

PROSENTASE PENURUNAN LENDUTAN PADA MODEL JEMBATAN RANGKA BAJA AKIBAT PENAMBAHAN KABEL PRATEGANG EKSTERNAL TIPE TRAPESIUM

Wisnumurti, Agoes Soehardjono dan Rizaldy Iskandar
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jl. Mayjen Haryono 147 Malang

ABSTRAK

Penggunaan jembatan sebagai pelengkap dalam sarana transportasi sangat krusial. Dengan meningkatnya beban kendaraan yang melewati jembatan seiring dengan bertambahnya volume kendaraan diperlukan suatu metode peningkatan kapasitas jembatan terutama jembatan rangka. Metode peningkatan kapasitas yang tidak merusak ataupun membangun ulang jembatan yang sudah ada adalah dengan penambahan kabel prategang.

Peningkatan kapasitas yang dapat ditinjau secara langsung adalah dengan mengamati besarnya pengurangan lendutan yang terjadi pada jembatan tersebut setelah ditambahkan kabel prategang. Pengaruh penambahan yang terjadi pada model jembatan didapatkan dengan membandingkan lendutan yang terjadi akibat pembebanan dalam keadaan setelah dan sebelum diberi prategang. Besarnya beban dan gaya prategang pada kabel prategang yang diberikan divariasikan untuk mendapatkan data lendutan yang diperlukan. Sebelum dilakukan analisa pengaruh lendutan, lebih dulu dilakukan perbandingan hasil data yang didapatkan di lapangan dengan hasil perhitungan teoritis. Hasil perhitungan teoritis dilakukan dengan menggunakan software STAADPro 2004.

Dalam penelitian ini besarnya prosentase penurunan lendutan yang terjadi akibat penambahan kabel prategang eksternal tipe trapesium pada tiap peningkatan beban yang diberikan pada model jembatan rangka adalah sebesar 4,167 - 14,286 % dengan nilai rata-rata 8,855%. Sedangkan besarnya penurunan lendutan maksimum yang terjadi adalah sebesar 37,073%. Data prosentase penurunan lendutan tersebut dapat dipergunakan dalam perencanaan jembatan rangka prategang, terutama dalam penentuan jenis dan tipe prategang yang digunakan.

Kata Kunci : kabel prategang, lendutan maksimum, jembatan rangka prategang

PENDAHULUAN

Secara mutlak pembangunan sebuah jembatan difungsikan untuk menahan beban yang bekerja pada jembatan tersebut, sehingga kekuatan struktur jembatan menjadi unsur utama yang harus diperhatikan dalam perencanaannya. Namun dalam pelaksanaan konstruksi jembatan, keterbatasan kekuatan jembatan dapat terjadi. Hal ini dipengaruhi oleh dua faktor yang tidak kalah pentingnya dalam perencanaan sebuah jembatan. Dua faktor tersebut yaitu faktor finansial dan faktor

operasional pelaksanaan. Faktor finansial berhubungan dengan efisiensi biaya konstruksi, sedangkan faktor operasional pelaksanaan berhubungan dengan kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi jembatan.

Dalam bidang keteknik sipil terdapat berbagai macam jenis jembatan berdasarkan elemen penyusunnya, diantaranya adalah jembatan *cable stayed*, jembatan *plate girder*, jembatan beton, jembatan komposit, serta jembatan rangka. Jembatan rangka merupakan salah satu jembatan yang paling umum kita jumpai. Rangka-rangka batang yang

dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan adalah ciri khas jembatan rangka baja. Hanya pada titik-titik simpul rangka yang biasa disebut sebagai *joint* tersebut gaya luar bekerja pada jembatan rangka. Ada berbagai macam usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dari struktur jembatan rangka baja, salah satunya adalah dengan mengurangi besarnya gaya yang bekerja pada jembatan tersebut dengan menggunakan gaya yang

berkebalikan arahnya dengan arah gaya yang bekerja. Cara yang paling efisien dan ekonomis adalah dengan menambahkan kabel prategang pada struktur jembatan rangka tersebut.

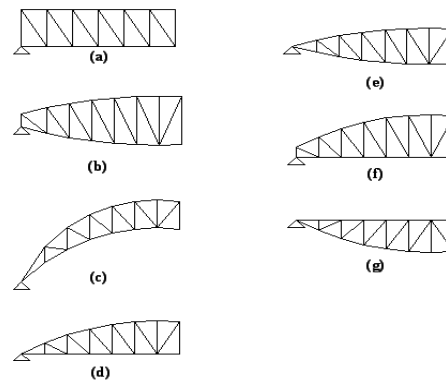
Atas dasar pemikiran diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan menggunakan model jembatan rangka dengan menambahkan kabel prategang sehingga diharapkan jembatan rangka tersebut mempunyai kelebihan dibandingkan dengan jembatan rangka tanpa kabel.

TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan Rangka Batang

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

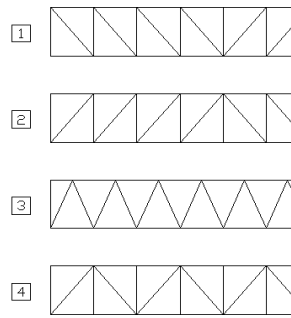
Dalam jembatan rangka batang prategang, jembatan rangka batang merupakan struktur utama yang berfungsi untuk menahan beban-beban yang diterima oleh struktur jembatan baik berupa beban mati maupun beban hidup (Soemono,1979).



Gambar 1. Jenis rangka: a. rangka paralel, b. rangka lensa, c. rangka sabit, d. rangka parabola, e. rangka parabola rangkap, f. rangka semi parabola, g. rangka perut ikan (Sumber : Soemono,1979; 42)

Sedangkan berdasarkan bentuk bagian dalamnya terbagi atas empat jenis yaitu rangka N, rangka N terbalik, rangka

V, dan rangka V dengan batang tegak (Soemono,1979).



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

Berdasar anggapan tersebut, sebagai akibat beban luar, timbul 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).

Gaya Batang dan Tegangan

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

Konsep Dasar Lentutan

Kekuatan struktur dipengaruhi oleh lentutan yang berlebihan. Selain itu lentutan yang berlebihan juga akan memberi dampak psikologis bagi si pengendara. Sehingga berdasarkan pertimbangan tersebut diatur besarnya lentutan 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).

Lentutan Pada Struktur Rangka Batang

Lentutan pada struktur rangka batang merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik-titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut.

Untuk analisis geometris yang lebih mendetail, akan jauh lebih mudah apabila beberapa join pada rangka digambarkan tidak dalam kondisi sendi. Hal ini Dengan demikian deformasi yang terjadi pada elemen-elemen batang akan sesuai dengan gaya aksial yang terjadi pada batang. Batang-batang yang sudah mengalami deformasi tersebut kemudian diputar kembali mengelilingi join yang masih dianggap dalam kondisi sendi hingga lokasi dari sendi kembali seperti semula. Gerakan dari ujung bebas akan membentuk pola melingkar, tapi jika lentutan yang terjadi kecil pola tersebut dapat diperkirakan dari sebuah hubungan pitagoras (Roylance, 2000).

Prategang Pada Rangka Batang

Troitsky (1990:73) mengatakan bahwa efektifitas dari prategang rangka bergantung pada desain dari rangka terhadap performa struktur, prategang rangka dapat dibagi menjadi 2 tipe dasar :

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

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

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.

Desain Model Jembatan

Pembuatan *engineering model*, pada dasarnya adalah pembuatan sebuah

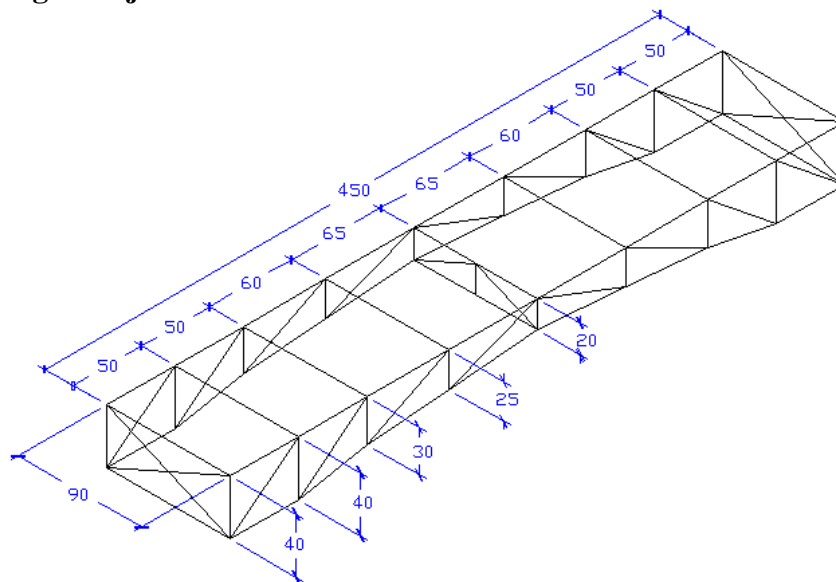
duplikat dari suatu produk tertentu yang menunjukkan kinerja yang sama dengan produk aktual, yang disebut purwarupa (*prototype*) yang sedang didesain atau dikonstruksi.

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, konstruktibilitas yang mudah, dan kemampuan model mempertahankan bentuknya.

METODOLOGI

Rancangan Model Jembatan

Jembatan Rangka Baja



Gambar 3. Model jembatan rangka baja

Variabel Penelitian

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang berubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah besarnya beban terpusat yang

dibeban pada model jembatan rangka baja.

2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besarnya lendutan dan gaya prategang.

PEMBAHASAN

Jembatan Rangka

Jembatan rangka yang digunakan terbuat dari profil baja *Hollow Tube* dengan ketebalan 2mm. Panjang Jembatan adalah 4,5 m. Tipe Jembatan adalah semi parabola dengan jenis N terbalik. Dari uji tarik profil *Hollow Tube* yang dilakukan di laboratorium didapatkan nilai $f_u = 3240 \text{ kg/cm}^2$ dan $f_y = 2700 \text{ kg/cm}^2$. Untuk sambungan jembatan digunakan sambungan las dan baut.

Kabel

Kabel yang digunakan adalah kabel baja tipe sling dengan diameter 5mm. Nilai Kekuatan tarik kabel tidak dapat diketahui secara pasti karena pada saat uji tarik dilakukan, kabel mengalami kegagalan dengan kondisi putus di bagian tumpuan (alat penjepit), sehingga kegagalan yang terjadi bukan diakibatkan oleh tarikan namun lebih diakibatkan rusaknya kabel oleh jepitan alat. Dari pengujian yang sama juga didapatkan data bahwa kekuatan kabel masih diatas kekuatan profil jembatan, karena pada saat kegagalan terjadi pada kebel, nilai yang tercatat masih diatas kekuatan profil baja jembatan rangka.

Pembebanan Model Jembatan Rangka

Pengujian model jembatan rangka dilakukan di atas *loading frame* dengan

tumpuan sendi dan rol pada kedua ujung jembatan rangka. Penggunaan *loading frame* hanya sebagai tempat peletakan *proofing ring* sebagai media pembebanan pada jembatan rangka saja, sehingga pada kenyataannya *loading frame* dan jembatan rangka tidak berada dalam satu sistim kerja yang sama dalam proses pembebanan yang dilakukan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi, regangan, tegangan dan gaya batang yang terjadi pada batang-batang terlemah akibat adanya beban. Besarnya lendutan yang terjadi pada jembatan rangka akibat beban awal yang diberikan digunakan sebagai dasar dalam pemberian gaya prategang pada pengujian jembatan rangka prategang. Data tegangan pada batang terlemah digunakan sebagai kontrol pada waktu pengujian untuk mencegah terjadinya kondisi plastis yang dapat merubah struktur jembatan. Pembebanan yang diberikan adalah berat sendiri jembatan dan beban terpusat yang diberikan secara bertahap sebesar 69kg, 138 kg, dan 207 kg.

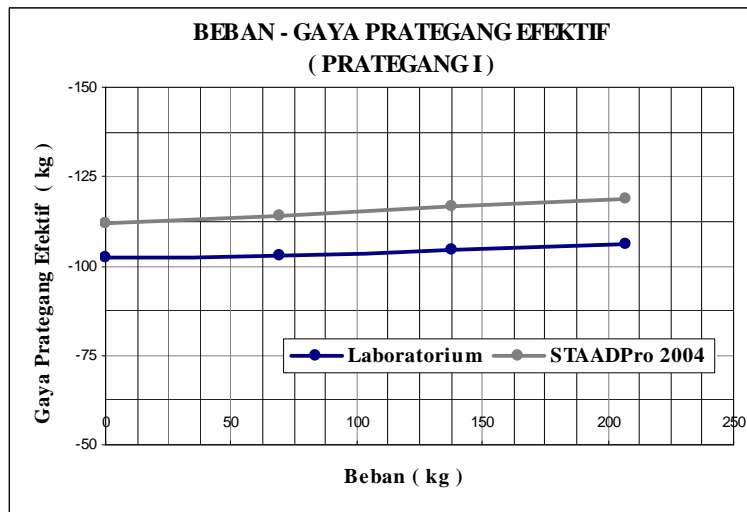
Perbandingan Hasil Laboratorium Dengan StaadPro 2004

Perbandingan Gaya Prategang

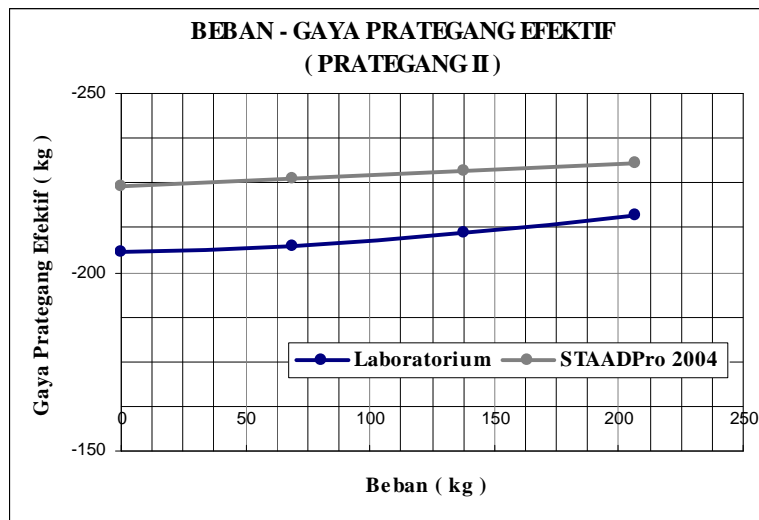
Tabel 1. Perbandingan gaya prategang di laboratorium dan staadpro 2004 pada model jembatan rangka prategang

| Nomor Gaya Prategang | Beban (kg) | Gaya Prategang Efektif | |
|----------------------|--------------|------------------------|---------------------|
| | | STAADPro (kg) | Laboratorium (kg) |
| I | 0 | -112,025 | -102,150 |

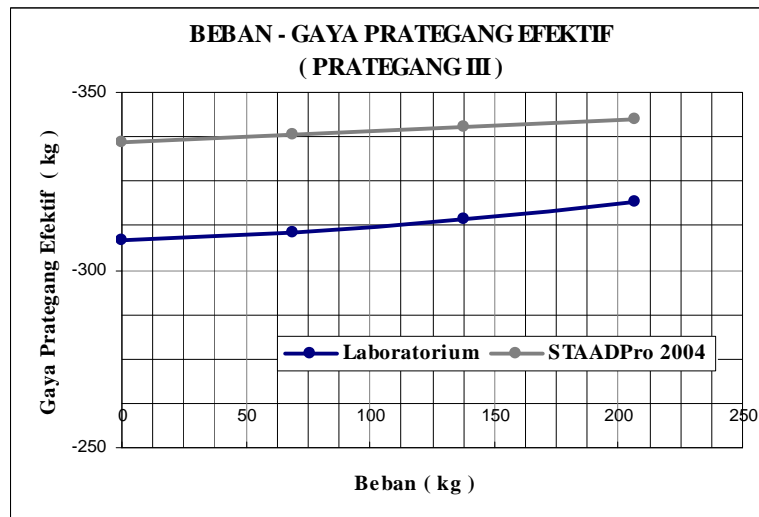
| | | | |
|------------|-----|----------|----------|
| | 69 | -114,228 | -102,651 |
| | 138 | -116,432 | -104,320 |
| | 207 | -118,635 | -106,156 |
| | 0 | -112,025 | -105,321 |
| II | 0 | -224,050 | -205,469 |
| | 69 | -226,253 | -207,139 |
| | 138 | -228,457 | -211,311 |
| | 207 | -230,661 | -216,152 |
| | 0 | -224,050 | -205,302 |
| III | 0 | -336,075 | -308,287 |
| | 69 | -338,279 | -310,793 |
| | 138 | -340,483 | -314,130 |
| | 207 | -342,686 | -318,970 |
| | 0 | -336,075 | -311,961 |



Gambar 6. Grafik perbandingan gaya prategang laboratorium dan staadpro 2004 pada prategang 1



Gambar 7. Grafik perbandingan gaya prategang laboratorium dan staadpro 2004 pada prategang 2

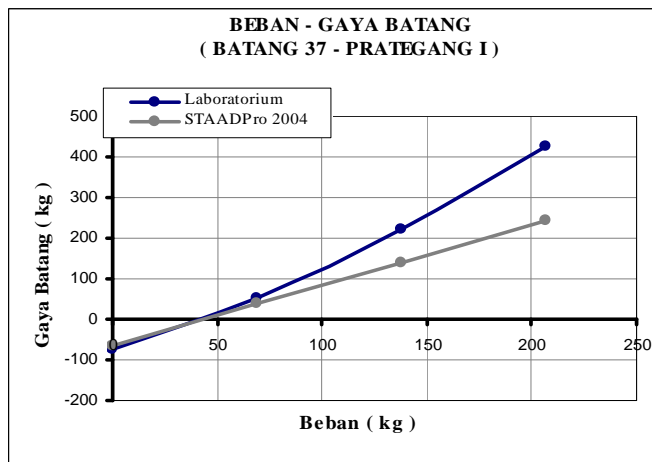
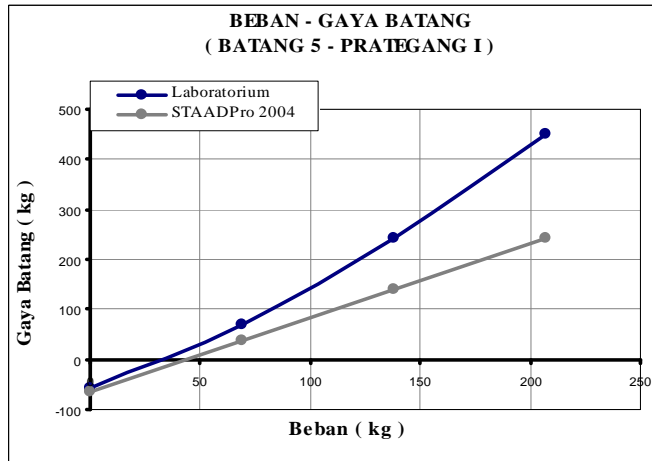


Gambar 8. Grafik perbandingan gaya prategang laboratorium dan staadpro 2004 pada prategang 3

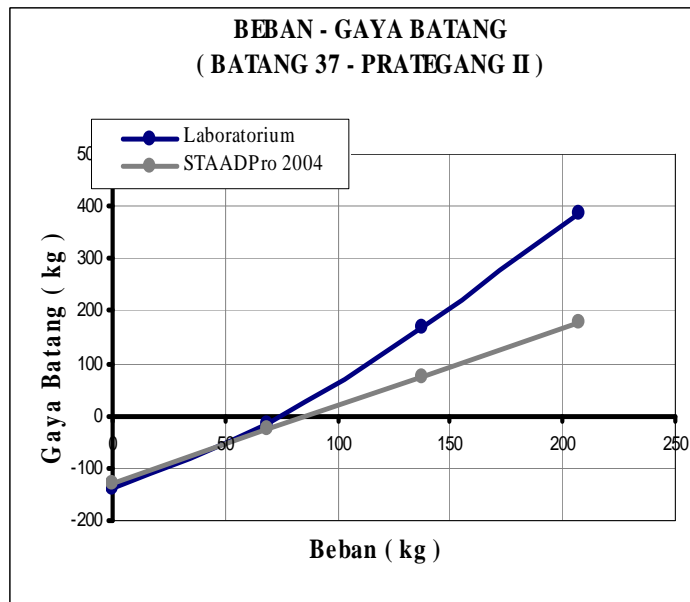
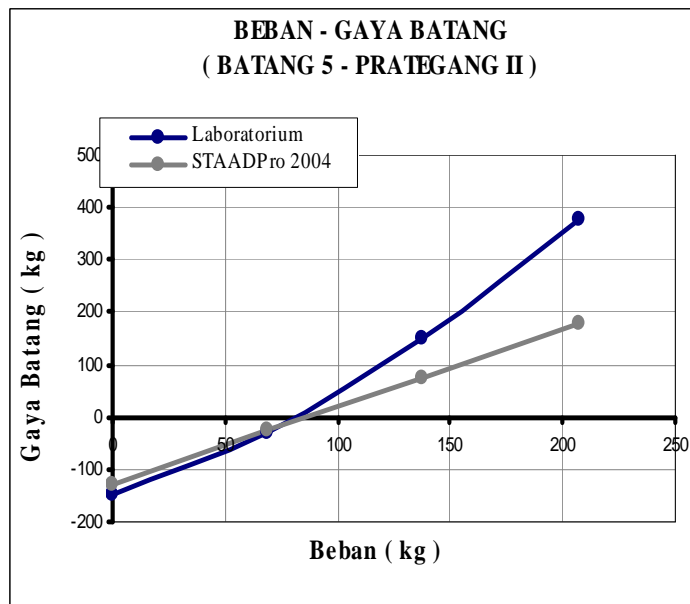
Perbandingan Gaya Batang

Tabel 2. Perbandingan gaya batang di laboratorium dan staadpro 2004 pada model jembatan rangka prategang

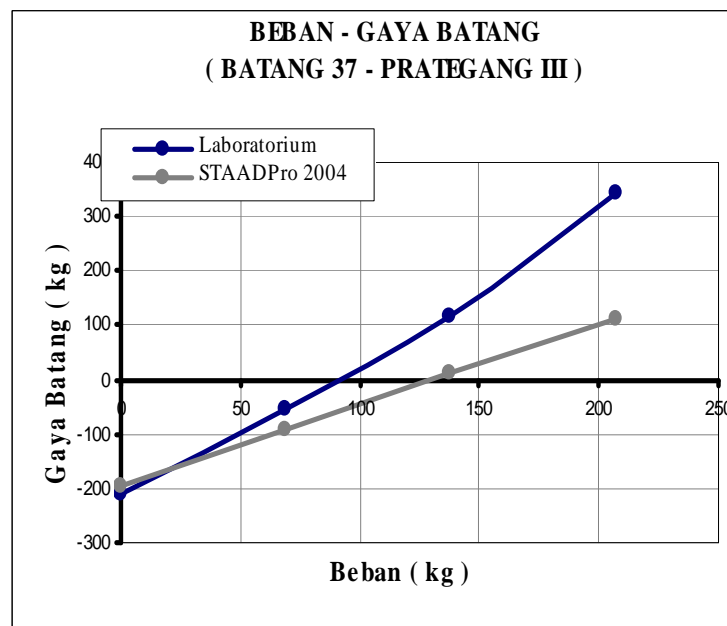
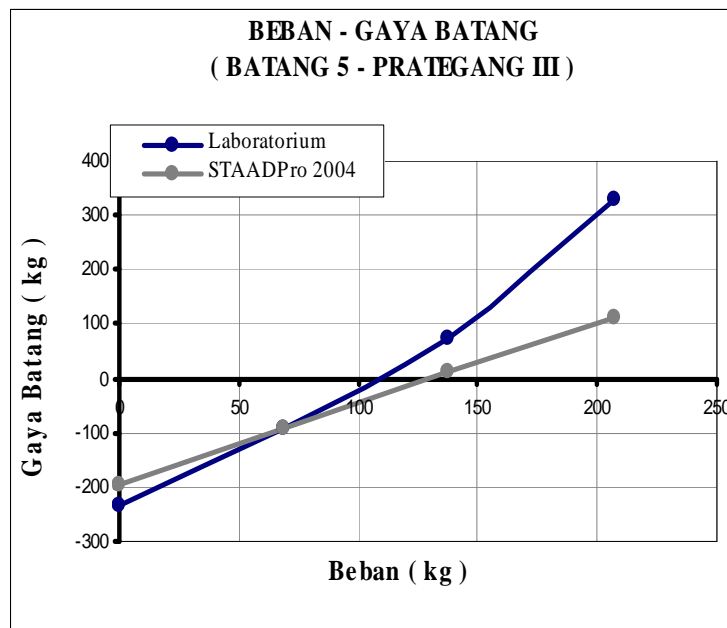
| Nomor Gaya Prategang | Beban (kg) | Gaya Batang (kg) | | | |
|----------------------|--------------|--------------------|--------------|-----------|--------------|
| | | Batang 5 | | Batang 37 | |
| | | STAADPro | Laboratorium | STAADPro | Laboratorium |
| I | 0 | -64,617 | -55,946 | -64,617 | -75,927 |
| | 69 | 37,543 | 67,934 | 37,543 | 51,950 |
| | 138 | 139,703 | 243,764 | 139,703 | 223,783 |
| | 207 | 241,864 | 451,563 | 241,864 | 427,586 |
| | 0 | -64,617 | -55,946 | -64,617 | -75,927 |
| II | 0 | -129,191 | -147,857 | -129,191 | -139,865 |
| | 69 | -27,046 | -27,973 | -27,046 | -15,985 |
| | 138 | 75,098 | 147,857 | 75,098 | 167,838 |
| | 207 | 177,243 | 375,637 | 177,243 | 387,625 |
| | 0 | -129,191 | -147,857 | -129,191 | -123,880 |
| III | 0 | -193,78 | -235,772 | -193,78 | -211,795 |
| | 69 | -91,637 | -91,911 | -91,637 | -55,946 |
| | 138 | 10,506 | 75,927 | 10,506 | 115,888 |
| | 207 | 112,649 | 327,683 | 112,649 | 343,667 |
| | 0 | -193,78 | -235,772 | -193,78 | -147,857 |



Gambar 9. Grafik perbandingan gaya batang terlemah di laboratorium dan staadpro 2004 pada prategang 1



Gambar 10. Grafik perbandingan gaya batang terlemah di laboratorium dan staadpro 2004 pada prategang 2



Gambar 11. Grafik perbandingan gaya batang terlemah di laboratorium dan staadpro 2004 pada prategang 3

Perbandingan Tegangan

Tabel 3. Perbandingan tegangan batang di laboratorium dan staadpro 2004 pada model jembatan rangka prategang

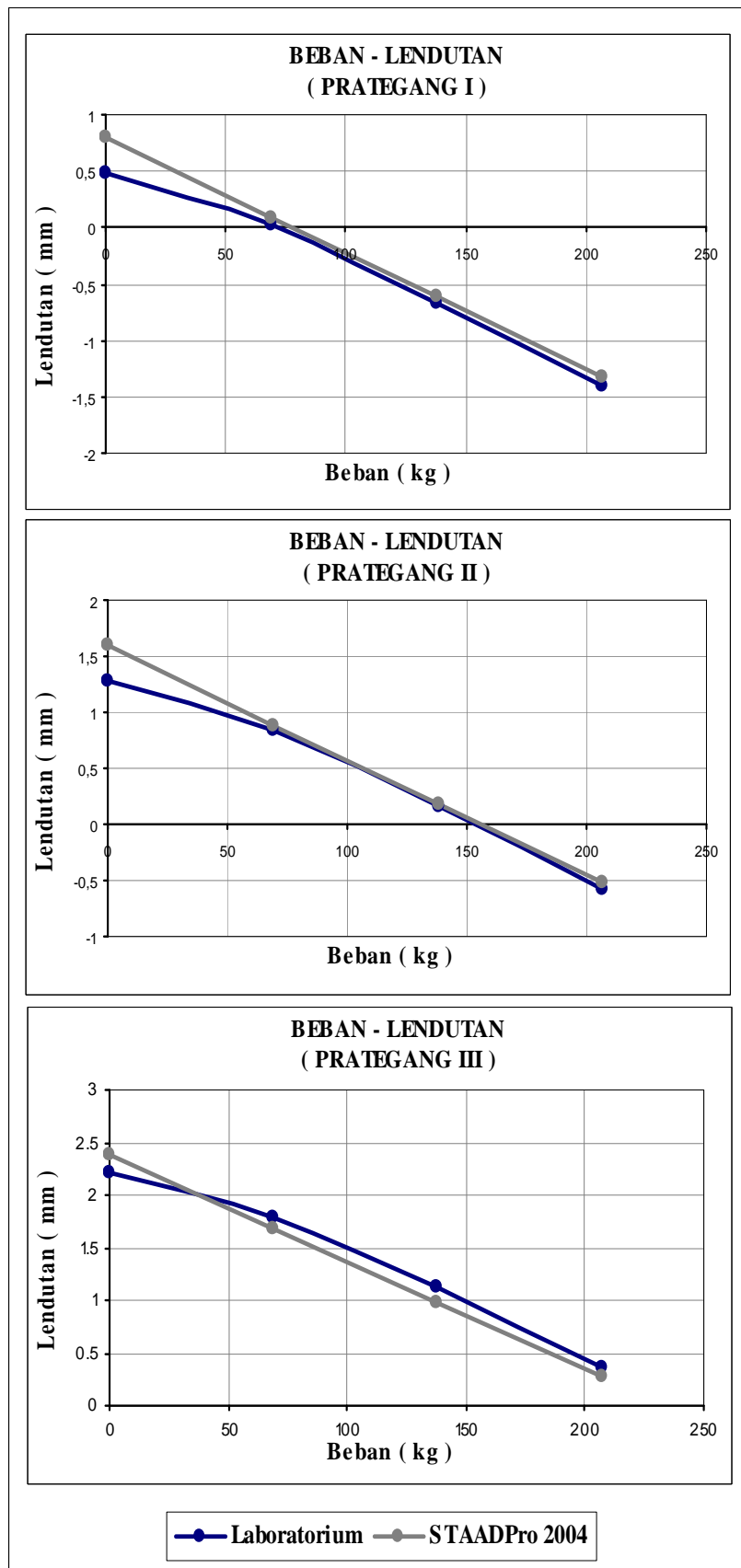
| Nomor Gaya Prategang | Beban (kg) | Tegangan (kg/cm ²) | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------|-----------|--------------|
| | | Batang 5 | | Batang 37 | |
| | | STAADPro | Laboratorium | STAADPro | Laboratorium |
| I | 0 | -18,784 | -16,263 | -18,784 | -22,072 |
| | 69 | 10,914 | 19,748 | 10,914 | 15,102 |
| | 138 | 40,611 | 70,862 | 40,611 | 65,053 |
| | 207 | 70,308 | 131,268 | 70,308 | 124,298 |

| | | | | | |
|------------|-----|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | -18,784 | -16,263 | -18,784 | -22,072 |
| II | 0 | -37,555 | -42,982 | -37,555 | -40,658 |
| | 69 | -7,862 | -8,132 | -7,862 | -4,647 |
| | 138 | 21,831 | 42,982 | 21,831 | 48,790 |
| | 207 | 51,524 | 109,197 | 51,524 | 112,682 |
| | 0 | -37,555 | -42,982 | -37,555 | -36,012 |
| III | 0 | -56,331 | -68,538 | -56,331 | -61,568 |
| | 69 | -26,639 | -26,718 | -26,639 | -16,263 |
| | 138 | 3,054 | 22,072 | 3,054 | 33,688 |
| | 207 | 32,747 | 95,257 | 32,747 | 99,903 |
| | 0 | -56,331 | -68,538 | -56,331 | -42,982 |

Perbandingan Lendutan

Tabel 4. Perbandingan lendutan di laboratorium dan staadpro 2004 pada model jembatan rangka prategang

| Nomor Gaya Prategang | Beban (kg) | Lendutan | |
|----------------------|--------------|-----------------|---------------------|
| | | STAADPro (mm) | Laboratorium (mm) |
| I | 0 | 0,796 | 0,480 |
| | 68.2 | 0,092 | 0,020 |
| | 138 | -0,611 | -0,670 |
| | 207 | -1,315 | -1,400 |
| | 0 | 0,796 | 0,480 |
| II | 0 | 1,592 | 1,290 |
| | 69 | 0,888 | 0,840 |
| | 138 | 0,185 | 0,160 |
| | 207 | -0,519 | -0,580 |
| | 0 | 1,592 | 1,290 |
| III | 0 | 2,388 | 2,210 |
| | 69 | 1,684 | 1,780 |
| | 138 | 0,981 | 1,120 |
| | 207 | 0,277 | 0,370 |
| | 0 | 2,388 | 2,210 |



Gambar 12. Grafik perbandingan lendutan di laboratorium dan staadpro 2004

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian di laboratorium dan pembahasan didapatkan:

1. Besarnya nilai gaya prategang pada kabel mengalami perubahan sebagai akibat pembebanan yang diberikan pada model jembatan rangka. Besarnya prosentase perubahan pada pengujian ini bervariasi antara 0,49 % - 4,74% dengan nilai rata-rata 2,76%. Variasi prosentase ini diakibatkan oleh faktor kehilangan prategang. Nilai rata-rata dapat diambil karena kabel prategang masih berada dalam kondisi elastis.
2. Keberadaan kabel prategang meningkatkan kekakuan jembatan dikarenakan kabel yang telah diberi prategang bertindak seolah-olah sebagai batang tambahan pada struktur model rangka jembatan. Peningkatan jumlah batang dan kekakuan inilah yang menyebabkan pengurangan lendutan akibat pembebanan yang bekerja pada model jembatan rangka baja. Pada pengujian ini, dengan menggunakan prategang eksternal tipe trapesium, perbandingan lendutan yang terjadi antara jembatan rangka dan jembatan rangka prategang menghasilkan hasil rata-rata prosentase penurunan lendutan sebesar 8,855% pada setiap peningkatan beban. Nilai rata-rata dapat diambil karena jembatan masih berada dalam kondisi elastis.
3. Penggunaan kabel prategang dapat mengefisiensikan penggunaan material, karena prategang mengoptimalkan kemampuan batang pada waktu pembebanan. Dalam pengujian kali ini *range* gaya batang

akibat pembebanan bergeser lebih ke arah tarik sehingga gaya batang maksimum yang terjadi baik pada kondisi tarik maupun tekan berkurang. Hal tersebut juga berlaku dalam tinjauan lendutan. Dengan adanya penambahan prategang, nilai maksimum lendutan ke bawah yang terjadi akibat beban yang bekerja dapat berkurang dan bergeser ke arah lendutan ke atas. Sehingga secara keseluruhan, jembatan yang sudah diberi prategang mengalami lendutan maksimum yang lebih kecil dibandingkan dengan jembatan yang tidak diberi prategang. Perlu diingat bahwa penggunaan prategang juga menyebabkan terjadinya lendutan ke arah atas yang dapat menyamai atau bahkan melebihi lendutan ke arah bawah yang terjadi akibat beban. Jika hal tersebut terjadi maka penggunaan prategang tidaklah efisien karena jembatan prategang tetap mengalami lendutan yang besarnya sama dengan lendutan jembatan tanpa prategang meskipun berbeda arah. Dalam pengujian kali ini nilai gaya prategang yang paling efisien dalam mengurangi lendutan maksimum adalah gaya prategang II (204,301 kg). Besarnya penurunan lendutan maksimum jembatan merupakan selisih lendutan maksimum pada jembatan rangka dengan lendutan maksimum pada jembatan rangka prategang. Dengan menggunakan prategang eksternal tipe trapesium besarnya penurunan lendutan maksimum jembatan rangka yang terjadi adalah sebesar 37,073%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

sebagai tempat pelaksanaan penelitian serta semua pihak atas dukungan dan partisipasinya selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1991. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (BMS)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Binamarga.
- Soemono. 1979. *Statika 2*. Bandung : ITB.
- Taly, Narendra. 1998. *Design Of Modenn Highway Bridges*. Jonh Wiley and Sons. Canada.
- Roylance, David. 2000. *Trusses*. Cambridge, Department of Materials science and Engineering. www.cse.ucsd.edu/users/atkinson/fe/lt/Truss.pdf
- Troitsky, M.S. 1990. *Prestressed Steel Bridges Theory and Design*. New York : Van Nostrand Renhold Company.
- Xanthakos. 1973. *Theory and Design Bridges*. New York : John Wiley and Sans. Inc.
- Anonim. 1984. *Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia Tahun 1984*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan
- Wira. 1986. *Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik dan Matriks. Edisi II, terjemahan A. Ghali A. M Neville*. Jakarta: Erlangga.