

Received 24th July 2021
 Accepted 29th July 2021
 Published 31st July 2021

Open Access

Analisis *Dynamic Amplification Factor* (DAF) pada Jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi Rangka Baja dengan Metoda Analisis Respons Spektrum

Ade Prayoga Nasution^{1*}, Putri Basenda Tarigan², Rahmat Kurniawan¹, Aninda Meutia Rosario¹

¹Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Kec. Jatigung, Lampung Selatan 35365

²Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Viet Nam

*Korespond E-mail: ade.nasution@si.itera.ac.id

Abstract: Structural failure of the bridge caused by the dynamic load leading to itself is one of the fact that show the structural design accuracy is critical. Beside the variative dynamic load, most of the bridge structure are classified to be distinctive and in a big scale structure, which end up in the difficulty of the design process. *Dynamic Amplification Factor* (DAF) is one parameter that can be used to support in the design or analysis process of the bridge structure and simultaneously ensure the efficiency and economical in the process. DAF can be the alternative for design and analysis that related to dynamic load of bridge. By utilizing the ratio of dynamic load to the static load, DAF can help to ease the design and analysis process with a high accuracy. In this study, DAF is applied to a steel truss bridge that located in Lampung. The dynamic load to be used is seismic load with the data gathered from Pusjatan. The result is served in the graphic that represent every superstructure component along the bridge structure.

Keywords: *Dynamic Amplification Factor* (DAF), Seismic Load, Bridge Design Efficiency

Abstrak: Kegagalan struktur jembatan yang diakibatkan oleh beban dinamis pada jembatan merupakan salah satu faktor yang menunjukkan bahwa keakuratan desain struktur sangatlah kritical. Disamping beban dinamis yang variatif, kebanyakan struktur jembatan tergolong struktur khusus dan berskala besar sehingga meningkatkan kesukaran dalam proses desain. *Dynamic Amplification Factor* (DAF) hadir sebagai salah satu parameter yang dapat digunakan dalam desain dan analisis struktur jembatan serta menjamin efisiensi dan ekonomis dalam prosesnya. DAF dapat menjadi alternatif dalam desain dan analisis yang berkaitan dengan beban dinamis jembatan. Dengan memanfaatkan rasio beban dinamis terhadap beban statis jembatan, DAF membantu dalam memudahkan proses desain dan analisis dengan hasil yang akurat. Pada penelitian ini, DAF diaplikasikan pada jembatan rangka baja yang berlokasi di Lampung. Beban dinamis yang diujikan merupakan beban dinamis gempa dengan data yang diperoleh dari Pusjatan. Hasil analisis DAF disajikan dalam bentuk grafik yang mewakili setiap komponen struktur atas jembatan di sepanjang bentang.

Kata Kunci : *Dynamic Amplification Factor* (DAF), Beban Gempa, Efisiensi Desain Jembatan

Pendahuluan

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang sangat dibutuhkan untuk menghubungkan suatu tempat yang terpisah dengan tempat yang lain. Sebagai bentuk struktur penting dan berkontribusi tinggi terhadap keseharian dan perekonomian, maka dibutuhkan desain dan analisis terhadap struktur jembatan yang aman, akurat, dan juga ekonomis [1].

Pada desain struktur jembatan, kegagalan geser harus dihindari karena berdampak besar terhadap kapasitas struktur jembatan. Kegagalan ini dapat terjadi akibat

beban dengan *impact* yang tinggi berarah pada mode struktur dengan vibrasi yang tinggi dan menghasilkan distribusi gaya dalam berbeda dengan struktur akibat beban statis [2]. Oleh karena itu, analisis terhadap beban dinamis memerlukan metode dan parameter khusus agar struktur jembatan dapat menahan beban dan berfungsi penuh dalam masa layannya. Interaksi dinamis pada struktur jembatan tersebut dipengaruhi oleh beberapa parameter dinamis, seperti kecepatan kendaraan, beban gempa, angin, hingga faktor kekerasan roda ban pada kendaraan [3].

Dynamic Amplification Factor (DAF) hadir sebagai salah satu parameter yang dapat digunakan dalam desain dan analisis struktur jembatan serta menjamin efisiensi dan ekonomis dalam prosesnya. DAF dapat menjadi alternatif dalam desain dan analisis yang berkaitan dengan beban dinamis jembatan. Banyak peneliti telah mengembangkan dan meneliti pengaruh DAF terhadap perilaku struktur jembatan dengan metode dan beban dinamis yang berbeda-beda [4].

Menurut [4], ada beberapa aspek yang mempengaruhi nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF), yaitu beban dinamis yang bekerja pada jembatan, perletakan jembatan, hubungan tanah dengan jembatan, kecepatan kendaraan, serta berat kendaraan. Menurut American Society of Civil Engineers (ASCE 1931) pelat jembatan memiliki karakteristik respon yang berbeda dibandingkan dengan komponen jembatan arah longitudinal, seperti gelagar memanjang jembatan; maka pada masing-masing komponen ini akan memiliki (DAF) yang berbeda.

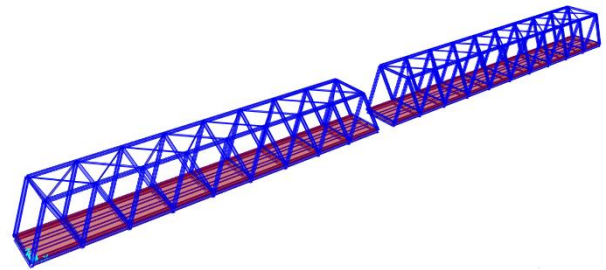
Beban dinamis merupakan beban yang bekerja pada stuktur jembatan dengan nilai yang berbeda dan berubah-ubah terhadap waktu. Meskipun begitu, beban ini sangat berpengaruh dan beresiko pada kerusakan struktur jembatan. Salah satu beban dinamis yang juga kritikal pada stuktur jembatan adalah beban gempa. Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi. Beban ini merupakan beban percepatan tanah yang terekam pada lokasi jembatan.

Berdasarkan SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan, jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh, namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Oleh sebab itu, pada penelitian kali ini, analisis DAF pada struktur jembatan difokuskan pada jembatan rangka baja dengan beban dinamis berupa beban gempa, dan secara khusus dibahas mengenai DAF pada gelagar memanjang jembatan akibat beban gempa.

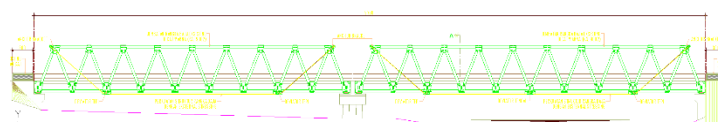
Studi kasus pada penelitian ini diangkat dari jembatan rangka baja Sp Gunung Kemala - Sanggi, dengan panjang total jembatan I adalah 45 meter, dan jembatan II adalah 50 meter. Jembatan ini berlokasi di Lampung pada ruas simpang gunung kemala – sanggi. Gambaran umum jembatan dapat dilihat pada Gambar 1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi terdiri dari dua buah bentang utama, yang

masing-masing bentangnya dipisahkan oleh pier dengan panjang 3 meter.

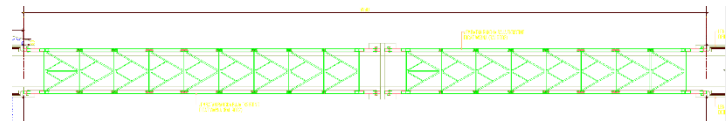
Jembatan ini merupakan jembatan rangka dengan kelas B, lebar 6 meter, dengan trotoar pada sisinya 1 meter disisi kanan dan kirinya. Susunan rangka dari jembatan ini mengikuti dari perencanaan yang diberikan oleh BINAMARGA.



a. Bentuk 3D jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi



b. Tampak samping jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi



c. Tampak atas jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi

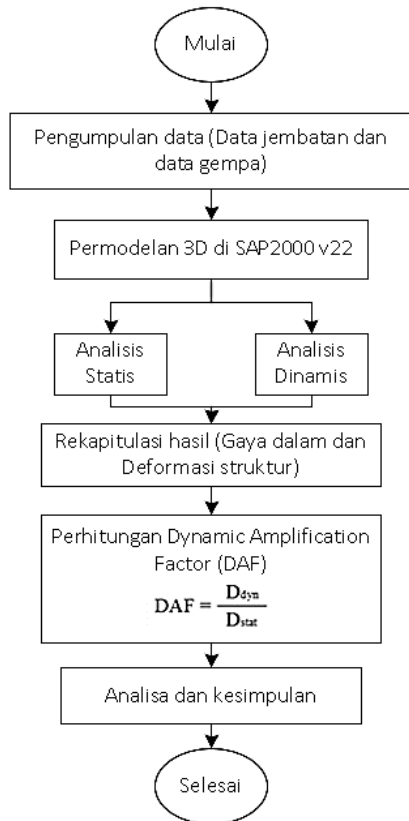
Gambar 1. Gambaran umum jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan prosedur yang sistematis yang sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 2. Sebagaimana yang terlihat pada *flowchart*, tahap pertama yang dilakukan adalah pengumpulan dan semua informasi yang dibutuhkan untuk analisis, yang dalam hal ini adalah data jembatan dan data gempa.

Selanjutnya dilakukan permodelan di SAP2000 sesuai dengan data yang didapatkan. Permodelan mengikuti keseluruhan data jembatan termasuk data propertis material. Pemodelan dilakukan dengan 2 buah model, yakni model untuk analisis statis dan model untuk analisis dinamis. Hal yang membedakan kedua model adalah pembebanannya. Pada model yang digunakan untuk

analisis statis, pembebanan yang diperhitungkan hanyalah beban sendiri jembatan. Sedangkan pada model untuk analisis dinamis, pembebanan yang diperhitungkan adalah beban sendiri jembatan dan beban dinamis gempa. Beban dinamis gempa yang diterapkan didapatkan dari pusjatan dalam bentuk respon spektrum, kemudian akan diubah ke *time history* sebagai data yang digunakan untuk analisis.



Gambar 2. Diagram alir pada proses penelitian

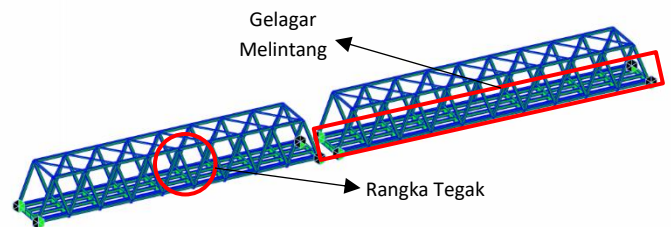
Setelah pemodelan, kedua model dirun dan dilakukan rekapitulasi hasil dari kedua analisis. Dalam hal ini, rekapitulasi dilakukan untuk gaya dalam dan deformasi struktur. Hasil rekap inilah yang nantinya digunakan untuk perhitungan DAF. DAF adalah suatu angka tak berdimensi yang merupakan hasil perbandingan dari perubahan yang terjadi akibat beban dinamis yang diterapkan pada jembatan dengan perubahan yang terjadi pada jembatan akibat beban statis jembatan [5]. Jika dirumuskan, DAF dapat dinyatakan seperti pada persamaan 1:

$$DAF = \frac{D_{dyn}}{D_{stat}} \quad (1)$$

Dimana D_{dyn} dan D_{stat} secara berturut-turut merupakan hasil yang diperoleh dari analisis dinamis dan analisis statis. Hasil analisis dapat berupa tegangan maupun regangan. Apabila menggunakan tegangan, nilai D yang dibandingkan dapat berupa gaya dalam struktur, sedangkan apabila menggunakan regangan, maka nilai D yang digunakan dapat berupa perpindahan struktur pada masing-masing analisis.

Analisis Statis Struktur Jembatan

Analisis statis yang dilakukan hanya mempertimbangkan beban sendiri jembatan. Hasil analisis statis yang direkap diambil pada rangka jembatan dan gelagar melintang pada jembatan. Pada analisis yang dilakukan pada jembatan, seluruh rangka tegak pada jembatan ditinjau untuk mengetahui DAF pada seluruh rangka. Pada jembatan I terdapat 18 rangka tegak, dan jembatan II terdapat 20 rangka tegak yang dapat dilihat pada Gambar 3. Kemudian analisis juga dilakukan pada gelagar melintang untuk mengetahui respon struktur ketika diberikan beban statis dan juga dinamis. Pada gelagar, ditinjau seluruh gelagar jembatan I (10 gelagar) dan jembatan II (11 gelagar).



Gambar 2. Elemen struktur yang dilakukan analisis DAF

Analisis Dinamis Struktur Jembatan

Beban gempa yang diterapkan pada model untuk analisis dinamis diperoleh dari pusjatan untuk daerah Lampung. Data beban yang diperoleh merupakan respon spektrum. Di SAP2000, respon spektrum akan diubah ke dalam bentuk *time history*. Data respon spektrum yang diperoleh dari pusjatan adalah sebagai berikut. Setelah diinputkan respon spektrum pada SAP2000, respon spektrum tersebut kemudian diubah menjadi *time history*, sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 4.

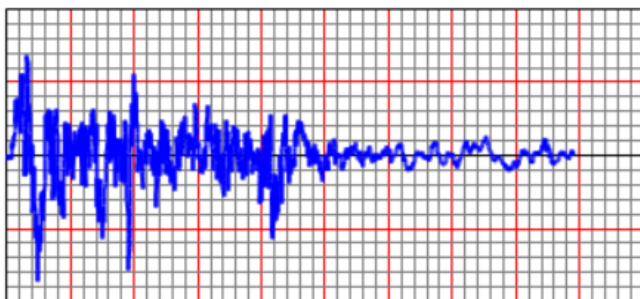
Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan analisa statis dan dinamis pada struktur jembatan, kemudian seluruh hasil dilakukan

rekapitulasi gaya dalam pada rangka jembatan dan gelagar melintang juga perpindahan pada gelagar memanjang dapat dilihat pada data berikut. Nilai-nilai yang tercantum pada tabel tersebut merupakan gaya dalam maksimum pada setiap rangka dan gelagar.



Gambar 3. Respon spektrum gempa Lampung



Gambar 4. Time history gempa Lampung

Tabel 1. Rekap gaya dalam aksial hasil analisis statis dan dinamis pada rangka jembatan I

No	Lokasi Tinjau	Gaya Normal (kN)		DAF
		Analisis Statis	Analisis Dinamis	
1	Rangka 1	-544.70	-549.77	1.01
2	Rangka 2	-528.40	-533.52	1.01
3	Rangka 3	-403.40	-408.44	1.01
4	Rangka 4	-385.04	-390.02	1.01
5	Rangka 5	-269.75	-274.58	1.02
6	Rangka 6	-251.08	-255.66	1.02
7	Rangka 7	-122.80	-126.45	1.03

No	Lokasi Tinjau	Gaya Normal (kN)		DAF
		Analisis Statis	Analisis Dinamis	
8	Rangka 8	-122.80	-126.45	1.03
9	Rangka 9	-10.69	-14.16	1.32
10	Rangka 10	-10.69	-13.12	1.23
11	Rangka 11	-122.80	-124.88	1.02
12	Rangka 12	-122.80	-139.92	1.14
13	Rangka 13	-251.08	-252.71	1.01
14	Rangka 14	-269.75	-271.86	1.01
15	Rangka 15	-385.04	-388.33	1.01
16	Rangka 16	-403.40	-407.28	1.01
17	Rangka 17	-528.40	-533.05	1.01
18	Rangka 18	-544.70	-549.49	1.01

Tabel 2. Rekap gaya dalam aksial hasil analisis statis dan dinamis pada rangka jembatan II

No	Lokasi Tinjau	Gaya Normal (kN)		DAF
		Analisis Statis	Analisis Dinamis	
1	Rangka 1	-608.82	-614.75	1.01
2	Rangka 2	-592.53	-598.47	1.01
3	Rangka 3	-467.67	-473.54	1.01
4	Rangka 4	-449.39	-455.21	1.01
5	Rangka 5	-334.01	-339.87	1.02
6	Rangka 6	-315.19	-320.96	1.02
7	Rangka 7	-201.99	-207.41	1.03
8	Rangka 8	-186.79	-191.90	1.03
9	Rangka 9	-74.98	-79.38	1.06
10	Rangka 10	-59.23	-63.10	1.07
11	Rangka 11	-53.69	-61.85	1.15
12	Rangka 12	-69.44	-77.44	1.12
13	Rangka 13	-186.79	-188.70	1.01
14	Rangka 14	-196.45	-203.56	1.04
15	Rangka 15	-315.19	-317.30	1.01
16	Rangka 16	-334.01	-336.40	1.01
17	Rangka 17	-449.39	-452.71	1.01
18	Rangka 18	-467.67	-471.49	1.01
19	Rangka 19	-592.53	-596.70	1.01
20	Rangka 20	-608.82	-613.43	1.01

Pada analisis yang telah dilakukan pada elemen struktur rangka pada jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi, diperoleh hasil DAF yang berbeda beda, namun dapat dilihat bahwa DAF terbesar yang terjadi berada pada tengah bentang. Hal ini diakibatkan gaya gempa mempengaruhi perubahan gaya yang terjadi pada setiap elemen struktur, sebagai contoh pada jembatan I

(rangka 9) gaya dalam aksial pada kondisi statis adalah 10.69 kN kemudian akibat adanya beban gempa, gaya aksial pada elemen struktur bertambah menjadi 14.16 kN sehingga pada elemen struktur ini memiliki DAF terbesar dengan nilai 1.32. Kemudian pada jembatan II, DAF terbesar dimiliki oleh rangka 11 dengan gaya aksial pada kondisi statis 53.69 kN, kemudian bertambah akibat beban dinamis menjadi 61.85 kN, sehingga menghasilkan DAF sebesar 1.15.

Tabel 3. Rekap perpindahan UZ hasil analisis statis dan dinamis pada gelagar melintang jembatan I

No	Lokasi Tinjau	Perpindahan UZ (m)		DAF
		Analisis	Analisis	
1	0	0.0005	0.0005	1.00
2	5	0.0085	0.0085	1.00
3	10	0.0146	0.0147	1.01
4	15	0.0192	0.0194	1.01
5	20	0.0218	0.0220	1.01
6	25	0.0218	0.0220	1.01
7	30	0.0192	0.0194	1.01
8	35	0.0146	0.0148	1.01
9	40	0.0085	0.0085	1.00
10	45	0.0005	0.0005	1.00

Tabel 4. Rekap perpindahan UX hasil analisis statis dan dinamis pada Gelagar Melintang Jembatan I

No	Lokasi Tinjau	Perpindahan UX (m)		DAF
		Analisis	Analisis	
1	0	0.0022	0.0024	1.07
2	5	0.0023	0.0024	1.04
3	10	0.0024	0.0025	1.05
4	15	0.0025	0.0027	1.07
5	20	0.0027	0.0028	1.05
6	25	0.0029	0.0030	1.04
7	30	0.0031	0.0032	1.04
8	35	0.0033	0.0034	1.02
9	40	0.0034	0.0035	1.02
10	45	0.0034	0.0035	1.03

Kemudian, analisis dilakukan pada gelagar melintang dikarenakan memiliki fungsi sebagai penerima beban utama dari beban jembatan, maka perubahan perpindahan dan gaya dalam menjadi bahan analisis yang dilakukan. Pada jembatan I, perpindahan arah UZ dan arah UX telah ditinjau seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4. Setelah dilakukan analisis, dapat dilihat bahwa perpindahan UZ maksimum terjadi pada tengah bentang

dengan besar perpindahan akibat statis adalah 0.0218 m, dan berubah akibat beban dinamis menjadi 0.0220 m artinya gelagar memiliki DAF sebesar 1.01. Kemudian akibat beban gempa perpindahan arah UX dapat dipertimbangkan, sebagai contoh dilakukan analisis pada bentang ke-15 meter, diperoleh perpindahan arah UX akibat statis sebesar 0.0025 m, dan bertambah akibat beban dinamis menjadi 0.0027 m, sehingga menghasilkan DAF sebesar 1.07. Analisis ini dilakukan juga pada jembatan II untuk melihat respon struktur.

Tabel 5. Rekap perpindahan UZ hasil analisis statis dan dinamis pada gelagar melintang jembatan II

No	Lokasi Tinjau	Perpindahan UZ (m)		DAF
		Analisis	Analisis	
1	0	0.0005	0.0005	1.00
2	5	0.0106	0.0107	1.01
3	10	0.0188	0.0189	1.01
4	15	0.0254	0.0256	1.01
5	20	0.0297	0.0299	1.01
6	25	0.0312	0.0314	1.01
7	30	0.0297	0.0299	1.01
8	35	0.0254	0.0256	1.01
9	40	0.0188	0.0190	1.01
10	45	0.0106	0.0107	1.01
11	50	0.0005	0.0005	1.00

Tabel 6. Rekap perpindahan UX hasil analisis statis dan dinamis pada Gelagar Melintang Jembatan II

No	Lokasi Tinjau	Perpindahan UX (m)		DAF
		Analisis	Analisis	
1	0	0.0029	0.0030	1.03
2	5	0.0029	0.0030	1.02
3	10	0.0031	0.0032	1.03
4	15	0.0033	0.0034	1.03
5	20	0.0035	0.0036	1.03
6	25	0.0038	0.0039	1.02
7	30	0.0041	0.0042	1.02
8	35	0.0043	0.0044	1.02
9	40	0.0045	0.0046	1.02
10	45	0.0047	0.0048	1.02
11	50	0.0048	0.0049	1.02

Pada jembatan II, diperoleh DAF maksimum terjadi akibat perpindahan UZ ditengah bentang dengan nilai DAF 1.01, dan akibat perpindahan UX diperoleh DAF terbesar pada bentang ke-15 meter dengan nilai 1.03. Hal ini kurang lebih sama dengan jembatan I,

dikarenakan kedua jembatan ini merupakan satu-kesatuan jembatan penghubung pada daerah Sp Gunung Kemala - Sanggi.

Tabel 7. Rekap gaya momen hasil analisis statis dan dinamis pada gelagar melintang jembatan I

No	Lokasi Tinjau	Momen (kN.m)		DAF
		Analisis	Analisis	
1	Gelagar 1	59.575	59.610	1.001
2	Gelagar 2	136.689	137.133	1.003
3	Gelagar 3	126.318	126.970	1.005
4	Gelagar 4	126.726	127.242	1.004
5	Gelagar 5	125.971	126.522	1.004
6	Gelagar 6	125.971	126.745	1.006
7	Gelagar 7	126.726	127.652	1.007
8	Gelagar 8	126.318	127.148	1.007
9	Gelagar 9	136.689	137.169	1.004
10	Gelagar 10	59.575	59.597	1.000

Tabel 8. Rekap Gaya momen hasil analisis statis dan dinamis pada Gelagar Melintang Jembatan II

No	Lokasi Tinjau	Momen (kN.m)		DAF
		Analisis	Analisis	
1	Gelagar 1	59.720	59.754	1.001
2	Gelagar 2	136.536	136.911	1.003
3	Gelagar 3	126.426	127.023	1.005
4	Gelagar 4	126.902	127.478	1.005
5	Gelagar 5	125.718	126.269	1.004
6	Gelagar 6	126.708	127.459	1.006
7	Gelagar 7	125.718	126.615	1.007
8	Gelagar 8	126.902	127.821	1.007
9	Gelagar 9	126.426	127.142	1.006
10	Gelagar 10	136.536	136.958	1.003
11	Gelagar 11	59.720	59.741	1.000

Analisis gaya dalam momen dilakukan pada gelagar melintang utama pada jembatan I (Tabel 7) dan jembatan II (Tabel 8). Dari hasil analisis diperoleh pada jembatan I, perubahan gaya dalam terbesar berada pada lokasi gelagar ke-7 dengan nilai momen akibat beban statis adalah 126.726 kN.m dan bertambah akibat beban dinamis menjadi 127.652 kN.m sehingga menghasilkan DAF sebesar 1.007. Sama dengan jembatan I, pada jembatan II diperoleh perubahan terbesar pada gelagar ke-7 dengan nilai momen pada kondisi statis adalah 125.718 kN.m dan bertambah akibat beban dinamis menjadi 126.615 kN.m sehingga DAF yang dihasilkan adalah 1.007.

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis DAF pada struktur jembatan Sp Gunung Kemala - Sanggi pada jembatan I dan jembatan II diperoleh hasil DAF pada elemen struktur rangka dan gelagar jembatan yang berbeda-beda. Dari hasil analisis DAF yang terjadi pada rangka akibat gaya dalam memiliki nilai dari 1.0-1.32 hal ini dikarenakan pengaruh beban dinamis yang cukup besar, artinya perubahan dapat berpengaruh sampai 32% dari nilai awal. Kemudian pada gelagar nilai DAF yang diperoleh berkisar 1.0-1.007, gelagar tidak signifikan menerima beban gempa karena struktur gelagar menopang badan jalan pada jembatan dan tidak berinteraksi langsung terhadap pilar sebagai pusat penerima beban gempa.

Referensi

- [1] J. Kalin, A. Žnidarič, A. Anžlin, and M. Kreslin, "Measurements of bridge dynamic amplification factor using bridge weigh-in-motion data," *Structure and Infrastructure Engineering*, pp. 1-13, 2021.
- [2] H. Ma, Z. Cao, X. Shi, and J. Zhou, "Dynamic Amplification Factor of Shear Force on Bridge Columns under Impact Load," *Shock and Vibration*, vol. 2019, pp. 1-14, 2019.
- [3] A. González, P. Rattigan, E. J. O'Brien, and C. Caprani, "Determination of bridge lifetime dynamic amplification factor using finite element analysis of critical loading scenarios," *Engineering Structures*, vol. 30, no. 9, pp. 2330-2337, 2008.
- [4] I. Paeglite and A. Paeglitis, "The Dynamic Amplification Factor of the Bridges in Latvia," *Procedia Engineering*, vol. 57, pp. 851-858, 2013.
- [5] G. Ghildiyal, "Analytical Study of Dynamic Amplification Factor for Highway Bridges," India, 2016.