
ANALISIS DISPLACEMENT DAN PARTISIPASI MASSA STRUKTUR JEMBATAN TERHADAP BEBAN GEMPA (Studi Kasus : Pembangunan Jembatan Jalan TOL Ruas Besuki - Asembagus)

Oleh

Afiatur Rizki Ramadhan¹, Pio Ranap Tua Naibaho², Kristina Sembiring³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tama Jagakarsa

E-mail: ¹afiaturrizki9@gmail.com, ²piorthnaibaho@gmail.com,

³kristinasembiring70@gmail.com

Article History:

Received: 09-06-2022

Revised: 24-06-2022

Accepted: 14-07-2022

Keywords:

embanan, struktur atas,
gempa, Midas Civil.

Abstract: Jembatan beton merupakan suatu sarana penghubung yang saat ini paling banyak yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai displacement pada keadaan ultimit dan nilai partisipasi massa dari jembatan tersebut. Dalam perencanaannya, jembatan harus mampu menahan berbagai macam beban termasuk beban gempa. Berkaitan dengan hal tersebut, dilakukan analisis perilaku struktur atas jembatan beton prategang terhadap gempa dengan metode analisis berdasarkan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016 menggunakan bantuan program Midas Civil. Daerah gempa yang ditinjau adalah jembatan STA. 100+064 daerah ruas Besuki – Asembagus Kabupaten Situbondo. Dari hasil analisa perhitungan dan permodelan pada program Midas Civil didapatkan nilai displacement pada keadaan ultimit sebesar -33,36 mm dimana nilai tersebut masih lebih kecil daripada nilai lendutan yang diizinkan yaitu sebesar -43,75 mm dan nilai Massa Participation Ratio arah x = 89,32 pada mode 14, arah y = 90,22 pada mode 12 dan arah z = 74,64 pada mode 12 dan menunjukkan keadaan paling kritis dari struktur jembatan adalah arah z. Hasil analisa dapat disimpulkan bahwa kondisi dari struktur jembatan tersebut aman apabila menerima kombinasi beban dan beban ultimit.

PENDAHULUAN

Pembangunan jembatan jalan tol Probolinggo – Banyuwangi (Ruas Besuki-Asembagus) menggunakan struktur jembatan girder prategang. Jembatan tersebut termasuk dalam proyek Tol Probolinggo – Banyuwangi yang mulai dibangun pada tahun 2017 dan rencana beroperasi pada tahun 2024. Jembatan yang berlokasi di STA 100+064 sampai dengan STA 100+099 memiliki panjang bentang 35 meter dan memiliki lebar total sebesar 32,3 meter.

Analisis respon jembatan terhadap beban gempa merupakan suatu rangkaian yang sangat penting dalam merencanakan sebuah struktur jembatan karena wilayah Indonesia termasuk dengan wilayah zona tektonik yang cukup aktif. Keberadaan patahan atau pergeseran antar lempeng di wilayah Indonesia menjadikan wilayah Indonesia sebagai zona rawan gempa.

Dalam beberapa tahun ke belakang ini, telah terjadi serangkaian gempa di wilayah Indonesia. Beberapa diantaranya adalah gempa di Aceh tepatnya di sebelah barat Provinsi Aceh pada tanggal 26-12-2004 (9.0 M – 9.3 M), gempa di Kabupaten Nias pada tanggal 28-03-2005 (8.7 M), gempa di Yogyakarta pada tanggal 27-05-2006 (5.9 M), gempa di Padang pada tanggal 30-09-2009 (7.6 M), dan gempa di Kota Palu pada tanggal 28-09-2018 (7.4 M). gempa-gempa tersebut telah menyebabkan jatuhnya korban jiwa, dan kerusakan infrastruktur di wilayah gempa dan sekitarnya.

Berdasarkan kejadian gempa tersebut, diperlukan peninjauan pada struktur yang akan dibangun, termasuk pada struktur jembatan. Suatu analisis mengenai respon struktur jembatan akibat beban gempa dibutuhkan untuk mengetahui sejauh mana respon struktur jembatan terhadap beban gempa.

Beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini, adalah :

1. Bagaimana mengetahui respon struktur jembatan ditinjau pada partisipasi massa?
2. Bagaimana mengetahui *Displacement* pada struktur jembatan dalam keadaan ultimit?

Adapun tujuan dari penelitian ini, adalah :

1. Mengetahui besarnya partisipasi massa struktur jembatan.
2. Mengetahui besarnya *displacement* yang terjadi pada struktur jembatan dalam keadaan ultimit.

LANDASAN TEORI

Definisi Umum Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang dibuat untuk menahan lalu lintas jalan atau memindahkan beban untuk melewati rintangan atau konstruksi lainnya. Lintasan yang diperlukan mungkin untuk pejalan kaki, jalan raya, rel kereta api, kanal, dan pipa, dll. Hambatan dapat berupa sungai, lembah, saluran laut, dan konstruksi lainnya, seperti jembatan itu sendiri, gedung, rel kereta api, atau jalan. (Yoda, 2017)

Standar Pembebanan Jembatan

Beban yang bekerja pada struktur jembatan secara umum dibagi menjadi dua kategori yaitu beban yang bekerja pada struktur atas, dan beban yang bekerja pada struktur bawah. Beban utama komponen jembatan jalan raya adalah beban mati, beban hidup (statis dan dinamis), beban lingkungan (suhu, angin, dan gempa), dan beban lainnya (tabrakan, pengereman darurat). Hal yang paling utama adalah pemisahan antara beban mati (*dead load*) dan beban hidup (*live load*).

Respon Spektrum

Respon spektrum merupakan Plot respon dinamis maksimum dari struktur derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*) untuk pembebanan dinamis yang sama sebagai fungsi dari frekuensi alami dan rasio dari sistem tersebut (Chouw, 2021). Reaksi ini dapat

berupa kecepatan, percepatan, dan perpindahan. Menentukan respon spektrum dapat dilakukan dengan memasukan koordinat lokasi dari penelitian dan didapatkan klasifikasi situs respon spektrum desain.

Partisipasi Massa

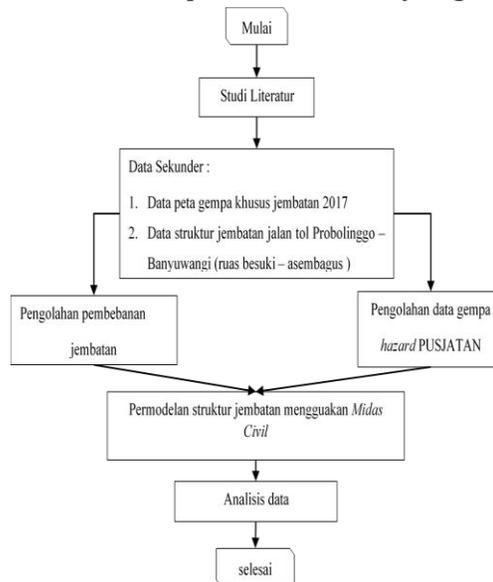
Nilai partisipasi massa paling sedikit 90 %. *Modal Participation Masses* diartikan sebagai partisipasi massa struktur untuk menghasilkan respon total. Apabila analisis dinamis struktur mencapai nilai tersebut, maka dapat diketahui bagian yang kritis dari suatu struktur apabila diberi beban gempa.

Displacement

Displacement dapat diartikan sebagai perpindahan posisi objek terhadap posisi semula. Sebelum melakukan analisis *displacement* dinamik, perlu dilakukan analisis *displacement* statik untuk mengetahui respon struktur terhadap beban sendiri jembatan.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini terdapat empat tahap dimulai dengan studi literatur guna untuk mengumpulkan beberapa informasi yang berkaitan dengan penelitian ini, selanjutnya adalah pengumpulan data sekunder berupa data diri objek penelitian, pengolahan data yang meliputi permodelan menggunakan program *Midas Civil*, serta tahapan yang terakhir berupa analisis data yang didapat dari penelitian.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Adapun rincian penelitian adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Studi literatur adalah tahap awal pada penelitian. Hal ini dilakukan guna mempermudah penelitian dalam menyelesaikan penelitian dan memiliki dasar teori yang jelas agar dapat dipertanggungjawabkan.
2. Pengumpulan Data
Selanjutnya adalah pengumpulan data untuk dilakukan penelitian. Data yang digunakan merupakan data sekunder, seperti data jembatan dan peraturan terbaru yang berkaitan

pada penelitian ini.

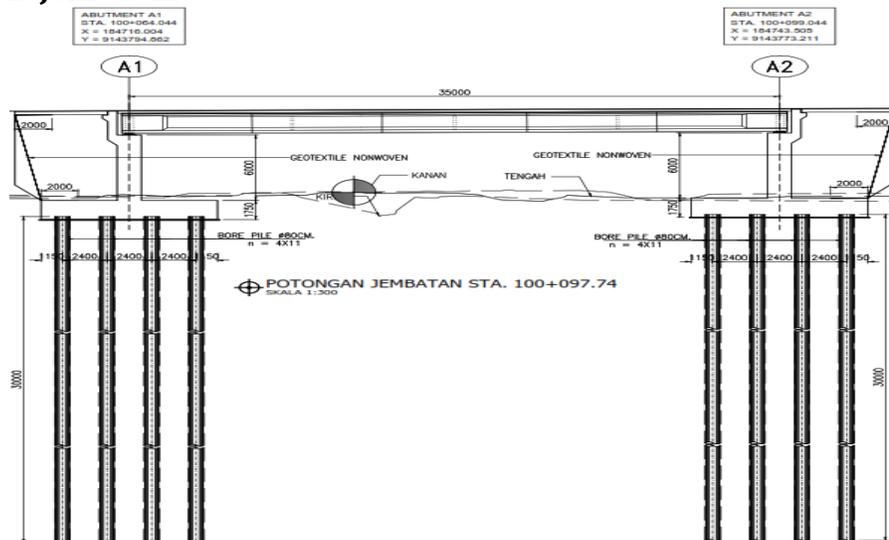
3. Permodelan Struktur Jembatan

Pada tahap ini dilakukan permodelan struktur jembatan menggunakan bantuan program *Midas Civil*. Di tahap ini dilakukan penyederhanaan yang bertujuan mengurangi kompleksitas struktur jembatan.

4. Analisis Data

Dalam tahap analisis ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu analisis statik dan analisis dinamik. Analisis statis berkaitan dengan beban mati dan beban hidup diabaikan, sedangkan analisis dinamis berkaitan dengan beban mati dan beban hidup dan respon spektrum juga diperhitungkan. Jika kedua analisis tersebut telah selesai akan menghasilkan beberapa kesimpulan.

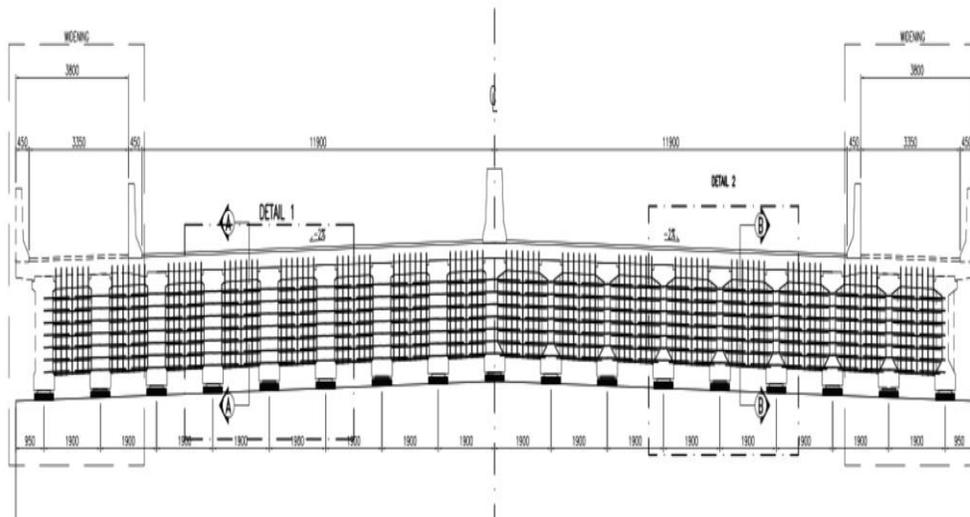
Data Struktur Jembatan



Gambar 2 Potongan jembatan

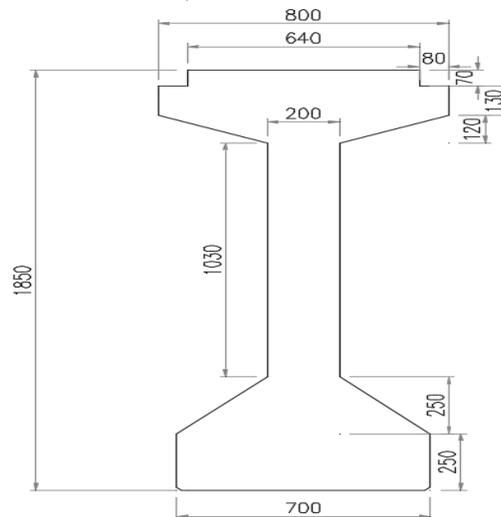
Berikut ini adalah data struktur jembatan jalan tol pada penelitian dapat diperlihatkan sebagai berikut :

Tipe jembatan	: Jembatan prategang PCI girder
Jumlah girder	: 17 unit
Tinggi girder	: 1.85 meter
Tebal pelat lantai	: 0.25 meter
Jumlah diafragma	: 5 unit
Jarak antar diafragma	: 8.75 meter



Gambar 3 Potongan detail jembatan

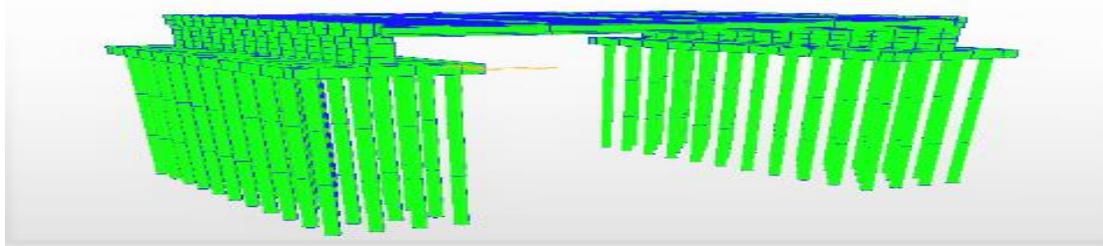
Pada penelitian ini, objek jembatan yang akan diteliti adalah Jembatan Jalan Tol. Lebar total dari jembatan sebesar 32,3 meter dengan 2 jalur yang masing-masing jalurnya selebar 11,9 m dan bahu jalan di setiap sisi selebar 4,25 meter.



Gambar 4 Dimensi I girder (satuan dalam mm)

Permodelan Struktur Jembatan

Permodelan struktur merupakan hal yang utama dalam menganalisis suatu struktur bangunan. Dalam analisis perilaku struktur terhadap beban gempa pada jembatan jalan tol di Probolinggo – Banyuwangi menggunakan bantuan program *Midas Civil*. Permodelan dimulai dengan memahami dimensi gambar dan spesifikasi yang digunakan pada setiap komponen pada data sekunder yang diterima dari Konsultan Perencanaan PT. MULTI PHI BETA berupa data jembatan tersebut. Setelah tahapan dari permodelan dilakukan, diperoleh bentuk permodelan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Model Jembatan Jalan Tol.

Setelah selesai melakukan tahapan dari permodelan jembatan, dilakukan input beban yang telah dihitung saat pemodelan berlangsung. Beban yang didefinisikan berdasarkan pada SNI 1725:2016, dan SNI 2833:2016.

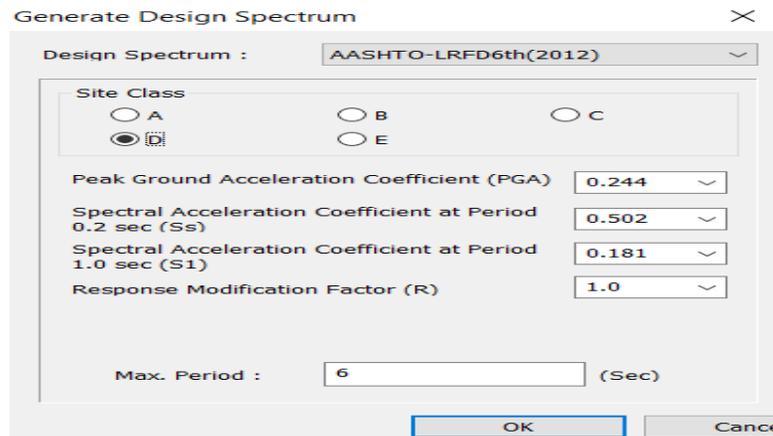
Program *Midas Civil*

Program *Midas Civil* merupakan sebuah program atau *software* yang dibuat untuk menganalisa struktur dan desain struktur dalam bidang teknik sipil khususnya dalam perencanaan jembatan.

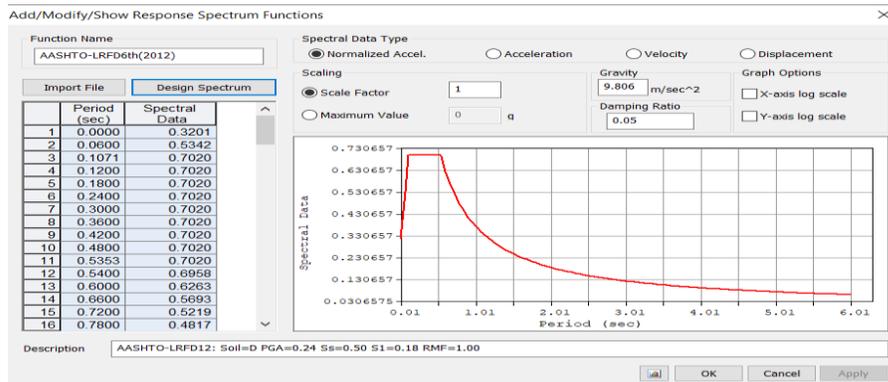
HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon spektrum

Perencanaan struktur yang tahan terhadap beban gempa melalui spektrum gempa rencana perlu memperhatikan faktor percepatan puncak (PGA) serta spektrum respon percepatan di batuan dasar untuk periode pendek 0.2 detik (S_s) serta periode 1 detik (S_1). Nilai tersebut diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa PUSJATAN 2017. Setelah data diperoleh, data dimasukkan ke dalam program *Midas Civil* sebagai beban gempa, akan diperoleh spektrum gempa beserta nilai C_{sm} pada setiap periodenya pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 nilai PGA, S_1 dan S_s Situbondo



Gambar 7 hasil respon spektrum gempa Situbondo

Analisis Partisipasi Massa

Pada hasil analisis modal dari struktur Jembatan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi (ruas besuki – asempagus) didapatkan nilai pada tabel berikut.

Tabel 1 Partisipasi massa

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT						
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	0,00	0,00	78,62	78,62	0,26	0,26
2	80,50	80,50	0,00	78,62	0,00	0,26
3	0,00	80,50	0,20	78,82	43,41	43,67
4	0,00	80,50	0,00	78,83	23,51	67,18
5	0,00	80,50	0,00	78,83	0,00	67,18
6	0,00	80,50	9,27	88,09	0,01	67,19
7	0,00	80,50	0,00	88,09	0,00	67,19
8	0,00	80,50	0,00	88,09	7,19	74,37
9	0,00	80,50	0,00	88,09	0,00	74,37
10	0,00	80,50	0,02	88,11	0,25	74,63
11	0,00	80,50	0,00	88,11	0,00	74,63
12	0,00	80,50	2,11	90,22	0,01	74,64
13	0,00	80,50	0,00	90,22	0,00	74,64
14	8,81	89,32	0,00	90,22	0,00	74,64

Massa Participation Ratio arah x = 89,32 pada mode 14, arah y = 90,22 pada mode 12 dan arah z = 74,64 pada mode 12. Berdasarkan data yang didapat dari hasil program *Midas Civil*, menunjukkan keadaan paling kritis dari struktur jembatan adalah arah- z.

Periode merupakan parameter analisis dinamis untuk menghasilkan frekuensi natural dari suatu struktur akibat pengaruh beban gempa. Berdasarkan SNI (1726-2008) memberikan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan dengan nilai frekuensi jembatan sebesar 2.63 Hz. Nilai tersebut merupakan nilai yang dijadikan standar untuk seluruh jembatan di Indonesia. Berdasarkan hasil dari analisis dinamis yang

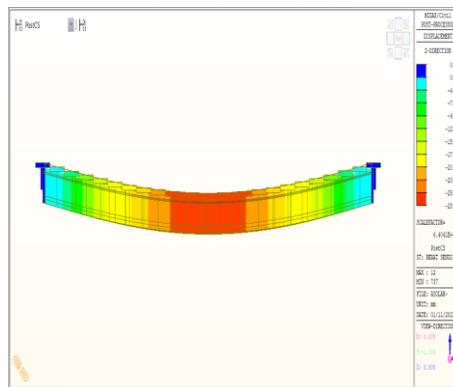
dilakukan diperoleh nilai frekuensi dari struktur akibat dari periode terbesarnya yaitu 1,7135 Hz. Jika dibandingkan terhadap frekuensi berdasarkan standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan, frekuensi Jembatan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi (ruas besuki -asembagus) memenuhi standar yang ditentukan. Hal ini dapat dinyatakan bahwa kondisi dari struktur jembatan tersebut aman.

Tabel 2 Periode dan frekuensi jembatan

EIGENVALUE ANALYSIS		
Mode No	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)
1	1,7135	1,4015
2	1,7170	1,3947
3	2,0015	0,9985
4	3,7563	0,2662
5	3,8479	0,2599
6	4,4691	0,2238
7	6,5270	0,1532
8	10,1823	0,0982
9	13,6115	0,0735
10	13,6727	0,0731
11	14,0212	0,0713
12	14,0495	0,0712
13	14,9873	0,0667
14	15,0281	0,0665

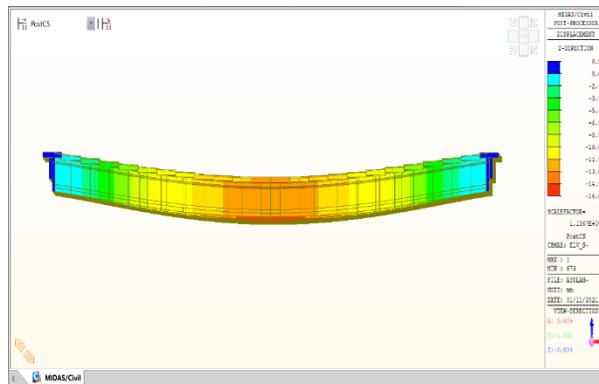
Analisis Displacement

Besarnya *displacement* akibat beban sendiri jembatan terdapat pada gambar dibawah ini.



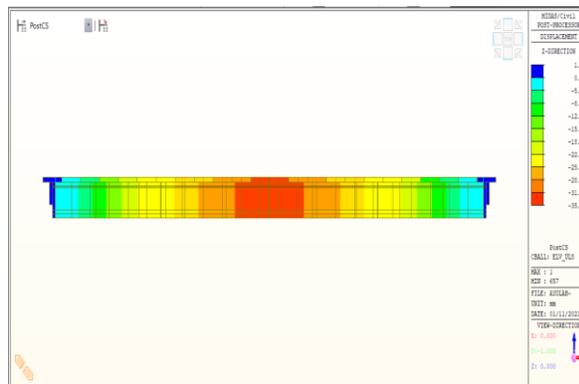
Gambar 8 Displacement pada beban sendiri Jembatan

Nilai *displacement* terbesar terdapat pada bagian tengah girder jembatan atau pada jarak 17.5 m yaitu sebesar -28.52 mm. Setelah nilai *displacement* statik sudah didapatkan, selanjutnya adalah mencari nilai *displacement* dinamik.



Gambar 9 Displacement pada kondisi layan.

Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa penurunan terbesar terjadi pada bagian tengah jembatan sebesar - 16,07 mm.



Gambar 10 Displacement pada kondisi ultimit

Displacement yang terjadi pada jembatan diketahui sama dengan lendutan yang terjadi sehingga dapat dibandingkan dengan lendutan izin yang diperoleh dari persamaan berikut.

$$\text{Lendutan izin} : L/800$$

$$\text{Lendutan izin jembatan 35 m (35000mm)} = 5000/800 = 43,75 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa keseluruhan lendutan yang terjadi di jembatan berada di bawah lendutan yang diizinkan. dengan demikian ditinjau berdasarkan *displacement* jembatan dianggap aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan, yaitu :

1. Massa Participation Ratio arah x = 89,32 pada mode 14, arah y = 90,22 pada mode 12 dan arah z = 74,64 pada mode nomor 12. Berdasarkan data yang didapat dari hasil program Midas Civil, menunjukkan keadaan paling kritis dari struktur jembatan adalah arah- z.
2. Analisis displacement dilakukan dalam beberapa bagian. Pertama, analisis displacement statik untuk mengetahui respon struktur jembatan terhadap beban sendiri, besarnya nilai displacement terjadi pada bentang 17,5 m sebesar 28,52 mm. Kedua, analisis

displacement dinamik disebabkan pada kondisi layan dan ultimit untuk mengetahui lendutan yang diizinkan dengan nilai yang didapat sebesar 35,36 mm yang artinya nilai tersebut tidak melampaui lendutan izin sebesar 43,75 mm.

SARAN

Saran yang dapat diajukan antara lain :

1. Struktur bawah jembatan juga perlu dianalisa agar mendapat hasil perhitungan struktur dari keseluruhan jembatan.
2. Diperlukan perhitungan secara manual pada struktur jembatan, guna untuk membandingkan hasil yang didapat dari penelitian ini.
3. Gunakan program software struktur jembatan yang berbeda untuk hasil pembanding dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang Supriyadi, Agus Setyo Muntohar. (2007). Jembatan. JOGYAKARTA: Beta Offset.
- [2] Chouw, N. (2021). Innovative Bridge Design Handbook. Auckland: Butterworth-Heinemann.
- [3] Christhy Amalia Sapulete, Servie O. Dapas, Oscar H. Kaseke. (2016). OPTIMASI TEKNIK STRUKTUR ATAS JEMBATAN BETON BERTULANG (STUDI KASUS : JEMBATAN DI KABUPATEN PEGUNUNGAN ARFAK). ISSN : 2337-6732, 233-240.
- [4] Hakas Prayuda, Martyana Dwi Cahyati, Bagus Soebandono. (2018). Analisis Tegangan Regangan dan Defleksi pada Sambungan Balok-Kolom Beton Bertulang Menggunakan Beban Statik. mkts.v2412.18436, 122-130.
- [5] Yoda, W. L. (2017). Bridge Engineering. Cambridge: Butterworth-Heinemann
- [6] SNI 2833-2016. 2016. Standar Perencanaan Gempa untuk Jembatan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [7] SNI 1725-2016. 2016. Pembebanan Jembatan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.