

ANALISIS STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TERHADAP BEBAN GEMPA DINAMIK DENGAN METODE NONLINIER *TIME HISTORY*

Rizal Tri Permana¹ dan Ahmad Yudi²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Intitut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Lampung, Indonesia
Permanarizal119@gmail.com

² Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Intitut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Lampung, Indonesia
Ahmad.yudi@si.itera.ac.id

Masuk: 05-06-2024, revisi: 25-06-2024, diterima untuk diterbitkan: 21-10-2024

ABSTRACT

The railway bridge is a crucial support structure at railway crossings, designed to connect land separated by rivers, ravines, and other obstacles. In bridge planning, it is essential to ensure that the structure can withstand earthquakes or other disasters to guarantee the safety and comfort of the community. Earthquake loads can cause a structure to behave non-linearly rather than linearly, making nonlinear analysis necessary. One method that can be utilized is nonlinear time history analysis, which assesses the response of the bridge structure to seismic loads. To evaluate the impact of the earthquake load on the bridge superstructure BH-537, the Dynamic Amplification Factor (DAF) can be used. The DAF value is derived from the comparison between dynamic and static analysis responses. The DAF values obtained are as follows: displacement in the x-direction (1.000 – 80.299), displacement in the y-direction (1.043 – 1.548), displacement in the z-direction (1.000 – 1.001), and internal forces (1.000 – 1.016). Based on these results, it can be concluded that the area most affected by the earthquake load is at node 37 of the bridge superstructure or the node directly connected to the cap of the pillar, with a DAF value of 80.229. This indicates that the displacement caused by the dynamic seismic load is 80 times greater than the static load on the bridge superstructure BH-537.

Keywords: Mass propotional coefficient; Stiffness propotional coefficient; Dynamic amplification factor; Nonlinear time history method

ABSTRAK

Jembatan kereta api merupakan salah satu struktur pendukung pada perlintasan perkeretaapian yang berfungsi untuk menghubungkan antara daratan yang terpisahkan oleh sungai, jurang dan lainnya. Dalam perencanaan jembatan harus direncanakan dapat menahan gempa bumi atau bencana lainnya agar menjamin keselamatan dan kenyamanan masyarakat. Beban gempa bumi dapat menyebabkan suatu struktur tidak lagi berperilaku linier melainkan berperilaku nonlinier sehingga analisis nonlinier diperlukan. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu analisis nonlinier *time history*, dimana analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui respon dari struktur atas jembatan akibat beban gempa. Untuk mengetahui pengaruh dari beban gempa terhadap struktur atas jembatan BH-537 dapat menggunakan nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF). Nilai DAF diperoleh dari perbandingan antara respon analisis dinamis dan analisis statis. Nilai DAF yang diperoleh yaitu; *displacement* arah x (1,000 – 80,299), *displacement* arah y (1,043 – 1,548), *displacement* arah z (1,000 – 1,001), dan gaya dalam (1,000 – 1,016). Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa bagian yang menerima pengaruh dari beban gempa yaitu berada pada nodal 37 struktur atas jembatan atau nodal yang terhubung langsung dengan kepala pilar, dengan nilai DAF yang diperoleh yaitu 80,229 atau nilai *displacement* yang disebabkan oleh beban dinamis gempa memiliki nilai 80 kali lebih besar dibandingkan dengan beban statis pada struktur atas jembatan BH-537.

Kata kunci: *Mass propotional coefficient; Stiffness propotional coefficient; Faktor amplifikasi dinamik; Metode nonlinier time history*

1. PENDAHULUAN

Menurut Menteri Perhubungan (2015) dalam Peraturan Menteri no 24 dikatakan bahwa bangunan hikmat (BH) merupakan prasarana perkeretaapian yang berupa struktur penunjang jalur kereta api. Jembatan kereta api merupakan salah satu dari bangunan hikmat. Jembatan kereta api berfungsi untuk menghubungkan antara daratan yang dipisahkan oleh sungai, jurang, dan yang lainnya. Jembatan BH-537 berada pada jalur kereta api aktif antara Stasiun Blitar dan Stasiun Rejotangan melintasi Sungai Brantas Kabupaten Blitar. Jembatan BH-537 terdiri dari 2 tipe jembatan, salah

satu tipe jembatan BH-537 yaitu jembatan rangka baja tipe *welded through truss* (WTT). Jembatan BH-537 dibangun pada tahun 1884 dan masih beroperasi sampai saat ini. Jembatan BH-537

Dalam buku Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia dikatakan bahwa Indonesia berada pada kawasan cincin api pasifik, dimana cincin api pasifik merupakan kawasan yang terdapat 75% gunung berapi aktif dan jalur pertemuan antar 3 lempeng sehingga kawasan tersebut rawan terjadinya gempa bumi (Pusgen, 2022).

Menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2016) dalam SNI 2833, jembatan harus direncanakan dapat menahan beban gempa, terutama yang berada pada zona gempa 3 dan 4. Jembatan BH-537 yang berada pada Kabupaten Blitar berdasarkan nilai S_{D1} dikategorikan dalam zona gempa 3. Dikarenakan jembatan BH-537 berada pada zona gempa 3 maka untuk analisis struktur atas jembatan BH-537 harus mempertimbangkan beban gempa.

Analisis linier tidak dapat digunakan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa besar, karena pada saat terjadi gempa besar telah terjadi deformasi plastis pada material struktur, sehingga struktur tidak lagi berperilaku linier melainkan berperilaku nonlinier (Abidin et al., 2018). Oleh karena itu struktur atas jembatan BH-537 dianalisis menggunakan metode nonlinier *time history* untuk mengetahui pengaruh beban gempa besar pada struktur atas jembatan BH-537.

Penelitian dilakukan dengan 2 tahapan yaitu pertama dilakukan analisis modal kemudian dilanjutkan dengan analisis nonlinier *time history*. Analisis modal dilakukan untuk mendapatkan periode natural dan frekuensi natural dan nilai partisipasi massa yang akan digunakan untuk mencari nilai α dan β , selain itu pada periode natural dan frekuensi natural dapat digunakan untuk *parameters matching*. Analisis nonlinier *time history* dilakukan untuk memperoleh respon struktur berupa nilai *displacement* dan gaya dalam akibat dari beban dinamis dan akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada analisis statis untuk mencari nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF). Nilai DAF digunakan untuk mengetahui pengaruh beban gempa terhadap struktur atas jembatan.

Analisis Modal

Menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2019) dalam SNI 1726 pasal 7.9.1.1, jumlah ragam getar alami struktur pada analisis dinamis harus mencapai nilai partisipasi massa sebesar 100%. Pengecekan nilai partisipasi massa menggunakan bantuan *software SAP2000*. Periode natural merupakan periode dari suatu struktur yang terjadi akibat dari berat struktur tersebut. Periode merupakan lamanya yang diperlukan untuk terjadinya 1 getaran dan biasanya dinyatakan dalam detik per siklus. Sedangkan untuk frekuensi merupakan banyaknya getaran atau siklus yang terjadi dalam waktu 1 detik (Kurniati et al., 2015). Analisis Modal dilakukan untuk mencari nilai periode natural dan frekuensi natural yang akan digunakan untuk mencari nilai α dan nilai β . Nilai α dan β digunakan pada analisis nonlinier *time history* sebagai *propotional damping*. Untuk mencari nilai α dan nilai β dapat menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2.

$$\alpha = \xi \times 2 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (1)$$

$$\beta = \xi \frac{2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (2)$$

dengan α = *mass propotional coefficient*, β = *stiffness propotional coefficient*, ξ = *frame welded steel* (2%), ω_1 = frekuensi sudut *mode shape* ke-1 (rad/s), dan ω_2 = frekuensi sudut *mode shape* 100% (rad/s).

Selain mencari nilai α dan nilai β , periode natural dan frekuensi natural dapat digunakan untuk mencari *parameters matching* berupa batas atas (f_1) dan batas bawah (f_2) yang akan digunakan pada analisis nonlinier *time history*. Menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2020) untuk analisis nonlinier batas bawah nilai frekuensi yang diambil yaitu frekuensi terbesar. Batas atas dapat dicari dengan menggunakan persamaan 3 dan batas bawah dapat dicari dengan menggunakan persamaan 4.

$$f_1 = \frac{1}{2 \times T_1} \quad (3)$$

$$f_2 = \frac{1}{0,2 \times T_2} \text{ atau } \frac{2}{2 \times T_{100}} \quad (4)$$

dengan f_1 = batas atas (Hz), f_2 = batas bawah (Hz), T_1 = periode natural *mode shape* ke-1 (s), T_2 = periode natural *mode shape* ke-2 (s), dan T_{100} = periode natural saat partisipasi massa 100% (s).

Nonlinier time history

Menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2019) dalam SNI 1726, analisis riwayat waktu menunjukkan kekakuan, dan daktilitas dalam menahan guncangan gempa maksimum (MCE_R). Untuk data rekaman gempa yang digunakan menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2016) dalam SNI 2833 data rekaman gempa yang digunakan berjumlah 3 data rekaman atau 7 data rekaman gempa. Untuk penggunaan 3 data rekaman gempa maka hasil yang digunakan merupakan nilai maksimum sedangkan untuk 7 data rekaman gempa hasil yang digunakan yaitu rata-rata dari ke tujuh data gempa. Analisis nonlinier *time history* dilakukan dengan bantuan *software SAP2000* dengan keluaran dari analisis nonlinier *time history* berupa nilai *displacement* dan gaya dalam yang terjadi pada struktur atas jembatan BH-537 akibat dari beban gempa.

Dynamic amplification factor (DAF)

Menurut Nadiatul et al. (2019) analisis dinamis diperlukan untuk mengetahui respon struktur jembatan untuk mengevaluasi struktur jembatan dalam menahan beban gempa. Respon dinamis dapat ditampilkan dalam bentuk *dynamic amplification factor* (DAF). Nilai DAF digunakan untuk mengetahui pengaruh beban gempa terhadap struktur atas jembatan. Nilai DAF dapat digunakan dalam mendesain struktur jembatan yang efisien dan ekonomis. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat dikatakan apabila sudah mendapatkan nilai DAF maka untuk perencanaan struktur atas jembatan dengan tipe yang sama maka hanya diperlukan analisis statis saja tanpa melakukan analisis dinamis. Hasil yang diperoleh pada analisis statis dikalikan dengan nilai DAF yang telah diperoleh sehingga menghasilkan nilai yang sama dengan hasil dari analisis dinamis. Oleh karena itu nilai DAF dapat digunakan dalam merencanakan struktur jembatan agar mendapatkan perencanaan yang efisien baik dari segi waktu dan biaya.

Nilai DAF dapat dicari dengan membandingkan hasil dari analisis dinamis dan hasil dari analisis statis. Nilai DAF dapat diperoleh dari persamaan 5.

$$DAF = \frac{D_{dyn}}{D_{stat}} \quad (5)$$

dengan DAF = *dynamic amplification factor*, D_{dyn} = hasil analisis dinamis, dan D_{stat} = hasil analisis statis.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menganalisis struktur atas jembatan BH-537 menggunakan metode nonlinier *time history* dengan bantuan *software SAP2000*. Penelitian yang dilakukan melalui 2 tahapan, tahap pertama yaitu analisis modal untuk mengetahui nilai partisipasi massa, periode natural, dan frekuensi natural yang akan digunakan untuk mencari *proportional damping* dan *parameters matching*. Tahap selanjutnya yaitu analisis nonlinier *time history* untuk mengetahui respon struktur berupa nilai *displacement* dan gaya dalam. Untuk data rekaman gempa akan disesuaikan dengan respon spektrum target yang telah di desain.

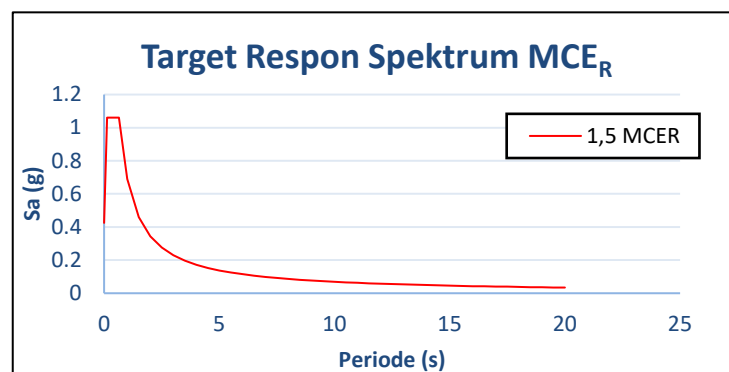
Data sekunder

- Data administrasi
 - Nama bangunan : Bangunan hikmat (BH) 537
 - Lokasi : Km 133+723 antara Stasiun Blitar dan Stasiun Rejotangan
 - Fungsi : Jembatan kereta api
 - Panjang total : 113,2 m
 - Tipe jembatan : *Welded Through Truss* (WTT)
- Material struktur jembatan
 - Mutu baja : SM490
 - Tegangan leleh (f_y) : 325 MPa
 - Tegangan ultimate (f_u) : 610 MPa
 - Mutu beton : K 300
- Dimensi struktur atas jembatan tipe WTT
 - Panjang : 41,6 m
 - Lebar : 4,6 m
 - Tinggi : 8,4 m
 - Jumlah bentang : 2
- Target respon spektrum MCE_R

Target respon spektrum dapat di *download* pada *website* lini Binamarga. Parameter respon spektrum dan target respon spektrum disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Parameter respon spektrum (Lini Binamarga, 2023)

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Kelas situs	SD (Tanah sedang)	Kelas situs	SD (Tanah sedang)
S_s	0,724	S_{m1}	0,574
S_1	0,282	T_0	0,130
F_a	1,221	T_s	0,650
F_v	2,036	T_L	20
S_{MS}	0,884		



Gambar 1. Grafik target respon spektrum MCE_R

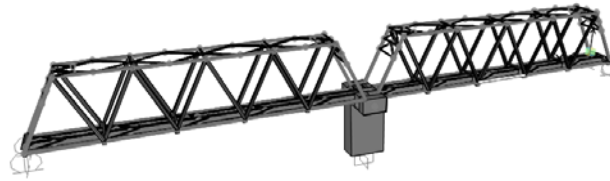
- Data rekaman gempa *time history*
Data rekaman gempa yang digunakan berjumlah tujuh data rekaman gempa yang di *download* pada *website* PEER *Ground Motion Database*. Data rekaman gempa dipilih berdasarkan besaran *magnitude* dan jarak sumber gempa. Tujuh rekaman gempa yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data rekaman gempa (PEER *ground motion database*, 2023)

No	Nama Gempa	Station	<i>Magnitude</i>	R _{rup} (Km)	Interval (s)	Periode (s)	Tahun
1	Northwest Calift-01	Ferndale city hall	5,5	53,58	0,005	39,995	1938
2	Umbria Marche	Rieti	5,6	51,58	0,005	59,995	1997
3	L'Aquila	Avezzano	5,4	51,66	0,005	85	2009
4	El Alamo	El Centro Array #9	6,8	121,7	0,005	59,995	1956
5	Iwate	AKT002	6,9	122,43	0,01	103,99	2008
6	Kern Country	LA-Hollywood	7,36	117,75	0,005	69,995	1952
7	Chi-Chi	KAU006	7,62	114,92	0,005	89,995	1999

Pemodelan struktur atas jembatan

Jembatan tipe *Welded Through Truss* (WTT) merupakan salah satu tipe jembatan rangka baja yang sudah sering digunakan pada perlintasan kereta api pada masa kolonial Belanda (Mido & Nuranita, 2023). Jembatan BH-537 dibangun pada masa kolonial Belanda yaitu pada tahun 1884 sehingga konfigurasi yang digunakan yaitu jembatan rangka tipe WTT. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan bantuan *software* SAP2000, struktur jembatan dimodelkan dengan dua bentang jembatan rangka baja tipe WTT dengan pilar di tengahnya sebagai penghubung antar rangka. Pemodelan struktur jembatan tipe WTT dapat dilihat pada Gambar 2 dan untuk profil baja yang digunakan dalam perencanaan struktur atas jembatan disajikan pada Tabel 3.



Gambar 2. Model 3D jembatan

Tabel 3. Profil baja jembatan

NO	Elemen	Tipe profil	Bentuk
1	Batang Atas	1-PL 520x9, 2-L 300x40x11x16	
	Batang Atas	1-PL 520x22, 2-L 300x40x11x16	
2	Batang Bawah	1-PL 274x9, 2-L 350x100x12x17	
	Batang Bawah	1-PL 274x14, 2-L 350x100x12x17	
	Batang Bawah	1-PL 274x21, 2-L 350x100x12x17	
3	Batang Ujung	1-PL 254x12, 2-PL 400x21, 2-PL 75x12	
4	Batang Diagonal	2- flg PL 350x12, 1- web PL 262x10	
	Batang Diagonal	2- flg PL 350x13, 1- web PL 270x9	
	Batang Diagonal	2- flg PL 350x9, 1- web PL 278x9	
	Batang Diagonal	2- flg PL 350x10, 1- web PL 276x9	
5	Balok Memanjang	2-flg PL 370x27, 1- web PL 852x11	
6	Ikatan Angin Bawah	1-T 188x178x10x8	
7	Balok Melintang	2- flg PL 440x25, 1- web PL 1050x11	
8	Ikatan Angin Atas Ujung	1-L 100x100x10	
9	Batang Atas Ujung	1-T 144x204x12x10x4	
10	Ikatan Angin Atas	1-T 144x204x12x10x4	
11	Batang Atas Tengah	1-T 144x204x12x10x4	

Pembebanan dan kombinasi pembebanan

Pembebanan yang digunakan pada analisis statis yaitu berat struktur, beban mati tambahan, dan beban hidup yang digunakan yaitu beban kereta yang didefinisikan sebagai beban merata. Sedangkan untuk analisis dinamis beban yang digunakan yaitu beban statis ditambah dengan beban gempa *time history*. Berat struktur dihitung secara otomatis dalam *software SAP2000*, Beban hidup yang digunakan diambil dari rencana muatan (RM-1921) sebesar 42,9 kN/m, dan beban mati tambahan yang digunakan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Beban mati diluar berat struktur jembatan

Material	Luas	Span (m)	B. Jenis (kg/m ³)	Jumlah	Berat (ton)	SIDL (kN/m)
Bantalan Kayu	0,053 m	2	800	70	5,914	2,579
Rel R.54	0,007 m	41,6	7850	2	4,529	
Penambat, baut dll	50 kg/m	41,6	-	1	2,080	
Walkway	200 kg/m	41,6	-	1	8,320	
Total beban mati tambahan					20,842	

Kombinasi pembebanan yang dipengaruhi gaya gempa menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2016) dalam SNI 1725, kombinasi pengaruh gaya gempa yaitu 100% gempa arah x dikombinasikan dengan 30% arah y dan 100% arah y dikombinasikan dengan 30% arah x, dengan $\gamma_{EQ} = 0,3$ sehingga apabila diaplikasikan menjadi sebuah persamaan dapat dilihat pada persamaan 6 dan persamaan 7

$$DL + \gamma_{EQ}LL \pm EQ_x \pm 0,3 EQ_y \quad (6)$$

$$DL + \gamma_{EQ}LL \pm EQ_y \pm 0,3 EQ_x \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis modal

Hasil yang didapatkan dari analisis modal yaitu nilai partisipasi massa, periode natural dan frekuensi natural. Berdasarkan hasil dari analisis modal diperoleh nilai periode natural (p_0) = 0,549671 s, nilai dari frekuensi natural (f_0) = 1,81927 Hz, dan nilai partisipasi massa mencapai 100% pada *mode shape* ke-357. Hasil yang diperoleh dari analisis modal disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis nilai *eigen*

Mode	Periode	Frekuensi		Rasio Partisipasi massa (%)		
		f(hz)	$\omega (2\pi f)$	X	Y	Z
1	0,549671	1,81927	11,43081	5,04E-10	15,827	2,72E-06
2	0,549499	1,81984	11,43439	1,46E-04	15,827	2,72E-06
357	0,005292	188,9645	1187,299	100	100	99,97

Berdasarkan analisis modal yang telah dilakukan, nilai α dan nilai β dapat dicari menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2, sehingga didapatkan nilai $\alpha = 0,45287$ dan nilai $\beta = 0,0000334$. Selain mencari nilai α dan nilai β hasil dari analisis nilai *eigen* juga bisa digunakan untuk mencari nilai batas atas (f_1) dan batas bawah (f_2) dengan menggunakan persamaan 3 dan persamaan 4, sehingga didapatkan untuk batas atas (f_1) = 0,910 Hz dan batas bawah (f_2) = 188,964 Hz. Dimana nilai α dan nilai β akan digunakan sebagai *proportional damping*, sedangkan untuk batas atas (f_1) dan batas bawah (f_2) akan digunakan sebagai *parameters matching* antara respon spektrum dengan data gempa *time history*.

Analisis nonlinier *time history*

Hasil yang diperoleh dari analisis nonlinier *time history* yaitu respon struktur atas jembatan berupa *displacement* dan gaya dalam. Hasil yang diperoleh dari analisis nonlinier nanti hasilnya akan dibandingkan dengan analisis beban statis sehingga didapatkan nilai DAF. Untuk bagian yang ditinjau yaitu rangka tegak dan gelagar dikarenakan bagian tersebut merupakan bagian yang berfungsi sebagai penerima beban utama struktur jembatan akibat beban dinamis gempa. Nilai DAF dapat dicari menggunakan persamaan 5. Nilai DAF untuk *displacement* arah x disajikan pada Tabel 6, nilai DAF untuk arah y disajikan pada Tabel 7, nilai DAF arah z disajikan pada Tabel 8, dan nilai DAF untuk gaya dalam disajikan pada Tabel 9.

Tabel 6. Nilai DAF *displacement* arah X

Arah X							
<i>Joint</i>	Dinamis U _x (m)	Statis U _x (m)	DAF	<i>Joint</i>	Dinamis U _x (m)	Statis U _x (m)	DAF
26	-1,51E-03	-1,51E-03	1,003	148	-1,65E-06	-3,03E-08	54,393
27	-1,33E-03	-1,33E-03	1,003	149	1,71E-04	1,68E-04	1,015
28	-9,47E-04	-9,43E-04	1,004	150	5,53E-04	5,50E-04	1,005
29	-5,53E-04	-5,50E-04	1,005	151	9,47E-04	9,43E-04	1,004
30	-1,71E-04	-1,68E-04	1,015	152	1,33E-03	1,33E-03	1,003
31	1,64E-06	2,05E-08	80,020	153	1,51E-03	1,51E-03	1,003
32	-1,46E-03	-1,46E-03	1,003	154	1,65E-06	3,03E-08	54,582
33	-1,29E-03	-1,29E-03	1,004	155	1,83E-04	1,80E-04	1,017
34	-9,27E-04	-9,23E-04	1,004	156	5,52E-04	5,49E-04	1,005
35	-5,52E-04	-5,49E-04	1,006	157	9,27E-04	9,23E-04	1,004
36	-1,83E-04	-1,80E-04	1,017	158	1,29E-03	1,29E-03	1,003
37	-1,64E-06	-2,05E-08	80,299	159	1,46E-03	1,46E-03	1,003
48	-1,03E-03	-1,02E-03	1,004	170	4,64E-04	4,60E-04	1,008
49	-9,63E-04	-9,59E-04	1,004	171	5,27E-04	5,24E-04	1,006
50	-8,27E-04	-8,23E-04	1,004	172	6,63E-04	6,60E-04	1,005
51	-6,64E-04	-6,60E-04	1,006	173	8,26E-04	8,22E-04	1,005
52	-5,27E-04	-5,24E-04	1,007	174	9,63E-04	9,59E-04	1,004
53	-4,64E-04	-4,61E-04	1,007	175	1,03E-03	1,02E-03	1,004
54	-1,07E-03	-1,07E-03	1,003	176	4,16E-04	4,13E-04	1,007
55	-1,00E-03	-9,98E-04	1,004	177	4,85E-04	4,81E-04	1,007
56	-8,40E-04	-8,37E-04	1,004	178	6,47E-04	6,43E-04	1,006
57	-6,47E-04	-6,44E-04	1,005	179	8,40E-04	8,36E-04	1,005
58	-4,85E-04	-4,81E-04	1,008	180	1,00E-03	9,98E-04	1,004
59	-4,16E-04	-4,13E-04	1,008	181	1,07E-03	1,07E-03	1,003

Tabel 7. Nilai DAF *displacement* arah Y

Arah Y							
<i>Joint</i>	Dinamis U _y (m)	Statis U _y (m)	DAF	<i>Joint</i>	Dinamis U _y (m)	Statis U _y (m)	DAF
26	9,26E-05	7,40E-05	1,251	148	8,88E-07	7,35E-07	1,208
27	1,76E-04	1,60E-04	1,098	149	1,32E-04	1,27E-04	1,043
28	2,25E-04	2,12E-04	1,061	150	2,11E-04	2,01E-04	1,049
29	2,13E-04	2,02E-04	1,052	151	2,22E-04	2,09E-04	1,061
30	1,34E-04	1,28E-04	1,044	152	1,72E-04	1,56E-04	1,101
31	8,88E-07	7,35E-07	1,208	153	8,67E-05	6,80E-05	1,275
32	7,76E-05	5,90E-05	1,315	154	-8,88E-07	-7,35E-07	1,208
33	1,71E-04	1,55E-04	1,101	155	1,27E-04	1,22E-04	1,044
34	2,17E-04	2,05E-04	1,060	156	2,03E-04	1,93E-04	1,052
35	2,05E-04	1,95E-04	1,051	157	2,14E-04	2,01E-04	1,065
36	1,28E-04	1,23E-04	1,044	158	1,67E-04	1,51E-04	1,104
37	-8,88E-07	-7,35E-07	1,208	159	7,19E-05	5,30E-05	1,356
48	8,77E-05	6,90E-05	1,271	170	1,25E-06	1,09E-06	1,155

Arah Y							
<i>Joint</i>	Dinamis Uy (m)	Statis Uy (m)	DAF	<i>Joint</i>	Dinamis Uy (m)	Statis Uy (m)	DAF
49	1,74E-04	1,58E-04	1,102	171	1,31E-04	1,25E-04	1,045
50	2,22E-04	2,10E-04	1,059	172	2,08E-04	1,98E-04	1,051
51	2,10E-04	2,00E-04	1,050	173	2,19E-04	2,07E-04	1,059
52	1,32E-04	1,26E-04	1,048	174	1,70E-04	1,54E-04	1,103
53	1,24E-06	1,08E-06	1,157	175	8,21E-05	6,30E-05	1,304
54	8,36E-05	6,50E-05	1,286	176	4,99E-07	3,33E-07	1,502
55	1,72E-04	1,57E-04	1,098	177	1,29E-04	1,23E-04	1,049
56	2,20E-04	2,07E-04	1,061	178	2,06E-04	1,95E-04	1,054
57	2,07E-04	1,97E-04	1,053	179	2,17E-04	2,04E-04	1,062
58	1,30E-04	1,24E-04	1,051	180	1,68E-04	1,53E-04	1,101
59	4,71E-07	3,04E-07	1,548	181	7,77E-05	5,90E-05	1,317

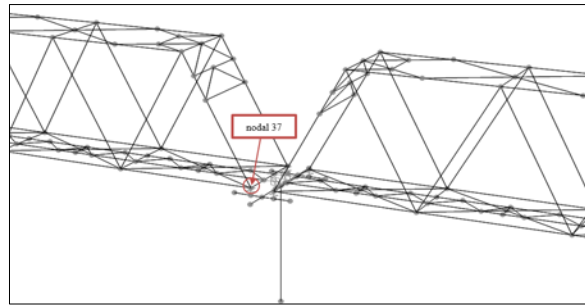
Tabel 8. Nilai DAF *displacement* arah Z

Arah Z							
<i>Joint</i>	Dinamis Uz (m)	Statis Uz (m)	DAF	<i>Joint</i>	Dinamis Uz (m)	Statis Uz (m)	DAF
26	0,00E+00	0,00E+00	1,000	148	-2,28E-04	-2,28E-04	1,000
27	-3,56E-03	-3,56E-03	1,000	149	-3,69E-03	-3,69E-03	1,001
28	-5,54E-03	-5,53E-03	1,001	150	-5,58E-03	-5,58E-03	1,000
29	-5,58E-03	-5,58E-03	1,000	151	-5,54E-03	-5,53E-03	1,001
30	-3,69E-03	-3,69E-03	1,001	152	-3,56E-03	-3,56E-03	1,000
31	-2,28E-04	-2,28E-04	1,000	153	0,00E+00	0,00E+00	1,000
32	0,00E+00	0,00E+00	1,000	154	-2,28E-04	-2,28E-04	1,000
33	-3,55E-03	-3,55E-03	1,000	155	-3,69E-03	-3,68E-03	1,001
34	-5,53E-03	-5,53E-03	1,001	156	-5,57E-03	-5,57E-03	1,000
35	-5,57E-03	-5,57E-03	1,000	157	-5,53E-03	-5,53E-03	1,001
36	-3,69E-03	-3,68E-03	1,001	158	-3,55E-03	-3,55E-03	1,000
37	-2,28E-04	-2,28E-04	1,000	159	0,00E+00	0,00E+00	1,000
48	-8,56E-04	-8,56E-04	1,000	170	-1,07E-03	-1,07E-03	1,000
49	-3,82E-03	-3,82E-03	1,001	171	-3,95E-03	-3,95E-03	1,000
50	-5,67E-03	-5,67E-03	1,001	172	-5,72E-03	-5,71E-03	1,000
51	-5,72E-03	-5,71E-03	1,000	173	-5,67E-03	-5,67E-03	1,000
52	-3,95E-03	-3,95E-03	1,000	174	-3,82E-03	-3,82E-03	1,001
53	-1,07E-03	-1,07E-03	1,000	175	-8,56E-04	-8,56E-04	1,000
54	-8,45E-04	-8,45E-04	1,000	176	-1,06E-03	-1,06E-03	1,000
55	-3,81E-03	-3,81E-03	1,000	177	-3,95E-03	-3,94E-03	1,000
56	-5,67E-03	-5,67E-03	1,001	178	-5,71E-03	-5,71E-03	1,001
57	-5,71E-03	-5,71E-03	1,001	179	-5,67E-03	-5,67E-03	1,001
58	-3,95E-03	-3,94E-03	1,000	180	-3,81E-03	-3,81E-03	1,000
59	-1,06E-03	-1,06E-03	1,000	181	-8,45E-04	-8,45E-04	1,000

Tabel 9. Nilai DAF Gaya Dalam

<i>Frame</i>	P Dinamis (kN)	P Statis (kN)	DAF	<i>Frame</i>	P Dinamis (kN)	P Statis (kN)	DAF
24	256,5221	256,418	1,000	187	256,8416	256,729	1,000
25	227,1844	227,099	1,000	188	227,4434	227,347	1,000
26	108,808	108,744	1,001	189	109,0983	109,032	1,001
27	85,23771	85,187	1,001	190	85,54886	85,5	1,001
28	14,65871	14,613	1,003	191	14,85957	14,813	1,003
29	14,84271	14,796	1,003	192	14,64171	14,596	1,003
30	85,53657	85,488	1,001	193	85,23186	85,181	1,001
31	109,0863	109,02	1,001	194	108,8024	108,738	1,001
32	256,836	256,724	1,000	195	256,5354	256,432	1,000
33	227,4381	227,342	1,000	196	227,1969	227,112	1,000
34	258,875	258,767	1,000	197	257,7864	257,672	1,000
35	229,3549	229,263	1,000	198	228,4087	228,31	1,000
36	110,2021	110,133	1,001	199	110,2146	110,146	1,001
37	86,61929	86,563	1,001	200	86,65643	86,604	1,001
38	14,63757	14,59	1,003	201	14,85657	14,81	1,003
39	14,86986	14,823	1,003	202	14,65086	14,603	1,003
40	86,66843	86,616	1,001	203	86,62471	86,568	1,001
41	110,2263	110,157	1,001	204	110,2073	110,138	1,001
42	257,7944	257,68	1,000	205	258,864	258,756	1,000
43	228,4164	228,318	1,000	206	229,3449	229,253	1,000
44	20,72714	20,705	1,001	207	3,907714	3,848	1,016
45	8,925	8,918	1,001	208	8,934	8,917	1,002
46	57,78771	57,743	1,001	209	13,32714	13,312	1,001
47	60,53057	60,491	1,001	210	13,29629	13,285	1,001
48	13,32429	13,313	1,001	211	9,026714	9,02	1,001
49	13,29614	13,28	1,001	212	20,66329	20,648	1,001
50	9,032286	9,015	1,002	304	61,28343	60,929	1,006
51	3,807286	3,747	1,016	305	57,06729	56,727	1,006
52	61,30343	60,949	1,006	306	57,87729	57,833	1,001
53	57,04114	56,7	1,006	307	60,43257	60,393	1,001
54	136,787	136,695	1,001	308	138,0423	137,84	1,001
55	144,6386	144,543	1,001	309	143,1477	142,941	1,001
56	138,0527	137,85	1,001	310	136,8374	136,745	1,001
57	143,0516	142,844	1,001	311	144,499	144,404	1,001
58	158,884	158,75	1,001	312	158,9	158,766	1,001
70	167,0673	166,926	1,001	313	167,05	166,909	1,001

Berdasarkan hasil nilai DAF dari perbandingan *displacement* dan gaya dalam antara analisis dinamis dengan analisis statis diperoleh untuk nilai DAF terbesar yaitu terjadi pada nodal 37, dengan nilai DAF yang diperoleh yaitu 80,299 atau dapat dikatakan bahwa *displacement* yang terjadi pada nodal 37 akibat dari beban gempa nilainya 80 kali lebih besar dibandingkan hasil *displacement* pada analisis statis. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh beban gempa terbesar pada struktur atas jembatan terletak pada nodal 37. Lokasi nodal 37 pada pemodelan struktur atas jembatan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi nodal 37 struktur jembatan

Berdasarkan gambar 3, nodal 37 merupakan nodal yang terhubung langsung dengan kepala pilar, dimana struktur bawah merupakan bagian pada struktur jembatan yang terkena dampak paling besar akibat dari beban gempa, sehingga nodal yang terhubung dengan kepala pilar memiliki nilai DAF yang besar dibandingkan dengan yang lainnya.

4. KESIMPULAN

Melalui rangkaian studi literatur, analisis dan pembahasan pada penelitian dengan judul Analisis Struktur Atas Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe *Welded Through Truss* (WTT) Terhadap Beban Gempa Dinamik Dengan Metode Nonlinier *Time History* dapat disimpulkan:

- Hasil dari analisis modal didapatkan nilai periode natural = 0,549671 s, frekuensi natural 1,81927 Hz, dan nilai partisipasi massa mencapai 100% terjadi pada *mode shape* ke-357. Pada analisis nilai *eigen* diperoleh nilai α dan nilai β yang digunakan sebagai *proportional damping* pada analisis nonlinier *time history*. Selain itu pada analisis nilai *eigen* diperoleh batas atas (f_1) dan batas bawah (f_2) yang digunakan sebagai *parameters matching*.
- Pada analisis nonlinier *time history* diperoleh nilai DAF terbesar terjadi pada nodal 37 dengan nilai DAF yaitu 80,299 sehingga dapat disimpulkan bahwa yang menerima pengaruh terbesar dari beban gempa dinamik yaitu nodal 37.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Sangadji, S., & Supriyadi, A. (2018). Analisis Dinamik Riwayat Waktu Nonlinier Skew Bridge. *Matriks Teknik Sipil*, 6(2), 378–385. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i2.36579>
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2016a). SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2016b). SNI 1725-2016 Pembebanan untuk jembatan Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI-1726-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2020). SNI 1727:2020 Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa. Badan Standarisasi Nasional.
- Suryanita, R. (2016). *Dinamika Struktur Teori dan Aplikasi*. Universitas Riau Press. https://ft.unri.ac.id/repo-reni/E-book_Buku_Ajar_DInamika_Struktur_Reni_Suryanita.pdf
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia (2015). Peraturan Menteri No 24 Tahun 2015 Tentang Standar Keselamatan Perkeretaapian.
- Mido, A. W., & Nuranita, B. (2023). Analisis Pemeriksaan Kapasitas Bangunan Atas Jembatan kereta Api *Welded through Truss* 51 , 6 m. 60, Prosiding FTSP Series 856–861.
- Nadiatul, S., Masrilayanti, & Aryanti, R. (2019). *Kajian Dynamic Amplification Factor pada Rangka Jembatan Akibat Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum*. Universitas Andalas.
- Pusgen. (2022). *Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia Untuk Perencanaan Dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa*. Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.