

OPTIMASI JEMBATAN RANGKA BAJA DENGAN MENGGUNAKAN TEORI MAXWELL DAN MITCHELL

ABSTRAK

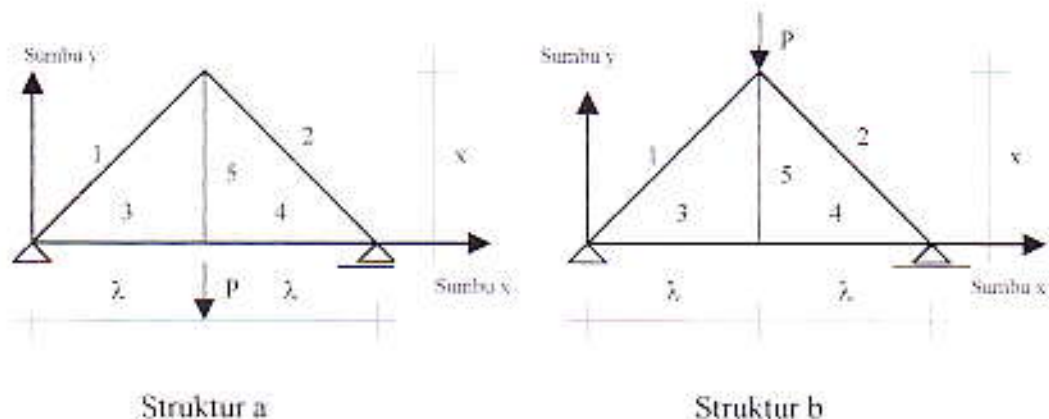
Struktur Jembatan Rangka Baja, membutuhkan pemenuhan persyaratan struktural yaitu berupa syarat kekuatan, kekakuan dan stabilitas. Syarat lain yang juga penting dalam disain jembatan rangka baja adalah syarat keekonomisan. Hal ini disebabkan karena pemesanan profil penampang yang akan digunakan sangat tergantung pada perhitungan yang telah dilakukan. Upaya-upaya harus dilakukan agar profil yang digunakan sependek dan seringan mungkin mengingat biaya mobilisasi dari profil sangat besar. Untuk itu dalam penelitian ini dilakukan usaha optimasi jembatan struktur rangka baja dengan menggunakan Teori Maxwell dan Mitchell. Studi kasus dilakukan terhadap Jembatan Lubuk Buaya Contract Package No. OP-08, OECF LOAN No. IP-444 dimana persyaratan struktural telah terpenuhi, sehingga penelitian hanya ditujukan pada optimasi jembatan. Hasil dari studi kasus menunjukkan bahwa terjadi pengurangan tinggi jembatan sebesar 1,12 m, yang berarti juga pengurangan volume profil yang tentunya berkaitan erat dengan pengurangan biaya bahan dan pengangkutan.

I. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Setiap struktur jembatan disamping harus memenuhi syarat-syarat kekuatan, kekakuan dan stabilitas juga harus memenuhi syarat ekonomis. Persyaratan ini harus dipenuhi sedemikian rupa sehingga selama masa guna jembatan, jembatan tersebut masih mempunyai *performance* yang baik. Dalam hal keekonomisan struktur, maka masalah utama yang berkaitan dengannya adalah keamanan dan keandalan struktur.

Disisi lain, banyak daerah-daerah di Indonesia yang masih membutuhkan prasarana berupa jalan dan jembatan dengan berbagai alasan. Dalam pemilihan jenis struktur jembatan yang tepat untuk suatu daerah, sangat berkaitan dengan kondisi ekonomi dan analisis struktural yang dilakukan. Untuk itu langkah-langkah perencanaan yang tepat memang sangat dibutuhkan untuk menjawab sampai seberapa jauh optimasi dari jembatan yang akan dibangun.



Gambar 1. Struktur Rangka Batang

b. Permasalahan

Jembatan rangka baja adalah merupakan struktur rangka (*truss structure*) dimana pertemuan antar batang diasumsikan sebagai sendi (Gambar 1). Rangka baja tersebut biasanya menggunakan baja profil yang dapat dipesan pada pabrik pembuat baja profil. Dengan demikian sebelum pemesanan baja profil, langkah perhitungan yang akurat haruslah sudah dilaksanakan untuk mendapatkan konfigurasi struktur yang optimum. Hal inilah yang sering terlupakan oleh para perancang jembatan rangka baja, sehingga bisa saja baja profil yang digunakan tidak efisien.

Untuk itu dilakukan penelitian (kaji ulang) terhadap salah satu jembatan struktur rangka eksisting di Sumatera Barat, yaitu Jembatan Lubuk Buaya Contract Package No. OP-08, OECF LOAN No. IP-444. Dengan data yang ada, optimasi dari jembatan tersebut akan dianalisis dengan menggunakan *Maxwell and Mitchell Theorem*.

II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merumuskan langkah-langkah yang benar dalam mendisain jembatan rangka baja. *Output* dari penelitian adalah berupa *referensi* yang akan dipergunakan untuk mengoptimasi konfigurasi dari struktur jembatan rangka. Dengan demikian penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi para perancang jembatan struktur rangka yang tentunya dapat bermanfaat juga untuk menghemat anggaran negara, khususnya dalam pembangunan jembatan.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah :

- Kajian pustaka dari permasalahan
- Pengumpulan data eksisting jembatan rangka (Jembatan Lubuk Buaya Padang, Contract Package No. OP-08, OECF LOAN No. IP-444).
- Analisis gaya-gaya dalam jembatan dengan paket program SAP2000.
- Analisis optimasi jembatan eksisting dengan *Spread Sheet* program optimasi.
- Analisis hasil dan diskusi.

IV. PERATURAN-PERATURAN YANG DIGUNAKAN

Adapun peraturan yang digunakan adalah :

1. Peraturan Pembebanan Indonesia 1987.
2. Pedoman Perencanaan Bangunan Baja Indonesia, 1987.

V. BATASAN MASALAH

Optimasi hanya dilakukan pada rangka utama jembatan dan bahan masih bersifat elastis linier.

VI. DATA STRUKTUR

Berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan (Lampiran 1) dan dengan menggunakan peraturan Pembebanan yang ada, maka diperoleh :

1. Pembebanan Gelagar Memanjang
 - ◆ Gelagar Tengah
 - Beban mati $q = 1116.28 \text{ kg/m}$
 - Beban hidup (untuk menghitung momen) terbagi rata $q' = 1.104 \text{ t/m}$
 - Beban terpusat (untuk menghitung momen) $P' = 6.022 \text{ t}$

Beban hidup (untuk menghitung lintang) terbagi rata $q' = 1.104 \text{ t/m}$
 Beban terpusat (untuk menghitung lintang) $P' = 8.029 \text{ t}$

- ◆ Gelagar Tepi
 Beban mati $q = 1242.906 \text{ kg/m}$
 Beban hidup (untuk menghitung momen) terbagi rata $q' = 1.104 \text{ t/m}$
 Beban terpusat (untuk menghitung momen) $P' = 6.022 \text{ test}$
 Beban hidup (untuk menghitung lintang) terbagi rata $q' = 1.104 \text{ t/m}$
 Beban terpusat (untuk menghitung lintang) $P' = 8.029 \text{ t}$

2. Pembebanan Gelagar Melintang

- ◆ Beban mati
 Reaksi gelagar memanjang tengah akibat beban mati $G = 2790.7 \text{ kg}$
 Reaksi gelagar memanjang tepi akibat beban mati $G' = 3107.265 \text{ kg}$
 Berat sendiri gelagar melintang : 47.889 kg/m
- ◆ Beban hidup pada jalur lalu lintas : 9.843 t/m
- ◆ Beban hidup pada trotoar : 1500 kg/m

3. Pembebanan Gelagar Induk

- ◆ Beban mati : 9113.065 kg
- ◆ Beban hidup terbagi rata : 14934.229 kg
- ◆ *Beban hidup garis* : 19598.396 kg

Selanjutnya berdasarkan data-data tersebut, gaya-gaya batang dari rangka utama dihitung dengan menggunakan paket program SAP2000.

VII. TINJAUAN PUSTAKA

a. Maxwell and Mitchell Theorem

Pada suatu struktur rangka, masalah yang penting adalah mencari konfigurasi atau bentuk struktur yang sesuai yang dapat secara efisien menahan beban yang bekerja. Kemudian adalah bagaimana menentukan penampang yang efektif yang dapat menahan gaya batang yang bekerja pada batang tersebut sehingga kemampuan yang ada pada penampang dapat dimanfaatkan secara maksimal. Ini berarti bahwa tegangan yang terjadi mencapai tegangan nominal yang diizinkan.

Pada tahun 1890 James Clerk Maxwell memperkenalkan prinsip deformasi virtual dan prinsip kerja virtual yang diaplikasikan pada struktur rangka. Maxwell mengatakan: jika diketahui suatu sistem yang terdiri dari banyak titik berada dalam keadaan seimbang, maka jumlah semua perkalian gaya batang dengan panjang batang, dan kerja virtual yang dilakukan oleh gaya luar jika gaya-gaya tersebut dipindahkan kepada suatu titik sebarang adalah sama dengan nol. Secara matematis pernyataan tersebut dapat ditulis :

$$\sum_{i=1}^n F_i L_i + \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) = 0 \quad (1)$$

Persamaan (1) dalam bentuk tegangan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^n \frac{F_i L_i}{A_i} + \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) = 0 \quad (2)$$

atau dapat dinyatakan sebagai :

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i L_i A_i - \sum_{i=1}^n \sigma_c L_i A_i + \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) = 0 \quad (3)$$

atau dapat disederhanakan menjadi :

$$\sigma_t V_t - \sigma_c V_c + \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) = 0 \quad (4)$$

Perlu ditegaskan disini bahwa persamaan (4) hanya berlaku jika semua batang tarik mengalami tegangan σ_t dan semua batang tekan mengalami tegangan σ_c akibat gaya luar P_{kx} dan P_{ky} . Jika volume total struktur rangka V adalah :

$$V = V_t + V_c \quad (5)$$

maka persamaan (4) dapat ditulis sebagai berikut :

$$V = \frac{\sigma_t + \sigma_c}{\sigma_t} V_c - \frac{1}{\sigma_t} \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) \quad (6)$$

atau dapat dinyatakan sebagai :

$$V = \frac{\sigma_t + \sigma_c}{\sigma_c} V_t - \frac{1}{\sigma_c} \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) \quad (7)$$

Persamaan (6) dan (7) menunjukkan bahwa volume total suatu struktur rangka dapat dinyatakan dalam volume batang tarik atau volume batang tekan. Untuk mendapatkan struktur rangka dengan berat minimum dapat dilakukan dengan meminimumkan batang tarik atau batang tekan pada suatu struktur rangka. Sehingga konfigurasi struktur yang memberikan berat minimum dapat dicari.

Dengan kondisi semua batang tekan mengalami tegangan tekan σ_c dan semua batang tarik mengalami tegangan tarik σ_t pada Teori Maxwell, lebih jauh Mitchell mengemukakan teori (1904) bahwa : jika suatu struktur dalam domain D mengalami deformasi virtual yang menyebabkan terjadinya regangan virtual $-\epsilon$ dalam batang tekan dan regangan virtual $+\epsilon$ dalam batang tarik, maka volume struktur ini akan lebih kecil atau sama dengan volume struktur yang lainnya yang dapat dibentuk melalui titik-titik diatas jika dipenuhi syarat bahwa regangan virtual pada elemen linier dalam domain D tidak melebihi regangan ϵ . Persamaan (6) dan (7) dapat ditulis sebagai :

$$V = \frac{\sigma_t + \sigma_c}{2\sigma_t \sigma_c} (\sigma_c V_c + \sigma_t V_t) + \frac{\sigma_t - \sigma_c}{2\sigma_t \sigma_c} \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) \quad (8)$$

Jika : $\sigma_c V_c + \sigma_t V_t = \sum_1^n L_i |F_i|$,

maka persamaan (8) dapat ditulis sebagai :

$$V = \frac{\sigma_t + \sigma_c}{2\sigma_t \sigma_c} \sum_1^n L_i |F_i| + \frac{\sigma_t - \sigma_c}{2\sigma_t \sigma_c} \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) \quad (9)$$

Dari persamaan (9) terlihat bahwa untuk gaya luar konstant, maka volume struktur akan minimum jika suku $\sum_1^n L_i |F_i|$ minimum.

Diperkenalkan struktur dengan volume minimum adalah M . Deformasi virtual dari domain D berupa perpanjangan atau perpendekan sepanjang batang L adalah sama dengan ϵL dimana $\epsilon L < \epsilon L$. Dari prinsip kerja virtual, kerja yang dilakukan di sepanjang batang akan sama dengan kerja virtual dari masing-masing gaya, atau :

$$\sum_{i=1}^n \epsilon_i L_i F_i = \sum_{k=1}^N (P_{kx} X_k + P_{ky} Y_k) \quad (10)$$

Jika gaya tarik dan perpanjangan adalah positif dan gaya tekan serta perpendekan adalah negatif, maka dari persamaan (10)

$$\sum_{i=1}^n \epsilon_i L_i F_i \leq \epsilon \sum_1^n L_i |F_i|, \text{ atau } \sum_1^n L_i |F_i| \geq \frac{1}{\epsilon} \sum_{i=1}^n \epsilon_i L_i F_i \quad (11)$$

Untuk struktur M, dimana batang-batang tarik mengalami $+\epsilon$ dan batang tekan mengalami $-\epsilon$ akibat deformasi virtual, maka :

$$\sum_1^n L_i |F_i| = \frac{1}{\epsilon} \sum_1^n \epsilon_i L_i F_i \quad (12)$$

sehingga untuk volume struktur minimum, maka suku $\sum_1^n L_i |F_i|$ harus minimum.

VIII. ANALISIS DATA

Berdasarkan data struktural dan pembebanan yang ada, dan running program dengan menggunakan SAP2000, maka diperoleh gaya-gaya batang sebagaimana Lampiran 2. Selanjutnya analisis dilakukan dengan menggunakan Persamaan (6) atau (7) sebagai berikut :

1. Batang diagonal

$$\Sigma F_c = \frac{200201.462a + 451676.451x}{x} \quad (13)$$

$$A_c = \frac{F_c}{\sigma_c} = \frac{200204.462a + 451676.451x}{\sigma_c x} \quad (14)$$

$$V_c = A_c \cdot L_c = \frac{200204.462x^2 + 1251277.888 + 451676.451\sqrt{x^4 + 6.25x^2}}{\sigma_c x} \quad (15)$$

2. Batang Atas

Dengan cara yang sama seperti batang diagonal diperoleh :

$$V_c = \frac{14753666.82 + 4545874.01x}{\sigma_c x} \quad (16)$$

Berdasarkan persamaan 6 dan dengan meminimumkan volume, dimana $\frac{dv}{dx} = 0$,

maka diperoleh $x = 5,138$, dimana x adalah tinggi dari jembatan rangka.

Jelas terlihat bahwa tinggi dari rangka utama yang semula 6,35 m dapat dikurangi menjadi 5,138 m, yang berarti pula pengurangan panjang secara linier terhadap komponen-komponen batang diagonal. Dengan demikian struktur menjadi lebih ringkas dan lebih ringan.

IX. PENUTUP

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah :

1. Dengan menggunakan Teori Maxwell dalam menganalisis struktur eksisting jembatan rangka, maka tinggi rangka utama dapat dikurangi lebih dari 1 m. Hal ini sangat menguntungkan dari segi biaya, karena baja profil bisa lebih pendek dan lebih ringan yang sudah barang tentu dapat memperkecil biaya pengangkutan.
2. Meskipun terjadi pengurangan dimensi jembatan dalam arah vertikal, akan tetapi dimensi jembatan dalam arah horizontal tetap tidak bisa dikurangi, karena ini menyangkut pada bentang jembatan yang biasanya tergantung dari faktor alam berupa lebar sungai.

Saran-saran yang dapat mendukung penelitian ini adalah :

1. Sebaiknya penelitian ini dilakukan pada daerah yang mempunyai data jembatan rangka yang lengkap, sehingga dapat diambil nilai yang pasti seberapa jauh optimasi dapat dilakukan terhadap jembatan-jembatan tersebut, atau dengan kata lain, seberapa jauh pemborosan yang telah dilakukan terhadap jembatan-jembatan rangka yang telah didisain di daerah tersebut. Khusus untuk penelitian ini, data eksisting hanya diperoleh satu kasus, dikarenakan jaranganya penggantian jembatan dengan menggunakan truktur rangka, sementara data jembatan rangka yang ada biasanya sudah tidak ada lagi.
2. Jika ada kasus-kasus pengurangan tinggi jembatan dengan menggunakan metode penelitian ini, maka sebaiknya tetap memperhatikan ruang bebas vertikal yang harus dimiliki dari struktur jembatan, agar kendaraan tetap berjalan dengan nyaman.
3. Diharapkan pemerintah daerah dapat menggunakan metode ini dalam mendisain jembatan rangka agar terjadi penghematan anggaran.

X. DAFTAR PUSTAKA

1. Wang, C.K., "Indeterminate Structural Analysis", Department of Civil Environmental Engineering university of Winconsin, McGraw-Hill Book Company, 1982.
2. Pasaribu, Patar M., Widjaya Indra., Irsan., "Konstruksi Baja, contoh Perencanaan Jembatan Rangka untuk Lalu Lintas Jalan Raya", Universitas HKBP Nomensen, Medan, 1995.
3. Fleming, John F., "Analysis of Structural System", Professor of Civil Engineering University of Pittsburgh, Prentice-Hall International, Inc., 1997.
4. Peraturan Pembebanan Indonesia 1987.
5. Pedoman Perencanaan Bangunan Baja Indonesia, 1987.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sepenuhnya dibiayai oleh Dana Rutin Universitas Andalas tahun Anggaran 2001/2001, oleh karena itu penulis mengucapkan Terima Kasih kepada seluruh pihak yang terkait, baik langsung maupun tidak langsung.