

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Analisis Pengaruh Beban Gempa Terhadap *Respons* Jembatan *Cable Stayed* Analysis of the Effect of Earthquake Loads on the Response of Cable Stayed Bridges Multilawati Nasution

¹Teknik Sipil, Teknik, Politeknik Negeri Sriwijaya

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Kata kunci :</p> <p>Jembatan <i>cable stayed</i>, gempa arah horizontal, gempa arah vertikal, perpindahan.</p>	<p>Jembatan barelang merupakan tipe jembatan <i>cable stayed</i> yang ada di Indonesia. Menurut pola susunan kabel, jembatan <i>cable stayed</i> terbagi atas tiga tipe yaitu tipe radial, tipe harp, dan tipe fan. Pada jembatan <i>cable stayed</i> diperlukan analisis dinamis agar jembatan dikategorikan aman. Salah satu beban yang digunakan pada analisis dinamis adalah beban gempa. Gempa merupakan gejala fisik yang ditandai dengan terjadinya getaran pada permukaan bumi dengan berbagai intensitas. Gempa itu sendiri terbagi atas dua yaitu gempa horizontal serta gempa vertikal. Pada studi kasus ini di inputkan beban gempa untuk zona wilayah padang pada riwayat waktu (<i>time history</i>) dan software yang digunakan adalah SAP 2000 untuk menghitung <i>respons</i> baik di gelagar maupun pylon. Penelitian ini di dapatkan pengaruh antara beban gempa vertikal dan beban gempa horizontal terhadap <i>respons</i> jembatan <i>cable stayed</i> khususnya perpindahan dan tegangan kabel..</p>

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Keywords:</p> <p><i>Cable stayed bridge, horizontal direction earthquake, vertical direction earthquake, displacement.</i></p>	<p><i>Barella bridge is a type of cable stayed bridge in Indonesia. According to the cable arrangement pattern, cable stayed bridges are divided into three types, namely radial type, harp type, and fan type. On cable stayed bridges, dynamic analysis is needed so that the bridge is categorized as safe. One of the loads used in dynamic analysis is the earthquake load. Earthquake is a physical phenomenon characterized by vibrations on the earth's surface with various intensities. The earthquake itself is divided into two, namely horizontal earthquakes and vertical earthquakes. In this case study, the earthquake load is input for the padang area zone in the time history and the software used is SAP 2000 to calculate the response on both the girder and pylon. This research found the influence of vertical earthquake loads and horizontal earthquake loads on the response of cable stayed bridges, especially the displacement and tension of the cables.</i></p>

1. Pendahuluan

Analisis pengaruh beban gempa terhadap respons jembatan cable-stayed adalah bagian penting dalam perancangan dan evaluasi kekuatan structural jembatan tersebut. Gempa bumi merupakan ancaman potensial yang signifikan bagi infrastruktur, salah satunya jembatan bentang panjang karena dapat menyebabkan getaran dan gaya dinamik yang sangat kuat pada struktur.

Jembatan cable stayed memiliki desain struktur yang fleksibel dan menggunakan kabel-kabel penyangga, memiliki karakteristik yang unik dalam menghadapi beban gempa. Analisis yang tepat perlu dilakukan untuk memahami bagaimana jembatan cable-stayed akan merespons gempa dan memastikan kekuatan serta stabilitasnya selama peristiwa gempa.

Dalam analisis pengaruh beban gempa, beberapa faktor penting harus diperhatikan. Pertama, penggunaan data gempa yang akurat untuk memperkirakan intensitas dan karakteristik gempa pada jembatan. Kedua, memodelkan jembatan cable stayed dengan software SAP 2000. Model ini mencakup geometri, sifat material, dan sistem kabel penyangga. Selain itu, penggunaan teknik analisis dinamik terkini, seperti analisis respons spektrum atau analisis *time history*, dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang perilaku jembatan terhadap gempa.

Melalui analisis yang cermat, kita dapat mengevaluasi bagaimana gempa akan mempengaruhi kekuatan dan respons dinamik jembatan cable-stayed. Hasil analisis ini akan membantu dalam menentukan langkah-langkah perancangan yang tepat untuk kekuatan struktur jembatan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Jembatan Tipe *Cable Stayed*

Jembatan adalah salah satu bagian prasarana jaringan jalan yang sangat dibutuhkan [1]. Jembatan tipe *cable stayed* adalah jembatan bentang panjang yang estetis secara desain untuk kepentingan transportasi menyambungkan dari dua sisi. Struktur jembatan tipe *cable stayed* terdiri dari 3 struktur utama, pilar, kabel dan dek jembatan.

A. Komponen Jembatan Tipe *Cable Stayed* [2]

a. Tipe radial

Tipe radial adalah jenis dengan susunan kabel yang dipusatkan pada ujung atas menara kemudian beban di distribusikan sepanjang bentang gelagar dek jembatan. Kesulitan dari model jembatan ini adalah proses perencanaan yang harus detail dan sambungan yang cukup rumit, namun keunggulannya adalah kemiringan rata-rata kabel cukup besar sehingga komponen gaya horizontal tidak terlalu besar.

b. Tipe Harp

Susunan kabel ini berbeda dari tipe radial, susunan kabel akan di buat sejajar dan akan di hubungkan ke pylon dengan ketinggian berbeda. Susunan ini menyebabkan gaya lentur yang terjadi pada pylon lebih besar.

c. Tipe Fan

Kombinasi antara radial dan harp, dimana kabel akan disusun lebih renggang pada puncak pylon dan baru disebar ke gelagar dek jembatan yang menyebabkan kabel tidak sejajar. Keunggulan dari tipe ini adalah perincian tulangan pylon lebih mudah.

2.2 Gempa Bumi

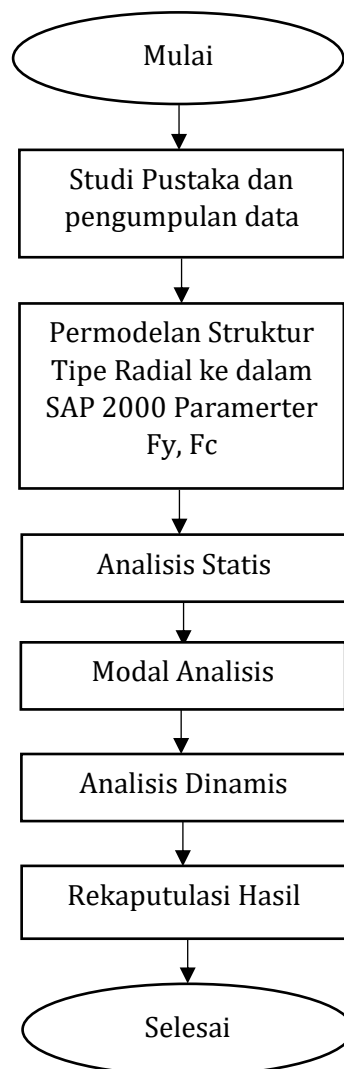
Gempa bumi adalah kejadian alam yang tidak dapat dihindari, dan baik kapan terjadi maupun besarnya tidak dapat diprediksi. Dalam waktu yang relatif singkat, gempa bumi akan mengakibatkan korban jiwa dan harta benda di wilayah yang terkena dampak.

Gempa bumi akan menimbulkan getaran pada tiga arah, yaitu arah X, arah Y dan arah Z. Tanah berguncang secara acak, bergerak maju (+) atau mundur (-) di masing-masing arah X, Y, dan Z selama terjadi gempa.

Struktur jembatan memiliki kapasitas yang cukup untuk melawan getaran vertikal. Namun, karena getaran gempa mempengaruhi semua arah (X, Y, Z, +, -), jembatan terkadang tidak dapat menahan getaran horizontal. Agar jembatan dapat menahan pengaruh gempa, desain harus dipertimbangkan dengan cermat.

3. Metode Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, langkah-langkah secara sistematis harus disiapkan agar penelitian dapat terlaksana dengan baik. Oleh karena di rancang diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi Kasus

Studi kasus diambil terhadap jembatan jenis *cable stayed* yang dimodelkan dengan acuan data jembatan Barelang, Batam (jembatan *cable stayed* tipe *fan*). Jembatan ini di modelkan juga dengan 5 macam pembebanan antara lain : Beban mati, beban hidup, beban gempa, beban khusus dan beban

kombinasi [3]. Hasil akhir dari penyelesaian kasus ini adalah membandingkan perbedaan perpindahan yang terjadi pada jembatan *cable stayed* tersebut. Penelitian ini menggunakan beban gempa rencana di Padang serta analisis dinamis dengan metode *time history*.

3.1.1 Data Teknis Struktur Jembatan

Fungsi konstruksi	: Jembatan <i>cable stayed</i>
Panjang bentang	: 642 m (terdiri dari tiga bentang)
Bentang I (<i>Abutment</i> ke <i>pylon</i> 1)	: 146 m
Bentang II (<i>Pylon</i> 1 ke <i>pylon</i> 2)	: 35 m
Bentang III (<i>Pylon</i> 2 ke <i>abutment</i> 2)	: 146 m
Jenis konstruksi	: Beton bertulang dan beton prategang
Sistem konstruksi beton	: <i>Cast in situ</i>
Tatanan kabel	: Tipe <i>semiradial</i>
Jenis jembatan	: Jembatan kelas I
Lebar <i>deck</i> jembatan	: 21,5 m
Dimensi penampang gelagar memanjang :	
Lebar	: 2,0 m
Tinggi	: 2,0 m
Jarak antar gelagar memanjang	: 12 m
Dimensi penampang melintang :	
Lebar	: 0,5 m
Tinggi	: 1,5 m
Jarak antara gelagar melintang	: 4,0 m
Jumlah kabel	: 112 buah
Jumlah <i>pylon</i>	: 2 buah
Tinggi <i>pylon</i>	: 123 m

3.1.2. Data Material

Data Beton

Mutu beton K-450 (*menara/pylon*)

f'_c	: 45	MPa
E_c	: $4700 \sqrt{f'_c}$	MPa
	: 31528,56	MPa

Mutu beton K-500 (*deck*)

f'_c	: 50	MPa
E_c	: $4700 \sqrt{f'_c}$	MPa
	: 33234,02	MPa

Data Kabel

Jenis kabel	: <i>Paralel Seven Wire Strands</i>
-------------	-------------------------------------

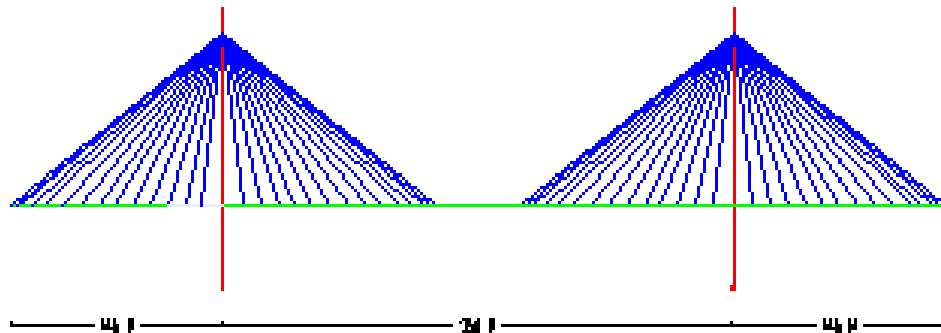
Diameter	: 15,3	mm
f_{\max}	: 841,5	N/mm ²
E_p	: $1,95 \times 10^5$	N/mm ²
A	: 182,41	mm ²
$\Delta\sigma_{\text{perm}}$: 200	N/mm ²
Bentang II (<i>Pylon 1 ke pylon 2</i>)	: 350 m	
Bentang III (<i>Pylon 2 ke abutment 2</i>)	: 146 m	
Jenis konstruksi	: Beton bertulang dan beton prategang	

3.2.2 Data-Data Jembatan

Data-data jembatan Bareleng terdiri geometri struktur jembatan, material properti, dimensi penampang pylon, gelagar, kabel, dan batas tegangan dan pylon jembatan serta batas lendutan pylon dan gelagar.

3.2.2.1 Geometri Jembatan Bareleng

Geometri Jembatan Bareleng dengan total bentang 642 m dengan konfigurasi bentang 146 m + 350 m + 146 m seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Pylon jembatan berjumlah dua dengan jarak 350 m satu sama lain, jumlah kabel untuk bentang tengah dan tepi berjumlah 14 buah dengan section/dimensi yang berbeda-beda.



Gambar 3.2 Layout Jembatan Bareleng

1. Beton

Mutu beton K-450 (*menara/pylon*)

f'_c : 45 MPa

E_c : $4700 \sqrt{f'_c}$ MPa

: 31528,56 MPa

Mutu beton K-500 (*deck*)

f'_c : 50 MPa

E_c : $4700 \sqrt{f'_c}$ MPa

: 33234,02 MPa

2. Kabel Baja

Jenis kabel baja : *Strands* Ø 0,6 inch

Ultimate strength (f_{pu})	: 1870 N/mm ²
Yield strength (f_{py})	: 1670 N/mm ²
Mudulus elastisitas (E_p)	: $1,95 \times 10^5$ mm ²
Luas penampang (A_r)	: 182,41 mm ²

Tabel 4.1 Dimensi Kabel Jembatan Bareleng

No.Kabel	Banyak Strand	Luas Kabel (Cm ²)	No.Kabel	Banyak Strand	Luas Kabel (Cm ²)
41	90	1149,213	130	52	663,989
43	90	1149,213	136	30	383,071
45	60	766,142	144	36	459,685
49	65	829,987	150	36	459,685
53	53	676,759	156	40	510,71
61	53	676,759	162	42	536,299
67	49	625,682	168	46	587,375
73	47	600,144	174	49	625,682
80	47	600,144	180	52	663,989
86	41	523,53	180	54	689,528
94	41	523,53	192	56	715,066
100	35	446,916	198	65	829,987
106	30	383,071	204	56	715,056
112	53	676,759	210	84	1072,598

4. Hasil dan Pembahasan

4.2 Batas Tegangan Kabel dan Lendutan

A. Nilai batas tengangan kabel yaitu 837 Mpa dimana nilai tersebut di dapatkan dari :

$$T = 0.45 \times 1860 \text{ Mpa} \\ = 837 \text{ Mpa}$$

B. Menghitung gaya tarik kabel manual :

$$P_i = \frac{w.L_i}{\sin\alpha_i}$$

Tabel 4.2 Gaya Kabel Manual

No. Kabel	Gaya Kabel (kN)
CAB 1'	1.369.155.238
CAB 2'	1.287.032.482
CAB 3'	1.475.428.925
CAB 4'	1.728.102.481
CAB 5'	202.675.931
CAB 6'	2.340.132.321
CAB 7'	2.617.446.257
CAB 8'	3.161.789.695
CAB 9'	3.383.142.915
CAB 10'	3.351.077.833
CAB 11'	3.001.997.081

CAB 12	2.476.898.156
CAB 13'	180.809.846
CAB 14	1.945.847.156

Batas lendutan pada jembatan *cable stayed* yaitu diambil dari bentang utama jembatannya yaitu :

$$\Delta \leq \frac{L}{400}, \text{dimana } L = 350 \text{ m}$$

Dilihat dari perpindahan gelagar pada permodelan SAP 2000 pada arah vertikal yang terjadi di dapatkan nilai sebesar 349.359 mm dimana deformasi tersebut masih di batas lendutan izin, lendutan izin pada jembatan *cable stayed* ini yaitu sebesar 875 mm. jadi jembatan ini masih bisa dikatakan aman karena deformasi yang terjadi masih di atas lendutan izinnya. Dan untuk *respon* terhadap beban gempa padang pun masih dikatakan aman.

4.3 Analisis Periode

a) Periode (T)

Periode merupakan batas penyelidikan dinamik untuk mengantarkan perulangan teratur suatu konstruksi akibat pengaruh beban gempa seismik. Pada aturan jembatan, tidak ada ketentuan mengenai frekuensi natural izin dari suatu struktur jembatan. Sehingga dalam tugas akhir ini penulis merujuk kepada beberapa referensi yaitu berupa penelitian-penelitian yang dilakukan tentang frekuensi natural dari jembatan *cable stayed* untuk menentukan frekuensi natural izinnya. Dalam penelitian-penelitian tersebut hasil dari frekuensi struktur jembatan *cable stayed* berkisar antara 0.1-1.5 Hz.

Berdasarkan hasil analisis dinamis yang telah dilakukan, didapatkan hasil nilai frekuensi dari struktur akibat dari periode terbesarnya yaitu 1.3413 Hz. Jika dibandingkan dari referensi, nilai frekuensi natural pada struktur Jembatan Bareleng yang dimodelkan berada pada rentangnya sehingga hal ini dapat dinyatakan kondisi dari struktur jembatan tersebut aman.

Tabel 4.3 *Mode Shape* (Perubahan Bentuk)

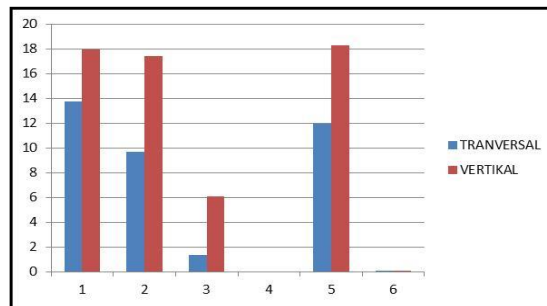
MODE	Periode (T)	Frekuensi (f)
1	1.642.187	0.60894
2	162.713	0.61458
3	141.641	0.70601
4	1.235.144	0.80962
5	11.198.806	0.83416
6	1.115.259	0.89665
7	0.931806	10.732
8	0.852745	11.727
9	0.841702	11.881
10	0.822738	12.155
11	0.804692	12.427
12	0.745563	13.413

4.4 Perbandingan Respons Berupa Perpindahan Akibat Beban Gempa Arah Transversal dan Arah Vertikal

4.4.1 Perpindahan Arah X

Tabel 4.4. Perpindahan Arah X Akibat Beban Gempa

Joint	Perpindahan	
	Beban Arah Transversal (mm)	Beban Arah Vertikal (mm)
Joint 1	13.756	17.991
Joint 2	9.674	17.429
Joint 3	1.383	6.084
Joint 4	0	0
Joint 5	11.982	18.291
Joint 6	0.00001918	0.00003178

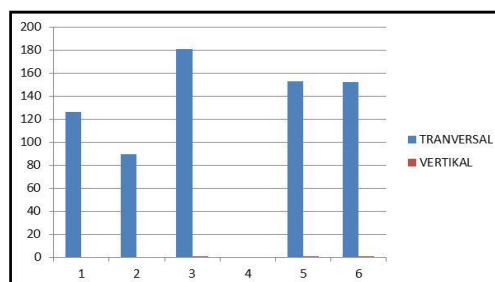


Gambar 4.2. Grafik Perpindahan Arah X Akibat Beban Gempa

4.4.2. Perpindahan Arah Y

Tabel 4.5. Perpindahan Arah Y Akibat Beban Gempa

Joint	Perpindahan	
	Beban Arah Transversal (mm)	Beban Arah Vertikal (mm)
Joint 1	126.576	17.991
Joint 2	89.756	17.429
Joint 3	181.049	6.084
Joint 4	0	0
Joint 5	152.66	0.825
Joint 6	152.438	0.783

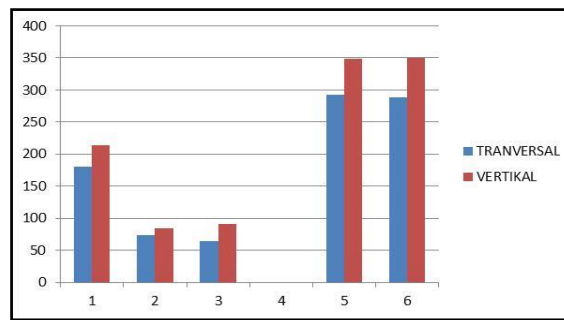


Gambar 4.3 Grafik Perpindahan Arah Y Akibat Beban Gempa

4.4.3. Perpindahan Arah Z

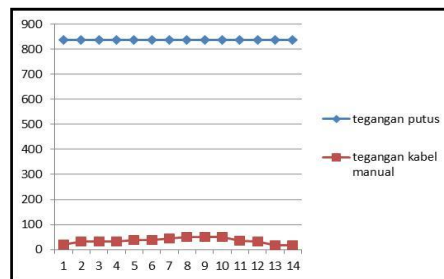
Tabel 4.6. Perpindahan arah Z akibat beban gempa

Joint	Perpindahan	
	Beban Arah Transversal (mm)	Beban Arah Vertikal (mm)
Joint 1	180.231	214.287
Joint 2	89.756	89.942
Joint 3	181.049	90.65
Joint 4	0	0
Joint 5	292.579	349.179
Joint 6	288.624	349.359

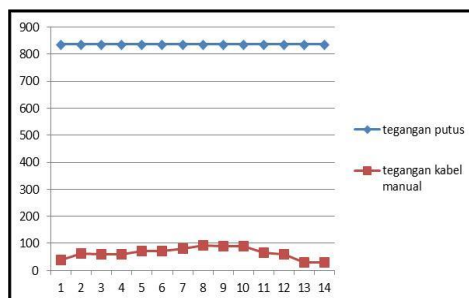


Gambar 4.4 Grafik Perpindahan Arah Z Akibat Beban Gempa

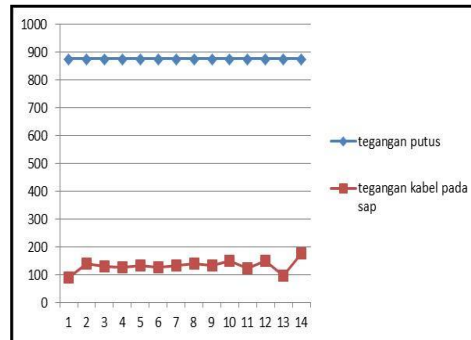
4.8 Tegangan Kabel



Gambar 4.5 Grafik Tegangan Kabel Manual Akibat Gelagar Memanjang



Gambar 4.6 Grafik Tegangan Kabel Manual Akibat Gelagar Memanjang + Gelagar Melintang + Deck



Gambar 4.7 Tegangan Kabel dari SAP 2000

Dari ketiga grafik ini di dapatkan tegangan kabel yang paling besar pada tegangan kabel dari SAP, yaitu 176 MPa.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dapat ditarik dari analisis bangunan atas jembatan Barelang yang dibangun menggunakan kabel *cable stayed* tipe radial. yaitu:

1. Nilai frekuensi struktur jembatan didapatkan sebesar 1.3413 Hz (T12).
2. Sebuah respon struktural yang berbeda dihasilkan sebagai hasil dari analisis dinamik struktur jembatan. Ini memiliki perpindahan yang lebih besar dalam analisis dinamis arah longitudinal dari pada arah vertikal.
3. Tegangan Kabel yang didapatkan dengan angka tertinggi adalah 176 MPa, Sehingga tegangan tersebut masih di batas tegangan putusnya.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil perbandingan yang lebih tepat, titik tinjauan *displacement* harus lebih banyak dan rinci.

Ucapan Terimakasih

Saya mengucapkan terimakasih kepada seluruh akedemisi Politeknik Negeri Sriwijaya yang dapat membantu saya dalam penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] F. Z. Fairus, "Analysis of Pillar Foundations and Abutments in The Batu Rasang-Mambulu Village Bridge Project Tambelengan District Sampang Regency," *JCEP*, vol. 3, no. 2, pp. 126-137, 2022.
- [2] F. M. Nugrahanto, "Perencanaan Ulang Jembatan Lemah Ireng (Ungaran – Bawen), Kabupaten Semarang Dengan Sistem *Cable Stayed* Single Plane," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.

- [3] F. Fernando and A. J. Saputra, "Analysis of the Effect of Shear Walls on Building Structural Deviations in High-rise Buildings Monde City Tower M2 Batam City," *JCEP*, vol. 3, no. 2, pp. 146-160, 2022.
- [4] Hardiyatmo, Hary Christady, *Rekayasa Gempa Untuk Analisis Struktur dan Geoteknik*, Yogyakarta: UGM Press, 2022.
- [5] H. Priyosulistyo, *Analisis Dinamika Struktur dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sipil*, Yogyakarta: UGM Press, 2022.
- [6] W. Dewobroto, *Komputer Rekayasa Struktur dengan Sap 2000*, Jakarta: LUMINA Press, 2013.
- [7] Anissa, B. Herbudiman and E. Widyaningsih, "Analisis Tahapan Konstruksi Jembatan *Cable Stayed* dengan Metode Keseimbangan Kantilever," *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, vol. 6, no. 2, 2020.
- [8] A. Yudi, N. B. Wirawan, S. A. Fauzan and R. Nadeak, "Structure Behavior Analysis with Time History Levelling Method (Case Study in Building E ITERA)," *Journal of Science and Applicative Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 148 - 161, 2019.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, Jakarta, 2019.
- [10] R. Purnawan, "Design Of New Sembayat Cable Stayed Bridge With Single Plane System Using Balanced Cantilever Construction Method," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.