

PENGARUH *CROSS-BRACE* PADA BAGIAN UJUNG STRUKTUR RANGKA BATANG (*TRUSS*) GERBANG TOL SEMARANG-BATANG TERHADAP PERIODE NATURAL, LENDUTAN, DAN BERAT SENDIRI STRUKTUR

Kusdiman Joko Priyanto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta
kusdiman.joko@lecture.utp.ac.id

Erik Wahyu Pradana

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
erikwpradana@staff.uns.ac.id

Abstrak

Berdasarkan data Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), hingga tahun 2020 terdapat terdapat 472 gerbang tol dalam 57 ruas jalan tol (dengan panjang total 1961.91 km) yang telah terbangun dan beroperasi di Indonesia. Secara umum sistem struktur yang digunakan pada gerbang tol berupa portal baja dengan rangka atap menggunakan sistem rangka batang (*truss*). Standar desain menetapkan bahwa struktur gerbang tol harus memenuhi kondisi batas kekuatan (*strength*) dan layan (*serviceability*). Pada kondisi batas kekuatan (*strength*), struktur harus didesain mampu mendukung kombinasi beban rencana. Sedangkan pada kondisi batas layan (*serviceability*), struktur harus didesain agar lendutannya lebih kecil dibanding lendutan izin. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh penggunaan *cross-brace* pada bagian ujung struktur rangka batang terhadap lendutan struktur, periode natural struktur, dan berat sendiri struktur. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil studi kasus pada struktur gerbang tol pada ruas jalan tol Semarang-Batang dengan panjang bentang 31 m. Berdasarkan model numerik yang dikembangkan, disimpulkan bahwa penggunaan *cross-brace* dapat menurunkan periode natural dan lendutan di tengah bentang struktur berturut-turut sebesar 0,002 s/d 0,091 detik dan 0,9 s/d 1,5 mm. Namun demikian, penggunaan *cross-brace* meningkatkan berat sendiri struktur sebesar 0,247 s/d 3,755 ton. Lebih lanjut, profil HB 100.100.6.8 merupakan profil baja yang paling efektif digunakan sebagai *cross-brace* pada studi kasus ini, dibuktikan dengan nilai rasio penurunan lendutan dan peningkatan berat sendiri struktur yang paling besar di antara profil lainnya.

Kata kunci: rangka batang, *cross-brace*, lendutan

Abstract

Based on the Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) data, until 2020 there are 472 toll gates in 57 toll roads (with a total length of 1961.91 km) that have been built and operated in Indonesia. In general, the steel frame structural system used for the toll gates with a truss system used for the roof structure. Design standards mentioned that the toll gate structure should comply the strength and service limit states. In the strength limit states, the structure must be design to be able to resist the design load combination . While in the service limit states, the structure must be designed so that the deflection is smaller than allowable deflection. This research will study the effect of *cross-brace* at the end of the truss structure on the deflection, structural natural period, and self weight of the structure. This research was conducted by taking a case study on the toll gate structure on the Semarang-Batang toll road with a length of 31 m. Based on the developed numerical model, it was concluded that the use of a *cross-brace* can reduce the natural period and deflection in the middle of the structure span by 0.002 to 0.091 seconds and 0.9 to 1.5 mm, respectively. However, the use of *cross-brace* increases the structural self weight by 0.247 to 3.755 tons. Furthermore, HB 100.100.6.8 is the most effective steel profile to be

used as a cross-brace in this case study, as evidenced by *the value* of the reduction in deflection and weight gain ratio of the structure is the largest among other profiles.

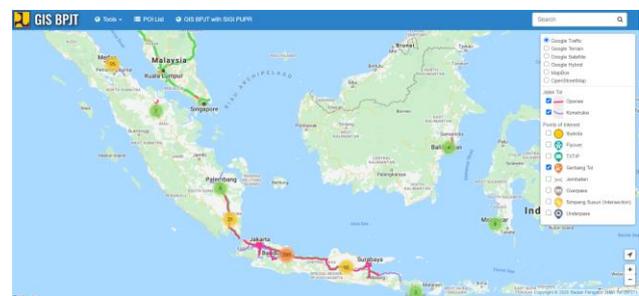
Keywords: truss, cross-brace, deflection

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan tol merupakan salah satu proyek strategis nasional. Secara umum menurut Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) pembangunan infrastruktur jalan tol bertujuan untuk: (1) memperlancar lalu lintas pada daerah yang telah berkembang, (2) meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi, (3) meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan, dan (4) meringankan beban dana pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan.

Infrastruktur jalan tol untuk pertama kalinya beroperasi di Indonesia pada tahun 1978 melalui jalan tol Jagorawi. Jalan tol ini memiliki panjang total 59 km (termasuk jalan akses) dan menghubungkan Jakarta, Bogor, dan Ciawi. Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia terus berlanjut hingga pada periode 1995-1997 pemerintah melakukan upaya percepatan pembangunan jalan tol. Pada rentang tahun tersebut direncanakan akan dibangun infrastruktur jalan tol sepanjang 762 km. Namun demikian upaya ini harus tertunda akibat krisis moneter. Akibatnya, ruas jalan tol di Indonesia hanya bertambah 13,30 km pada rentang tahun 1997-2001. Pada tahun 2005 pemerintah membentuk Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) yang berperan sebagai regulator jalan tol di Indonesia dan menjadi salah satu upaya pemerintah dalam mempercepat pembangunan jalan tol yang sempat tertunda akibat krisis

moneter. Hal ini terbukti telah membuahkan hasil dimana berdasarkan data Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) hingga tahun 2020 terdapat 57 ruas jalan tol (dengan panjang total 1961.91 km) yang telah terbangun dan beroperasi di Indonesia. Menurut data GIS BPJT hingga tahun 2020 terdapat 472 gerbang tol dalam ruas jalan tol tersebut (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Jumlah gerbang tol pada ruas jalan tol yang telah terbangun dan beroperasi di Indonesia (sumber: GIS BPJT, 2020)

Secara umum sistem struktur yang digunakan pada gerbang tol berupa portal baja dengan rangka atap menggunakan sistem rangka batang (*truss*). Mengingat pembangunan infrastruktur jalan tol yang masih terus berjalan dan berkembang maka kebutuhan gerbang tol juga akan terus meningkat. Untuk itu struktur gerbang tol harus didesain dengan baik agar diperoleh hasil desain yang memenuhi standar desain yang berlaku serta ekonomis. Pada standar desain, ditetapkan bahwa struktur gerbang tol harus memenuhi kondisi batas kekuatan (*strength*) dan layan (*serviceability*). Pada kondisi batas kekuatan (*strength*), setiap elemen struktur baja harus didesain untuk mampu mendukung beban-beban rencana.

Sedangkan pada kondisi batas layan (*serviceability*), struktur harus didesain agar lendutannya lebih kecil dibanding lendutan izin. Jika kondisi batas layan (*serviceability*) belum terpenuhi, ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi lendutan struktur seperti memperbesar dimensi profil baja yang digunakan, menambahkan pengaku (*bracing*) untuk meningkatkan kekakuan struktur, mengubah geometri struktur, dll.

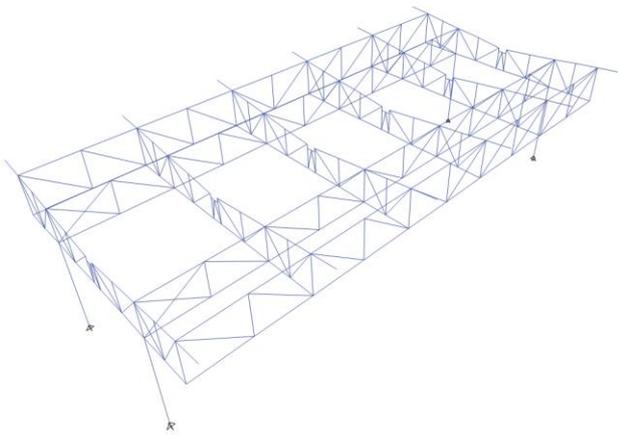
Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh penggunaan *cross-brace* pada bagian ujung struktur rangka batang dalam mengurangi lendutan struktur. Selain itu juga akan diteliti pengaruh penggunaan *cross-brace* pada bagian ujung struktur rangka batang terhadap lendutan struktur, periode natural struktur, dan berat sendiri struktur. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil studi kasus pada struktur gerbang tol pada ruas jalan tol Semarang-Batang berupa struktur portal baja dan rangka batang (*truss*) dengan bentang 31 m. Terdapat 8 variasi profil baja tipe HB yang digunakan sebagai *cross-brace* pada penelitian ini (lihat Tabel 1). Selanjutnya dikembangkan dua model numerik yaitu struktur gerbang tol tanpa *cross-brace* dan dengan *cross-brace* untuk mengetahui periode natural struktur, lendutan struktur di tengah bentang, dan berat sendiri struktur pada kedua model numerik tersebut.

Beberapa penelitian mengenai optimasi struktur rangka batang (*truss*) telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Chouhan et al., (2017) melakukan penelitian mengenai optimasi

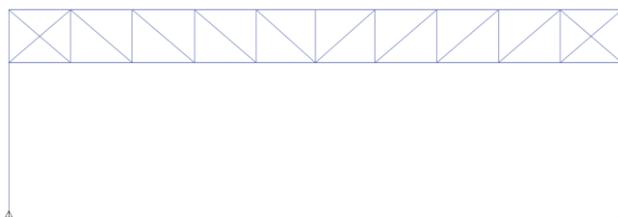
konfigurasi struktur rangka batang baja sebagai efisiensi struktur. Penelitian tersebut dikerjakan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak STAAD.Pro dan ETABS. Cazacu & Grama, (2014) melakukan penelitian mengenai optimasi struktur rangka batang menggunakan algoritma genetik dan FEA (*Finite Element Analysis*). Penelitian tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB. Krajewski & Iwicki (2015) melakukan penelitian mengenai analisis pengaruh kekakuan *bracing* terhadap stabilitas struktur rangka batang (*truss*). Penelitian ini menggunakan struktur *truss* atap yang diskalakan 1/4. Selanjutnya kapasitas beban maksimum yang mampu ditahan oleh struktur rangka batang yang diperoleh dari hasil analisis struktur secara numerik dibandingkan dengan persyaratan Eurocode 3. Arifi et al. (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh konfigurasi rangka dan optimasi profil terhadap kinerja pada struktur jembatan rangka baja. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh optimasi profil dan berbagai konfigurasi jembatan rangka baja terhadap kinerja jembatan. Pada penelitian ini terdapat empat tipe jembatan tipikal yaitu *warren truss*, *pratt truss*, *howe truss*, dan *K-truss*. Disimpulkan bahwa konfigurasi struktur *truss* 4 memberikan nilai lendutan terkecil, yaitu 2,556 mm, sedangkan tipe Pratt memberikan nilai lendutan terbesar, yaitu 3,632 mm.

II. SISTEM STRUKTUR RANGKA BATANG (TRUSS)

Sistem struktur yang digunakan pada gerbang tol Semarang-Batang berupa struktur portal baja satu lantai. Sistem struktur tersebut terdiri dari kolom yang menggunakan profil baja tipe KC (*King Cross*) dan rangka atap berupa rangka batang (*truss*) yang menggunakan profil baja tipe HB dan UNP. Sistem struktur gerbang tol eksisting dalam perspektif 3D dan 2D berturut-turut disajikan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Desain struktur gerbang tol eksisting dalam perspektif 3D



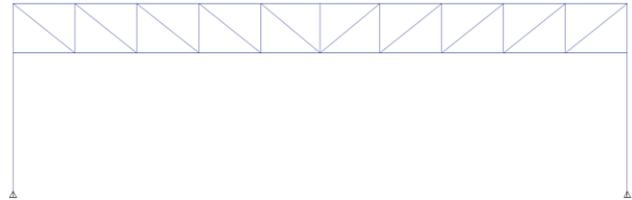
Gambar 3. Desain struktur gerbang tol eksisting dalam perspektif 2D

Material baja yang digunakan pada sistem struktur gerbang tol Semarang-Batang memiliki tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa dengan tegangan ultimit, $f_u = 370$ MPa. Beban rencana yang dipertimbangkan dalam desain meliputi berat sendiri struktur, beban mati tambahan, beban hidup, beban angin, dan beban gempa.

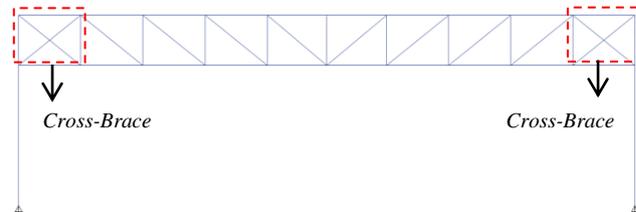
III. METODE PENELITIAN

A. Pemodelan Struktur

Pada penelitian ini dikembangkan dua model numerik yaitu struktur gerbang tol tanpa *cross-brace* dan dengan *cross-brace*. Model struktur tersebut dalam perspektif 2D berturut-turut disajikan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Model struktur tanpa *cross-brace*



Gambar 5. Model struktur dengan *cross-brace*

B. Variasi Profil Baja Pada Cross-Brace

Pada model struktur gerbang tol dengan *cross-brace* digunakan 8 variasi profil baja tipe HB (lihat Tabel 1). dikembangkan dua model numerik yaitu struktur gerbang tol tanpa *cross-brace* dan dengan *cross-brace* untuk mengetahui periode natural struktur, lendutan struktur di tengah bentang, dan berat sendiri struktur pada kedua model numerik tersebut.

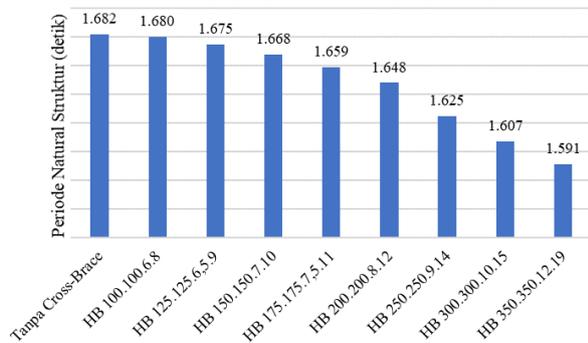
Tabel 1. Variasi profil baja tipe HB yang digunakan sebagai *cross-brace*

Tipe Struktur	Jenis Profil <i>Cross-Brace</i>
1	Tanpa <i>Cross-Brace</i>
2	HB 100.100.6.8
3	HB 125.125.6,5.9
4	HB 150.150.7.10
5	HB 175.175.7,5.11
6	HB 200.200.8.12
7	HB 250.250.9.14
8	HB 300.300.10.15
9	HB 350.350.12.19

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Periode Natural Struktur

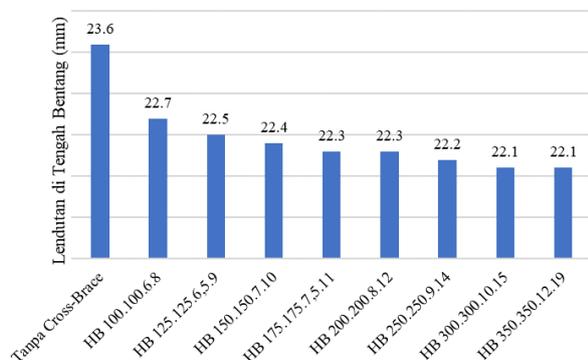
Pengaruh penggunaan *cross-brace* pada ujung struktur rangka batang (*truss*) terhadap periode natural struktur disajikan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 terlihat bahwa penggunaan *cross-brace* dapat menurunkan periode natural struktur. Artinya, penggunaan *cross-brace* dapat meningkatkan kekakuan global struktur. Sebagai contoh, penggunaan *cross-brace* HB 100.100.6.8 dapat menurunkan periode struktur 0,002 detik.



Gambar 6. Pengaruh *cross-brace* terhadap periode natural struktur

B. Lendutan di Tengah Bentang

Pengaruh penggunaan *cross-brace* pada ujung struktur rangka batang (*truss*) terhadap lendutan di tengah bentang struktur disajikan pada Gambar 7.



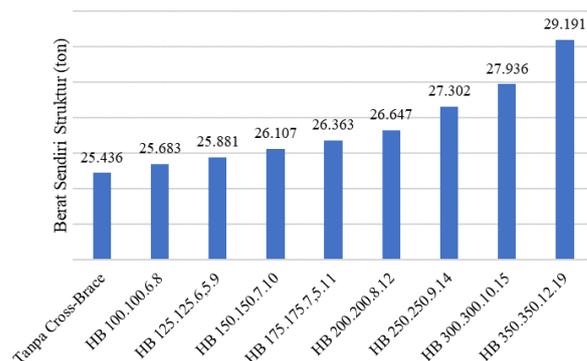
Gambar 7. Pengaruh *cross-brace* terhadap lendutan di tengah bentang struktur

Pada Gambar 7 terlihat bahwa penggunaan *cross-brace* dapat menurunkan lendutan di tengah bentang struktur. Hal ini disebabkan oleh kekakuan struktur yang meningkat akibat penggunaan *cross-brace* sehingga dapat mengurangi lendutan struktur di tengah bentang. Sebagai contoh, penggunaan *cross-brace* HB 100.100.6.8 dapat menurunkan lendutan di tengah bentang 0,9 mm.

Lendutan izin pada struktur rangka batang (*truss*) dengan bentang 31 m ditetapkan sebesar L/480 yaitu 27,083 mm. Dengan demikian, lendutan di tengah bentang struktur rangka batang (*truss*) dengan atau tanpa *cross-brace*, semuanya bernilai kurang dari lendutan izin sehingga memenuhi kondisi batas layan.

C. Berat Sendiri Struktur

Pengaruh penggunaan *cross-brace* pada ujung struktur rangka batang (*truss*) terhadap berat sendiri struktur disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh *cross-brace* terhadap berat sendiri struktur

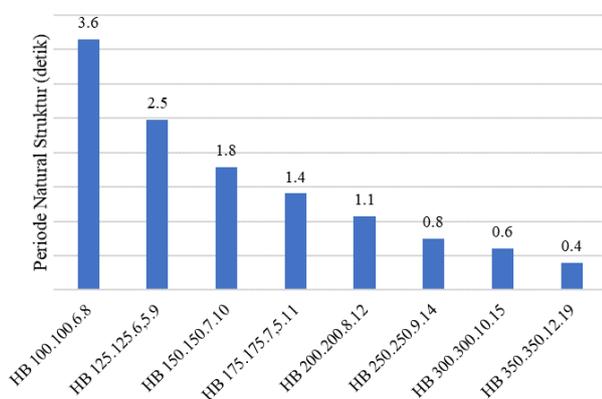
Pada Gambar 8 terlihat bahwa penggunaan *cross-brace* meningkatkan berat sendiri struktur. Hal ini dapat dipahami karena penggunaan *cross-brace* melibatkan penambahan elemen

baru pada struktur rangka batang (*truss*) sehingga akan meningkatkan berat sendiri struktur. Sebagai contoh, penggunaan *cross-brace* HB 100.100.6.8 dapat meningkatkan berat sendiri struktur 0,247 ton.

D. Rasio Lendutan-Berat Sendiri Struktur

Untuk mengetahui profil baja yang paling efektif digunakan sebagai *cross-brace* maka digunakan parameter rasio penurunan lendutan di tengah bentang struktur dan peningkatan berat sendiri struktur. Semakin besar nilai rasio tersebut artinya penggunaan profil baja yang dimaksud pada *cross-brace* dapat menurunkan lendutan di tengah bentang struktur namun peningkatan berat strukturnya bernilai kecil.

Pada Gambar 9 terlihat bahwa penggunaan profil HB 100.100.6.8 pada *cross-brace* memiliki rasio penurunan lendutan di tengah bentang struktur dan peningkatan berat sendiri struktur paling besar dibandingkan dengan profil lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa profil HB 100.100.6.8 merupakan profil baja yang paling efektif digunakan sebagai *cross-brace* pada studi kasus ini.



Gambar 9. Pengaruh *cross-brace* terhadap rasio penurunan lendutan di tengah bentang struktur dan peningkatan berat sendiri struktur

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *cross-brace* mengakibatkan penurunan periode natural struktur sebesar 0,002 s/d 0,091 detik
2. Penggunaan *cross-brace* mengakibatkan penurunan lendutan di tengah bentang sebesar 0,9 s/d 1,5 mm
3. Penggunaan *cross-brace* mengakibatkan peningkatan berat sendiri struktur sebesar 0,247 s/d 3,755 ton
4. Profil HB 100.100.6.8 merupakan profil baja yang paling efektif digunakan sebagai *cross-brace* pada studi kasus ini, dibuktikan dengan nilai rasio penurunan lendutan dan peningkatan berat sendiri struktur yang paling besar di antara profil lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifi, E., Hidayat, M. T., & Grahadika, H. E. (2016). Pengaruh Konfigurasi Rangka dan Optimasi Profil Terhadap Kinerja Pada Struktur Jembatan Rangka Baja. *Rekayasa Sipil*, 10(3), 187–193. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2016.010.02.03>
- Cazacu, R., & Grama, L. (2014). Steel Truss Optimization Using Genetic Algorithms and FEA. *Procedia Technology*, 12, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.496>
- Chouhan, S., Sharma, R., & Gupta, A. (2017). Optimization of steel truss configuration for structural efficiency using STAAD. Pro and ETABS. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 6(09), 1–11.
- Krajewski, M., & Iwicki, P. (2015). Analysis of brace stiffness influence on stability of the

truss. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 20(1), 97–108.
<https://doi.org/10.1515/ijame-2015-0007>