

EVALUASI KINERJA STRUKTUR ATAS JEMBATAN SARDJITO 1 DENGAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS*

Kurniawan Mega Mahardika¹, Suharyatma² dan Astriana Hardawati³

¹ PT Tripatra Engineering, Yogyakarta Engineering Center, Yogyakarta
Email: kurniawanmegamahardikaa@gmail.com

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam
Indonesia

Email: 865110201@uii.ac.id

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam
Indonesia

Email: 165111301@uii.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is a region that is very vulnerable to earthquake disasters. The earthquake can cause damage to existing infrastructure, one of which is bridge structure. There are many types of bridges in Indonesia, the common types are truss. Truss bridge had started before 1945 and has continued until now so that many bridges have reached their design life (Bina Marga, 2009). Therefore, it is necessary to evaluate the seismic performance to determine the performance level of the existing bridge structure. The evaluation in this research was carried out on the structure of the Sardjito 1 Bridge located in Yogyakarta. The construction of the bridge was carried out in 1984. In this research, the analysis was carried out in a non-linear way using the pushover analysis method. In this method, the bridge will be given a lateral load in the form of an earthquake load at a predetermined reference point. The load will be increased continuously until the bridge structure collapses. So, it can be seen the level of structure performance that refers to the ATC-40 standard according to the capacity curve that occurs. The results are as follow, the maximum total drift of a pushover in the X direction is 0.00095 and Y direction is 0.010. The two maximum values of total drift indicate that the structure belongs to Immediate Occupancy performance level. This means that the bridge structure can withstand earthquake loads that occur so that the structure can be concluded to be safe.

Keywords: *Pushover analysis, steel bridge, structure performance evaluation.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah negara dengan kondisi topografis yang sangat beragam pada setiap daerah di dalamnya. Kondisi topografis tersebut menyebabkan daerah-daerah di Indonesia banyak terpisahkan oleh sungai maupun laut. Oleh karena itu, diperlukan sebuah bangunan konstruksi yaitu jembatan sebagai sarana penghubung antar kedua daerah tersebut. Pada pelaksanaannya

terdapat beberapa tipe jembatan yang lazim digunakan. Beberapa tipe jembatan tersebut diantaranya adalah jembatan gantung, jembatan beton bertulang, jembatan rangka baja, jembatan *cable stayed*, jembatan beton prategang, dan jembatan pelengkung (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Wilayah Indonesia termasuk kedalam wilayah yang sangat berpotensi terhadap gempa bumi karena terletak pada 3 lempeng utama yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik (Rachmadani, 2019). Potensi gempa bumi

yang besar tersebut mendasari sebuah struktur jembatan direncanakan dapat menahan beban gempa yang terjadi, sehingga jembatan tidak mengalami keruntuhan.

Jembatan rangka baja merupakan jenis jembatan yang banyak digunakan di wilayah Indonesia. Penggunaan jembatan rangka sudah dimulai sebelum tahun 1945 dan berlanjut hingga saat ini, sehingga banyak struktur jembatan yang telah melebihi umur rencana dan belum dilakukan penggantian karena keterbatasan dana (Bina Marga, 2009). Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kinerja seismik agar keruntuhan jembatan akibat beban gempa dapat diminimalisasi.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengevaluasi sebuah struktur jembatan tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *pushover analysis*. Pada metode ini jembatan akan diberikan beban lateral dalam hal ini beban gempa pada suatu titik acuan yang sudah ditentukan sebelumnya pada struktur jembatan. Beban tersebut nantinya akan ditingkatkan secara terus menerus dengan faktor pengali sampai struktur tersebut mengalami keruntuhan atau *collapse* (Istiono dan Propika, 2017). Selain itu, dari pembebanan *pushover* tersebut dapat diperoleh informasi mengenai tingkat kinerja struktur serta bagian-bagian jembatan dengan kondisi kritis. Bagian-bagian jembatan yang mengalami kondisi kritis inilah yang nantinya akan dilakukan penangangan ataupun pemeliharaan berlanjut agar struktur jembatan masih dapat mampu menahan beban. Setelah dilakukan pembebanan, didapatkan juga kurva kapasitas yang terjadi pada struktur jembatan yang dianalisis. Kurva kapasitas tersebut nantinya akan digunakan dalam menentukan level kinerja struktur jembatan sesuai pedoman ATC-40. Penelitian ini berfokus pada analisis jembatan dengan tipe rangka baja bentang tunggal. Studi kasus yang diambil adalah pada Jembatan Sardjito 1, yang berlokasi di Jalan Prof. Dr. Sardjito, Cokrodiningratan, Kecamatan Jetis,

Yogyakarta. Jembatan tersebut dibangun pada tahun 1984 dan pernah terkena dampak dari gempa yang terjadi di kota Yogyakarta pada tahun 2006. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap kondisi struktur jembatan agar terhindar dari keruntuhan.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan adalah mengetahui perilaku struktur atas Jembatan Sardjito 1 apabila dilakukan analisis non linier menggunakan metode *pushover analysis*, dan mengetahui tingkat kinerja struktur atas Jembatan Sardjito 1.

Penelitian ini dilakukan pada struktur atas Jembatan Sardjito 1 dengan menggunakan metode *pushover analysis*. Beban yang diperhitungkan meliputi beban mati sendiri (MS), beban mati tambahan (MA), beban pejalan kaki (TP) beban lajur "D" (TD), dan beban gempa (EQ). Pembebanan yang tersebut mengacu pada standar yang dikeluarkan oleh SNI 1725-2016, SNI 1726-2019, dan SNI 2833 2016. Sementara itu, dalam menentukan tingkat kinerja struktur digunakan standar yang dikeluarkan oleh ATC-40.

Istiono dan Propika (2017) melakukan penelitian yang berjudul Analisis Non-Linier Pada Mekanisme Keruntuhan Jembatan Rangka Baja Tipe Pratt. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme keruntuhan pada jembatan rangka baja tipe pratt. Analisa pada penelitian ini adalah dengan memodelkan jembatan rangka baja tipe pratt dengan bentang 60 meter. Lokasi titik acuan pada penelitian ini berada pada tengah bentang jembatan. Setelah lokasi titik acuan ditentukan langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *pushover* dengan mendefinisikan beban *pushover* sebagai beban nonlinier pada program SAP 2000. Pada penelitian ini didapatkan bahwa pada model jembatan rangka tipe pratt bentang tunggal terdapat beberapa elemen rangka yang lemah atau terjadi sendi plastis. Elemen lemah tersebut terjadi pada elemen batang atas yang berada di tengah bentang. Didapatkan juga

tingkat kinerja struktur dari model jembatan tersebut adalah dalam kondisi IO (*Immediate Occupancy*). Hal tersebut dapat diartikan bahwa tidak ada kerusakan pada komponen struktur sehingga struktur bisa segera digunakan. Daktilitas aktual yang terjadi pada struktur tersebut mempunyai nilai sebesar 1,34, sehingga dapat dikatakan memenuhi persyaratan SNI 2833-2008.

Istiono dan Susanti (2019), melakukan penelitian yang berjudul Pola Keruntuhan Jembatan Rangka Menerus Tipe Warren. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola keruntuhan pada jembatan rangka menerus tipe warren. Pada penelitian ini jembatan dimodelkan dengan 3 bentang dimana 2 bentang dengan panjang 30 meter dan 1 bentang dengan panjang 60 meter. Titik acuan pada penelitian ini ditentukan berada pada tengah bentang setiap model jembatan. Analisis dimulai dengan mendefinisikan beban *pushover* sebagai beban nonlinier pada program SAP 2000. Dalam penelitian ini juga dilakukan perhitungan target *displacement* guna mengetahui tingkat kinerja struktur. Pada penelitian ini didapatkan bahwa elemen lemah jembatan rangka menerus terdapat pada elemen diagonal portal akhir pada 2 perletakan yang berada di tengah. Setelah dilakukan analisis, didapatkan informasi bahwa tingkat kinerja struktur berada pada kondisi IO (*Immediate Occupancy*) yang dapat diartikan tidak ada kerusakan pada komponen struktur jembatan. Daktilitas aktual yang terjadi pada struktur tersebut mempunyai nilai sebesar 1,04, sehingga dapat dikatakan memenuhi persyaratan SNI 2833-2008.

Sementara itu, Abdul Rochim (2019), melakukan penelitian yang berjudul Analisa Tidak Linier Mekanisme Keruntuhan Jembatan Busur Rangka Baja (*A-Half Trough Arch*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme keruntuhan pada jembatan busur rangka baja (*A-half trough arch*). Pada penelitian ini jembatan dimodelkan dengan tipe *A-half trough arch*

dengan bentang 100 meter. Jembatan tersebut didesain sesuai dengan gempa kota Surabaya, Jawa Timur. Pada penelitian ini, dek jembatan direncanakan sebagai diafragma (*rigid*). Beban seismik lateral dihitung dengan menggunakan faktor reduksi dan diaplikasikan pada pusat diafragma jembatan atau pada tengah bentang. Setelah dilakukan analisis, didapatkan bahwa terdapat beberapa elemen rangka yang akan dan dapat mengalami kerusakan pada setiap step pembebanan. Setelah diketahui elemen yang akan dan dapat mengalami kerusakan tersebut, maka dapat diambil beberapa penanganan khusus pada saat perancangan. Daktilitas aktual yang terjadi pada struktur jembatan tersebut berada diangka 2,4. Sementara itu, untuk level dari kinerja struktur jembatan diketahui memiliki level IO (*Immediate Occupancy*). Level tersebut menandakan bahwa tidak adanya kerusakan pada komponen struktur jembatan.

LANDASAN TEORI

Beban Mati Sendiri (MS)

Beban mati sendiri atau berat sendiri merupakan berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap (SNI 1725-2016). Beban mati sendiri ini sangat dipengaruhi oleh berat volume dari tiap material yang digunakan pada struktur jembatan. Oleh karena itu, dalam perhitungan beban mati sendiri, berat elemen struktur perlu dikalikan dengan berat volume dari jenis material yang digunakan pada elemen tersebut.

Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan beban yang dihasilkan akibat berat seluruh bahan pada elemen non struktural. Beban mati tambahan ini dapat berubah-ubah dari tahun ke tahun tergantung pada kondisi jembatan eksisting.

Contoh dari beban mati ini terjadi akibat adanya pekerjaan perkerasan pada badan jalan. Sama seperti dalam perhitungan beban mati sendiri, berat bahan pada beban mati tambahan perlu dikalikan dengan berat volume dari jenis material yang digunakan.

Beban Pejalan Kaki (TP)

Beban pejalan kaki merupakan sebuah pola beban hidup yang dihasilkan oleh aktivitas pejalan kaki. Beban ini nantinya direncanakan akan terjadi di trotoar yang terdapat pada tiap sisi jembatan. SNI 1725-2016 menentukan bahwa semua komponen trotoar yang mempunyai lebar lebih dari 0,6 meter harus direncanakan mampu memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa.

Beban Lajur “D”

Dalam beban lajur “D” ini terdiri atas 2 pembebanan. Pembebanan tersebut adalah beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Beban lajur “D” ini nantinya akan bekerja pada seluruh badan jalan dan menimbulkan suatu pengaruh kepada struktur jembatan yang ekuivalen terhadap iring-iringan kendaraan (SNI 1725-2016). Skema pembebanan pada beban lajur “D” dapat dilihat pada Gambar 1.

Beban Terbagi Rata (BTR)

SNI 1725-2019 menyatakan bahwa intensitas beban terbagi rata dapat diketahui dengan persamaan 1 dan 2 berikut.

1. Jika panjang pembebanan (L) ≤ 30 m.

$$q = 9,0 \text{ kPa} \tag{1}$$

2. Jika panjang pembebanan (L) > 30 m.

$$q = 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \tag{2}$$

dengan,

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa),

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter).

Beban Garis Terpusat (BGT)

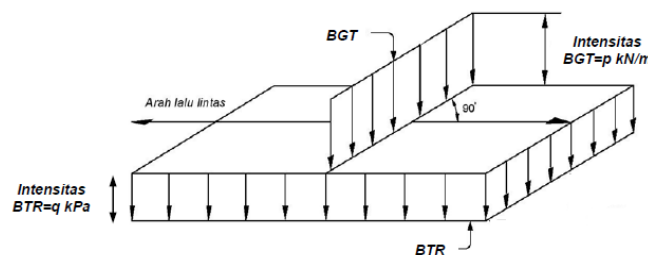
Beban garis terpusat merupakan sebuah beban yang mempunyai intensitas sebesar p kN/m. Menurut SNI 1725-2016 intensitas p pada beban garis terpusat (BGT) tersebut sebesar 49,0 kN/m. Beban tersebut ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan.

Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis merupakan sebuah faktor beban yang terjadi akibat hasil dari interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan struktur jembatan. Faktor beban dinamis ini digunakan dalam perhitungan beban terbagi merata (BTR). Besar dari faktor beban dinamis ini sangat bergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan yang biasanya bernilai antara 2 Hz - 5 Hz (SNI 1725-2016).

Beban Gempa (EQ)

Pada penelitian ini beban gempa yang diperhitungkan adalah beban gempa statik. Beban gempa statik tersebut dianggap sebagai beban lateral yang akan bekerja pada struktur jembatan pada saat analisis-non liner dengan *pushover analysis*.



Gambar 1. Skema pembebanan pada beban lajur “D”

Perhitungan beban gempa statik mengacu pada persamaan 3 yang dikeluarkan oleh SNI 2833-2016 berikut.

$$EQ = W_t \times \frac{C_{SM}}{R_d} \quad (3)$$

dengan,

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN),

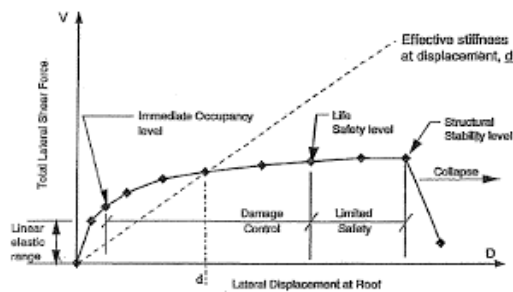
C_{sm} = koefisien respons gempa elastis,

R_d = faktor modifikasi respons, dan

W_t = berat total struktur (kN).

Tingkat Kinerja Struktur Menurut ATC-40

Terdapat beberapa tingkatan kinerja sesuai dengan ATC-40 yang dapat dilihat pada kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tingkat kinerja menurut ATC-40

Mekanisme Terjadinya Sendi Plastis

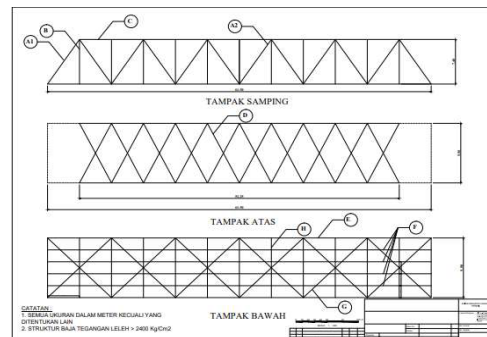
Sendi plastis merupakan sebuah bentuk ketidakmampuan dari elemen struktur dalam menahan gaya dalam yang terjadi (Reza, 2006). Terbentuknya sendi plastis tersebut perlu dikendalikan agar tidak terjadi keruntuhan pada struktur yang ditinjau pada saat terjadi gempa besar. Pada analisis non-linier dengan program aplikasi SAP 2000 ini, sendi plastis akan secara otomatis terjadi pada struktur yang ditinjau. Sendi-sendi plastis yang terjadi tersebut memiliki simbol warna yang menyatakan tingkat kerusakan struktur yang terjadi. Wahyuni dan Tethool (2015) dalam Istiono (2016) menjelaskan terkait tingkat kerusakan struktur yang terjadi akibat terbentuknya sendi plastis

pada aplikasi SAP 2000 dalam bentuk Tabel 1.

METODOLOGI PENELITIAN

Data Struktur

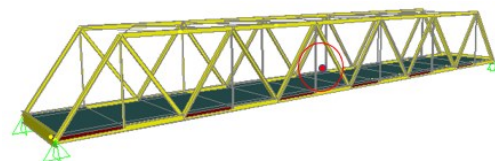
Dalam pelaksanaannya penelitian ini menggunakan data sekunder. Data tersebut diperoleh melalui media atau perantara berupa buku, catatan atau penelitian yang telah dilakukan di objek penelitian yang akan ditinjau. Berdasarkan Muluk (2021) gambar kerja dari struktur Jembatan Sardjito 1 dapat dilihat pada Gambar 3. Sementara itu untuk data mutu baja yang digunakan mengacu pada Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 03/SE/M/2016 dengan nilai $f_y = 250$ MPa dan $f_u = 360$ MPa.



Gambar 3. Gambar kerja struktur

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *pushover analysis*. Pada metode tersebut, jembatan akan diberikan beban lateral statik pada suatu titik acuan yang berada pada titik berat struktur dan dapat dilihat pada Gambar 4. Beban tersebut akan ditingkatkan secara terus menerus hingga struktur jembatan mengalami keruntuhan atau *collapse*.



Gambar 4. Titik berat struktur

Tabel 1. Tingkat kerusakan struktur akibat terjadinya sendi plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan structural.
IO	●	Tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya terdapat kerusakan kecil pada komponen non struktur. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan tetap dapat berfungsi.
LS	●	Terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan.
CP	●	Terjadi keruntuhan parah pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen non struktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh.
C	●	Batas maksimum struktur dalam menahan gaya gempa.
D	●	Struktur tidak mampu menahan gaya gempa tetapi masih mampu menahan gaya gravitasi.
E	●	Struktur sudah hancur (<i>collapse</i>).

Analisis non linier metode *pushover analysis* pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah berikut.

1. Mendefinisikan *load case* gravitasi dan *pushover*

Beban gravitasi merupakan beban-beban yang bekerja pada struktur jembatan dengan arah beban sejajar dengan arah gravitasi. Beban *pushover* merupakan beban dorong yang nantinya akan ditingkatkan secara terus menerus sampai struktur jembatan mengalami keruntuhan. Beban dorong yang digunakan pada penelitian ini berupa beban gempa statik yang telah dilakukan perhitungan sebelumnya. Beban *pushover* didefinisikan terjadi pada 2 arah yaitu arah x dan arah y.

2. Mendefinisikan sendi plastis

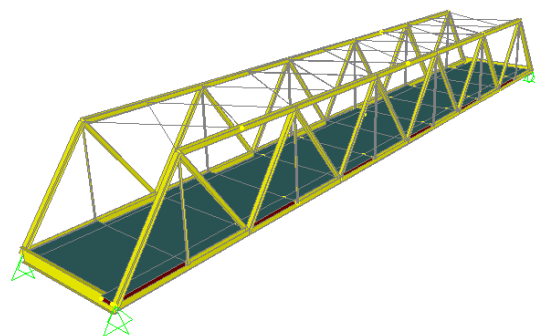
Pendefinisian sendi plastis pada penelitian ini menggunakan bantuan program aplikasi SAP 2000 yaitu pada menu *hinge properties* yang mengacu pada FEMA 356.

3. *Running Analysis*

Tahapan akhir adalah proses *running*. Pada proses ini *load cases* yang bekerja pada stuktur adalah modal, beban gravitasi, beban *push* arah X, dan beban *push* arah Y.

Permodelan Struktur

Pada penelitian ini, pemodelan dilakukan menggunakan SAP 2000 dan mengacu dari Tavio dan Wijaya (2018). Hasil dari permodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Permodelan struktur Jembatan Sardjito 1

Perhitungan Beban

1. Beban Mati Sendiri

Beban mati sendiri terhitung secara otomatis menggunakan program aplikasi SAP 2000. Beban mati sendiri pada penelitian ini didapatkan sebesar 5370,234 kN.

2. Beban Mati Tambahan

Perhitungan beban mati tambahan akibat perkerasan jalan dan akibat trotoar didapatkan dari hasil perkalian antara tebal dengan berat jenis material tersebut. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Beban mati tambahan akibat perkerasan jalan

Uraian	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban (kN/m ²)
Genangan Air	0,05	10	0,50
Aspal	0,05	22	1,10
Total Beban Mati			1,60

Tabel 3 Beban mati tambahan akibat trotoar

Uraian	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban (kN/m ²)
Trotoar	0,16	24	19,68
Genangan Air	0,05	10	0,50
Total Beban Mati			20,18

3. Beban Pejalan Kaki (TP)

Menurut SNI 1725-2016 untuk jembatan dengan lebar trotoar lebih dari 600 mm direncanakan memikul beban pejalan kaki dengan intensitas sebesar 5 kPa. Sehingga dapat dilakukan perhitungan beban pejalan kaki untuk tiap segmennya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 TP &= 5 \times \text{lebar segmen} \times \text{lebar trotoar} \\
 &= 5 \times 5,125 \times 1 \\
 &= 25,625 \text{ kN/m.}
 \end{aligned}$$

4. Beban Lajur “D” (TD)

Pada perhitungan beban lajur “D” ini perlu dikalikan faktor beban sebesar 70%. Hal tersebut dikarenakan Jembatan Sardjito 1 termasuk kedalam kelas pembebanan tipe B. Selain itu, perhitungan dilakukan per-segmen jembatan dengan besar segmen sebesar 5,125 meter.

Beban Terbagi Rata (BTR)

$$\begin{aligned}
 BTR &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \times 5,125 \times 70\% \\
 &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{61,5}\right) \times 5,125 \times 70\% \\
 &= 24,019 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FBD &= 1 + \left(\frac{37,125}{100}\right) \\
 &= 1,370
 \end{aligned}$$

Beban Garis Terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
 BGT &= 1,37 \times 49 \times 5,125 \times 70\% \\
 &= 241,049 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Beban Gempa Statik

Besarnya beban gempa statik pada penelitian ini didapatkan sebagai berikut.

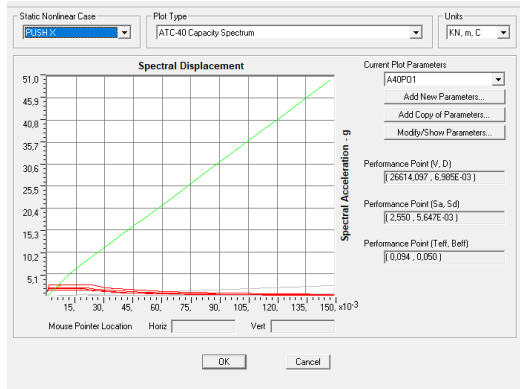
$$\begin{aligned}
 EQ &= \frac{C_{SM}}{S} \times W_t \\
 &= \frac{0,816}{0,8} \times 5264,935 \\
 &= 5370,234 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

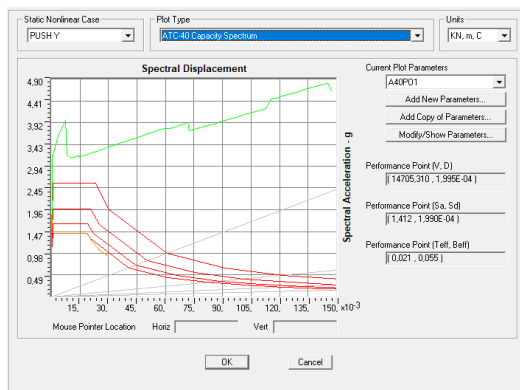
Kurva Kapasitas

Setelah dilakukan proses *running* maka didapatkan kurva kapasitas yang terjadi. Kurva kapasitas tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam menentukan level kinerja struktur yang mengacu pada metode yang dikeluarkan oleh ATC-40.

Kurva kapasitas arah X dan arah Y dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Kurva kapasitas arah X



Gambar 7 Kurva kapasitas arah Y

Dari grafik tersebut maka dapat diketahui nilai gaya geser dasar (V), *displacement*, S_a , S_d , waktu getar alami efektif (T_{eff}), dan redaman viskous efektif yang dapat dilihat pada Tabel 4. Dari nilai tersebut, dapat dilakukan perhitungan *drift ratio* struktur guna menentukan level kinerja struktur.

Diketahui tinggi struktur adalah 7,4 meter sehingga perhitungan *drift ratio* menjadi sebagai berikut:

1. *Drift Ratio* Arah X

$$\text{Drift Ratio Arah X} = \frac{0,006985}{1,67} = 0,00418$$
2. *Drift Ratio* Arah Y

$$\text{Drift Ratio Arah Y} = \frac{0,000195}{1,67} = 0,00012$$

Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai *drift ratio* kurang dari nilai *maximum total drift* sebesar 0,01 untuk kedua arah X dan Y. Dari nilai tersebut dapat diketahui level kinerja struktur jembatan adalah *Immediate Occupancy*. Pada level ini, bila terjadi gempa struktur tidak mengalami kerusakan yang berarti dan tidak beresiko menyebabkan adanya korban jiwa, sehingga bangunan dapat dikatakan aman dan dapat digunakan.

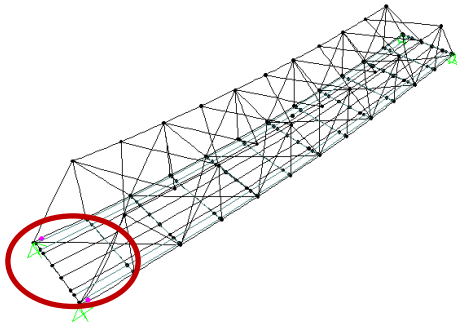
Mekanisme Terjadinya Sendi Plastis

Pushover Arah X

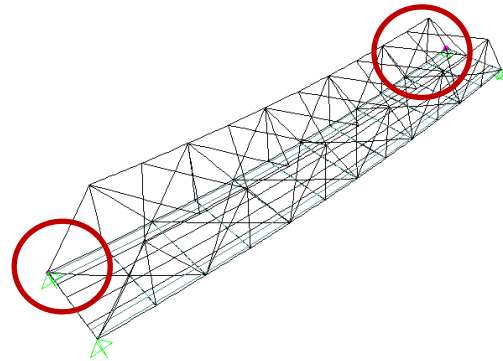
Pada arah X diketahui sendi plastis terjadi pada kedua gelagar memanjang tepi yang terletak pada perletakan sendi pada step kedua. Selanjutnya, pada saat pembebanan masuk ke langkah atau step 8 elemen akan *collapse* atau runtuh. Terjadinya sendi plastis pada struktur jembatan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Tabel 4. *Performance point* hasil analisis *pushover*

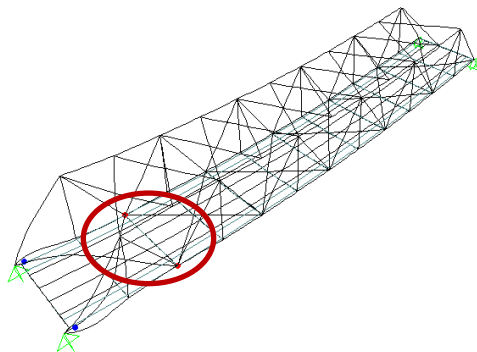
Arah Beban	V (KN)	δ (m)	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
Arah X	26614,097	0,006985	2,550	0,005647	0,094	0,005
Arah Y	14705,301	0,0001995	1,412	0,00019	0,021	0,055



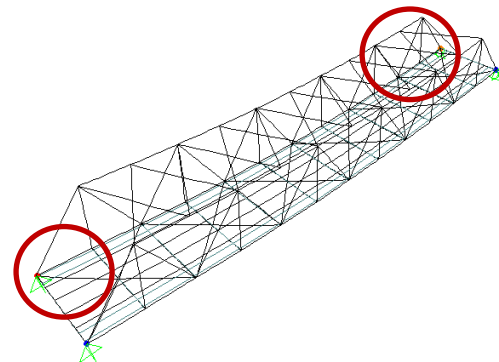
Gambar 8. Sendi plastis *step 2*



Gambar 10. Sendi plastis *step 1*



Gambar 9. Sendi plastis *step 8*



Gambar 11. Sendi plastis *step 9*

Pada step 2 terlihat warna merah muda keunguan yang menunjukkan telah terjadi leleh pertama. Selanjutnya pada step 8 terlihat warna merah yang artinya sudah runtuh.

Pushover Arah Y

Pada arah Y diketahui sendi plastis terjadi pada kedua gelagar memanjang tepi yang terletak pada perletakan sendi pada step pertama. Selanjutnya, pada saat pembebanan masuk ke langkah atau step 9 elemen akan *collapse* atau runtuh. Terjadinya sendi plastis pada struktur jembatan dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan evaluasi terhadap kinerja struktur atas Jembatan Sardjito 1, Yogyakarta, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada struktur jembatan yang ditinjau diperoleh kondisi sebagai berikut.
 - a. Sendi plastis terjadi pertama kali terjadi pada saat step pembebanan 2 dan mengalami keruntuhan pada step 8. Nilai maksimum *total drift ratio* didapatkan sebesar 0,00418.
 - b. Sendi plastis terjadi pertama kali terjadi pada saat step pembebanan 1 dan mengalami keruntuhan pada step 9. Nilai maksimum *total drift ratio* didapatkan sebesar 0,00012.
2. Level kinerja Struktur Jembatan Sardjito berdasarkan metode ATC-40 adalah *Immediate Occupancy*

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). "SNI 1725 2016 Pembebanan untuk Jembatan". Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). "SNI 2833 2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa". Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). "RSNI T 03 2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan". Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). "SNI 1726 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung". Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- California Seismic Safety Commission. (1996). "Applied Technology Council. Seismin Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Report ATC-40". California Seismic Safety Commission. California.
- Istiono, H. (2016). "Mekanisme Keruntuhan pada Jembatan Rangka Baja". Tesis, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Istiono, H. dan Propika, J. (2017). "Analisa Non-Linier pada Mekanisme Keruntuhan Jembatan Rangka Baja Tipe Pratt". Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil. Volume 1 No 2 Desember 2017.
- Istiono, H. dan Susanti, E. (2019). "Pola Keruntuhan Jembatan Rangka Menerus Tipe Waren". Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil. Volume 3 No 2 Desember 2019.
- Muluk, Ahmad. (2021). "Analisis Rating Factor Jembatan Sardjito 1 dengan Menggunakan SNI 1725-2016". Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Rachmadani, A dan Masagala, A.A. (2019). "Evaluasi Struktur Atas Jembatan Gantung Karangsembung Kebumen dengan Metode Pushover Analysis". Jurnal TeknoSAINS Seri Teknik Sipil 2019.
- Reza, S. F. dkk (2016). "Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier". Jom FTEKNIK Volume 3 No 1 Februari 2016.
- Rochim, A dkk. (2019). "Analisa Tidak Linier Mekanisme Keruntuhan Jembatan Busur Rangka Baja (A-Half Through Arch)". Jurnal Aplikasi Teknik Sipil. Volume 17 No 1 Februari 2019.
- Supriyadi, B dan Muntohar, A. (2007). "Jembatan". Penerbit Beta Offsset. Yogyakarta.
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor SE-03/M/2016. (2016). "Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting". Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. Jakarta.
- Tavio dan Wijaya, U. (2018), "Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)". Penerbit Andi. Yogyakarta.