Nilai lendutan maksimum pada bagian tengah bentang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Beban (kg)	Lendutan (mm)
0	0
46	-0,531
92	-1,062
138	-1,592
0	0



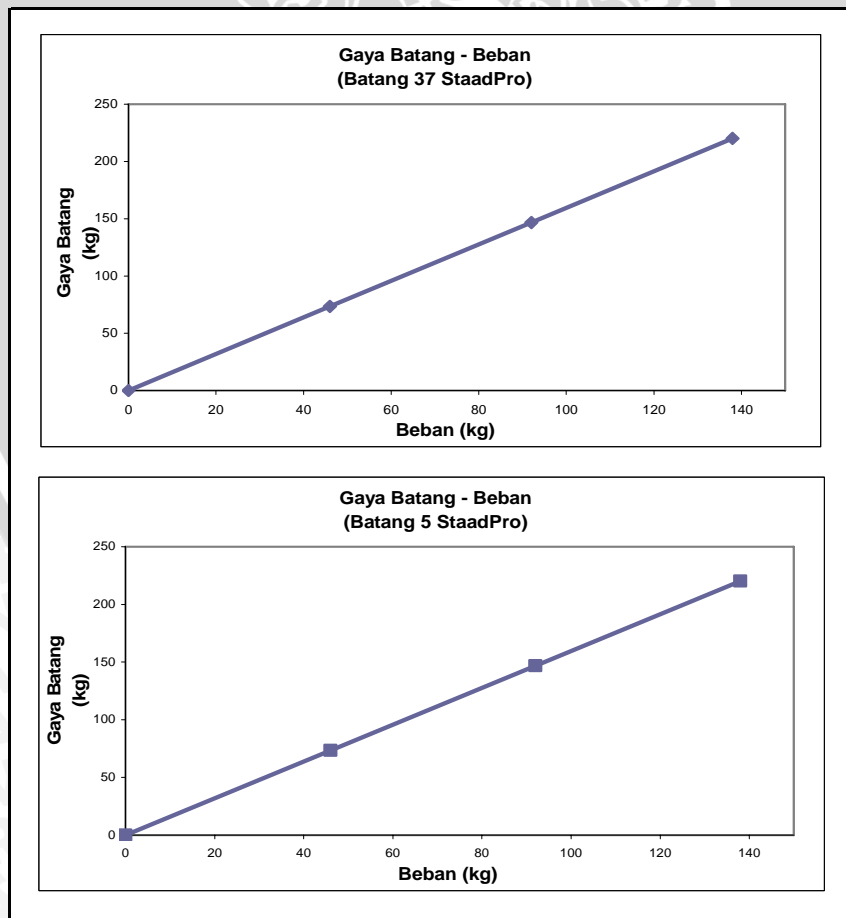
Gambar 4.3. Grafik lendutan maksimum pada bagian tengah bentang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

4.2.3.3. Gaya Pada Batang Lemah

Gaya pada batang lemah dari analisis dengan menggunakan software StaadPro 2004, terjadi pada batang 4, batang 5, batang 37, dan batang 38, dimana keempat batang ini terletak ditengah-tengah sisi atas bentang model jembatan. Karena keempat batang memiliki dimensi yang sama serta dengan kondisi batang dalam menerima beban yang sama pula, maka gaya batang yang terjadi pada model jembatan memiliki nilai yang sama. Sehingga peninjauan yang dilakukan hanya pada batang 5 dan batang 37.

Tabel 4.5. Gaya batang pada batang 5 dan batang 37 struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Beban (kg)	Gaya Batang	
	batang 5 (kg)	batang 37 (kg)
0	0	0
46	73,360	73,360
92	146,719	146,719
138	220,079	220,079
0	0	0



Gambar 4.4. Grafik gaya pada batang 5 dan batang 37 struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis STAADPro 2004

Nilai negatif (-) mendefinisikan kondisi batang tarik

Nilai positif (+) mendefinisikan kondisi batang tekan

4.2.3.4. Tegangan Pada Batang Lemah

Dari hasil perhitungan dengan software staadpro 2004 akan didapatkan secara langsung besarnya nilai tegangan pada batang 5 dan batang 37.

Tabel 4.6. Tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

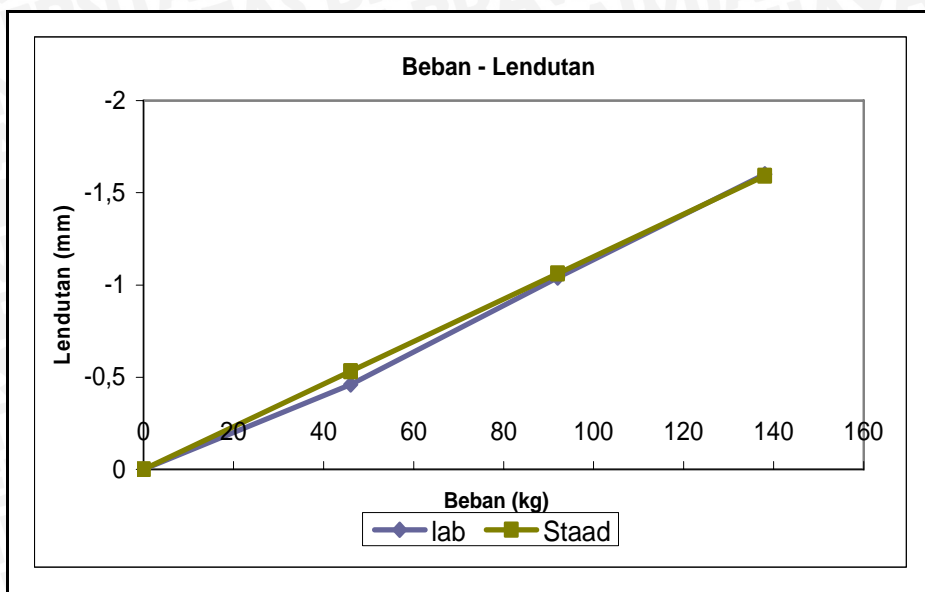
Batang	Beban	f	Kondisi
	(kg)	(kg/cm ²)	
5	0	0	-
	46	21,325	tekan
	92	42,651	tekan
	138	63,976	tekan
	0	0	-
37	0	0	-
	46	21,325	tekan
	92	42,651	tekan
	138	63,976	tekan
	0	0	-

4.2.4. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004

4.2.4.1. Lendutan

Tabel 4.7. Perbandingan nilai lendutan maksimum Model Jembatan Rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Beban	Lendutan	
	Laboratorium	StaadPro
(kg)	(mm)	(mm)
0	0	0
46	-0,460	-0,531
92	-1,040	-1,062
138	-1,600	-1,592
0	0	0

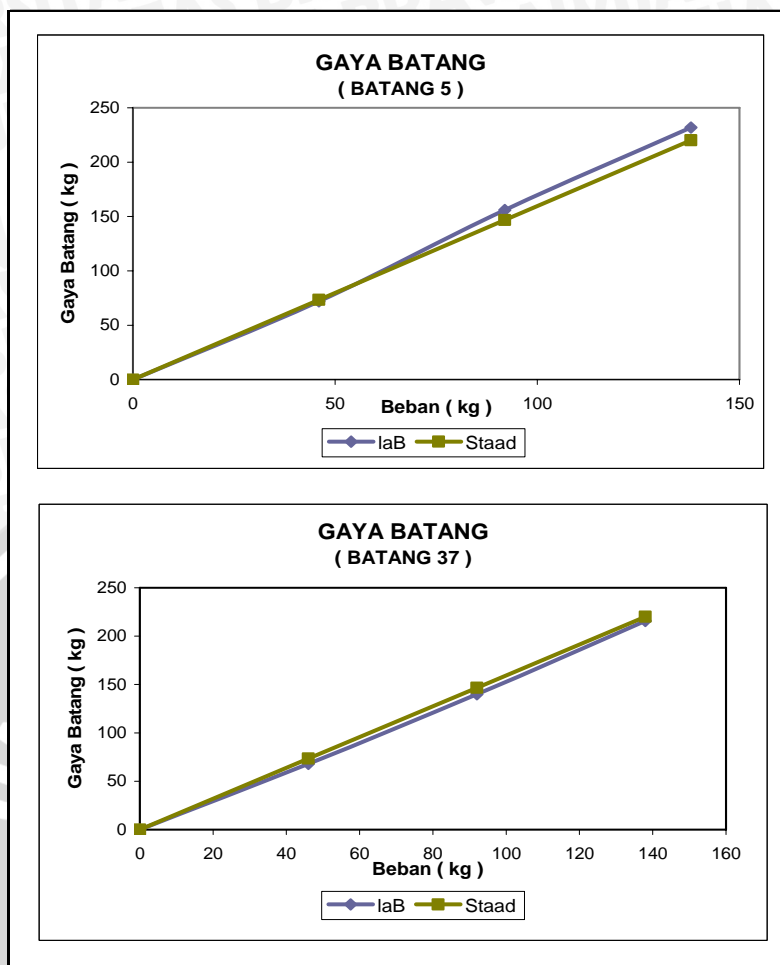


Gambar 4.5. Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

4.2.4.2. Gaya batang pada batang lemah

Tabel 4.8. Perbandingan gaya batang lemah dari hasil analisis dengan StaadPro 2004 dengan laboratorium

Beban	Gaya Batang			
	Batang 5		Batang 37	
	Laboratorium	StaadPro	Laboratorium	StaadPro
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
0	0	0	0	0
46	71,930	73,360	67,934	73,360
92	155,849	146,719	139,865	146,719
138	231,776	220,079	215,791	220,079
0	0	0	0	0



Gambar 4.6. Grafik perbandingan gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis STAADPro 2004

4.2.4.3. Tegangan Pada Batang Lemah

Tabel 4.9. Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis STAADPro 2004

Beban (kg)	Tegangan			
	Batang 5		Batang 37	
	Laboratorium (kg/cm ²)	StaadPro (kg/cm ²)	Laboratorium (kg/cm ²)	StaadPro (kg/cm ²)
0	0	0	0	0
46	20,910	21,325	19,748	21,325
92	45,305	42,651	40,658	42,651
138	67,377	63,976	62,730	63,976
0	0	0	0	0

4.3. Pembebanan Model Jembatan Rangka Prategang

Pembebanan pada pengujian model jembatan rangka prategang dilakukan dengan kondisi yang sama dengan pembebanan pada saat pengujian model jembatan rangka, dimana pembebanan dilakukan pada *loading frame* sebagai tempat perletakan *profing ring* dengan posisi model jembatan yang melintang pada *loading frame*. *Profing ring* yang digunakanpun mempunyai kapasitas yang sama yaitu 5 ton. Variasi pembebanan yang diberikan juga sama dengan model jembatan rangka yaitu, 46 kg, 92 kg, 138 kg.

Besarnya lendutan, gaya batang, serta tegangan yang terjadi akibat penambahan kabel prategang akan diketahui dari hasil pengujian. Sehingga diharapkan penurunan lendutan yang terjadi akibat penambahan kabel prategang dapat diketahui.

4.3.1. Pengolahan Data Hasil Laboratorium

4.3.1.1. Gaya Prategang

Gaya Prategang merupakan gaya yang terjadi pada kabel prategang akibat penarikan kabel dengan jarum keras pada kabel. Penarikan jarum keras dilakukan secara manual secara bersama-sama pada kedua sisi model jembatan. Kedua kabel prategang masing-masing dihubungkan dengan *loadcell* guna mengetahui besarnya gaya yang terjadi pada kabel. Dimana *loadcell* yang digunakan untuk mempunyai kapasitas 5 ton dan 10 ton. Untuk mengurangi kehilangan gaya prategang pada tengah-tengah bentang dipasang laher, sehingga diharapkan tegangan antara kedua sisi model jembatan sama besar.

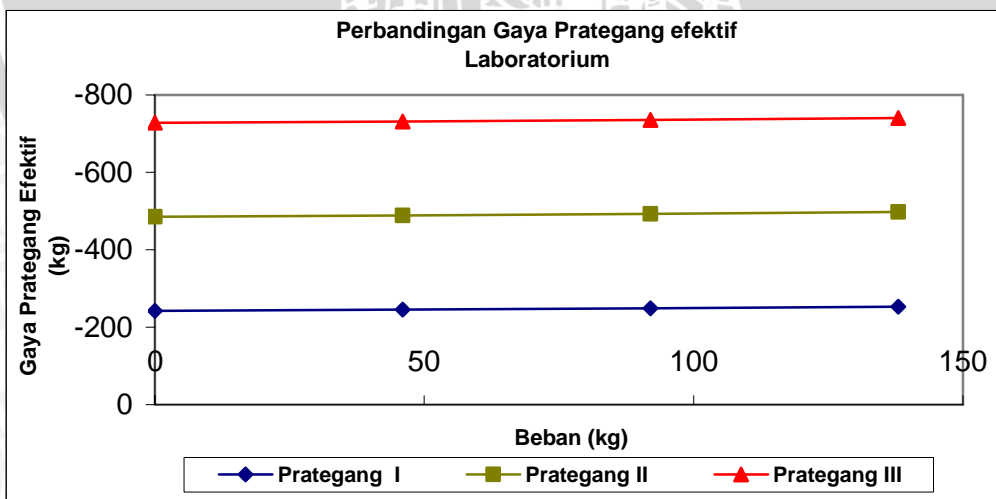
Pemberian gaya prategang dilakukan tiga variasi, dimana gaya prategang pertama diperoleh dengan melakukan perlawanan akibat lendutan yang diakibatkan oleh beban 46 kg. Untuk prategang yang kedua merupakan kelipatan 2 kali dari prategang yang pertama dan prategang yang ketiga merupakan kelipatan 3 kali dari prategang yang pertama.

Pemutaran jarum keras dilakukan secara manual, dimana jarum kiri dan kanan diputar secara bersama – sama dengan sudut putar sebesar 90^0 . Pemutaran jarum keras dilakukan sampai diperoleh nilai prategang yang diinginkan yang bisa dibaca pada *loadcell* yang dihubungkan ke kabel. Pemutaran jarum keras yang dilakukan secara manual menyebabkan gaya prategang yang tidak tepat sama, maka besarnya gaya prategang di kedua sisi dicari rata-rata gaya yang terjadi, sehingga diperoleh gaya prategang acuan.

Sedangkan gaya prategang efektif adalah gaya tarik pada kabel yang besarnya ditentukan oleh prategang acuan yang juga besarnya sangat dipengaruhi oleh peningkatan beban model jembatan. Dari gaya prategang acuan apabila dikerjakan beban maka akan terjadi peningkatan gaya pada kabel yang berbanding lurus dengan peningkatan beban yang bekerja.

Tabel 4.10. Nilai gaya prategang hasil percobaan di laboratorium

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan			Beban (kg)	Prategang Efektif		
	Loadcell 1	Loadcell 2	Rata-rata		Loadcell 1	Loadcell 2	Rata-rata
	(kg)	(kg)	(kg)		(kg)	(kg)	(kg)
I	-242,230	-242,484	-242,357	0	-242,230	-242,484	-242,357
				46	-245,566	-245,156	-245,361
				92	-248,903	-249,164	-249,033
				138	-252,907	-253,172	-253,039
				0	-244,232	-241,816	-243,024
II	-484,460	-484,968	-484,714	0	-484,460	-484,968	-484,714
				46	-488,464	-488,976	-488,720
				92	-491,800	-493,652	-492,726
				138	-497,139	-497,660	-497,399
				0	-501,142	-501,668	-501,405
III	-727,357	-728,120	-727,739	0	-727,357	-728,120	-727,739
				46	-730,694	-732,128	-731,411
				92	-735,365	-735,802	-735,583
				138	-740,036	-740,144	-740,090
				0	-727,357	-728,454	-727,906

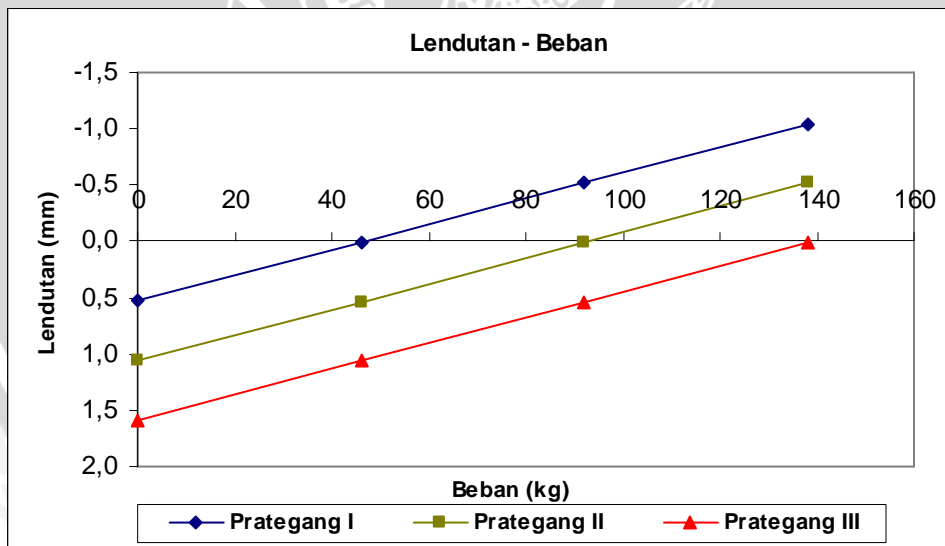


Gambar 4.7. Grafik perbandingan gaya prategang Efektif hasil percobaan di laboratorium

4.3.1.2. Lendutan

Tabel 4.11. Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium

Nomor Gaya Prategang	Beban	Pembacaan Dial Gauge	Lendutan
	(kg)	(unit)	(mm)
I	0	46	0,460
	46	2	0,020
	92	-53	-0,530
	138	-108	-1,080
	0	46	0,460
II	0	99	0,990
	46	54	0,540
	92	1	0,010
	138	-52	-0,520
	0	100	1,000
III	0	154	1,540
	46	111	1,110
	92	59	0,590
	138	8	0,080
	0	154	1,540



Gambar 4.8. Grafik nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium

4.3.1.3. Gaya Pada Batang Lemah

Seperti halnya pada model jembatan rangka, batang lemah merupakan batang sisi luar sebelah atas model jembatan. Batang - batang lemah tersebut adalah batang 5, batang 6, batang 37, dan batang 38. Dimana pemasangan *starin gauge* dipasang hanya

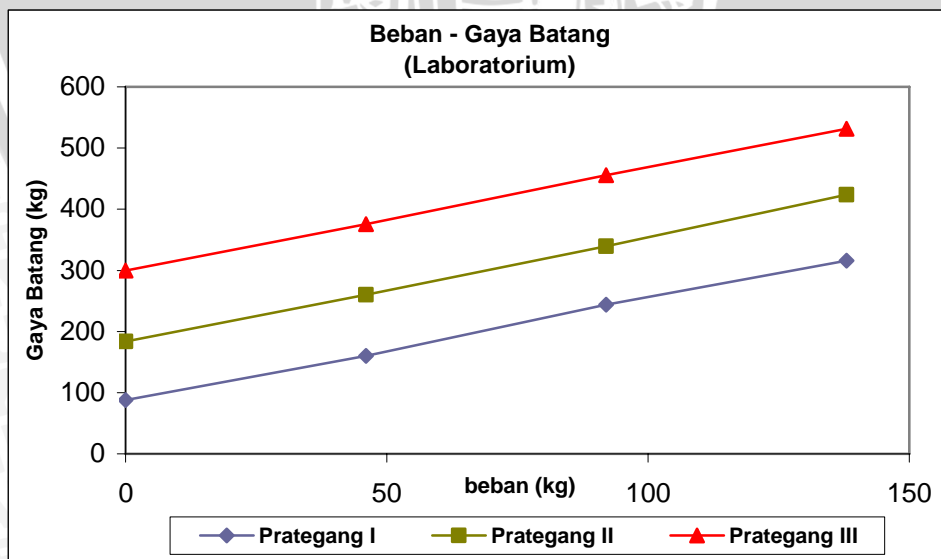
pada batang 5 dan 37, sehingga besarnya regangan yang terjadi pada batang tersebut dapat diketahui. Regangan yang terjadi dapat digunakan untuk menghitung besarnya gaya batang pada batang lemah.

Tabel 4.12. Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium

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

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

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Batang 5		Batang 37	
		Regangan (ε)	Gaya Batang (kg)	Regangan (ε)	Gaya Batang (kg)
I	0	0,000024	95,907	0,000022	87,915
	46	0,000042	167,838	0,00004	159,845
	92	0,000065	259,749	0,000061	243,764
	138	0,000084	335,675	0,000079	315,695
	0	0,000026	103,899	0,000023	91,911
II	0	0,000044	175,830	0,000046	183,822
	46	0,000063	251,756	0,000065	259,749
	92	0,000086	343,667	0,000085	339,671
	138	0,000105	419,594	0,000106	423,590
	0	0,000046	183,822	0,000047	187,818
III	0	0,000075	299,710	0,000075	299,710
	46	0,000092	367,644	0,000094	375,637
	92	0,000115	459,555	0,000114	455,559
	138	0,000137	547,470	0,000133	531,486
	0	0,000075	299,710	0,000078	311,698



Tabel 4.9. Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium

4.3.1.3. Analisa Tegangan Pada Batang Lemah

Tegangan pada batang lemah pada model jembatan rangka prategang diperoleh dari besarnya nilai gaya batang yang dihitung dari besarnya regangan yang terjadi.

Tabel 4.13. Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium

Nomor Gaya Prategang	Batang	Beban	Gaya Batang	f	Kondisi
		(kg)	(kg)	(kg/cm ²)	
I	5	0	95,907	27,880	tekan
		46	167,838	48,790	tekan
		92	259,749	75,508	tekan
		138	335,675	97,580	tekan
		0	103,899	30,203	tekan
	37	0	87,915	25,557	tekan
		46	159,845	46,467	tekan
		92	243,764	70,862	tekan
		138	315,695	91,772	tekan
		0	91,911	26,718	tekan
II	5	0	175,830	51,113	tekan
		46	251,756	73,185	tekan
		92	343,667	99,903	tekan
		138	419,594	121,975	tekan
		0	183,822	53,437	tekan
	37	0	183,822	53,437	tekan
		46	259,749	75,508	tekan
		92	339,671	98,742	tekan
		138	423,590	123,137	tekan
		0	187,818	54,598	tekan
III	5	0	299,710	87,125	tekan
		46	367,644	106,873	tekan
		92	459,555	133,592	tekan
		138	547,470	159,148	tekan
		0	299,710	87,125	tekan
	37	0	299,710	87,125	tekan
		46	375,637	109,197	tekan
		92	455,559	132,430	tekan
		138	531,486	154,502	tekan
		0	311,698	90,610	tekan

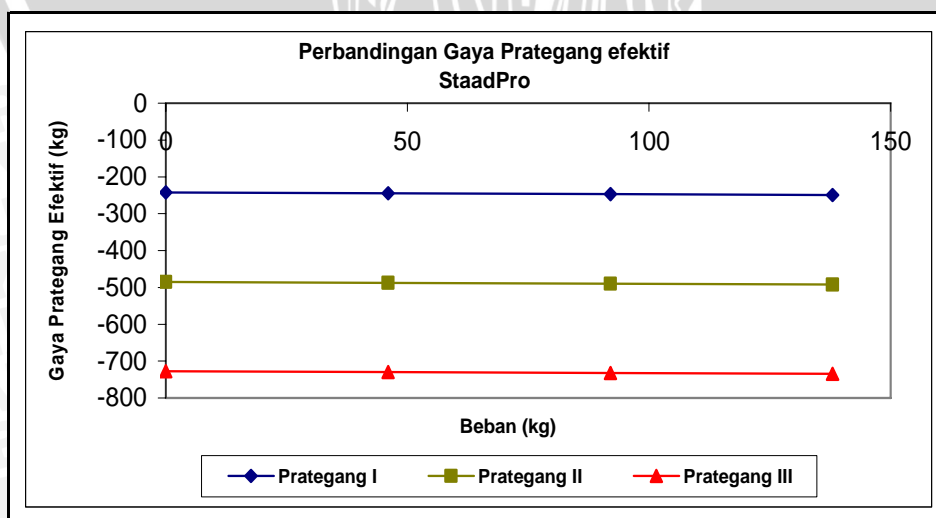
4.3.2 Analisa Dengan StaadPro 2004

4.3.2.1 Asumsi-Asumsi Yang Digunakan

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

1. Model Jembatan merupakan struktur rangka ruang sehingga menggunakan analisis 3 dimensi untuk jenis struktur rangka (*Truss*)
2. Titik pertemuan antara kabel dengan rangka, dan rangka dengan tumpuan merupakan titik (*node*) yang memiliki kedudukan yang sesuai dengan koordinat masing-masing.
3. Profil baja yang digunakan adalah adalah profil baja yang isotropik dengan:
 - Angka Poisson = 0.3
 - Densitas / berat jenis = 7833.41 kg/m³
4. Struktur Rangka Batang Model Jembatan dan struktur kabel prategang dianggap sebagai struktur yang sebidang.
5. Analisis elemen-elemen baja pada model adalah analisis dengan menggunakan Metode Elastis (*AISC ASD*).
6. Beban uji yang diberikan adalah beban terpusat pada titik buhul gelagar melintang di tengah bentang model jembatan
7. Berat sendiri model jembatan, berat sambungan, serta berat alat-alat bantu percobaan lainnya diabaikan
8. Untuk kondisi model jembatan sebelum pembebanan, analisis dilakukan dengan memberikan beban terpusat arah horisontal pada kedua tumpuan sendi sebesar 0.002 kg pada model jembatan.
9. Kekakuan elemen batang model jembatan diabaikan.

4.3.2.2 Gaya Prategang



Gambar 4.10. Grafik nilai gaya prategang hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004

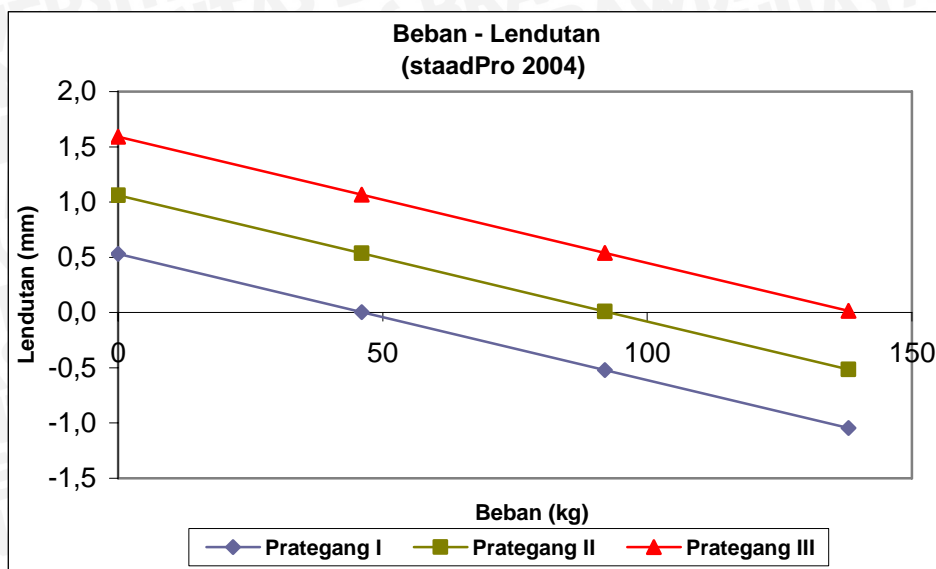
Tabel 4.14. Nilai gaya prategang hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Prategang Awal	Prategang Acuan	Beban (kg)	Prategang efektif
	(kg)	(kg)		(kg)
I	-257,242	-242,448	0	-242,448
			46	-244,844
			92	-247,240
			138	-249,636
			0	-242,448
II	-514,487	-484,896	0	-484,896
			46	-487,292
			92	-489,689
			138	-492,085
			0	-484,896
III	-771,731	-727,344	0	-727,344
			46	-729,741
			92	-732,137
			138	-734,533
			0	-727,344

4.3.2.3. Analisis Lendutan Maksimum

Tabel 4.15. Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan	Beban (kg)	Lendutan (mm)
	(kg)		
I	-242,448	0	0,531
		46	0,005
		92	-0,521
		138	-1,046
		0	0,531
II	-484,896	0	1,062
		46	0,536
		92	0,010
		138	-0,515
		0	1,062
III	-727,344	0	1,592
		46	1,066
		92	0,540
		138	0,016
		0	1,592

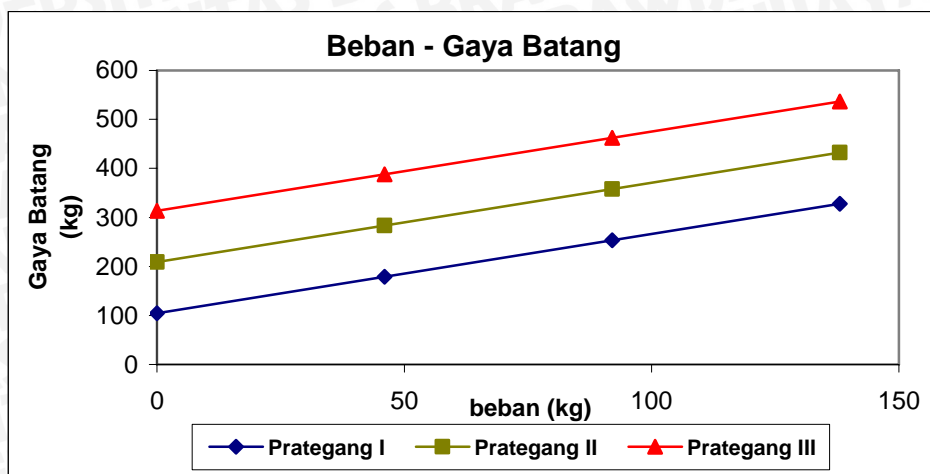


Gambar 4.11. Grafik nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

4.3.2.4. Analisis Gaya Batang Pada Batang Lemah

Tabel 4.16. Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Batang	
			batang 5 (kg)	batang 37 (kg)
I	-242,448	0	104,542	104,542
		46	178,935	178,935
		92	253,327	253,327
		138	327,720	327,720
		0	104,542	104,542
II	-484,896	0	209,084	209,084
		46	283,327	283,327
		92	357,869	357,869
		138	432,262	432,262
		0	209,084	209,084
III	-727,344	0	313,625	313,625
		46	388,018	388,018
		92	462,411	462,411
		138	536,804	536,804
		0	313,625	313,625



Grafik 4.12. Grafik gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari analisis STAADPro 2004

4.3.2.5. Analisis Tegangan Pada Batang Lemah

Tabel 4.17. Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004

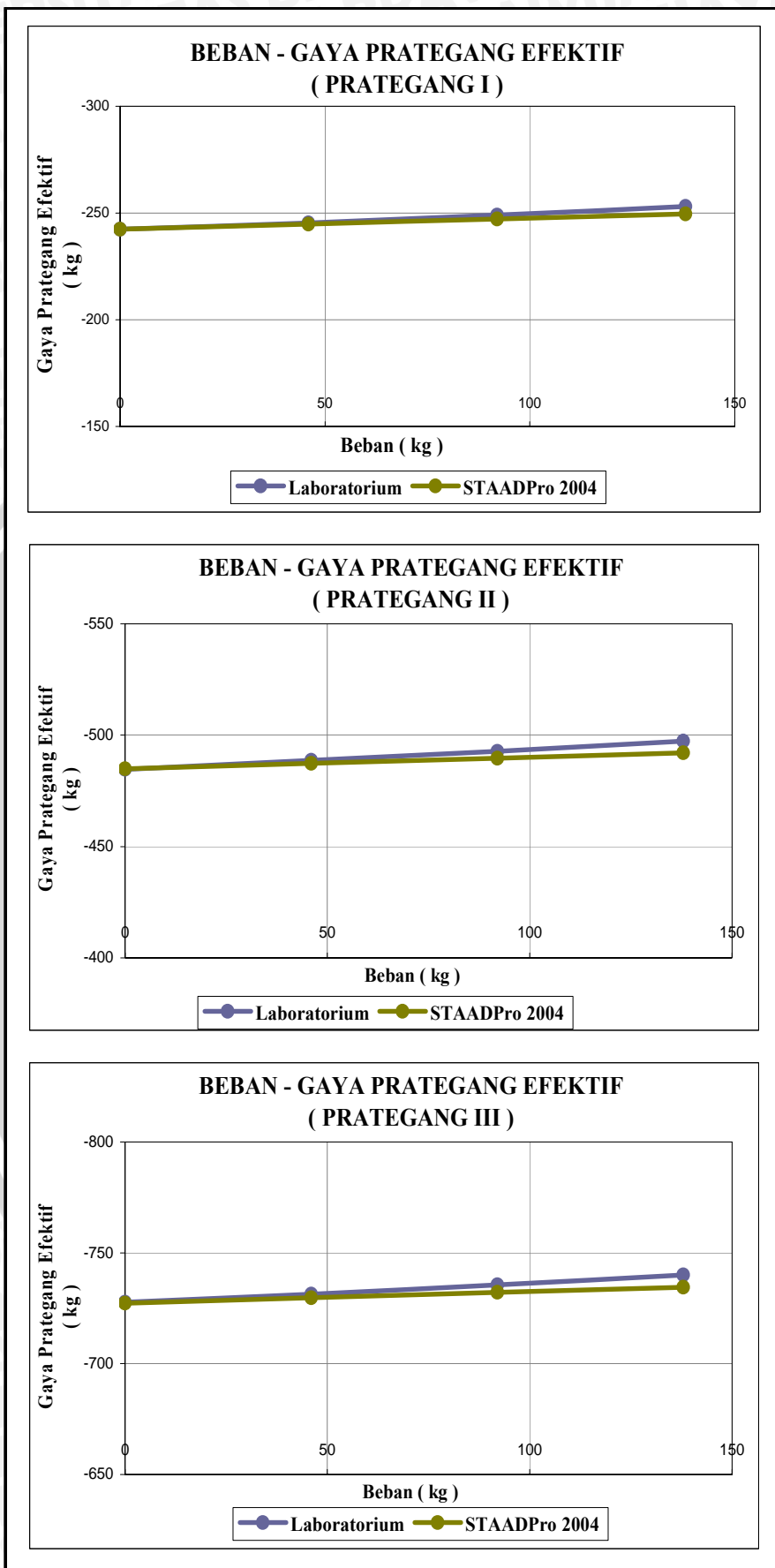
Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan (kg)	Batang	Beban (kg)	f (kg/cm ²)	Kondisi
			46	52,016	tekan
			92	73,642	tekan
			138	95,267	tekan
			0	30,390	tekan
		37	0	30,390	tekan
			46	52,016	tekan
			92	73,642	tekan
			138	95,267	tekan
			0	30,390	tekan
II	-484,896	5	0	60,780	tekan
			46	82,406	tekan
			92	104,032	tekan
			138	125,658	tekan
			0	60,780	tekan
		37	0	60,780	tekan
			46	82,406	tekan
			92	104,032	tekan
			138	125,658	tekan
			0	60,780	tekan
III	-727,344	5	0	91,170	tekan
			46	112,796	tekan
			92	134,422	tekan
			138	156,046	tekan
			0	148,651	tekan
		37	0	91,170	tekan
			46	112,796	tekan
			92	134,422	tekan
			138	156,046	tekan
			0	148,651	tekan

4.3.3. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004

4.3.3.1. Gaya Prategang

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

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Gaya Prategang Efektif	
		STAADPro (kg)	Laboratorium (kg)
I	0	-242,448	-242,357
	46	-244,844	-245,361
	92	-247,24	-249,033
	138	-249,636	-253,039
	0	-242,448	-243,024
II	0	-484,896	-484,714
	46	-487,292	-488,720
	92	-489,689	-492,726
	138	-492,085	-497,399
	0	-484,896	-501,405
III	0	-727,344	-727,739
	46	-729,741	-731,411
	92	-732,137	-735,583
	138	-734,533	-740,090
	0	-727,344	-727,906

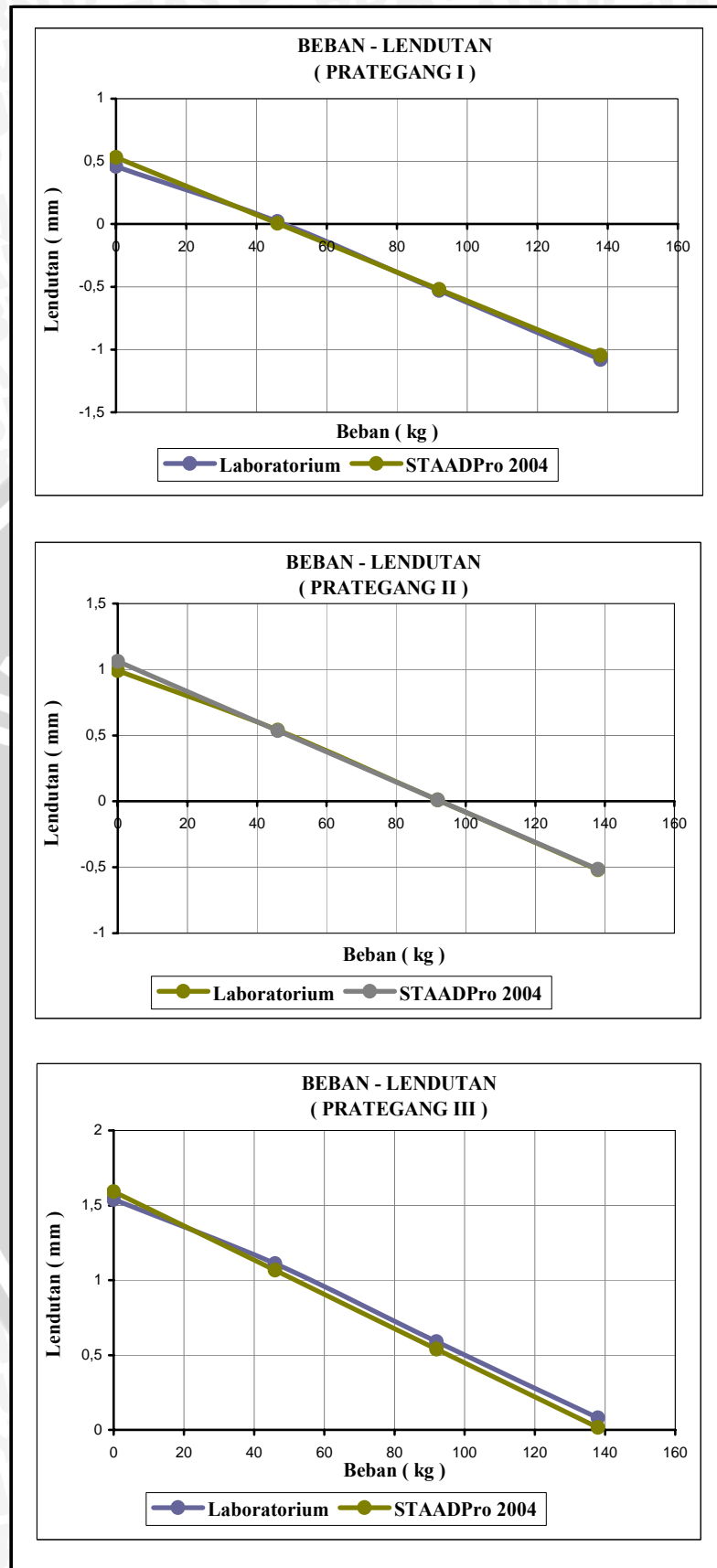


Gambar 4.13. Grafik perbandingan gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

4.3.3.2. Lendutan Maksimum

Tabel 4.19. Perbandingan nilai lendutan model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Lendutan	
		STAADPro (mm)	Laboratorium (mm)
I	0	0,531	0,460
	46	0,005	0,020
	92	-0,521	-0,530
	138	-1,046	-1,080
	0	0,531	0,460
II	0	1,062	0,990
	46	0,536	0,540
	92	0,01	0,010
	138	-0,515	-0,520
	0	1,062	1,000
III	0	1,592	1,540
	46	1,066	1,110
	92	0,54	0,590
	138	-0,016	0,080
	0	1,592	1,540



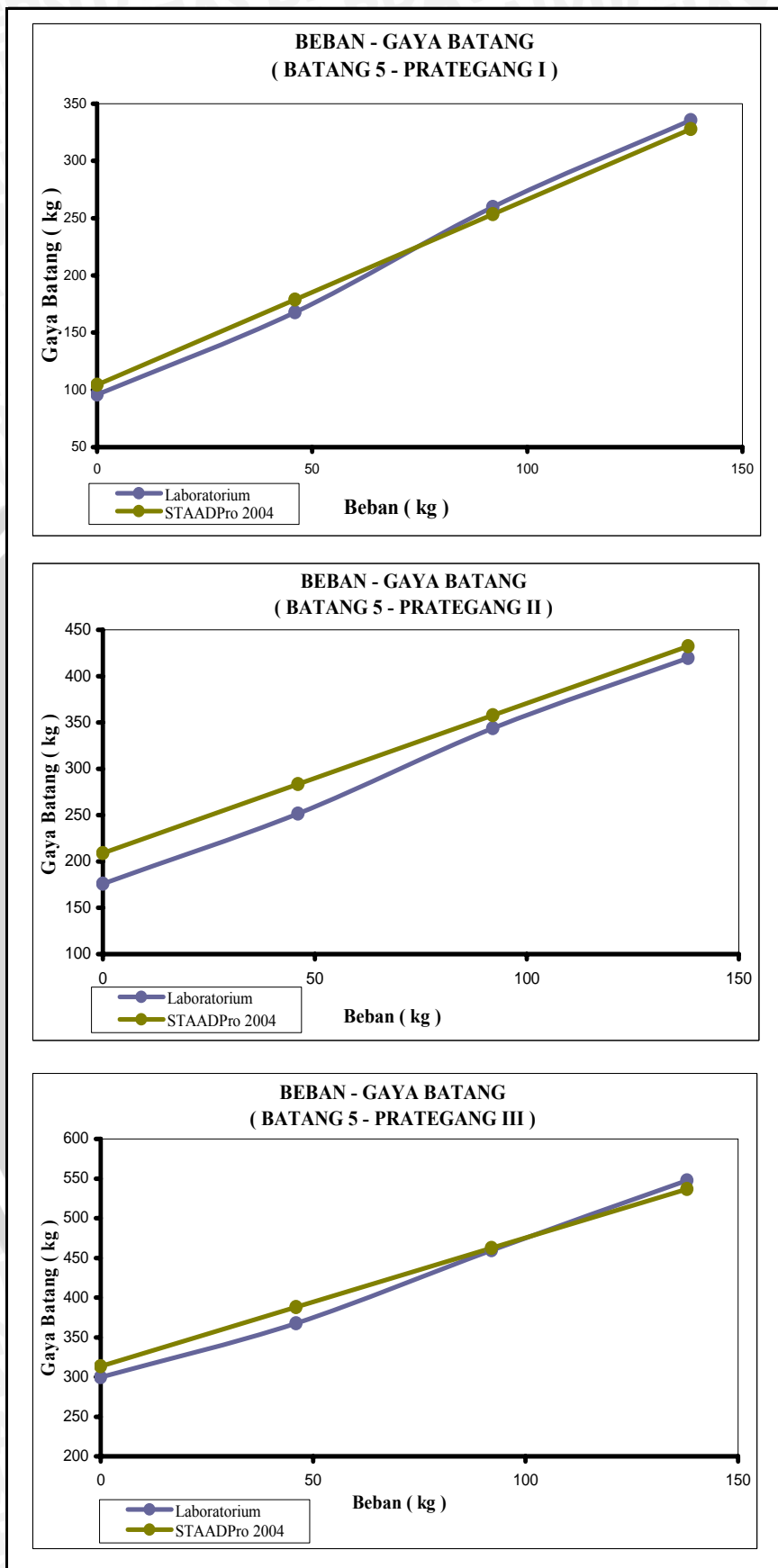
Gambar 4.14. Grafik perbandingan lendutan model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

4.3.3.3. Gaya Batang Pada Batang Lemah

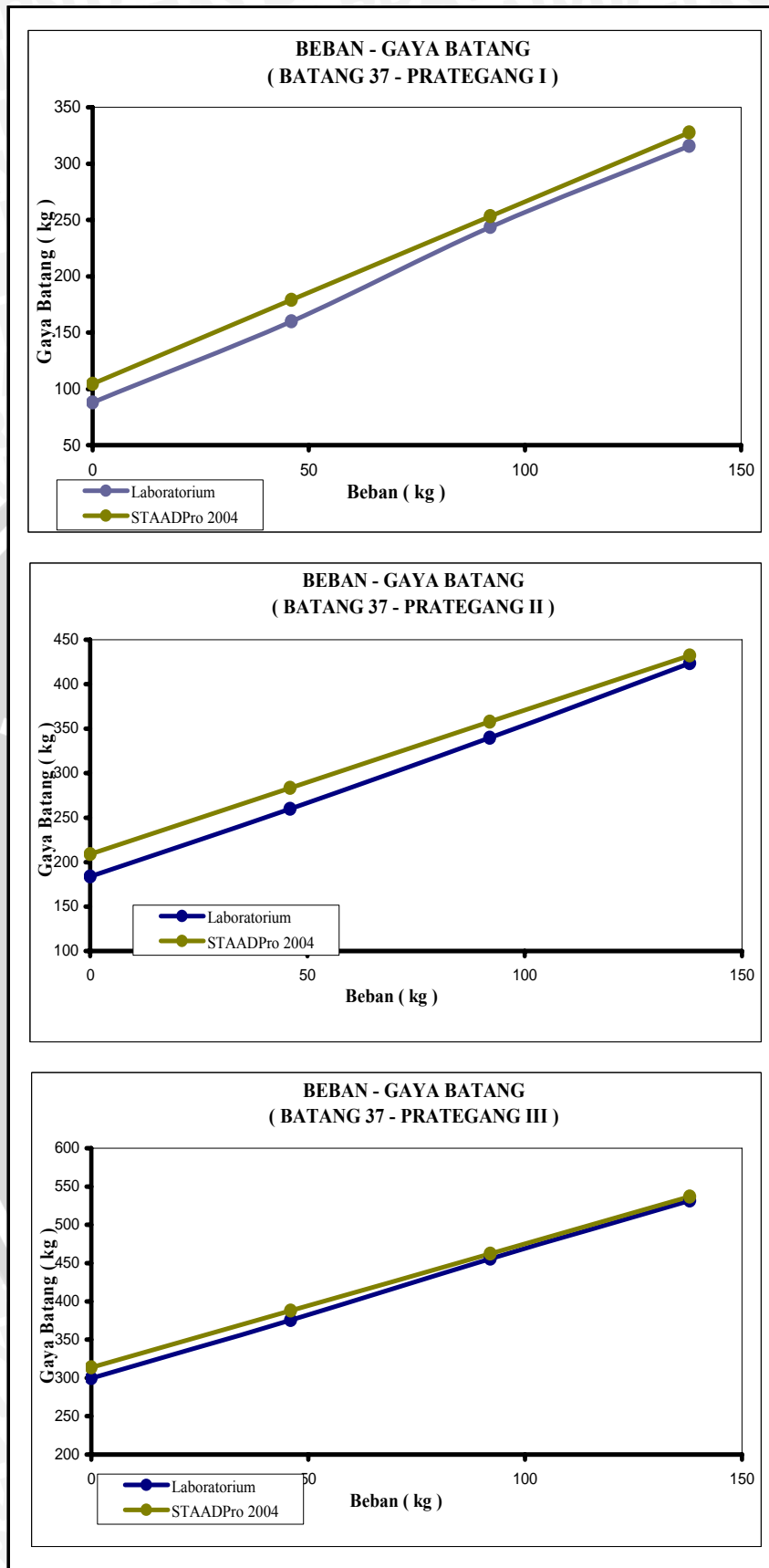
Tabel 4.20. Perbandingan nilai gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Gaya Batang (kg)			
		Batang 5		Batang 37	
		STAADPro	Laboratorium	STAADPro	Laboratorium
I	0	104,542	95,907	104,542	87,915
	46	178,935	167,838	178,935	159,845
	92	253,327	259,749	253,327	243,764
	138	327,72	335,675	327,72	315,695
	0	104,542	103,899	104,542	91,911
II	0	209,084	175,830	209,084	183,822
	46	283,327	251,756	283,327	259,749
	92	357,869	343,667	357,869	339,671
	138	432,262	419,594	432,262	423,590
	0	209,084	183,822	209,084	187,818
III	0	313,625	299,710	313,625	299,710
	46	388,018	367,644	388,018	375,637
	92	462,411	459,555	462,411	455,559
	138	536,804	547,470	536,804	531,486
	0	313,625	299,710	313,625	311,698





Gambar 4.15. Grafik perbandingan gaya batang pada batang no 5 model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004



Gambar 4.16. Grafik perbandingan gaya batang pada batang no 37 model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

4.3.3.4. Tegangan Pada Batang Lemah

Tabel 4.21. Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004

Nomor Gaya	Beban	Tegangan (kg/cm ²)			
		Batang 5		Batang 37	
Prategang	(kg)	STAADPro	Laboratorium	STAADPro	Laboratorium
I	0	30,390	27,880	30,390	25,557
	46	52,016	48,790	52,016	46,467
	92	73,642	75,508	73,642	70,862
	138	95,267	97,580	95,267	91,772
	0	30,39	30,203	30,390	26,718
II	0	60,780	51,113	60,780	53,437
	46	82,406	73,185	82,406	75,508
	92	104,032	99,903	104,032	98,742
	138	125,658	121,975	125,658	123,137
	0	60,78	53,437	60,780	54,598
III	0	91,170	87,125	91,170	87,125
	46	112,796	106,873	112,796	109,197
	92	134,422	133,592	134,422	132,430
	138	156,046	159,148	156,046	154,502
	0	148,651	87,125	148,651	90,610

4.4. Pembahasan

4.4.1. Lendutan maksimum

Tabel 4.22. Prosentase penurunan lendutan akibat pembebanan dan pemberian gaya prategang

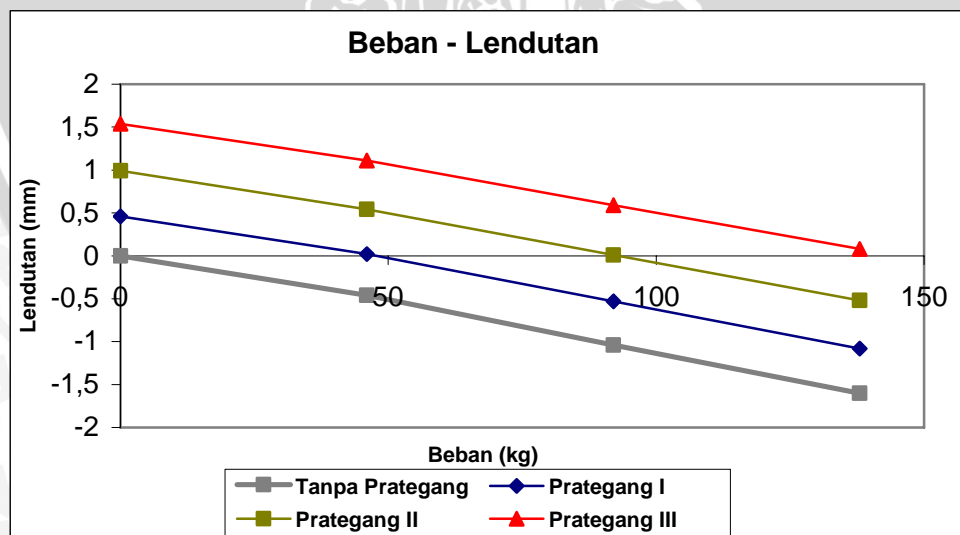
Nomor gaya prategang	Beban	Lendutan		Selisih lendutan akibat peningkatan beban			Prosentase penurunan lendutan
		rangka	prategang	rangka	prategang	penurunan	
kg	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)
-242,357	0	0,000	0,460	0,460	0,440	0,020	4,348
	46	-0,460	0,020	0,580	0,550	0,030	5,172
	92	-1,040	-0,530	0,560	0,550	0,010	1,786
	138	-1,600	-1,080				
-484,714	0	0,000	0,990	0,460	0,450	0,010	2,174
	46	-0,460	0,540	0,580	0,530	0,050	8,621
	92	-1,040	0,010	0,560	0,530	0,030	5,357
	138	-1,600	-0,520				
-727,071	0	0,000	1,540	0,460	0,430	0,030	6,522
	46	-0,460	1,110	0,580	0,520	0,060	10,345
	92	-1,040	0,590	0,560	0,510	0,050	8,929
	138	-1,600	0,080				

Beban yang diberikan kepada jembatan akan menyebabkan perpindahan yang terjadi pada titik buhul jembatan. Perpindahan titik buhul akibat pembebanan ini disebut

dengan lendutan. Lendutan maksimum adalah lendutan yang menyebabkan terjadinya perpindahan yang paling besar pada buhul jembatan. Karena pada percobaan ini beban yang dikerjakan pada jembatan merupakan beban terpusat yang diletakkan pada tengah-tengah bentang jembatan maka lendutan maksimum akan terjadi tepat ditengah-tengah jembatan.

Dalam usaha untuk mengurangi lendutan yang terjadi akibat beban yang terpusat di tengah-tengah jembatan, digunakan kabel prategang internal tipe segitiga yang dipasang di kedua sisi gelagar induk model jembatan. Dalam Tabel 4.22 akan dapat diketahui perbandingan besarnya lendutan yang terjadi pada model jembatan rangka tanpa kabel prategang dan model jembatan rangka dengan kabel prategang.

Dari Tabel 4.22. diatas pada jembatan rangka tanpa prategang akan terlihat dengan bertambahnya beban yang diberikan pada jembatan maka lendutan yang terjadi pun akan semakin besar. Peningkatan besarnya lendutan rata-rata yang terjadi pada jembatan rangka sebesar 0,533 mm. Apabila kita tinjau pada jembatan rangka prategang maka peningkatan lendutan yang terjadi akan lebih kecil dari peningkatan lendutan yang terjadi pada jembatan rangka, dimana peningkatan lendutan rata-ratanya sebesar 0,501mm. Sehingga pada jembatan rangka akibat adanya penambahan kabel prategang akan menyebabkan jembatan mengalami pengurangan peningkatan lendutan. Selisih penurunan lendutan yang terjadi akibat jembatan rangka tanpa prategang dan jembatan rangka dengan prategang akan berkisar antara 0,01 – 0,06 mm.



Gambar 4.17. Grafik lendutan model jembatan rangka tanpa prategang dan dengan prategang

Adanya variasi dari pemberian gaya prategang juga mengakibatkan prosentase penurunan lendutan yang bervariasi antara 1,786 % – 10,345 %. Karena kondisi

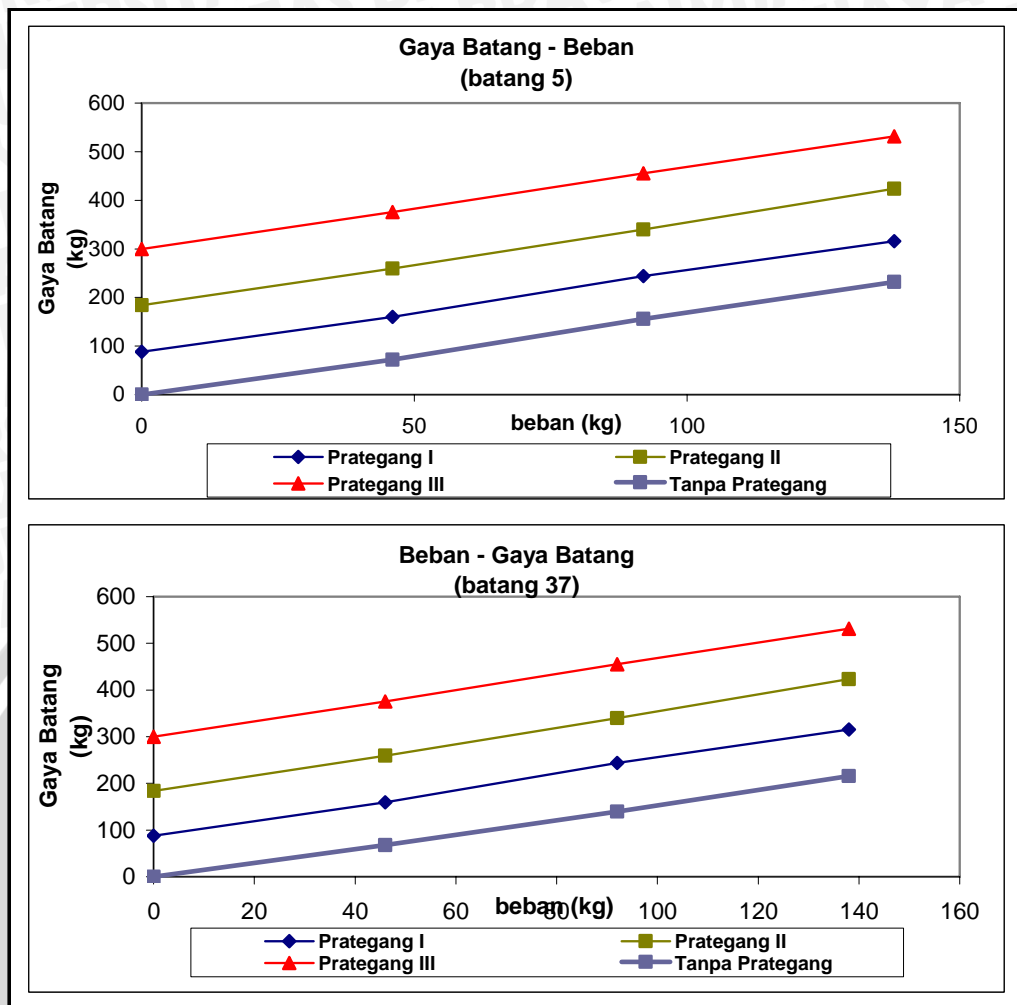
pengujian jembatan yang masih dalam keadaan elastis maka persamaan betty-maxwell berlaku, dimana pada kondisi elastis perubahan gaya-gaya yang bekerja pada struktur masih bersifat perkalian linier. Sehingga prosentase penurunan lendutan rata-rata yang terjadi sebesar 5,917 %.

Pada prategang yang pertama pemberian beban 0 kg akan menyebabkan lendutan sebesar 0,46 mm, sedangkan pada saat pemberian beban maksimum 138 kg akan menyebabkan lendutan sebesar -1,080 mm. Sedangkan untuk prategang ketiga pada saat beban dikerjakan 0 kg akan menghasilkan lendutan 1,540 dan saat beban maksimum lendutan yang terjadi sebesar 0,08 mm. Pemberian beban 0 kg pada kondisi prategang yang kedua akan menghasilkan lendutan keatas sebesar 0,99 mm sedangkan pada kondisi beban yang maksimum yaitu beban 138 kg akan menyebabkan jembatan mengalami penurunan lendutan menjadi sebesar -0,520 mm. Pada prategang yang kedua ini kisaran lendutan yang terjadi -0,520 mm sampai 0,99 mm merupakan kisaran yang terkecil dibandingkan dengan prategang yang pertama dan ketiga.

4.4.2. Gaya batang pada batang lemah

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

Dari Grafik dibawah dapat dilihat hubungan gaya – gaya batang model jembatan yang terjadi pada batang batang lemah. Dengan pemberian prategang internal tipe segitiga pada model jembatan sehingga perilaku batang – batang lemah model jembatan melendut keatas tetapi dalam kondisi tekan. Dengan pemberian beban akan terjadi peningkatan gaya batang (gaya tekan) yang menyebabkan batang – batang lemah pada model jembatan prategang akan memiliki nilai gaya batang yang lebih besar dari gaya batang yang terjadi pada model jembatan tanpa prategang. Sehingga dengan pemberian gaya prategang internal tipe segitiga akan menyebabkan peningkatan gaya-gaya batang pada batang lemah model jembatan.



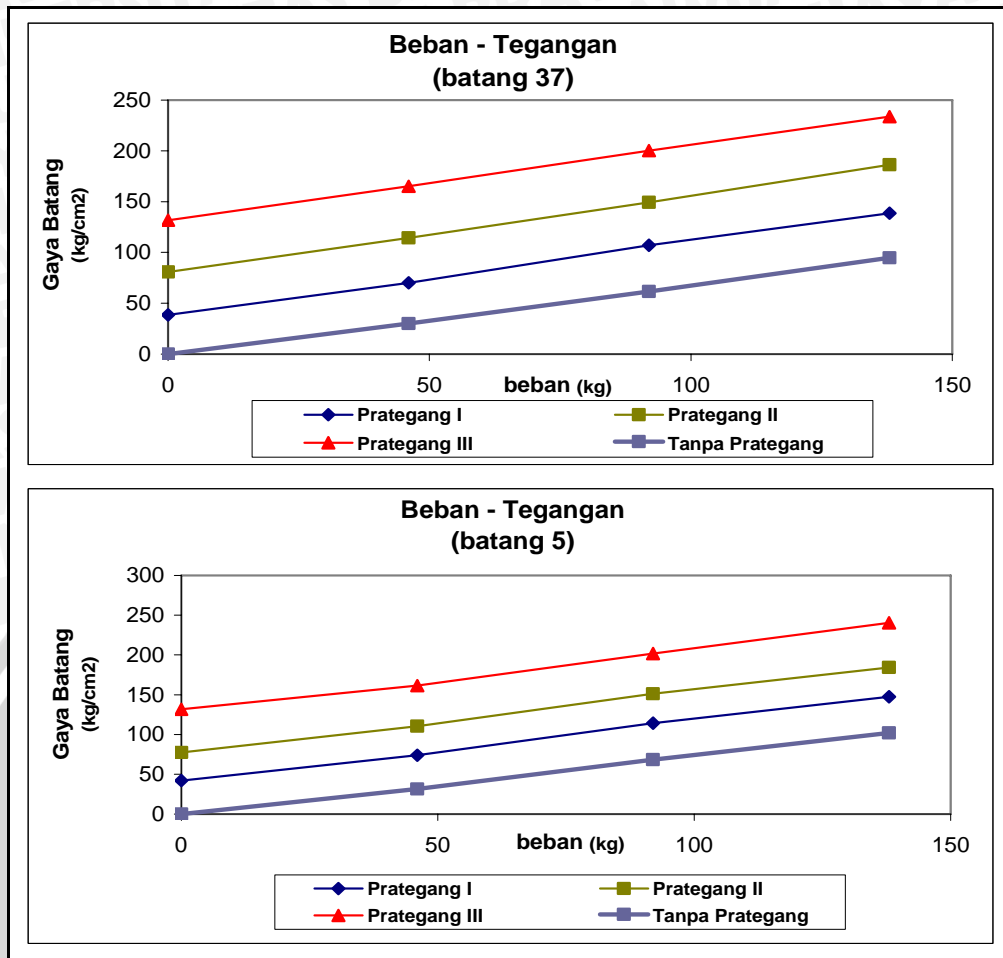
Gambar 4.18. Grafik gaya batang pada batang terlemah model jembatan rangka tanpa prategang dan dengan prategang

4.4.3. Tegangan Pada Batang Lemah

Metode analisis data-data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode elastis sehingga kondisi akhir model jembatan setelah percobaan dilakukan masih dalam keadaan elastis.

Dari keseluruhan percobaan yang dilakukan besarnya tegangan maksimum yang terjadi pada batang lemah setelah dikalikan faktor tekuk adalah sebesar $240,625 \text{ kg/cm}^2$ yang terjadi saat prategang yang ketiga. Sedangkan pada kabel tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_{maks}}{A_{kabel}} \\
 &= \frac{740,090}{0,196} = 3775,970 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.19. Grafik tegangan pada batang lemah model jembatan rangka tanpa prategang dan dengan prategang

4.4.3. Gaya prategang

4.4.3.1. Hasil analisis dengan STAADPro 2004

Tabel 4.23. Variasi gaya prategang acuan hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Awal (kg)	Gaya Prategang Acuan (kg)
I	-257,242	-242,448
II	-514,487	-484,896
III	-771,731	-727,344

Dalam STAADPro gaya prategang tidak dapat ditentukan secara langsung seperti menentukan gaya prategang pada percobaan di laboratorium. Hal ini disebabkan karena gaya prategang yang hilang ikut mempengaruhi gaya prategang pada kabel, sehingga untuk mendapatkan gaya prategang acuan maka harus ditentukan terlebih dahulu gaya prategang awal yang bekerja. Penentuan gaya prategang yang terjadi



dilakukan dengan *trial and error* dengan perlawanan terhadap besar lendutan yang terjadi akibat pembebanan 46 kg pada jembatan rangka tanpa prategang. Sehingga besarnya gaya prategang acuan lebih kecil dari prategang awal yang terjadi.

4.4.3.2. Hasil percobaan di laboratorium

Gaya prategang acuan pada percobaan di laboratorium ditentukan dengan melakukan perlawanan lendutan yang terjadi akibat beban 46 kg, sehingga prategang yang dibutuhkan untuk mengembalikan jembatan pada kondisi lendutan 0 mm. Gaya prategang yang terbaca pada *loadmeter* inilah yang disebut gaya prategang acuan

Tabel 4.24. Variasi gaya prategang acuan hasil percobaan di laboratorium

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Acuan (kg)
I	-242,357
II	-484,714
III	-727,739

4.4.3.3. Gaya prategang efektif

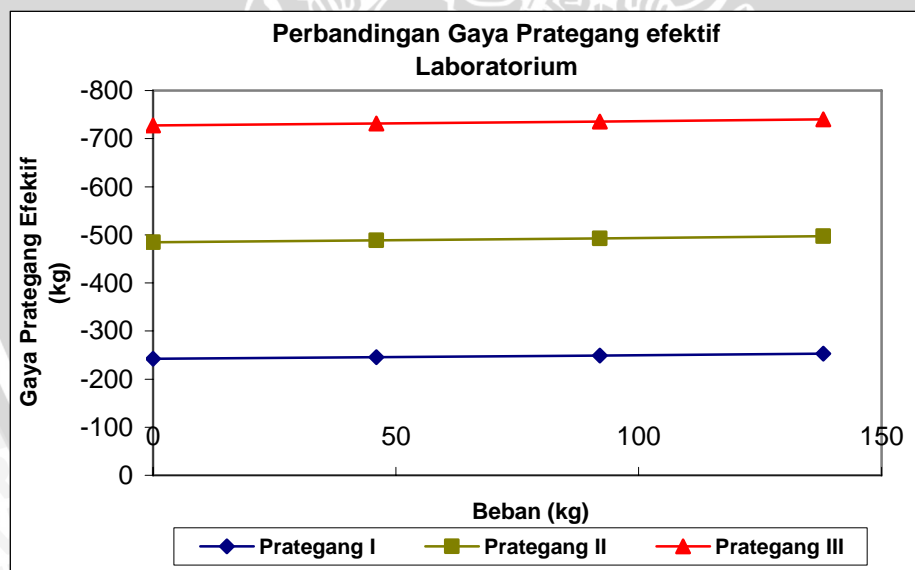
Gaya prategang efektif adalah besarnya gaya tarik yang terjadi pada kabel prategang akibat adanya pembebanan pada model jembatan rangka prategang. Gaya prategang efektif sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang diberikan pada model jembatan rangka prategang.

Tabel 4.25 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan gaya prategang pada kabel prategang akibat pemberian beban. Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya peningkatan gaya prategang efektif yang terjadi akibat peningkatan beban sebesar 46 kg adalah sama pada setiap nomor gaya prategang. Dari Tabel 4.25 besarnya prosentase peningkatan prategang rata-rata adalah sebesar 1,469 % dari gaya prategang acuan pertama sebesar 242,357 kg. Peningkatan gaya prategang tersebut terjadi akibat adanya perubahan bentuk struktur rangka batang model jembatan akibat proses pembebanan. Sedangkan nilai peningkatan prategang yang bervariasi pada hasil percobaan ini disebabkan karena pengaruh faktor kalibrasi alat. *Loadcell* yang digunakan pada percobaan ini adalah dua buah *loadcell* yang memiliki kapasitas yang berbeda sehingga faktor kalibrasi alatnya berbeda. Sehingga besarnya gaya prategang yang terbaca pada *loadmeter* yang terhubung dengan *loadcell* 1 dengan kapasitas 5 ton

dan *loadcell* 2 dengan kapasitas 10 ton tidak sama. Nilai gaya prategang yang ditampilkan pada Tabel 4.25 merupakan nilai rata-rata gaya prategang yang terbaca pada *loadcell* 1 dan *loadcell* 2.

Tabel 4.25. Prosentase peningkatan gaya prategang akibat pembebanan

Nomor Gaya Prategang	Gaya Prategang Acuan (kg)	Beban (kg)	Gaya Prategang efektif (kg)	Peningkatan Gaya Prategang (kg)	Prosentase Peningkatan Prategang (%)
I	-242,357	0	-242,357	-3,004	1,24
		46	-245,361	-3,672	1,52
		92	-249,033	-4,006	1,65
		138	-253,039		
II	-484,714	0	-484,714	-4,006	1,65
		46	-488,720	-4,006	1,65
		92	-492,726	-4,673	1,93
		138	-497,399		
III	-727,071	0	-727,739	-3,672	1,52
		46	-731,411	-4,173	1,72
		92	-735,583	-4,507	1,86
		138	-740,090		



Gambar 4.20. Grafik gaya prategang efektif pada batang lemah model jembatan rangka tanpa prategang dan dengan prategang

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini ialah:

1. Variasi pembebanan yang dikerjakan pada model jembatan akan menyebabkan peningkatan gaya prategang secara konstan dengan syarat beban yang diberikan tidak melebihi batas elastis yang bisa ditahan model jembatan. Variasi pembebanan dari percobaan ini merupakan kelipatan 46 kg, dengan beban terkecil 0 kg dan beban maksimum 138 kg. Gaya prategang acuan pertama merupakan gaya prategang yang dipergunakan untuk melawan lendutan yang diakibatkan oleh beban 46 kg. Dari proses *jacking* untuk gaya prategang acuan pertama diperoleh gaya prategang sebesar 242,357 kg, dimana dengan variasi pembebanan akan terjadi peningkatan gaya prategang rata-rata sebesar 1,469 % secara konstan.
2. Besarnya gaya prategang yang dikerjakan pada model jembatan rangka, tidak mempengaruhi prosentase penurunan lendutan dengan variasi pembebanan tertentu. Dimana prosentase penurunan yang terjadi akan bersifat konstan, selama pada saat pengujian kondisi jembatan masih dalam kondisi elastis. Besarnya prosentase penurunan lendutan akan dipengaruhi oleh tipe prategang yang diberikan. Pada percobaan pembebanan model jembatan rangka baja tipe semi parabol jenis N terbalik, pemberian kabel prategang internal tipe segitiga mengakibatkan besarnya peningkatan lendutan akibat variasi beban terpusat 46 kg yang terjadi pada model jembatan rangka mengalami penurunan sebesar 5,917 % dari besarnya peningkatan lendutan akibat penambahan beban pada model jembatan rangka sebelum penambahan kabel prategang.
3. Besarnya gaya prategang yang diberikan pada kabel prategang akan mempengaruhi besarnya lendutan yang terjadi pada jembatan rangka. Gaya prategang yang terlalu besar dapat mengakibatkan lendutan ke atas yang besar ketika beban minimum pada jembatan bekerja. Akan tetapi gaya prategang yang terlalu kecil juga dapat mengakibatkan lendutan ke bawah yang sangat besar pula ketika beban maksimum pada jembatan bekerja. Pada percobaan ini besarnya gaya prategang yang menghasilkan lendutan terkecil baik berupa lendutan ke atas maupun lendutan ke bawah ketika beban minimum dan

maksimum bekerja adalah sebesar 484,714 kg. Sedangkan prosentase penurunan lendutan yang terjadi dari penelitian ini berkisar antara 1,786 % sampai 10,345 % dari gaya prategang acuan pertama 242,357 kg.

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi, pada saat perhitungan tegangan acuan diusahakan menggunakan *loadcell* dengan kalibrasi yang sama.
2. Perlu adanya pengujian kabel dengan menggunakan alat uji kabel, diharapkan pada saat pengujian kabel tidak putus di daerah ujung, Sehingga tegangan ijin kabel diketahui secara pasti.
3. Penggunaan strainmeter diperbanyak, dengan memperbanyak pemasangan strainmeter maka jumlah batang yang diketahui regangannya menjadi lebih banyak, sehingga perilaku model jembatan apabila dilakukan pembebanan akan lebih jelas.
4. Kekakuan model jembatan rangka perlu diperhatikan sehingga perbedaan-perbedaan regangan, lendutan, dan gaya prategang yang terjadi antara rangka kanan dan rangka kiri dapat diminimalkan.
5. Perlu adanya penelitian model jembatan ketika beban uji yang dikerjakan melampaui batas elastis
6. Proses *jacking* yang dilakukan secara manual tidak dapat diperoleh besarnya gaya prategang yang persis sama antara kabel yang kanan dan kiri, sehingga diusahakan menggunakan alat *jacking*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1991. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (BMS)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Binamarga.
- Rakhmawati, Yusi. 2005. "Desain, Analisis, dan Pengujian Distribusi Gaya Dalam Pada Jembatan Hibrid Rangka dan "Cable Stayed" Tipe Radial di Tengah". *Skripsi* tidak diterbitkan. Malang : Jurusan Sipil FT Universitas Brawijaya.
- Rahmanova, Ira. 2006. "Desain, Pengujian dan Analisis Distribusi Gaya Dalam Pada Jembatan Hibrid Rangka dan Cable Stayed Tipe Radial Satu Sisi". *Skripsi* tidak diterbitkan. Malang : Jurusan Sipil FT Universitas Brawijaya.
- Troitsky, M.S. 1990. *Prestressed Steel Bridges Theory and Design*. New York : Van Nostrand Renhold Company.
- Soemono. 1979. *Statika 2*. Bandung : ITB.
- Roylance, David. 2000. *Trusses*. Cambridge, Department of Materials science and Engineering. www.cse.ucsd.edu/users/atkinson/felt/Truss.pdf
- Xanthakos. 1973. *Theory and Design Bridges*. New York : John Wiley and Sans. Inc.
- Anonim. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Bandung : Badan Standarisasi Nasional
- Taly, Narendra. 1998. *Design Of Modenn Highway Bridges*. Jonh Wiley and Sons. Canada

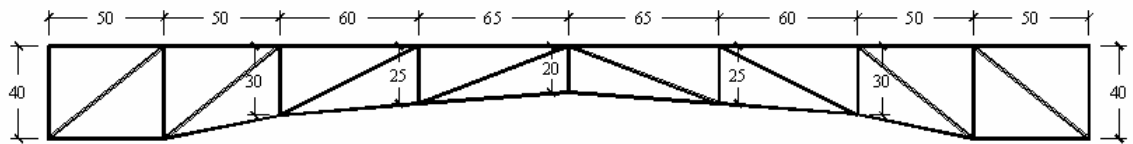
LAMPIRAN 1

DIMENSI DAN SKEMA MODEL JEMBATAN

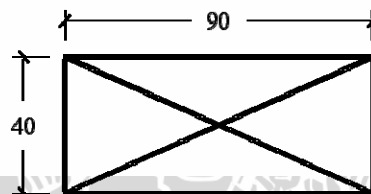
A. Dimensi

(Satuan dalam cm)

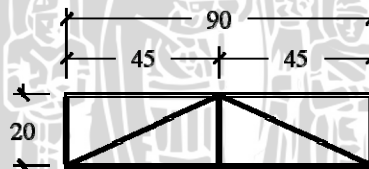
1. Rangka Utama



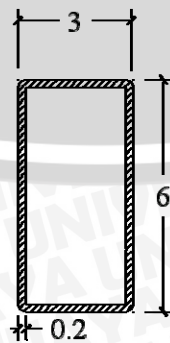
2. Rangka Melintang Sisi Luar



3. Rangka Melintang Tengah

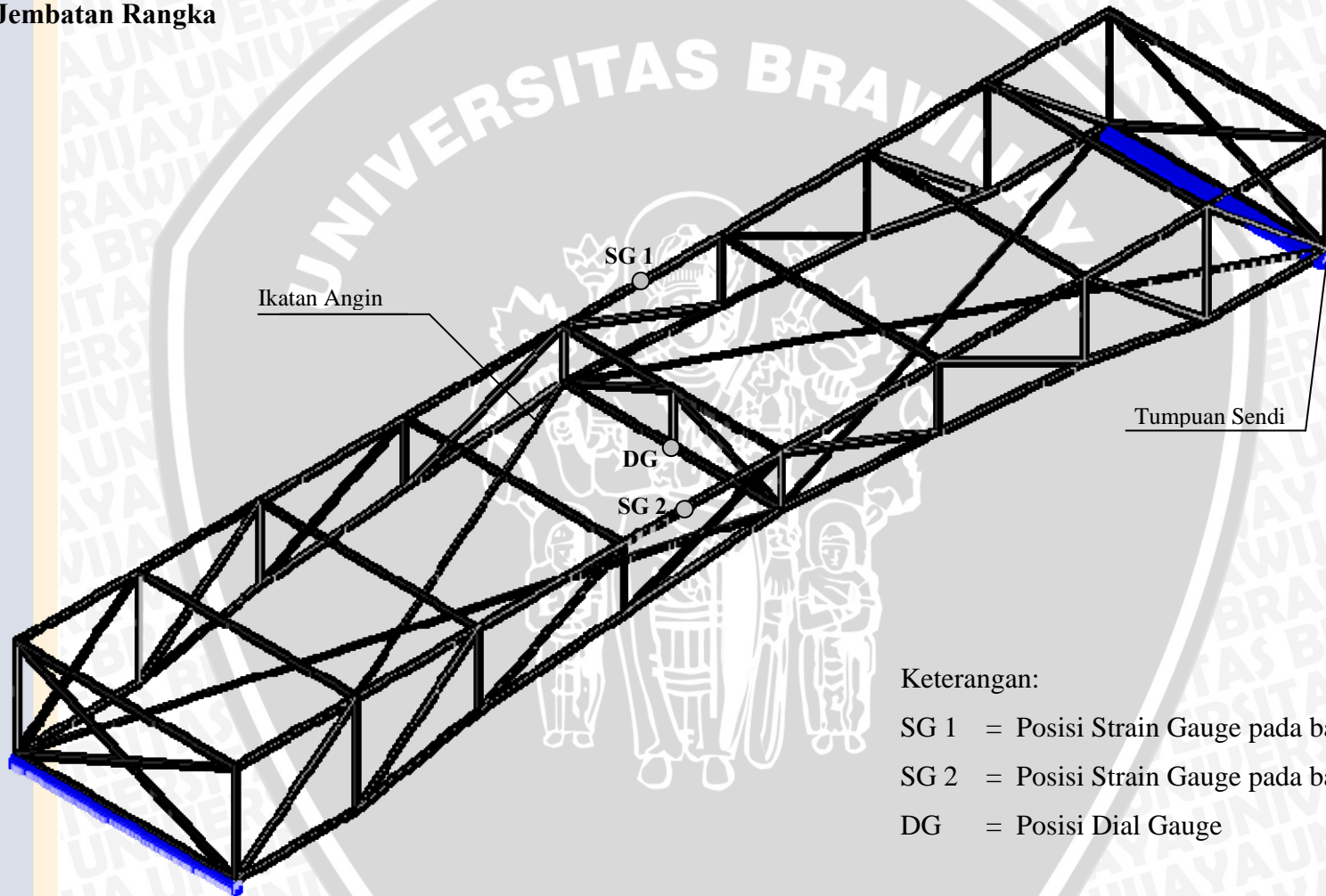


4. Penampang Profil Baja



B. Skema Model Jembatan

1. Model Jembatan Rangka



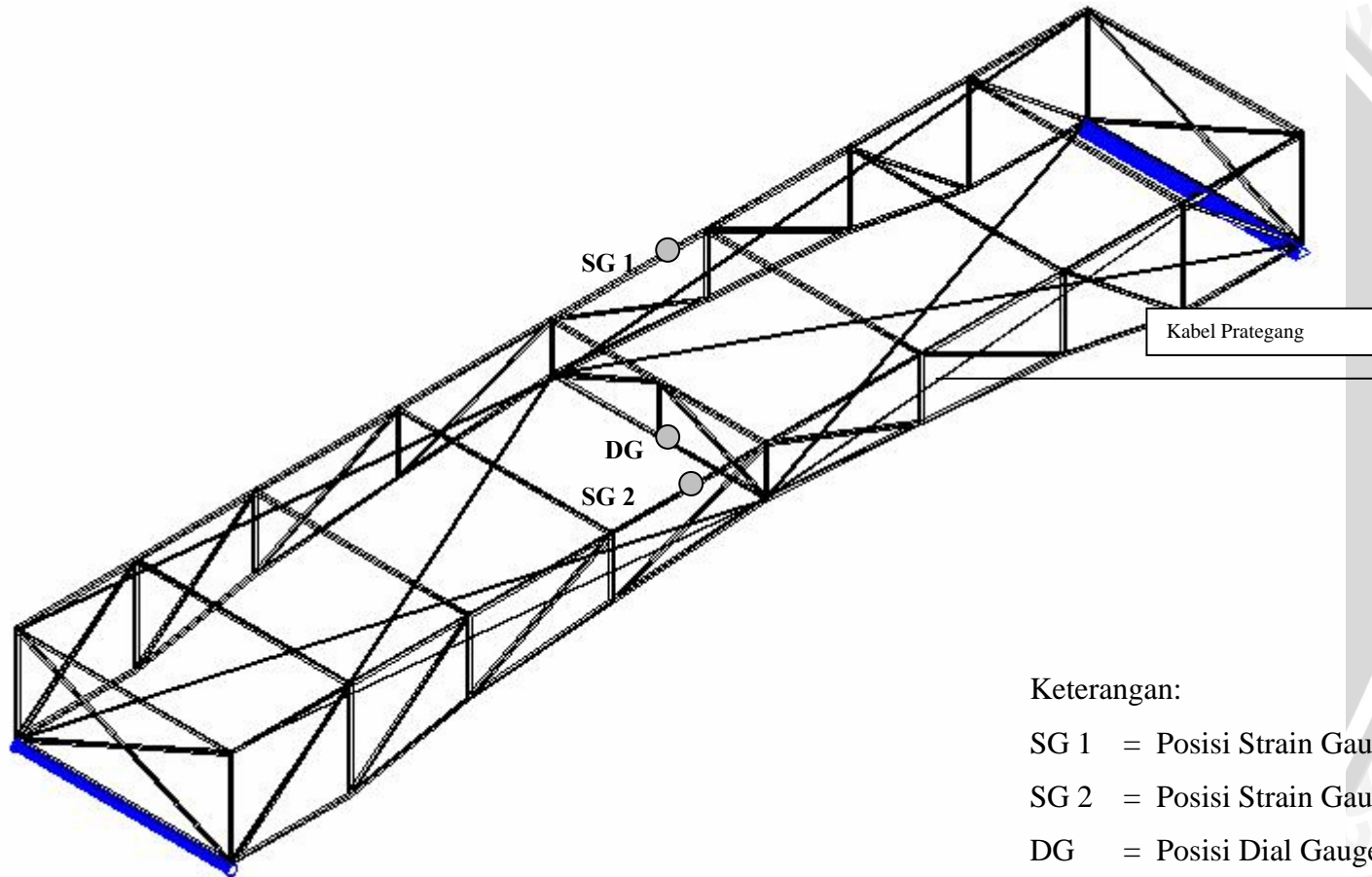
Keterangan:

SG 1 = Posisi Strain Gauge pada batang 5

SG 2 = Posisi Strain Gauge pada batang 37

DG = Posisi Dial Gauge

2. Model Jembatan Rangka Prategang



Keterangan:

- SG 1 = Posisi Strain Gauge pada batang 5
- SG 2 = Posisi Strain Gauge pada batang 37
- DG = Posisi Dial Gauge

LAMPIRAN 5

DATA-DATA PENELITIAN

A. Data Pembacaan Strain Gauge

1. Model Jembatan Rangka

Beban (kg)	Regangan			
	Batang 5		Batang 37	
	$\mu\epsilon$	ϵ	$\mu\epsilon$	ϵ
0	0	0	0	0
46	18	0,000018	17	0,000017
92	39	0,000039	35	0,000035
138	58	0,000058	54	0,000054
0	0	0	0	0

2. Model Jembatan Rangka Prategang

Nomor Gaya Prategang	Beban (kg)	Regangan			
		Batang 5		Batang 37	
		$\mu\epsilon$	ϵ	$\mu\epsilon$	ϵ
I	0	24	0,000024	22	0,000022
	46	42	0,000042	40	0,00004
	92	65	0,000065	61	0,000061
	138	84	0,000084	79	0,000079
	0	26	0,000026	23	0,000023
II	0	44	0,000044	46	0,000046
	46	63	0,000063	65	0,000065
	92	86	0,000086	85	0,000085
	138	105	0,000105	106	0,000106
	0	46	0,000046	47	0,000047
III	0	75	0,000075	75	0,000075
	46	92	0,000092	94	0,000094
	92	115	0,000115	114	0,000114
	138	137	0,000137	133	0,000133
	0	75	0,000075	78	0,000078

Nilai negatif (-) mendefinisikan kondisi tarik

Nilai positif (+) mendefinisikan kondisi tekan

B. Data Pembacaan Dial Gauge

1. Model Jembatan Rangka

Beban	Pembacaan Dial Gauge	Lendutan
(kg)	(unit)	(mm)
0	0	0
46	-46	-0,46
92	-104	-1,04
138	-160	-1,60
0	0	0

Angka ketelitian alat 0.01 mm

2. Model Jembatan Rangka Prategang

Nomor Gaya Prategang	Beban	Pembacaan Dial Gauge	Lendutan
	(kg)	(unit)	(mm)
I	0	46	0,460
	46	2	0,020
	92	-53	-0,530
	138	-108	-1,080
	0	46	0,460
II	0	99	0,990
	46	54	0,540
	92	1	0,010
	138	-52	-0,520
	0	99	0,990
III	0	154	1,540
	46	111	1,110
	92	59	0,590
	138	8	0,080
	0	154	1,540

Angka ketelitian alat 0.01 mm

Nilai negatif (-) mendefinisikan lendutan ke bawah

Nilai positif (+) mendefinisikan lendutan ke atas

C. Data Pembacaan Loadcell

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan		Beban (kg)	Prategang Efektif	
	Loadcell 1 (Unit)	Loadcell 2 (Unit)		Loadcell 1 (Unit)	Loadcell 2 (Unit)
I	-363	-726	0	-363	-726
			46	-368	-734
			92	-373	-746
			138	-379	-758
			0	-366	-724
II	-726	-1452	0	-727	-1452
			46	-732	-1464
			92	-737	-1478
			138	-745	-1490
			0	-751	-1502
III	-1090	-2180	0	-1090	-2178
			46	-1095	-2192
			92	-1102	-2203
			138	-1109	-2216
			0	-1090	-2181

Angka kalibrasi alat:

Loadcell 1

Kapasitas : 20 kN

Kalibrasi : 0.006673 kN / 1 × 10⁻⁶

Loadcell 2

Kapasitas : 10 kN

Kalibrasi : 0.003340 kN / 1 × 10⁻⁶

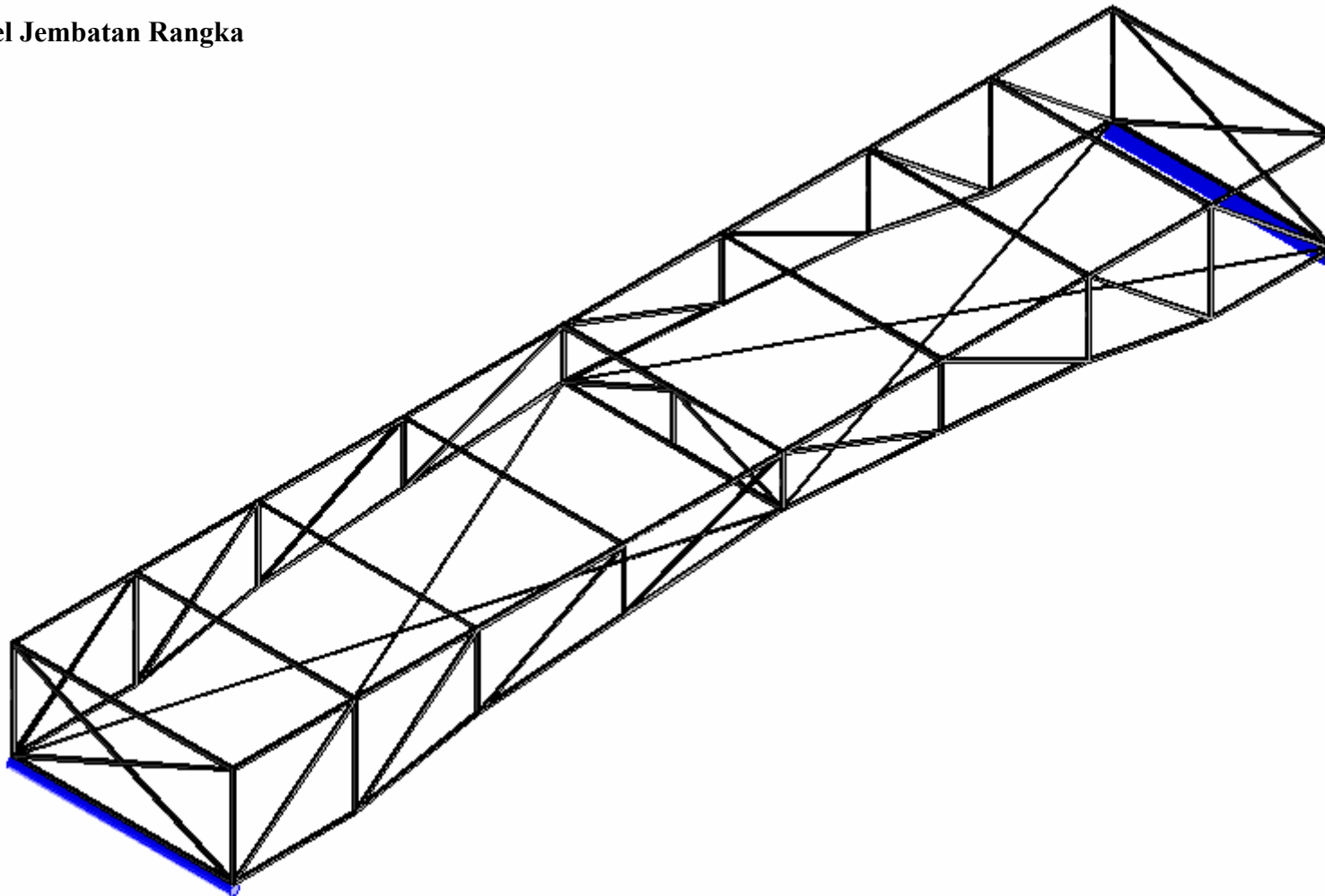
Data Pembacaan Loadcell setelah dikalikan angka kalibrasi

Nomor Gaya Prategang	Prategang Acuan			Beban (kg)	Prategang Efektif		
	Loadcell 1 (kg)	Loadcell 2 (kg)	Rata-rata (kg)		Loadcell 1 (kg)	Loadcell 2 (kg)	Rata-rata (kg)
I	-242,230	-242,484	-242,357	0	-242,230	-242,484	-242,357
				46	-245,566	-245,156	-245,361
				92	-248,903	-249,164	-249,033
				138	-252,907	-253,172	-253,039
				0	-244,232	-241,816	-243,024
II	-484,460	-484,968	-484,714	0	-484,460	-484,968	-484,714
				46	-488,464	-488,976	-488,720
				92	-491,800	-493,652	-492,726
				138	-497,139	-497,660	-497,399
				0	-501,142	-501,668	-501,405
III	-727,357	-728,120	-727,739	0	-727,357	-728,120	-727,739
				46	-730,694	-732,128	-731,411
				92	-735,365	-735,802	-735,583
				138	-740,036	-740,144	-740,090
				0	-727,357	-728,454	-727,906

LAMPIRAN 2
PENOMORAN BATANG

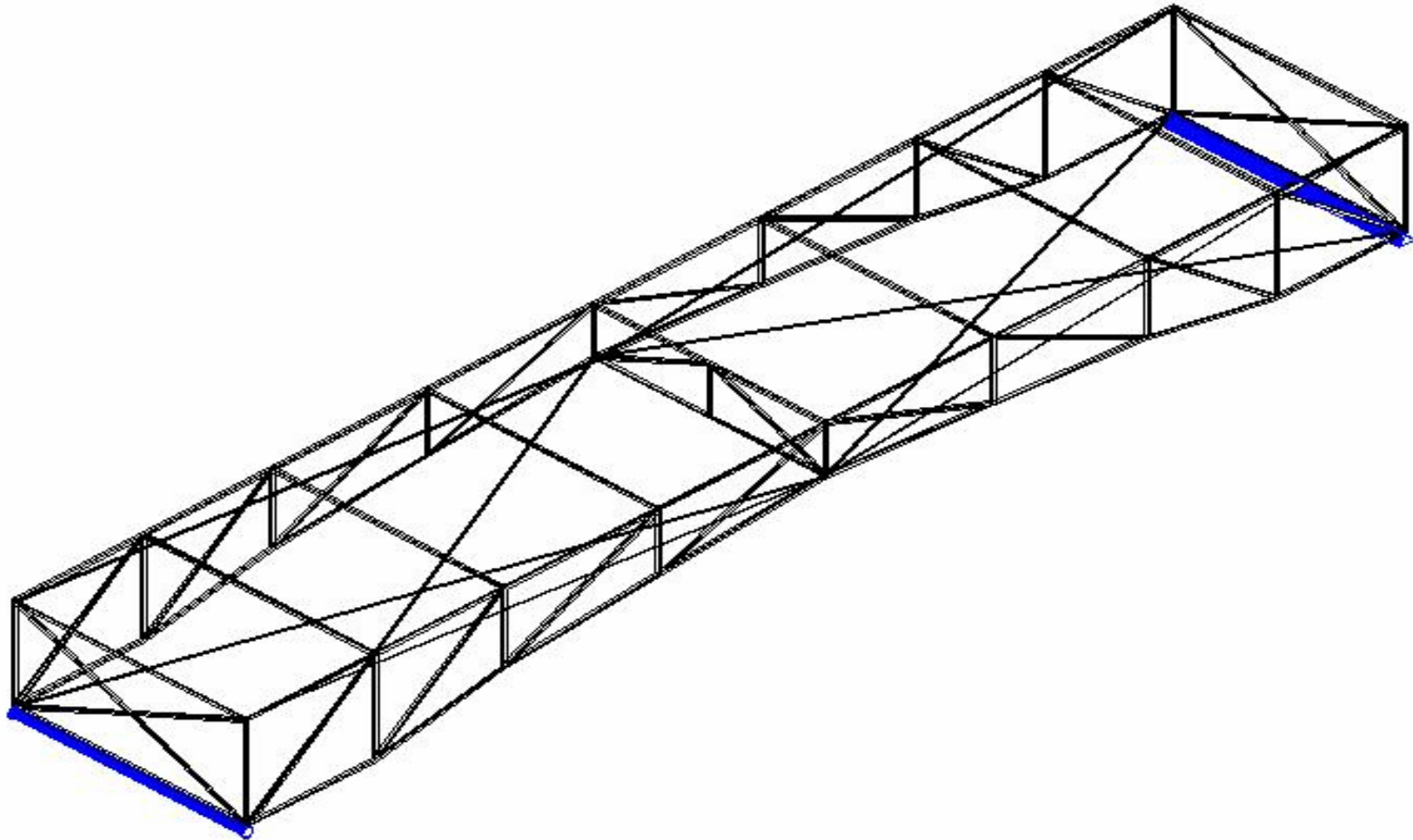
Lampiran 2 - 1

A. Model Jembatan Rangka

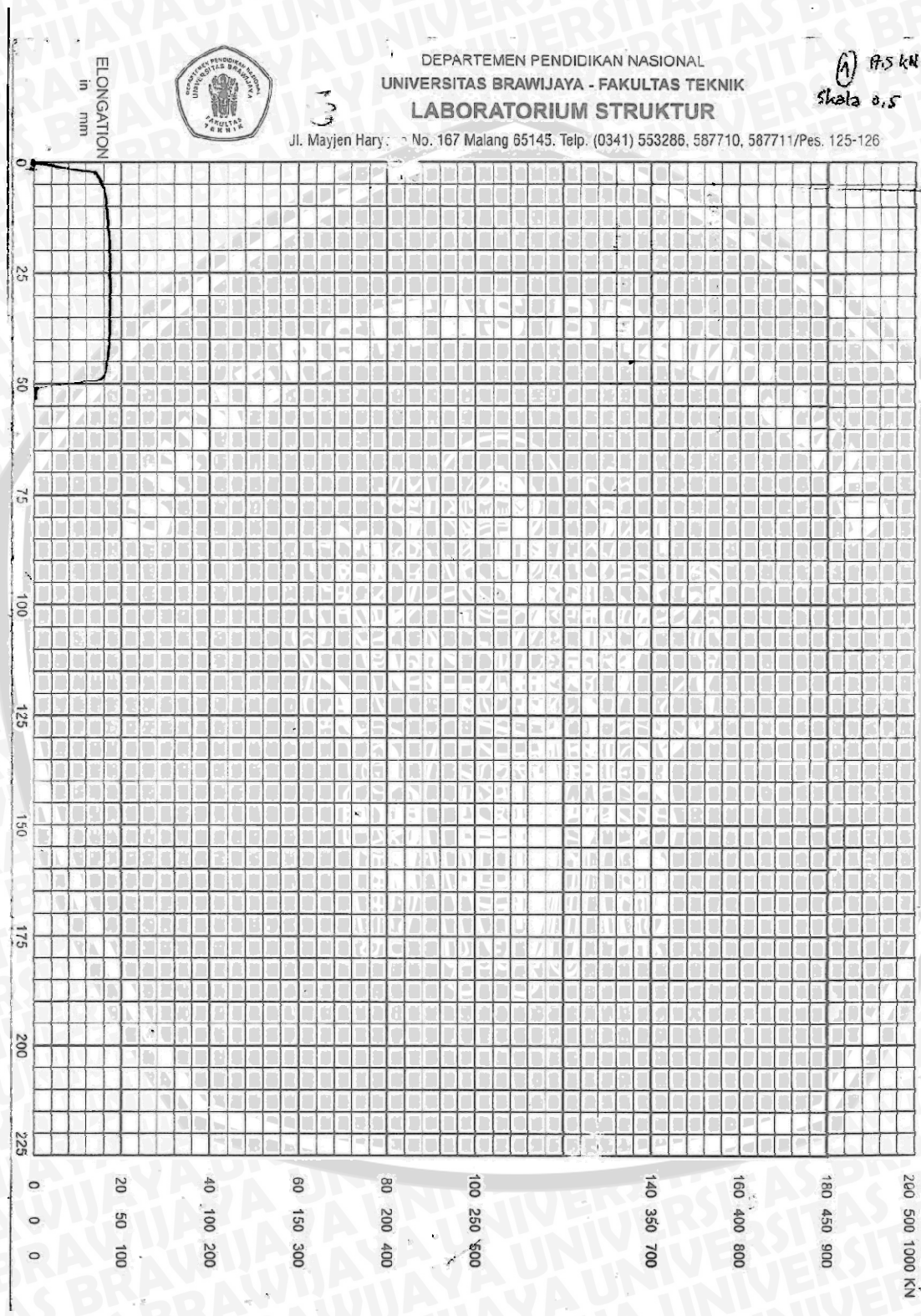


B. Model Jembatan Rangka Prategang

Lampiran 2 - 2



LAMPIRAN 3 GRAFIK HASIL UJI TARIK BAJA



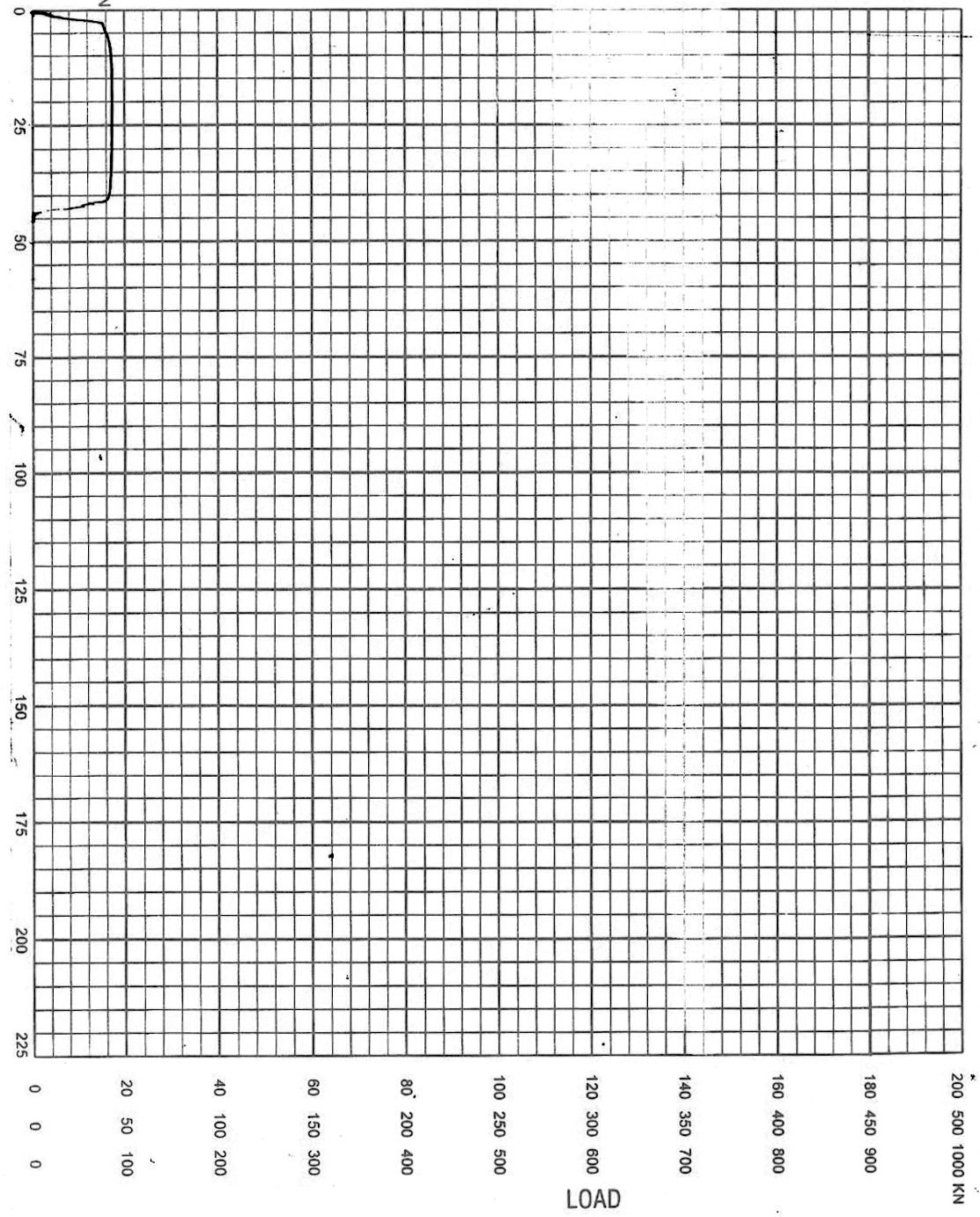
ELONGATION
in mm.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA - FAKULTAS TEKNIK
LABORATORIUM STRUKTUR

17.25.01
skala 0,5

Jl. Mayjen Haryono No. 167 Malang 65145 Telp. 0341 566298, 587710, 587711/Pes. 125-126



LAMPIRAN 4
DATA HASIL UJI TARIK BAJA

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

Nomor	A	P _y	f _y	f _{y rata-rata}	E _s	E _{s rata-rata}
	(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
1	0,576	1450	2517,361	2604,167	1138888,889	1161666,667
2	0,576	1550	2690,972		1184444,444	

b. Kabel Sling diameter 5 mm

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

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

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2$$

$$= 0,196 \text{ cm}^2$$

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

$$f_y = 0,95 f_{Pu}$$

$$= 5808,917 \text{ kg/cm}^2$$



LAMPIRAN 6

ANALISIS STAADPro 2004

A. Model jembatan rangka

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Komang Antara

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

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

MEMBER INCIDENCES

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

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 95

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

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

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 95

SUPPORTS

18 36 PINNED

10 28 FIXED BUT FX MZ

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

LOAD 1 BBN. 0

JOINT LOAD

10 28 FX 0.002

LOAD 2 BBN. 46

JOINT LOAD

38 FY -46

LOAD 3 BBN. 92

JOINT LOAD

38 FY -92

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

Lampiran 6 - 2



B. Model jembatan rangka prategang

1. Akibat gaya prategang I

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Komang Antara

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

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

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 1 10; 10 10 2;
11 2 11; 12 11 3; 13 3 12; 14 12 4; 15 4 13; 16 13 5; 17 5 14; 18 5 15;
19 15 6; 20 6 16; 21 16 7; 22 7 17; 23 17 8; 24 8 18; 25 18 9; 26 10 11;
27 11 12; 28 12 13; 29 13 14; 30 14 15; 31 15 16; 32 16 17; 33 17 18; 34 19 20;
35 20 21; 36 21 22; 37 22 23; 38 23 24; 39 24 25; 40 25 26; 41 26 27; 42 19 28;
43 28 20; 44 20 29; 45 29 21; 46 21 30; 47 30 22; 48 22 31; 49 31 23; 50 23 32;
51 23 33; 52 33 24; 53 24 34; 54 34 25; 55 25 35; 56 35 26; 57 26 36; 58 36 27;
59 28 29; 60 29 30; 61 30 31; 62 31 32; 63 32 33; 64 33 34; 65 34 35; 66 35 36;
67 1 37; 68 37 19; 69 10 37; 70 37 28; 71 10 28; 72 14 38; 73 38 32; 74 14 39;
75 39 32; 76 38 39; 77 9 40; 78 40 27; 79 18 40; 80 40 36; 81 18 36; 82 1 19;
83 2 20; 84 3 21; 85 4 22; 86 5 38; 87 38 23; 88 6 24; 89 7 25; 90 8 26;
91 9 27; 92 10 32; 93 28 14; 94 14 36; 95 32 18; 96 19 32; 97 32 27; 98 1 14;
99 14 9;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

ISOTROPIC CABEL

E 2.09042e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 94 97

MATERIAL CABEL MEMB 95 96 98 99

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONNECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

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

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER PROPERTY AMERICAN

96 TO 99 PRIS YD 0.5

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 95

SUPPORTS

10 28 PINNED

18 36 FIXED BUT FX MZ

MEMBER CABLE

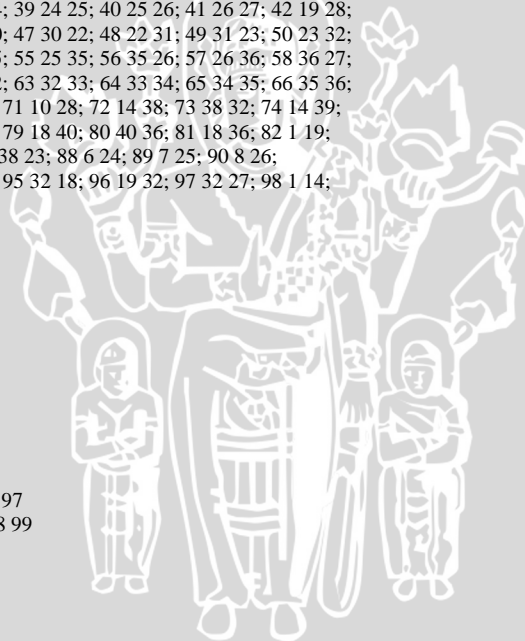
96 TO 99 TENSION 269.242

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

LOAD 1 BBN. 0

JOINT LOAD

10 28 FX 0.002



LOAD 2 BBN. 46
JOINT LOAD
38 FY -46
LOAD 3 BBN. 92
JOINT LOAD
38 FY -92
LOAD 4 BBN. 138
JOINT LOAD
38 FY -138
PERFORM ANALYSIS
PERFORM ANALYSIS PRINT ALL
FINISH

Lampiran 6 - 4



2. Akibat gaya prategang II

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Komang Antara

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

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

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 1 10; 10 10 2;
11 2 11; 12 11 3; 13 3 12; 14 12 4; 15 4 13; 16 13 5; 17 5 14; 18 5 15;
19 15 6; 20 6 16; 21 16 7; 22 7 17; 23 17 8; 24 8 18; 25 18 9; 26 10 11;
27 11 12; 28 12 13; 29 13 14; 30 14 15; 31 15 16; 32 16 17; 33 17 18; 34 19 20;
35 20 21; 36 21 22; 37 22 23; 38 23 24; 39 24 25; 40 25 26; 41 26 27; 42 19 28;
43 28 20; 44 20 29; 45 29 21; 46 21 30; 47 30 22; 48 22 31; 49 31 23; 50 23 32;
51 23 33; 52 33 24; 53 24 34; 54 34 25; 55 25 35; 56 35 26; 57 26 36; 58 36 27;
59 28 29; 60 29 30; 61 30 31; 62 31 32; 63 32 33; 64 33 34; 65 34 35; 66 35 36;
67 1 37; 68 37 19; 69 10 37; 70 37 28; 71 10 28; 72 14 38; 73 38 32; 74 14 39;
75 39 32; 76 38 39; 77 9 40; 78 40 27; 79 18 40; 80 40 36; 81 18 36; 82 1 19;
83 2 20; 84 3 21; 85 4 22; 86 5 38; 87 38 23; 88 6 24; 89 7 25; 90 8 26;
91 9 27; 92 10 32; 93 28 14; 94 14 36; 95 32 18; 96 19 32; 97 32 27; 98 1 14;
99 14 9;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

ISOTROPIC CABEL

E 2.09042e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 95

MATERIAL CABEL MEMB 96 TO 99

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

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

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER PROPERTY AMERICAN

96 TO 99 PRIS YD 0.5

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 95

SUPPORTS

10 28 PINNED

18 36 FIXED BUT FX MZ

MEMBER CABLE

96 TO 99 TENSION 539.132

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

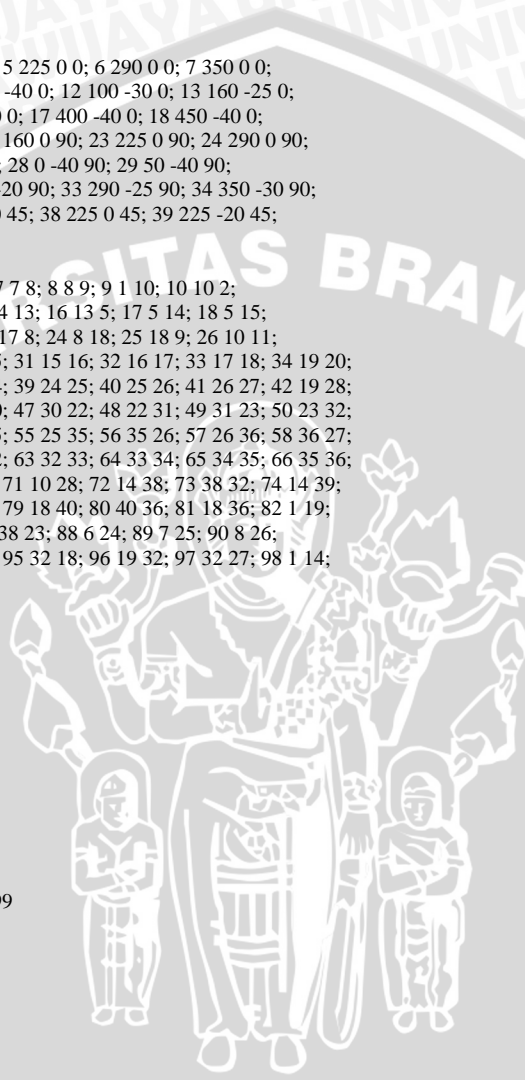
LOAD 1 BBN. 0

JOINT LOAD

10 28 FX 0.002

LOAD 2 BBN. 46

JOINT LOAD



38 FY -46
LOAD 3 BBN. 92
JOINT LOAD
38 FY -92
LOAD 4 BBN. 138
JOINT LOAD
38 FY -138
PERFORM ANALYSIS
PERFORM ANALYSIS PRINT ALL
FINISH

Lampiran 6 - 6



3. Akibat gaya prategang III

STAAD SPACE DXF IMPORT OF DRAWING1.DXF

START JOB INFORMATION

JOB NAME SKRIPSI

JOB CLIENT -- JOB NO 1

JOB PART 1

JOB REF 1

ENGINEER NAME Komang Antara

ENGINEER DATE 08-Oct-06

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT CM KG

JOINT COORDINATES

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

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 1 10; 10 10 2;
 11 2 11; 12 11 3; 13 3 12; 14 12 4; 15 4 13; 16 13 5; 17 5 14; 18 5 15;
 19 15 6; 20 6 16; 21 16 7; 22 7 17; 23 17 8; 24 8 18; 25 18 9; 26 10 11;
 27 11 12; 28 12 13; 29 13 14; 30 14 15; 31 15 16; 32 16 17; 33 17 18; 34 19 20;
 35 20 21; 36 21 22; 37 22 23; 38 23 24; 39 24 25; 40 25 26; 41 26 27; 42 19 28;
 43 28 20; 44 20 29; 45 29 21; 46 21 30; 47 30 22; 48 22 31; 49 31 23; 50 23 32;
 51 23 33; 52 33 24; 53 24 34; 54 34 25; 55 25 35; 56 35 26; 57 26 36; 58 36 27;
 59 28 29; 60 29 30; 61 30 31; 62 31 32; 63 32 33; 64 33 34; 65 34 35; 66 35 36;
 67 1 37; 68 37 19; 69 10 37; 70 37 28; 71 10 28; 72 14 38; 73 38 32; 74 14 39;
 75 39 32; 76 38 39; 77 9 40; 78 40 27; 79 18 40; 80 40 36; 81 18 36; 82 1 19;
 83 2 20; 84 3 21; 85 4 22; 86 5 38; 87 38 23; 88 6 24; 89 7 25; 90 8 26;
 91 9 27; 92 10 32; 93 28 14; 94 14 36; 95 32 18; 96 19 32; 97 32 27; 98 1 14;
 99 14 9;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 1.16167e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

ISOTROPIC CABEL

E 2.09042e+006

POISSON 0.3

DENSITY 0.00783341

END DEFINE MATERIAL

CONSTANTS

MATERIAL STEEL MEMB 1 TO 95

MATERIAL CABEL MEMB 96 TO 99

START GROUP DEFINITION

MEMBER

_PROF_TUBE 1 TO 91

_TRUSS 1 TO 81

_BEAM 82 TO 91

JOINT

_CONECTION 1 TO 9 19 TO 27

ELEMENT

END GROUP DEFINITION

MEMBER PROPERTY AMERICAN

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

92 TO 95 TABLE ST PIPE OD 0.8 ID 0

MEMBER PROPERTY AMERICAN

96 TO 99 PRIS YD 0.5

MEMBER TRUSS

1 TO 81 92 TO 95

SUPPORTS

10 28 PINNED

18 36 FIXED BUT FX MZ

MEMBER CABLE

96 TO 99 TENSION 808.699

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

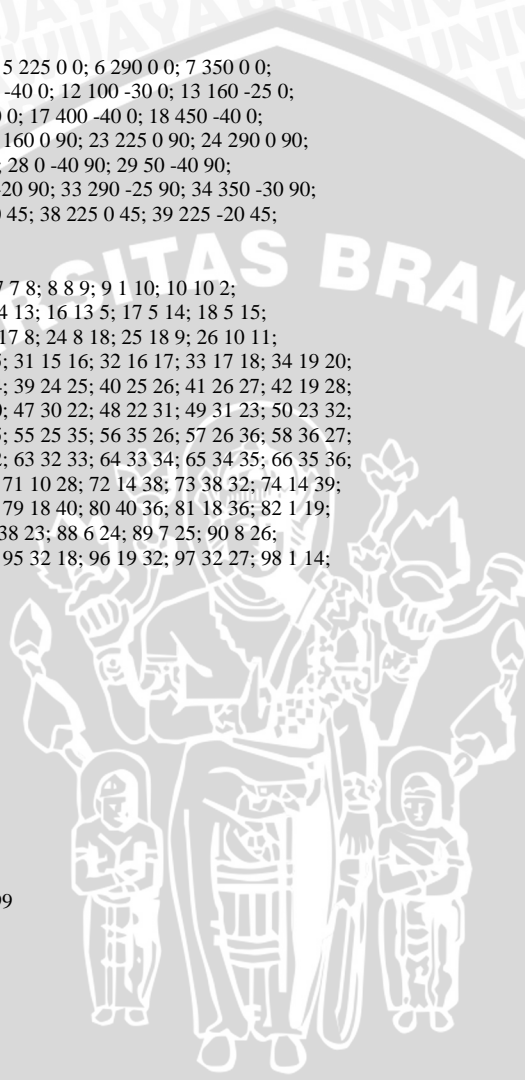
LOAD 1 BBN. 0

JOINT LOAD

10 28 FX 0.002

LOAD 2 BBN. 46

JOINT LOAD



38 FY -46
LOAD 3 BBN. 92
JOINT LOAD
38 FY -92
LOAD 4 BBN. 138
JOINT LOAD
38 FY -138
PERFORM ANALYSIS
PERFORM ANALYSIS PRINT ALL
FINISH

Lampiran 6 - 8



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

**PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
INTERNAL TIPE SEGITIGA**

SKRIPSI

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



Disusun Oleh :

**I KOMANG ANTARA
NIM : 0210610039**

DOSEN PEMBIMBING

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

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

**PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN
RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG
INTERNAL TIPE SEGITIGA**

Disusun Oleh :

I KOMANG ANTARA
NIM : 0210610039

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 28 mei 2007

DOSEN PENGUJI

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

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

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadapan Ida Sang Hyang Widi Wasa atas Asung Kertha Wara Nugrahanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN MODEL JEMBATAN RANGKA BAJA AKIBAT PENGGUNAAN KABEL PRATEGANG INTERNAL TIPE SEGITIGA*”, sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas jembatan dewasa ini mulai dilakukan dengan menambahkan kabel prategang pada jembatan. Dalam skripsi ini penelitian dilakukan untuk melihat perbandingan antara model jembatan tanpa kabel dan dengan penambahan kabel prategang internal tipe segitiga. Dengan melakukan perbandingan diharapkan akan diketahui besarnya penurunan lendutan yang terjadi akibat penggunaan kabel prategang internal tipe segitiga.

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

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

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

Malang, Mei 2007

penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
ABSTRAK	xiii
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	6
2.4. Lentutan Pada Rangka	8
2.4.1. Konsep dasar lentutan	8
2.4.2. Lentutan pada struktur rangka batang	8
2.5. Prategang	10
2.5.1. Pengertian dasar prategang	10
2.5.2. Konsep dasar prategang	10
2.5.3. Prategang pada rangka batang	12
2.5.3.1. Prategang pada elemen batang	12
2.5.3.2. Prategang pada struktur rangka batang	13
2.6. <i>Hukum Betti</i> dan <i>Hukum Timbal Balik Maxwell</i>	14
2.7. Desain dan analisis model jembatan	15
2.7.1. Desain model jembatan	15
2.7.2. Pengujian dengan variasi pembebanan	16
2.7.3. Analisis model jembatan	16
III. METODOLOGI	19
3.1. Tempat dan waktu penelitian	19
3.2. Peralatan dan bahan penelitian	19
3.3. Rencana penelitian	20
3.3.1. Diagram alir penelitian	20
3.3.2. Rancangan model jembatan	21
3.3.2.1. Jembatan rangka	21



3.3.2.2. Jembatan rangka prategang	21
3.3.2. Rancangan pembebanan	22
3.3.3. Prosedur pemodelan	22
3.3.4. Metode pengumpulan data	24
3.4. Analisis lendutan	24
3.4.1. Input data	24
3.4.2. Prosedur analisis lendutan	24
3.5. Variabel penelitian	25
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. Pelaksanaan Penelitian	26
4.2.1. Uji Pendahuluan	26
4.2.1.1. Pengujian Profil Baja	26
4.2.1.2. Pengujian Kabel Sling	26
4.2.2. Pengujian Model Jembatan Laboratorium	27
4.2.2.1. Lendutan Maksimum	28
4.2.2.2. Gaya Batang Terlemah	29
4.2.2.3. Tegangan Pada Batang Terlemah	31
4.2.3. Pelaksanaan Pengujian Dengan STAADPro2004	32
4.2.3.1. Asumsi – Asumsi Yang Digunakan	32
4.2.3.2. Analisis Lendutan Maksimum	33
4.2.3.3. Gaya Pada Batang Terlemah	34
4.2.3.4. Tegangan Pada Batang Terlemah	35
4.2.3. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004	35
4.2.3.2. Lendutan	35
4.2.3.1. Gaya batang pada batang lemah	36
4.2.3.2. Tegangan Pada Batang Terlemah	37
4.3. Pembebanan model jembatan rangka prategang	38
4.3.2. Pengolahan data hasil percobaan di laboratorium	38
4.3.2.1. Gaya prategang	38
4.3.2.2. Lendutan	40
4.3.2.3. Gaya batang pada batang lemah	40
4.3.2.4. Analisa Tegangan Pada Batang Terlemah	42
4.3.1. Analisis dengan STAADPro 2004	42
4.3.1.1. Asumsi-asumsi yang digunakan	42
4.3.1.2. Gaya prategang	43
4.3.1.2. Analisa Lendutan Maksimum	44
4.3.1.3. Analisis gaya batang pada batang lemah	45
4.3.1.4. Analisis Tegangan Pada Batang Terlemah	46
4.3.3. Perbandingan hasil laboratorium dengan STAADPro 2004	47
4.3.3.1. Gaya prategang	47
4.3.3.2. Lendutan maksimum	49

4.3.3.3. Gaya batang pada batang lemah	51
4.3.3.4. Tegangan Pada Batang Lemah	54
4.4. Pembahasan	54
4.4.1. Lendutan maksimum	54
4.4.2. Gaya batang pada batang lemah	54
4.4.3. Tegangan Pada Batang terlemah	57
4.4.4. Gaya prategang	58
4.4.1.1. Hasil analisis dengan STAADPro 2004	58
4.4.1.1. Hasil Percobaan Laboratorium	59
4.4.1.2. Gaya prategang efektif	59
V. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN DAN GAMBAR



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Panjang tekuk untuk kolom dengan ujung – ujung ideal	8
Tabel 3.1.	Perlakuan terhadap model jembatan dalam percobaan pembebanan di laboratorium	22
Tabel 4.1.	Nilai lendutan maksimum pada tengah bentang model jembatan rangka dari hasil pengujian di laboratoriu	28
Tabel 4.2.	Gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka dari hasil percobaan di laboratorium	30
Tabel 4.3.	Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan dari hasil analisis laboratorium	32
Tabel 4.4.	Nilai lendutan maksimum pada bagian tengah bentang model jembatan rangka dari analisis dengan STAADPro 2004	33
Tabel 4.5.	Gaya pada batang 5 dan batang 37 struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	34
Tabel 4.6.	Tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	35
Tabel 4.7.	Perbandingan nilai lendutan maksimum model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004.....	35
Tabel 4.8.	Perbandingan gaya batang terlemah dari hasil analisis dengan STAADPro 2004 dengan laboratorium	36
Tabel 4.9.	Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis STAADPro 2004.....	37
Tabel 4.10.	Nilai gaya prategang hasil percobaan di laboratorium	39
Tabel 4.11.	Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium	40



No.	Judul	Halaman
Tabel 4.12.	Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di Laboratorium	41
Tabel 4.13.	Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium	42
Tabel 4.14.	Nilai gaya prategang hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004	44
Tabel 4.15.	Nilai lendutan pada bagian tengah bentang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	44
Tabel 4.16.	Nilai gaya batang pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	45
Tabel 4.17.	Nilai tegangan pada batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004	46
Tabel 4.18.	Perbandingan nilai gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	47
Tabel 4.19.	Perbandingan nilai lendutan maksimum model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	49
Tabel 4.20.	Perbandingan nilai gaya batang pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	51
Tabel 4.21.	Perbandingan nilai tegangan pada batang lemah model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	54
Tabel 4.22.	Prosentase penurunan lendutan akibat pembebanan dan pemberian gaya prategang	54
Tabel 4.23.	Variasi gaya prategang acuan hasil analisis dengan STAADPro 2004	58

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.24.	Variasi gaya prategang acuan hasil percobaan di laboratorium	59
Tabel 4.25.	Prosentase peningkatan gaya prategang akibat pembebanan	60



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Jenis Rangka: 1. Rangka N, 2. Rangka N terbalik, 3. Rangka V, 4 Rangka V dengan batang vertikal	5
Gambar 2.2.	4Jenis rangka: a. rangka paralel, b. rangka lensa, c. rangka sabit, d. rangka parabola, e. rangka parabol rangkap, f. rangka semi parabol, g. rangka perut ikan	5
Gambar 2.3.	Lendutan pada rangka batang dengan geometris tetap	9
Gambar 2.4.	a. Rangka batang dengan 2 elemen, b. Deformasi rangka batang dengan asumsi titik buhul bebas	10
Gambar 2.5.	Diagram kerja batang (1) tanpa prategang dan (2) dengan prategang	11
Gambar 2.6.	Diagram kerja batang dengan prategang bertahap	12
Gambar 2.7.	Tipe pemasangan kabel prategang pada batang; 1) pemasangan prategang pada batang-batang tarik rangka, 2) pemasangan prategang sepanjang bentang rangka, 3) pemasangan dua atau lebih prategang sepanjang bentang rangka	13
Gambar 2.8.	Rangka dengan kabel poligonal	13
Gambar 2.9.	Rangka dengan kabel eksternal	13
Gambar 2.10.	Rangka Semi Parabola Jenis N Terbalik	17
Gambar 2.11.	Statika akibat pengaruh gaya prategang	18
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2.	Model jembatan rangka	21
Gambar 3.3.	Model jembatan rangka prategang	21
Gambar 3.4.	Skema pembebanan	23
Gambar 4.1.	Grafik lendutan maksimum model jembatan rangka hasil pengujian laboratorium.....	28
Gambar 4.2.	Grafik gaya batang pada batang terlemah model jembatan rangka hasil pengujian laboratorium	31

Gambar 4.3.	Grafik lendutan maksimum pada bagian tengah bentang model jembatan rangka hasil analisis menggunakan STAADPro	33
Gambar 4.4.	Grafik gaya batang pada batang 5 dan batang 37 struktur rangka batang model jembatan rangka dari hasil analisis menggunakan STAADPro 2004.....	34
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan lendutan maksimum model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004.....	36
Gambar 4.6.	Grafik perbandingan gaya batang pada batang terlemah model jembatan rangka hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004.....	37
Gambar 4.7.	Grafik perbandingan gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium.....	39
Gambar 4.8.	Grafik nilai lendutan pada bagian tengah model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium.....	40
Gambar 4.9.	Grafik nilai gaya batang lemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil percobaan di laboratorium.....	41
Gambar 4.10.	Grafik nilai gaya prategang hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004.....	43
Gambar 4.11.	Grafik nilai lendutan pada bagian tengah model jembatan rangka prategang dari hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004	45
Gambar 4.12.	Grafik nilai gaya batang pada batang terlemah struktur rangka batang model jembatan rangka prategang dari hasil analisis dengan menggunakan STAADPro 2004	46
Gambar 4.13.	Grafik perbandingan gaya prategang efektif hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	48



Gambar 4.14. Grafik perbandingan lendutan model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004	50
Gambar 4.15. Grafik perbandingan gaya batang pada batang no 5 model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004.....	52
Gambar 4.16. Grafik perbandingan gaya batang pada batang no 37 model jembatan rangka prategang hasil percobaan di laboratorium dengan hasil analisis dengan STAADPro 2004.....	53
Gambar 4.17. Grafik perbandingan lendutan model jembatan rangka tanpa prategang dengan prategang.....	55
Gambar 4.18. Grafik perbandingan gaya batang pada batang terlemah model jembatan rangka tanpa prategang dengan prategang	57
Gambar 4.19. Grafik perbandingan tegangan pada batang terlemah model jembatan rangka tanpa prategang dengan prategang	58
Gambar 4.20. Grafik perbandingan gaya prategang efektif laboratorium	60

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Dimensi Dan Skema Model Jembatan.....	L / 1-1
Lampiran 2	Penomoran Batang	L / 2-1
Lampiran 3	Grafik Hasil Uji Tarik	L / 3-1
Lampiran 4	Data Hasil Uji Tarik Baja	L / 4-1
Lampiran 5	Data-data Penelitian	L / 5-1
Lampiran 6	Analisis STAADPro 2004	L / 6-1
Lampiran 7	Hasil Uji Statistik dengan SPSS15	L / 7-1



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