

## ASSESSMENT KEKUATAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN PONDOK TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS*

<sup>\*)</sup>Bayu Noer Fauzi<sup>1</sup>, Dian Arumningsih DP.<sup>1</sup>, Reki Arbianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

<sup>\*)</sup>Email: [bayunoerf.156@gmail.com](mailto:bayunoerf.156@gmail.com)

### ABSTRACT

*Pondok Bridge has received the effects of weather loads, repeated loads also the witness Yogyakarta's seismic 2006. An evaluation is needed to minimize the occurrence of collapse due to the influence of the seismic. The writer used Pushover Analysis method and referred to SNI 1725-2016, SNI 1726-2019, SNI 2833-2016. The data is Pondok Bridge which located on the Pondok-Parangjoro, Pondok, Grogol, Sukoharjo. The purpose of the study is to reveal: 1) the analysis of the Pondok Bridge upper structure's safety condition with latest load regulations, 2) determine Pondok Bridge upper structure's behavior when non-linear analysis is performed utilizing Pushover Analysis method, 3) determine the performance of Pondok Bridge's upper structure. The results show that 1) based on the output SAP design aspect ratio, namely blue, which indicates safe, 2) In step 2's X direction, there are 4 plastic hinge points categorized as B to IO; in step 27's X direction, there are 6 plastic hinges categorized as E, There are 16 plastic hinges categorized as C to D in step 26 and 4 plastic hinge points categorized as B to IO in step 6's Y direction, 3) based on the ATC-40 standard, indicating the maximum total drift ratio in the X direction and Y direction pushover analysis results  $\leq 0.01$  so that it is included in the Immediate Occupancy (IO) performance level. Therefore, it can be concluded that Pondok Bridge's upper structure is safe, and the risk of structural failure can be disregarded which can continually function as transportation support.*

**Keyword:** Assessment, Pondok Bridge, Pushover Analysis.

### ABSTRAK

Sejalan dengan umur bangunan Jembatan Pondok yang telah menerima dampak beban cuaca, beban berulang dan juga menjadi saksi peristiwa gempa wilayah Yogyakarta pada tahun 2006. Maka diperlukan evaluasi agar dapat meminimalisir terjadinya keruntuhan akibat pengaruh gempa. Metode yang digunakan adalah *Pushover Analysis* dan mengacu pada SNI 1725-2016, SNI 1726-2019, SNI 2833-2016. Data yang digunakan adalah Jembatan Pondok yang terletak pada Ruas Jalan Pondok-Parangjoro, Kelurahan Pondok, Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo. Penelitian ini bertujuan untuk 1) menunjukkan kondisi keamanan struktur atas Jembatan Pondok dengan peraturan pembebanan terbaru, 2) mengetahui perilaku struktur atas Jembatan Pondok apabila dilakukan analisis *non-linier* dengan metode *Pushover Analysis*, 3) mengetahui tingkat kinerja struktur atas pada Jembatan Pondok. Hasilnya menunjukkan bahwa 1) berdasarkan segi aspek *output design ratio* pada SAP berwarna biru yang berarti aman, 2) perilaku struktur atas Jembatan Pondok menunjukkan pada arah X langkah 2 terdapat 4 titik sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai B hingga IO; pada langkah 27 terdapat 6 sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai E dan Pada arah Y langkah 6 terdapat 4 titik sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai B hingga IO; pada langkah 26 terdapat 16 sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai C hingga D, 3) berdasarkan standar ATC-40, menunjukkan maksimum total *drift ratio* pada analisis *pushover* arah X dan arah Y hasilnya  $\leq 0,01$  sehingga termasuk pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Jadi, dapat disimpulkan struktur atas Jembatan Pondok dapat dikatakan aman dalam menahan beban gempa yang terjadi dan resiko kegagalan strukturalnya dapat diabaikan sehingga dapat segera di fungsikan kembali sebagai penunjang transportasi.

**Kata kunci:** Assessment, Jembatan Pondok, Pushover Analysis.

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan prasarana transportasi darat seperti jembatan di Indonesia menjadi kebutuhan primer untuk para pengguna jalan, karena pada umumnya suatu konstruksi jembatan berfungsi untuk menghubungkan dua bagian ruas jalan yang terputus karena adanya rintangan. Rintangan tersebut dapat berupa saluran irigasi, jalan kereta api, jalan raya dan lain-lain. Pengaruh adanya jembatan memberikan dampak pemerataan perekonomian, sosial, kebudayaan, pembangunan dan pertahanan sehingga mewujudkan ter-integrasinya suatu wilayah ke wilayah lain dengan jarak yang strategis.

Seperti halnya jembatan pondok merupakan jembatan yang berada pada ruas Jalan Pondok-Parangjoro, Kecamatan Nguter, Kabupaten Sukoharjo. Jembatan ini menjadi jalur alternatif karena menjadi penghubung area Pondok dengan wilayah Langenharjo, Baki dan Solo Baru. Ditinjau dari pengamatan yang telah dilakukan, Jembatan Pondok memiliki kekurangan yaitu memiliki perkerasan jalan yang sudah tidak terawat, timbulnya rongga pada *section-section* pelat beton, arus lalu lintas yang melintasi jembatan tersebut semakin bertambah padat, dari berbagai macam kendaraan berbobot ringan sampai berat. Akibat cuaca, beban berulang, dan beban semakin bertambah, sehingga menyebabkan kinerja daya dukung jembatan mengalami penurunan.

Kondisi usia jembatan yang sudah terbilang lama dan juga telah menjadi saksi peristiwa gempa wilayah Yogyakarta pada tahun 2006 sehingga akan ada dampak yang timbul. Maka diperlukan evaluasi infrastruktur jembatan yang membentangi aliran Sungai Bengawan Solo tersebut, agar dapat meminimalisir terjadinya keruntuhan jembatan akibat pengaruh gempa.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

### Struktur atas jembatan

Menurut Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2022), bangunan atas jembatan (*upperstructure*) adalah bagian dari struktur jembatan yang berfungsi untuk memikul langsung beban lalu lintas serta melimpahkannya ke bangunan bawah melalui struktur perletakan. Bagian-bagian bangunan atas terdiri dari diantaranya adalah gelagar utama (rangka, balok, *masif, box, girder*), gelagar memanjang, ikatan angin, sandaran, lantai jembatan, dan *expansion joint*.

### Pembebanan

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan besar kecilnya beban yang bekerja pada struktur diatur oleh aturan yang berlaku pada pembebanan (Setiawan, 2008). Pembebanan jembatan dalam penelitian ini diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Beban Permanen
  - a. Berat Sendiri ( $M_S$ )

Berdasarkan SNI 1725-2016:13-14, Berat sendiri adalah berat bagian dan elemen struktur lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini berat material dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktur, ditambah elemen struktur lainnya, non struktur dianggap tetap.
  - b. Beban Mati Tambahan ( $M_A$ )

Menurut SNI 1725-2016:14, Beban mati tambahan merupakan berat semua komponen non-struktural yang membentuk beban jembatan disebut beban mati berlebih dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Penetapan nilai tambah faktor beban mati yang menyimpang dari ketentuan SNI 1725:2016, dapat digunakan dengan izin dari otoritas yang berwenang
2. Beban Lalu Lintas
  - a. Beban Lajur "D" (TD)

Secara umum beban "D" digunakan untuk perhitungan gelagar. Sesuai dengan SNI 1725-2016 beban lajur "D" memiliki susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi merata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT).
  - b. Beban Pejalan Kaki (TP)

Menurut SNI 1725-2016:146, semua elemen dari trotoar dengan lebar lebih dari 0,6 meter yang menopang langsung pejalan kaki, maka direncanakan beban nominal 5 kPa dan dianggap beroperasi secara bersamaan dengan beban kendaraan pada setiap lajur kendaraan
3. Beban Lingkungan
  - a. Beban Angin  
Menurut SNI 1725-2016:55, beban angin disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) antara 90 dan 126 km/jam dan terdistribusi merata di seluruh bangunan atas yang terekspose angin.
  - b. Beban Gempa  
Pengaruh gempa ditentukan dalam 2 jenis perhitungan beban gempa, yaitu beban gempa dinamik dan beban gempa statik. Beban gempa dinamik didapat dengan mencari *respons spectrum* pada lokasi jembatan yang terkait sesuai dengan SNI 1726-2019, dan digunakan pada analisis linier. Beban gempa statik mengacu pada SNI 2833-2016 dan SNI 1726-2019, digunakan pada saat analisis *non-linier* dengan metode *pushover analysis*. Berikut adalah dasar perhitungan dalam penentuan beban gempa dinamik dalam wujud respon spektrum serta perhitungan beban gempa statik.

### Pushover analysis

Hasil *pushover analysis* dapat membantu menyederhanakan model struktur karena dapat lebih efisien yang lebih tinggi saat melakukan evaluasi *seismic* dan desain *retrofit* dari struktur rangka (Lai & Sung, 2008). Analisis dinamis adalah jenis analisis terbaik dan paling akurat untuk evaluasi struktural yang akurat, namun memakan waktu. Sehingga cara menyingkatnya yaitu dengan analisis *pushover* tradisional atau adaptif (Rooshenas, 2020).

Metode analisis *pushover* (ATC-40, 1996) merupakan salah satu komponen *performance-based seismic design* yang menjadi sarana untuk mengetahui kapasitas suatu struktur. Dasar dari metode ini adalah memberikan pola beban statik kedalam arah *lateral* yang besarnya ditingkatkan secara *incremental* sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dari hasil analisis diketahui gaya maksimum yang dapat ditahan oleh struktur jembatan dan informasi tentang deformasi yang terjadi pada struktur membantu untuk mengetahui elemen struktur.

### Tingkat kinerja struktur menurut ATC-40

Tingkat kinerja dari struktur dapat ditinjau setelah melakukan menunjukkan level kerusakan pada tiap elemen struktur yang terjadi akibat adanya penambahan beban. Dari level kerusakan tersebut, maka dapat dilakukan evaluasi dan pengelompokan terhadap tingkat kinerja struktur yang ditinjau. Dalam menentukan tingkat kinerja struktur tersebut ATC-40 memberikan batasan simpangan atau *drift ratio* (Mahardika, 2021). Hasil dari batasan simpangan atau *drift ratio* tersebut dapat ditentukan golongan tingkat kinerja struktur seperti yang telah dijelaskan oleh Tavio & Wijaya (2018).

### Mekanisme Terjadinya Sendi Platis

Sendi plastis merupakan kondisi ujung-ujung elemen struktur yang semula kaku atau terjepit sempurna, kemudian berubah menjadi sendi (*pinned*) akibat terjadinya penurunan kemampuan elemen struktur dalam menahan beban-beban yang bekerja (Nuraga et al., 2022).

Analisis *non-linier* dengan metode *pushover analysis* yang dilakukan mengakibatkan terjadinya sendi plastis pada elemen-elemen struktural pada jembatan. Terbentuknya sendi plastis tersebut perlu dikendalikan agar tidak terjadi keruntuhan pada struktur yang ditinjau pada saat terjadi gempa besar (Mahardika, 2021).

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada Jembatan Pondok pada Ruas Jalan Pondok-Parangjoro, Kelurahan Pondok, Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah

Adapun letak koordinat lokasi dan detail wilayah lokasi penelitian diantaranya yaitu :

Lintang : 7° 37' 22" S  
 Bujur : 110° 48' 27" E  
 Arah Timur : Wilayah Desa Pondok  
 Arah Barat : Wilayah Desa Langenharjo



Sumber: Google, earth, 2023

**Gambar 1.** Peta lokasi Jembatan Pondok

### Data penelitian

Data umum penelitian Jembatan Pondok adalah sebagai berikut :

1. Nama Jembatan : Jembatan Pondok
2. Lokasi : Kel. Pondok, Kec. Grogol, Kab. Sukoharjo.
3. Tipe Bangunan Atas : Rangka Baja Australia (RBA) tipe Warren
4. Kelas Jalan : Kelas A
5. Sungai : Sungai Bengawan Solo
6. Tipe Jalan : Dua-lajur dua-arah tak terbagi (2/2 UD)
7. Jumlah Pilar : 4
8. Jumlah Bentang : 5 bentang
9. Panjang Jembatan : 240 m
10. Lebar Jembatan : 9 m
11. Tinggi Jembatan : 6 m

**Data struktur atas jembatan****Tabel 1.** Rekapitulasi data profil baja jembatan

Rekapitulasi Data Profil Baja Jembatan					
Elemen	Profil	d mm	bf mm	tw mm	tf
Baja Profil					
Rangka Diagonal	<i>H-Steel</i>	316	301,8	12,2	18,5
<i>Top Chord</i>	<i>H-Steel</i>	316	301,8	12,2	18,5
<i>Bottom Chord</i>	<i>H-Steel</i>	316	301,8	12,2	18,5
<i>Stringer</i>	<i>I/WF</i>	450	154,5	12,3	13,6
Diafragma	<i>I/WF</i>	1000	222,8	11,2	19,4
<i>Top Bracing 1</i>	<i>H-Steel</i>	175	175	7,5	11
<i>Top Bracing 2</i>	<i>UNP</i>	150	75	6,5	10
<i>Top Bracing 3</i>	<i>L</i>	150	150		12

Sumber: Perhitungan Pribadi, 2023

**Tabel 2.** Rekapitulasi data dimensi jembatan

Rekapitulasi Data Dimensi Jembatan			
Elemen	tebal mm	lebar mm	berat jenis kg/m <sup>3</sup>
Beton			
Plat Lantai	200	9000	2400
Trotoar	300	1000	2725
Perkerasan Jalan			
Aspal + <i>overlay</i>	185	7000	2250

Sumber: Perhitungan Pribadi, 2023

**Data Uji Sondir**

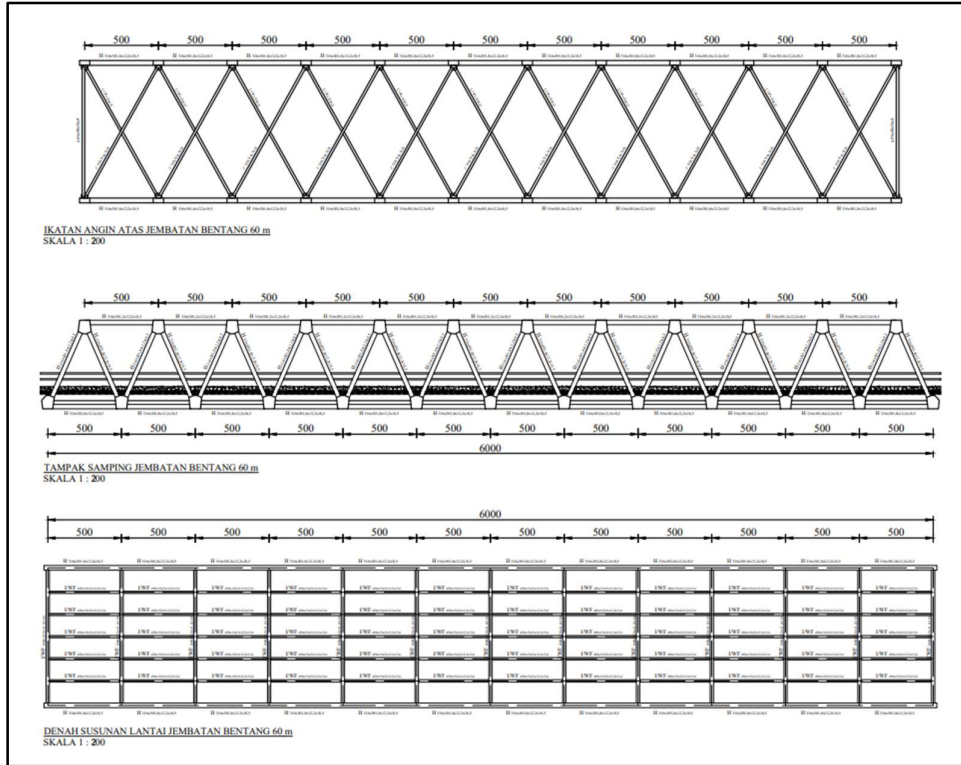
Berdasarkan hasil 3 titik pengujian sondir instansi terkait di lokasi penelitian didapatkan nilai SPT (*Soil Penetration Test*) Nilai rata-rata :

$$\bar{N}_{\text{titik 1}} = 5,114$$

$$\bar{N}_{\text{titik 2}} = 9,181$$

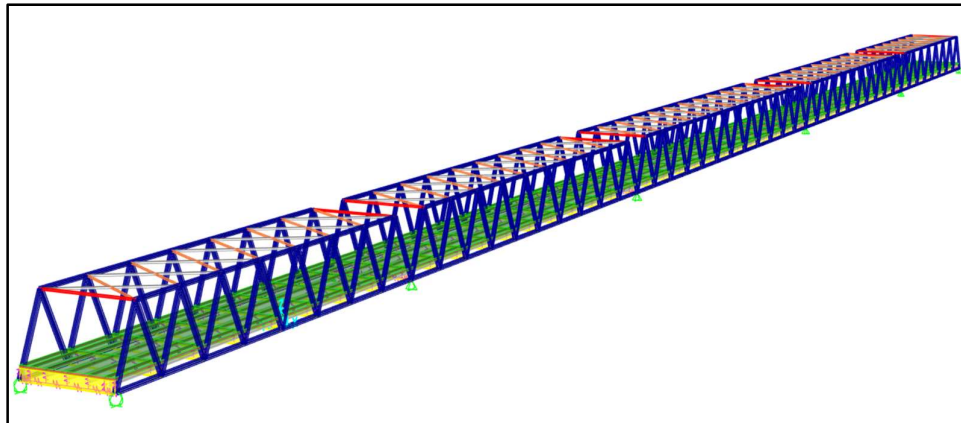
$$\bar{N}_{\text{titik 3}} = 11,001$$

Klarifikasi kelas situs tanah terbaca (<15) yang masuk kedalam kelas situs SE (tanah lunak)



Sumber: Autocad pribadi, 2023

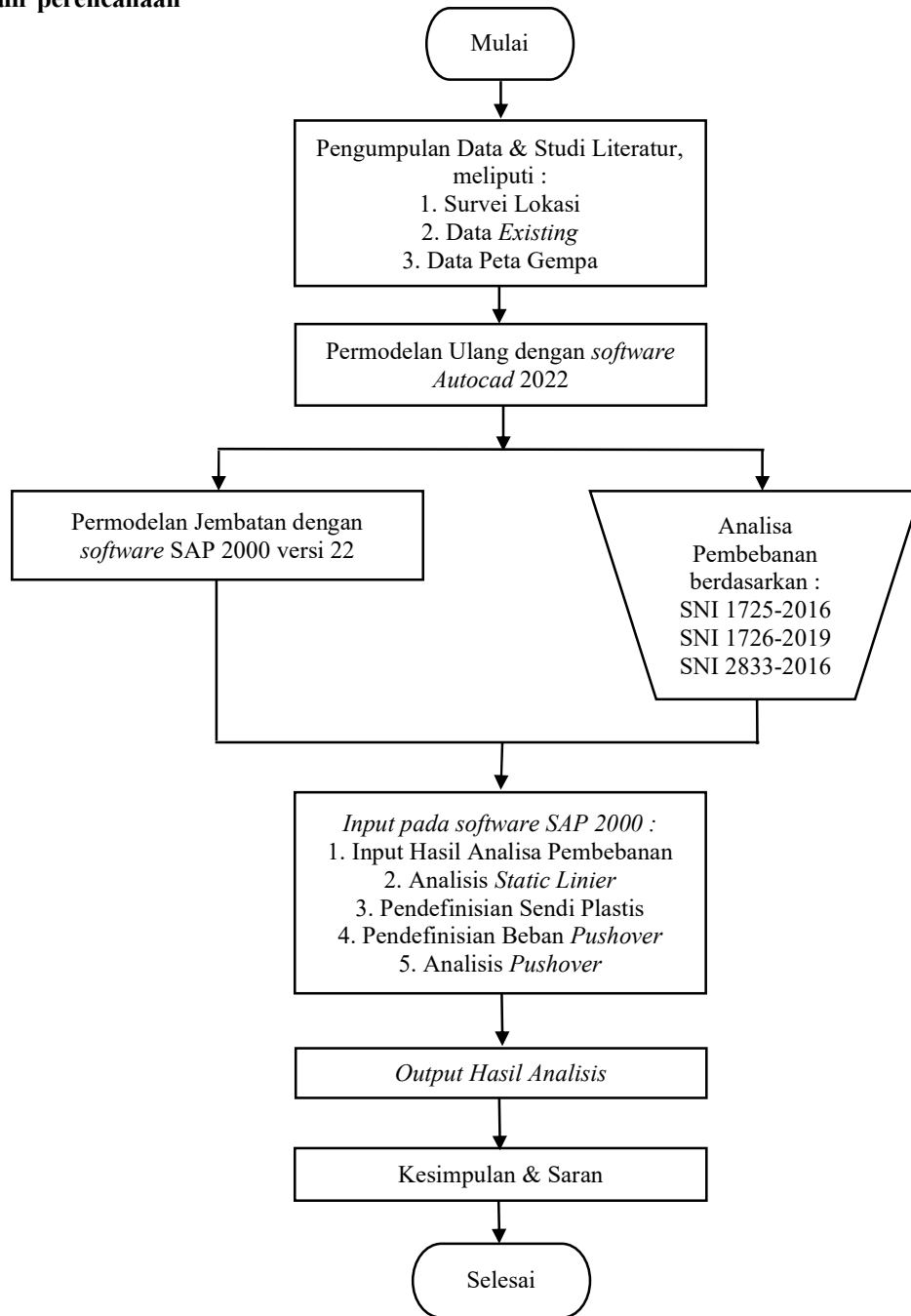
**Gambar 2.** Denah tampak jembatan bentang 60 m



Sumber: SAP 2000 v.22 pribadi, 2023

**Gambar 3.** Pemodelan SAP 2000 v.22

### Diagram alir perencanaan



Gambar 4. Diagram alir perencanaan

## 4. HASIL PEMBAHASAN

### Analisis pembebanan

#### Pembebanan beban permanen

##### 1. Beban Permanen

###### a. Berat Sendiri ( $M_s$ )

Pada perhitungan beban mati sendiri ini dapat dilakukan secara otomatis dibantu menggunakan program *CSI: SAP 2000 v.22*.

b. Beban Mati Tambahan akibat Perkerasan Jalan		
Lapisan Aspal + <i>Overlay</i>	$= 0,185 \times 22,5$	$= 4,1625 \text{ kN/m}^2$
Genangan Air	$= 0,05 \times 10$	$= 0,5 \text{ kN/m}^2$
<hr/>		
	$M_A \text{ Perkerasan Jalan}$	$= 4,6625 \text{ kN/m}^2$
c. Beban Mati Tambahan akibat Trotoar		
Trotoar	$= 0,30 \times 27,25$	$= 8,175 \text{ kN/m}^2$
Genangan Air	$= 0,05 \times 10$	$= 0,5 \text{ kN/m}^2$
<hr/>		
	$M_A \text{ Trotoar}$	$= 8,675 \text{ kN/m}^2$

2. Beban Hidup (*Live Load*)

## a. Beban Pejalan Kaki

Diketahui struktur Jembatan Pondok mempunyai trotoar dengan lebar 1 meter disetiap sisinya. 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 :

$$\begin{aligned} \text{Beban Pejalan Kaki (TP)} &= 5 \text{ kPa} \times 1 \text{ m} \\ &= 5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## b. Beban Lajur "D" (TD)

## Beban Terbagi Rata (BTR)

Menurut SNI 1725-2016 untuk jembatan dengan panjang bentang melebihi 30 meter, maka beban terbagi rata dapat dihitung dengan uraian berikut :

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{240}\right) \\ &= 5,0625 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## Beban Garis Terpusat

Menurut SNI 1725-2016 Besarnya intensitas beban garis terpusat (BGT) adalah sebesar 49 kN/m. Intensitas beban tersebut harus terlebih dahulu dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD). Perhitungan beban garis terpusat dapat dilihat pada uraian berikut :

$$\begin{aligned} \text{Panjang Bentang Ekuivalen (L}_E) &= \sqrt{4,8 \times 60} \\ &= 16,970563 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil panjang bentang ekuivalen maka ditentukan faktor beban dinamis dari grafik SNI 1725-2016 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{FBD} &= 1 + \left(\frac{40}{100}\right) \\ &= 1,4 \end{aligned}$$

Maka nilai beban garis terpusat adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{BGT} &= 1,4 \times 49 \text{ kN} \\ &= 68,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Beban Angin (*wind load*)

Pada penelitian ini dalam penentuan beban angin mengacu pada SNI 1725-2016:55 bahwa dalam pembebanan angin jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau air, maka kecepatan angin rencana harus dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5 \times 13,2 \left(\frac{90}{90}\right) \ln \left(\frac{10000}{70}\right) \\ &= 163,74 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

## a. Beban Angin pada Struktur (EWs)

Pada penelitian ini karena tidak adanya data yang lebih tepat. Menurut SNI 1725-2016 dalam menentukan tekanan angin dasar yang pada penelitian jembatan ini memiliki komponen bangunan atas yaitu rangka baja. Sehingga nilai  $P_B$  (tekanan angin dasar) didapatkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Angin Tekan} &= 0,0024 \text{ MPa} \\ \text{Angin Hisap} &= 0,0012 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tekanan angin rencana dihitung menggunakan persamaan berikut :

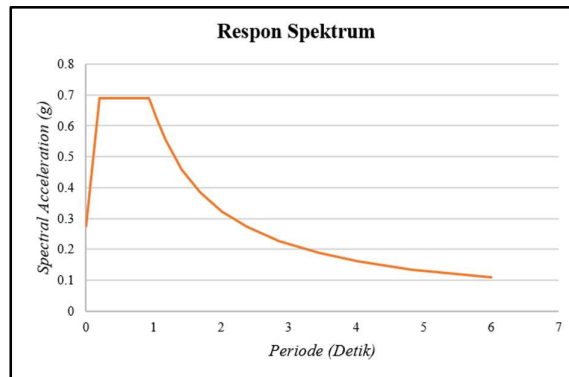
$$\begin{aligned} P_{D(\text{tekan})} &= 0,0024 \left(\frac{163,74}{90}\right)^2 \\ &= 0,00794 \text{ MPa} \\ &= 6,3552 \text{ kN/m (Tekan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{D(\text{hisap})} &= 0,0012 \left(\frac{163,74}{90}\right)^2 \\ &= 0,00397 \text{ MPa} \\ &= 3,1776 \text{ kN/m (Hisap)} \end{aligned}$$

## 4. Gempa bumi

Berdasarkan *website* <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> pada lokasi penelitian didapatkan data gempa sebagai berikut :

S <sub>s</sub> (g)	= 0,8459
S <sub>1</sub> (g)	= 0,4089
T <sub>0</sub> (detik)	= 0,19
T <sub>s</sub>	= 0,94
T <sub>L</sub>	= 20
S <sub>DS</sub> (g)	= 0,69
S <sub>DI</sub> (g)	= 0,65
Kategori desain <i>seismic</i>	= D (KDS D)
Sistem struktur	= Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
Koefisien modifikasi respon	= 4,5
Faktor kuat sistem struktur	= 3
Faktor pembesaran defleksi	= 4



Sumber: *Perhitungan Pribadi, 2023*

**Gambar 5.** Grafik respon spektrum pada lokasi perencanaan

### Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan pada pemodelan struktur atas Jembatan Pondok adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.** Kombinasi pembebanan

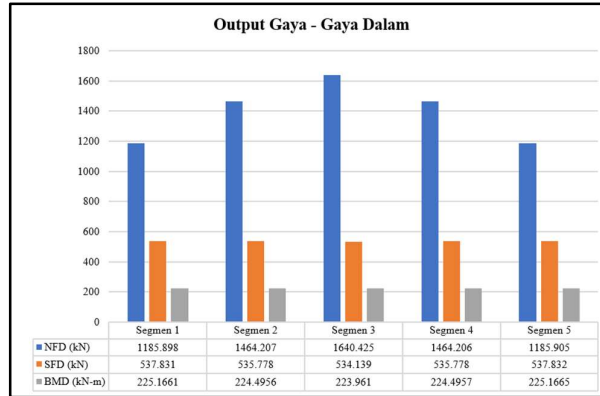
Nama Kombinasi	Kombinasi Pembebanan
Kuat 1 TD	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 1,8 TD + 1,8 TP
Kuat 2 TD	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 1,4 TD + 1,4 TP
Kuat 3	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 1,4 EWs
Kuat 4	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub>
Kuat 5	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,4 EWs
Ekstrem 1 a	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP + 1 RS <sub>x</sub> + 0,3 RS <sub>y</sub>
Ekstrem 1 b	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP + 1 RS <sub>x</sub> - 0,3 RS <sub>y</sub>
Ekstrem 1 c	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP - 1 RS <sub>x</sub> + 0,3 RS <sub>y</sub>
Ekstrem 1 d	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP - 1 RS <sub>x</sub> - 0,3 RS <sub>y</sub>
Ekstrem 1 e	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP + 1 RS <sub>y</sub> + 0,3 RS <sub>x</sub>
Ekstrem 1 f	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP + 1 RS <sub>y</sub> - 0,3 RS <sub>x</sub>
Ekstrem 1 g	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP - 1 RS <sub>y</sub> + 0,3 RS <sub>x</sub>
Ekstrem 1 h	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,3 TD + 0,3 TP - 1 RS <sub>y</sub> - 0,3 RS <sub>x</sub>
Ekstrem 2	1,1 M <sub>S</sub> + 2 M <sub>A</sub> + 0,5 TD + 0,5 TP
Daya Layan 1	1 M <sub>S</sub> + 1 M <sub>A</sub> + 1 TD + 1 TP + 0,3 EWs
Daya Layan 2	1 M <sub>S</sub> + 1 M <sub>A</sub> + 1,3 TD + 1,3 TP
Daya Layan 3	1 M <sub>S</sub> + 1 M <sub>A</sub> + 0,8 TD + 0,8 TP
Daya Layan 4	1 M <sub>S</sub> + 1 M <sub>A</sub> + 0,7 EWs

Sumber: *Perhitungan pribadi, 2023*



### Output gaya-gaya dalam

Hasil dari analisis *linier static* adalah dapat diketahuinya gaya-gaya dalam yang meliputi *Normal Force Diagram* (NFD), *Shearing Force Diagram* (SFD), dan *Bending Momen Diagram* (BMD) dengan nilainya sebagai berikut :

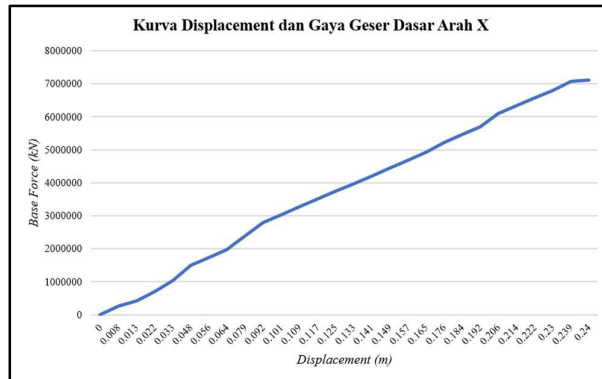


Sumber: *Perhitungan Pribadi, 2023*

**Gambar 6.** Output gaya – gaya dalam

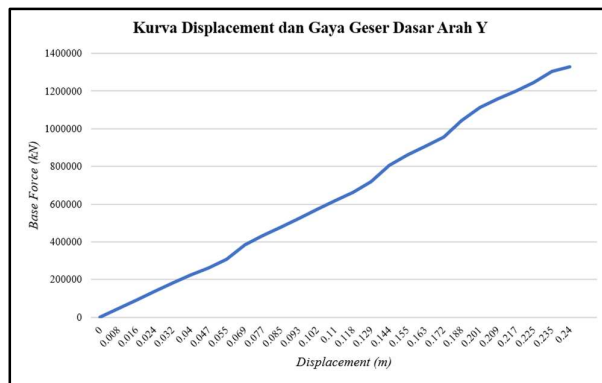
### Hasil pushover analysis

Hasil dari *pushover analysis* adalah didapatkan kurva kapasitas dan tingkat kinerja yang mengacu pada metode yang dikeluarkan oleh ATC-40. Dari kedua hasil tersebut maka dapat ditentukan level kinerja struktur. Kedua hasil itu diantaranya adalah sebagai berikut :



Sumber: *Perhitungan Pribadi, 2023*

**Gambar 7.** Kurva *displacement* dan gaya geser dasar arah X



Sumber: *Perhitungan Pribadi, 2023*

**Gambar 8.** Kurva *displacement* dan gaya geser dasar arah Y

### Titik kinerja struktur metode ATC-40

Berdasarkan kurva kapasitas arah X dan arah Y yang mengacu pada metode ATC-40, maka didapatkan nilai-nilai *performance point* dan dilakukan perhitungan *drift ratio* struktur guna menentukan level kinerja struktur. Diketahui tinggi titik berat adalah 0,9491 meter sehingga perhitungan *drift ratio* menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Drift Ratio Arah X} &= \frac{0,0002099}{0,9491} \\ &= 0,0002212 \\ \text{Drift Ratio Arah Y} &= \frac{0,000813}{0,9491} \\ &= 0,0008563 \end{aligned}$$

Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai *drift ratio* kurang dari sama dengan nilai *maximum total drift* sebesar 0,01. Dari nilai tersebut dapat diketahui level kinerja struktur jembatan adalah *Immediate Occupancy* (IO).

## 5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian terhadap kinerja struktur atas Jembatan Pondok yang terletak di Kabupaten Sukoharjo, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis struktur berdasarkan peraturan pembebanan terbaru menghasilkan gaya-gaya dalam maksimal diantaranya *bending moment diagram* (BMD) sebesar 225,166 kNm, *shearing force diagram* (SFD) sebesar 537,832 kN, dan *normal force diagram* (NFD) sebesar 1640,425 kN. Serta menurut hasil analisis berdasarkan aspek *output design ratio* yaitu berwarna biru yang berarti aman.
2. Setelah melakukan analisis *non-linier* dengan metode *pushover*, struktur atas Jembatan Pondok menunjukkan perilaku berikut:
  - a. Pada arah X di langkah 2 terdapat 4 titik sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai B hingga IO; pada langkah 27 terdapat 6 sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai E.
  - b. Pada arah Y di langkah 6 terdapat 4 titik sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai B hingga IO; pada langkah 26 terdapat 16 sendi plastis yang diklasifikasikan sebagai C hingga D.
3. Level kinerja struktur Jembatan Pondok berdasarkan metode ATC-40 berdasarkan nilai *maximum total drift* arah X dan arah Y yang didapat yaitu  $\leq 0,01$  sehingga termasuk pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), yang bermakna bahwa bangunan tersebut dapat dikatakan aman dalam gempa, risiko kegagalan struktural dapat diabaikan, sehingga dapat segera diaktifkan kembali.

## DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council. (1996). *Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40. Redwood City California, 1*, 334.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI-1725-2016. Standar Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI-2833-2016. Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI-1726-2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2022). *Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan*. Direktorat Jenderal Cipta Karya. Jakarta.
- Lai, M.-C., & Sung, Y.-C. (2008). A Study On Pushover Analysis Of Frame Structure Infilled With Low-Rise Reinforced Concrete Wall. *Journal of Mechanics*, 24(4), 437–449.
- Mahardika, K. M. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Atas Jembatan Sardjito 1 Dengan Metode Pushover Analysis*. Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia.
- Nuraga, K., Putri, D. A. P. A. G., Antriksa, K., & Ficher, J. (2022). Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 4(2), 98–105. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v4i2.3342>
- Rooshenas, A. (2020). Comparing Pushover Methods For Irregular High-Rise Structures, Partially Infilled With Masonry Panels. *Structures*, 28(December), 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.073>
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*. Erlangga. Jakarta.
- Tavio, U. W., & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Andi. Yogyakarta.