

ANALISIS STRUKTUR STASIUN MRT (MASS RAPID TRANSIT) BLOK M TERHADAP KETAHANAN GEMPA

(Studi Kasus : Stasiun MRT Blok M Jakarta Selatan)

(Structure Analysis Of Mass Rapid Transit Blok M Station For Earthquake Resistance)
(Case Study: MRT Bridge CP 103))

Bahri Wahabi¹, F.X. Ferry Munaf¹, Fadli Kurnia¹

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pancasila

E-mail: bahriwahabi@gmail.com

ABSTRAK

MRT Jakarta (Mass Rapid Transit) Adalah sebuah moda transportasi transit tercepat menggunakan kereta rel listrik yang dibangun di Jakarta dalam memajukan infrastruktur yang terintegrasi dan demi pemerataan transportasi diseluruh Indonesia. Dengan berbagai macam zona gempa di Indonesia maka stasiun MRT Blok M sebagai acuan untuk membangun stasiun lain di zona gempa yang berbeda. Berdasarkan paparan di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi bangunan struktur sehingga bisa sebagai acuan pembuatan stasiun MRT lainnya yang dengan spesifikasi yang sama, menganalisis kekuatan struktur (respons struktur) dari stasiun MRT Blok M, menganalisis kekuatan struktur berdasarkan gempa maksimum dan gempa minimum di Indonesia berdasarkan SNI 1726 2016. Dengan permodelan bantuan CSI Bridge V 20. Analisis ini membandingkan stasiun MRT dengan Respons Spektrum gempa rendah, Respons spektrum gempa tinggi , dan Respons spektrum gempa sedang . Sehingga di dapatkan momen maksimum untuk gempa tinggi 1334,8717 Ton-m ,momen maksimum untuk gempa rendah 1179,4592 Ton-m, momen maksimum untuk gempa sedang 1256,9908 Ton-m. dan untuk gaya geser untuk gempa tinggi 507,8314 ton , untuk gempa rendah 505,0548 Ton, dan untuk gaya geser gempa sedang 506,4403 Ton . Displacement maksimum untuk permodelan gempa sedang -3,17 mm ke arah z , gempa skala rendah -2,48 mm ke arah z, gempa tinggi -3,21 mm ke arah z. untuk nilai defleksi maksimum 60,903 mm dengan gempa skala tinggi ,untuk nilai koefisien stabilitas maksimum akibat defleksi yaitu 0,025rad. Dalam analisis ini mengevaluasi tentang momen, gaya geser, displacement , simpangan antar lantai , koefisien stabilitas . dengan perbandingan antar gempa lemah dan gempa tinggi serta gempa eksisting

Kata Kunci: Respons Spektrum, Gempa, Stasiun MRT

ABSTRACT

Jakarta MRT (Mass Rapid Transit) Is the fastest transit mode using an electric railroad built in Jakarta to promote integrated infrastructure and for the sake of equitable transportation throughout Indonesia. With various kinds of earthquake zones in Indonesia, the Blok M MRT station is a reference for building other stations in different earthquake zones. Based on the above explanation, this study was conducted to evaluate the structure of the building so that it can be used as a reference for making other MRT stations with the same specifications, analyzing the structural strength (structural response) of the Blok M MRT station, analyzing the strength of the structure based on the maximum earthquake and minimum earthquake in Indonesia is based on SNI 1726 2016. With the modeling of the assistance of CSI Bridge V 20. This analysis compares the MRT station with the low earthquake spectrum response, the response of the high earthquake spectrum, and the response of the moderate earthquake spectrum. So that you get the maximum moment for a high earthquake of 1334.8717 Ton-m, the maximum moment for a low earthquake is 1179.4592 Ton-m, the maximum moment for an earthquake is 1256,9908 Ton-m. and for shear forces for high earthquakes 507.8314 tons, for low earthquakes 505.0548 tons, and for moderate earthquake shear 506.4403 tons. The maximum displacement for moderate earthquake modeling is -3.17 mm towards z, low-scale earthquake is -2.48 mm in the direction of z, high earthquake is -3.21 mm in the direction of z. for a maximum deflection value of 60.903 mm with a high-scale earthquake, for the maximum stability coefficient due to deflection of 0.025rad. In this analysis evaluate the moment, shear force, displacement, intersection between floors, stability coefficient. with a comparison between weak earthquakes and high earthquakes and existing earthquakes

Keywords: Spectrum Response, Earthquake, MRT Station.

PENDAHULUAN

MRT Jakarta dibangun untuk memajukan infrastruktur yang terintegrasi di Indonesia dan demi pemerataan transportasi diseluruh Indonesia. Sehingga masyarakat diseluruh Indonesia bisa merasakan dan memiliki moda transportasi yang terintegrasi. Sehingga transportasi Indonesia bisa mengejar dan menyaingi Negara lain seperti Singapura, Malaysia dan Jepang.

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu: lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup ke dalam lempeng Eurasia, sementara lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat. Kegiatan tektonik ini membentuk zona sumber gempa (*seismic zones*), berupa lajur tujaman (*subduction zones*), lajur sesar tegak membuka (*transtensional zones*) dan lajur sesar (*thrust zones*) disebagian besar kawasan Indonesia. Lajur-lajur ini bercirikan pergeseran kerak bumi, yang selalu menimbulkan gempa bumi tektonik. Menurut SNI 03-1726-2012,

Maksud dari penelitian ini adalah memberi masukan kepada instansi terkait yaitu Kementerian Perhubungan (Direktorat Jendral Perkeretaapian) dan PT MRT Jakarta serta PT Kereta Api untuk Redesain struktur pada stasiun Blok M Jakarta Selatan sehingga bisa digunakan di seluruh Indonesia. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengevaluasi bangunan struktur sehingga bisa dijadikan sebagai pembanding dengan struktur eksisting
2. Mengenganalisis kekuatan struktur dari Stasiun MRT Blok M .
3. Menganalisis kekuatan struktur berdasarkan gempa maksimum dan gempa minimum di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Jembatan

Jembatan mempunyai arti penting bagi setiap orang akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagii setiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik. Suatu jembatan tunggal diatas sungai kecil akan dipandang berbeda oleh tiap orang, sebab pengelihat/ pandangan masing masing orang saat pergi bekerja hanya dapat melintasi jembatan setiap hari pada saat pergi bekerja, hanya dapat melintasi sungai bila ada jembatan setiap hari pada saat pergi bekerja hanya dapat melintasi sungai bila ada jembatan dan ia menyatakan bahwa jembatan adalah sebuah jalan yang diberi sandaran pada tepinya. Tentu bagi seorang pemimpin pemerintahan dan dunia bisnis akan memandang hal yang berbeda pula

Magnitude

Magnitude adalah suatu besaran yang menggambarkan besarnya regangan energi yang dilepaskan waktu terjadinya gempa bumi. Ada beberapa rumusan untuk mencari *magnitude* ini, yang paling umum digunakan adalah definisi *magnitude* yang diberikan oleh Richter.

Tabel 1 *Magnitude* dan kelas kekuatan gempa

Magnitude Gempa	Kelas Kekuatan Gempa	Pengaruh Gempa	Perkiraan Kejadian Pertahun
<2,5	Gempa kecil	Pada umumnya tidak dirasakan, tetapi dapat direkam oleh seismograf	900.000
2,5 s/d 4,9	Gempa kecil	Selalu dapat dirasakan, tetapi hanya dapat menyebabkan kerusakan kecil	30.000
5,0 s/d 5,9	Gempa sedang	Menyebabkan kerusakan pada bangunan dan struktur-struktur yang lain	500
6,0 s/d 6,9	Gempa Sedang	Kemungkinan dapat menyebabkan kerusakan besar, pada daerah dengan populasi tinggi	100
7,0 s/d 7,9	Gempa Besar	Menimbulkan kerusakan yang serius	20
≥ 8,0	Gempa Besar	Dapat menghancurlebur kan daerah yang dekat dengan pusat gempa	Satu setiap 5-10 tahun

(Sumber : Chen (2000))

Defleksi

Defleksi atau simpangan antar lantai harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa jembatan yang ditinjau. adapun cara menghitung defleksi pada pusat massa δ sesuai persamaan berikut :

$$\delta = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Pengaruh P-Δ

Setiap bangunan baik gedung maupun non gedung memiliki pengaruh P – Δ pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elem struktur yang dihasilkan, simpangan antar lantai tingkat yang timbul akibat pengaruh ini yang akan berpengaruh pada koefisien stabilitas (θ) sebagai berikut :

$$\theta = \frac{p_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Perhitungan V_x berdasarkan SNI 1726 2012 pasal 7.8.1 sebagai berikut :

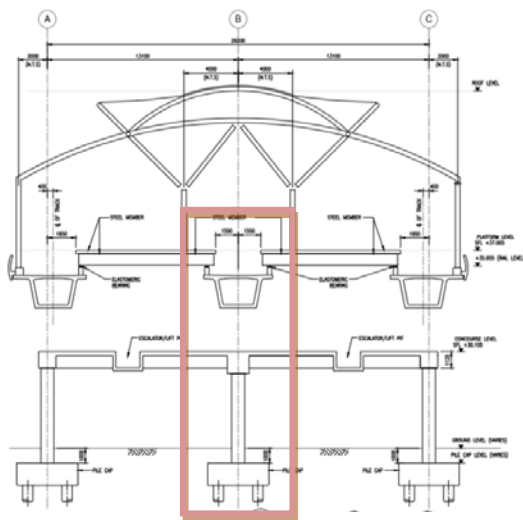
$$V = C_s W$$

$$V = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} W$$

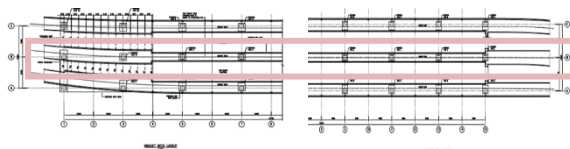
METODE PENELITIAN

Metode perhitungan yang digunakan dalam analisis ini adalah metode kuantitatif, yaitu melakukan perhitungan struktur atas bangunan agar mendapatkan struktur yang kuat menerima beban yang terjadi. Pembebanan sesuai dengan SNI-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Analisis gaya dalam permodelan struktur menggunakan *software CS/ Bridge*. Gaya dalam hasil perhitungan program digunakan sebagai alat bantu dalam menganalisa momen yang terjadi akibat adanya pembebanan.

Lokasi tempat penelitian berada pada Stasiun MRT (mass rapid transit) Blok M Jakarta Selatan. Dengan berfokus pada jalur rel tengah seperti gambar 1 dan gambar 2



Gambar 1 Potongan Stasiun MRT Blok M (Sumber : Data MRT)



Gambar 2 Denah Balok Kolom (Sumber : Data MRT)

Pembebanan

Spesifikasi Beton

- Mutu beton : C32/40
- Fc Beton : 40 MPa
- Ec : 30094,6839159344 MPa
- u : 0,2
- Modulus geser : 12539,452 MPa
- fc'i = 0,80 × fc' : 32 MPa

Tegangan ijin beton saat penarikan:

- Tekanan ijin tekan : 0,55 × fc'i = 17,6 MPa
- Tekanan ijin tarik : 0,80 × √fc'i = 4,525MPa

Tegangan ijin beton keadaan akhir :

- Tegangan ijin tekan : 0,40 × fc' = 12,8 MPa
- Tegangan ijin tarik : 0,60 × √fc' = 2,828 MPa

Spesifikasi Baja Prategang

Tabel 2 Standar VSL

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL		
Jenis strands	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270	
Minimum yield stress (Fy)	421	MPa
Minimum tensile stress (Fu)	1275	MPa
Diameter nominal strands	14	Mm
Luas tampang nominal satu strands	150	mm ²
Modulus elastisitas	200000	N/mm ²
Gaya tendon	5301000	N
Tipe dongkrak	VSL 19	

(Sumber : Data MRT)

Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri dihitung sebagai berikut

Tabel 3 Berat sendiri

No.	Jenis berat sendiri konstruksi	Satuan	Berat
1	Box girder prestress	KN/m	159,635
2	Diafragma	KN/m	3,840
	Total berat sendiri, Q _{ms}	KN/m	163,475

Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan (superimposed dead load), adalah berat seluruh badan yang menimbulkan suatu beban pada girder jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

Tabel 4 Beban SIDL (superimposed dead load)

No.	Jenis berat sendiri konstruksi	Satuan	Berat
1	Beban rel	KN/m	5.37405
2	Beban relling untuk peron	KN/m	1.1508
3	Beban atap	KN/m	144

No.	Jenis berat sendiri konstruksi	Satuan	Berat
	Total berat SIDL, Q_{ms}	KN/m	151,43

Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi merata (*Uniformly Distributed Load*), UDL dan beban garis (*Knife Edge Load*).

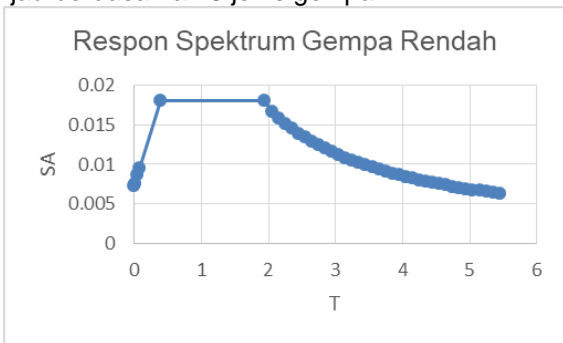
- Panjang bentang :109,95 m
- Lebar jalur : 8,10 m
- Beban merata : 5,728 kN/m
- Beban merata box girder : 38,949 kN/m
- Beban garis : 49 kN/m
- Beban terpusat box girder : 466,48 kN

Beban Angin (EW)

Beban garis merata tambahan arah horisontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan yaitu 1,764 kN/m dan untuk bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan yaitu 2,891 kN/m

Beban Gempa (EQ)

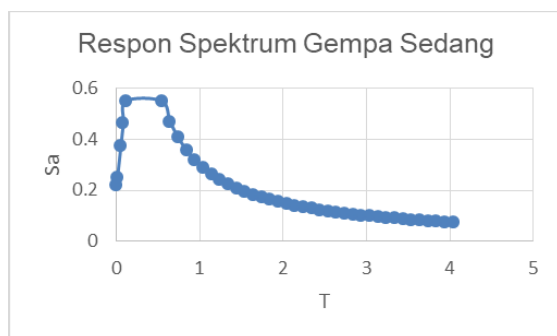
Analisis beban gempa dilakukan dengan cara dinamik respon spektrum dan didasarkan pada SNI 1726-2012 di tinjau berdasarkan 3 jenis gempa



Gambar 3 Grafik respons spectrum

Parameter Respons Spektrum

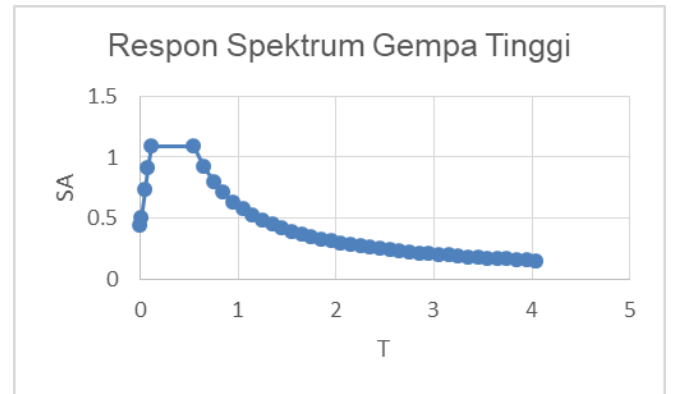
- SMS(g) :0.026
- SM1(g) :0.052
- SDS(g) :0.018
- SD1(g) :0.034
- T : 0.540
- T0 :0.390
- PGA :0,007
- SS :0,017
- S1 :0,027



Gambar 4 Grafik respons spectrum

Parameter Respons Spektrum

- SMS(g) : 0.825
- SM1(g) : 0.450
- SDS(g) : 0.550
- SD1(g) : 0.300
- T : 0.540
- T0 : 0.169
- PGA : 0,44
- SS : 0,55
- S1 : 0,30



Gambar 5 Grafik respons spectrum

Parameter Respons Spektrum

- SMS(g) : 1,637
- SM1(g) : 0.900
- SDS(g) : 1,091
- SD1(g) : 0.600
- T : 0.55
- T0 : 0.110
- PGA : 0.643
- SS : 1.637
- S1 : 0.600

Kombinasi Beban (Load Combination)

Kombinasi pembebanan yang akan dilakukan pada analisis kali ini yaitu menggunakan SNI.

Tabel 5. Kombinasi Beban SNI

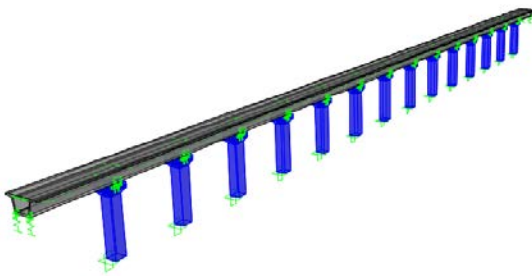
Keadaan Batas	MS MA TA PR FL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _l	BF	EU _s	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TP}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TP}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TP}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TP}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{TP}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,0	1,0
Daya Jaran I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TP}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Jaran II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Jaran III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TP}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Jaran IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Faktor (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber: SNI 1726-2012

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemodelan

Berikut merupakan hasil dari pemodelan jembatan *box girder* pada program CSI *Bridge*.



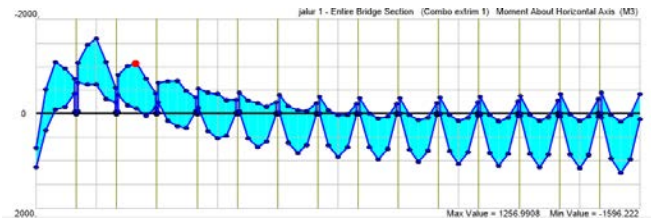
Gambar 6. Pemodelan Struktur dengan CSI Bridge.

Evaluasi Hasil Analisis Perilaku Struktur

Dalam mencapai tujuan untuk mengetahui perbedaan dan perubahan perilaku bangunan, dari data rekapitulasi momen yang terjadi, pada pemodelan dengan menggunakan sistem struktur pilar dan girder dilihat dari faktor-faktor perilaku seperti momen, gaya geser, displacement, defleksi dan pengaruh P-Δ . Maka dilakukan evaluasi hasil analisis pemodelan yang dilakukan di software CSI Bridge.

Analisis Momen

Momen yang terjadi pada pemodelan struktur dapat dilihat pada gambar grafik 7 di bawah ini.



Gambar 7 Grafik Momen gempa sedang

Dari data rekapitulasi momen yang terjadi, pada pemodelan struktur dengan menggunakan perhitungan SNI Jembatan maka didapatkan grafik seperti pada di atas. Berat struktur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai momen, semakin berat struktur maka akan semakin besar pula nilai momen dari struktur tersebut. Berikut tabel 6 nilai momen maksimum yang terjadi pada pemodelan struktur jembatan box girder

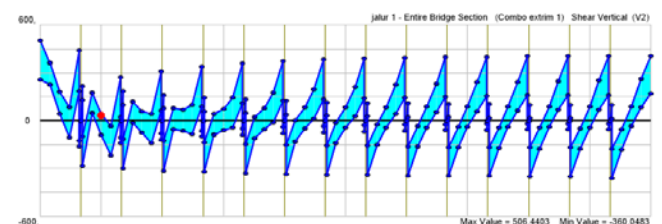
Tabel 6 Momen

Momen	Gempa Sedang		Gempa Rendah		Gempa Tinggi		
	Momen (Kgf-m)	Momen (Ton-m)	Momen (Kgf-m)	Momen (Ton-m)	Momen (Kgf-m)	Momen (Ton-m)	
Maksimum	+	1256991	1256,991	1179459.2	1179.4592	1334841.7	1334,8717
	-	1596227	1596,22	1525112	1525.112	1667630	1667,63
Minimum	+	0,00023	$2,3 \times 10^{-7}$	0,00018	$1,8 \times 10^{-7}$	0,00046	$4,6 \times 10^{-7}$
	-	0,00023	$2,3 \times 10^{-7}$	0,00018	$1,8 \times 10^{-7}$	0,00046	$4,6 \times 10^{-7}$

Dari tabel 6 di atas dapat dilihat bahwa nilai momen maksimum arah positif (+) dari pemodelan struktur dengan box girder didapatkan pada gempa skala tinggi yaitu 1334,8717 ton.m sedangkan arah negatifnya (-) didapatkan pada gempa skala tinggi 1667,63 ton m , untuk momen minimum arah positif (+) nilai dari gempa rendah dipemodelan analisis yaitu $1,8 \times 10^{-7}$ ton.m sedangkan arah negatif (-) didapatkan pada gempa skala rendah yaitu $1,8 \times 10^{-7}$ ton.m .momen merupakan suatu persamaan diferensiasi berpangkat dua terhadap beban sehingga memiliki grafik fungsi parabola Maka dari hasil analisis di atas telah membuktikan bahwa momen yang terbesar berada pada batang lapangan disetiap segmen yang telah dianalisis dan membentuk grafik parabola disetiap segmennya.

Analisis Gaya Geser

Gaya geser dari pemodelan dapat dilihat pada gambar grafik 8 berikut.



Gambar 8. Grafik Gaya Geser

Dari data rekapitulasi nilai gaya geser yang terjadi, pada pemodelan struktur dengan menggunakan perhitungan SNI Jembatan maka didapatkan grafik seperti pada di atas.

Tabel 7. Gaya Geser

Gaya Geser	Gempa Sedang		Gempa Rendah		Gempa Tinggi		
	(Kg)	(Ton)	(Kg)	(Ton)	(Kg)	(Ton)	
Maksimum	+	506440,3	506.4403	505054,8	505,0548	507831.4	507,8314
	-	36004	360.0483	358871,0	358,8708	361228,0	361,2279
Minimum	+	0,00036	$3,6 \times 10^{-7}$	0,00029	$2,9 \times 10^{-7}$	0,00072	$7,2 \times 10^{-7}$
	-	0,00036	$3,6 \times 10^{-7}$	0,00029	$2,9 \times 10^{-7}$	0,00072	$7,2 \times 10^{-7}$

Nilai gaya geser maksimum untuk arah positif (+) yaitu 507,83 ton digempa skala tinggi sedangkan untuk arah negatif (-) yaitu 361,2279 ton digempa skala tinggi.

Untuk gaya geser minimum untuk arah positif (+) yaitu $2,9 \times 10^{-7}$ digempa skala rendah sedangkan untuk arah negatif (-) yaitu $2,9 \times 10^{-7}$ digempa skala rendah. Berdasarkan tabel 4.23 dari hasil pemodelan dapat

disimpulkan bahwa gaya geser berbanding lurus dengan berat struktur sama seperti momen. Hal tersebut dapat dibuktikan dari rumus gaya geser yang merupakan turunan dari momen, dimana besarnya nilai gaya geser dipengaruhi oleh seluruh beban-beban yang bekerja pada struktur dan telah terbukti oleh analisis ini bahwa nilai gaya geser di setiap tumpuan lebih besar dibandingkan dengan dilapangan.

Analisis Displacement

Data rekapitulasi *displacement* pada pemodelan struktur jembatan *box girder* dapat dilihat pada tabel 8, tabel 9, tabel 10 berikut.

Tabel 8 Displacement Arah X

Segmen	gempa tinggi (mm)	gempa lemah (mm)	gempa Sedang (mm)
1	-0,7531	-0,53539	-0,64402
2	-3,78461	-3,18939	-3,48638
3	-5,81086	-5,08677	-5,34306
4	-7,03657	-5,9228	-6,41965
5	-7,67301	-6,24572	-6,93312
6	-7,6569	-6,2169	-7,04527
7	-7,41315	-5,95559	-6,87698
8	-7,41315	-5,53887	-6,50564
9	-6,87118	-5,01779	-5,98399
10	-6,07645	-4,42377	-5,34657
11	-5,23448	-3,7716	-4,61524
12	-4,27583	-3,06325	-3,80316
13	-3,19825	-2,28785	-2,93211
14	-1,98495	-1,67349	-1,96312
15	-0,72535	-0,89789	-1,00043

* negatif (-) hanya menunjukkan arah

Tabel 9 Displacement Arah Y

Segmen	Gempa tinggi (mm)	gempa lemah (mm)	gempa Sedang (mm)
1	1,70973	1,43945	1,57387
2	8,87021	6,8274	7,75932
3	15,51334	10,78053	13,63081
4	20,33178	14,31027	17,59546
5	23,38523	16,21546	19,92538
6	26,3771	17,2229	21,22319
7	26,3771	17,41534	21,89731
8	26,72869	17,48058	22,08626
9	26,27663	17,39261	21,80114
10	25,35747	17,10652	21,0311
11	23,56474	16,43215	19,6459
12	20,74775	14,99753	17,26525
13	16,38841	12,27751	13,35107

Segmen	Gempa tinggi (mm)	gempa lemah (mm)	gempa Sedang (mm)
14	10,19669	6,81154	7,7353
15	3,08957	1,41403	1,56627

Tabel 10 Displacement Arah Z

Segmen	gempa tinggi (mm)	gempa lemah (mm)	gempa Sedang (mm)
1	-2,22486	-1,89112	-2,05765
2	-2,55903	-2,26821	-2,41332
3	-1,61001	-0,9457	-1,47009
4	-1,96956	-1,46458	-1,84047
5	-2,4947	-1,84735	-2,38141
6	-3,07871	-2,6601	-2,75779
7	-3,07871	-2,33607	-3,01277
8	-3,21656	-2,48745	-3,17987
9	-3,303	-2,59752	-3,29051
10	-2,70845	-2,67676	-3,39835
11	-2,77148	-2,73355	-3,48666
12	-2,85036	-2,77631	-3,55178
13	-2,9228	-2,80933	-3,59843
14	-2,9817	-3,50593	-3,62852
15	-3,0474	-3,28926	-3,45346

* negatif (-) hanya menunjukkan arah

Nilai *displacement* (perpindahan) arah X dan arah Y berbeda-beda diakibatkan jembatan memiliki gaya yang disebabkan oleh getaran akibat gempa yang mempengaruhi perpindahan tersebut. Nilai *displacement* dibentang awal dan dibentang akhir lebih kecil dibandingkan dengan di tengah bentang, karena bentang awal dan bentang akhir dibuat perletakan sendi dan dianggap sebagai *abutment* sehingga membuat nilai *displacement* mengecil.

Nilai *displacement* (lendutan) arah z memiliki nilai yang cukup konstan karena lendutan yang diakibatkan oleh beban dan getaran gempa yang menimbulkan momen memiliki beban nilai yang sama besar sehingga perubahan lendutan tidak terlalu besar

Dari tabel 8 tabel 9 tabel 10 di atas dapat dilihat dengan *displacement* maksimum -5,53887 mm arah x, 17,48058 mm arah y, dan -2,48745 mm arah z .lendutan izin arah z pada jembatan adalah $\Delta = \frac{L}{800} = \frac{12,5}{800}$ dengan hasil $\Delta = 0,015 \text{ m} = 15 \text{ mm}$ maka lendutan baik gempa tinggi , gempa rendah , dan gempa Sedang sudah memenuhi syarat

Pengaruh Defleksi

Defleksi atau simpangan antar lantai harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa jembatan yang ditinjau.

Tabel 11 Defleksi Arah x

Skala gempa	Tinggi (m)	δ_{xe} (mm)	I	C_d	δ (mm)	Δ (mm)	Δ_{izin} (mm)	$\Delta \leq \Delta_{izin}$
Gempa	10,228	6,505	1,5	5,5	23,851	16,507	71,596	Ok
Sedang	5,114	2,003	1,5	5,5	7,344	7,344	35,798	Ok
Gempa	10,228	7,413	1,5	5,5	27,181	19,646	71,596	Ok
Tinggi	5,114	2,055	1,5	5,5	7,535	7,535	35,798	Ok
Gempa	10,228	5,538	1,5	5,5	20,306	13,4126667	71,596	Ok
Rendah	5,114	1,88	1,5	5,5	6,893333	6,89333333	35,798	Ok

Tabel 12 Defleksi Arah Y

Skala gempa	Tinggi (m)	δ_{xe} (mm)	I	C_d	δ (mm)	Δ (mm)	Δ_{izin} (mm)	$\Delta \leq \Delta_{izin}$
Gempa	10,228	13,41	1,5	5,5	49,17	32,266	71,596	Ok
Sedang	5,114	4,61	1,5	5,5	16,903	16,903	35,798	Ok
Gempa	10,228	16,61	1,5	5,5	60,903	37,767	71,596	Ok
Tinggi	5,114	6,31	1,5	5,5	23,137	23,137	35,798	Ok
Gempa	10,228	12,87	1,5	5,5	47,19	31,386	71,596	Ok
Rendah	5,114	4,31	1,5	5,5	15,803	15,803	35,798	Ok

Defleksi semua permodelan sudah memenuhi izin dengan $\Delta_{izin}=0,007hx$ berdasarkan SNI 1726 2012 pasal 7.12.1. dan besarnya defleksi ditentukan oleh besarnya faktor resiko (Ix) suatu gempa dan pergeseran setiap lantai serta pergerakan displacement arah x di masing masing gempa.

Pengaruh P-Δ

Hasil dari perhitungan perbandingan koefisien stabilitas antar gempa rendah dan tinggi sebagai berikut :

Tabel 13 Koefisien Stabilitas Arah X

Gempa skala	tinggi	Δ	cd	le	P	V	θ	θ_{max}	$\theta < 0,1$ $\theta < max$
gempa	10228	16,5073	5,5	1,5	44130,2	4550,922	0,004	0,091	ok
Sedang	5114	7,34433	5,5	1,5	44130,2	4550,922	0,004	0,091	ok
gempa	10228	19,646	5,5	1,5	44130,2	9027,374	0,003	0,091	ok
tinggi	5114	7,535	5,5	1,5	44130,2	9027,374	0,002	0,091	ok
gempa	10228	13,4127	5,5	1,5	44130,2	1489,393	0,011	0,091	ok
rendah	5114	6,89333	5,5	1,5	44130,2	1489,393	0,011	0,091	ok

Tabel 14 Koefisien Stabilitas Arah Y

Gempa skala	tinggi	Δ	cd	le	P	V	θ	θ_{max}	$\theta < 0,1$ $\theta < max$
gempa	10228	32,2667	5,5	1,5	44130,2	4550,92	0,008	0,091	ok
Sedang	5114	16,9033	5,5	1,5	44130,2	4550,922	0,009	0,091	ok
gempa	10228	37,7667	5,5	1,5	44130,2	9027,374	0,005	0,091	ok
tinggi	5114	23,1367	5,5	1,5	44130,2	9027,374	0,006	0,091	ok
gempa	10228	31,3867	5,5	1,5	44130,2	1489,393	0,025	0,091	ok
rendah	5114	15,8033	5,5	1,5	44130,2	1489,393	0,025	0,091	ok

Data di atas adalah nilai koefisien stabilitas yang diakibatkan oleh pengaruh P -Δ. nilai sudut yang di hasilkan dari pengaruh P -Δ sudah memenuhi syarat yang diizinkan dengan $\theta_{max} = 0,5/(\beta C_d) \leq 0,25$ yang berdasarkan SNI 1726 2012. Besarnya stabilitas antara gempa diakibatkan oleh Δ yang dipengaruhi oleh faktor reduksi gempa (Ix) yang berbeda beda nilainya.

KESIMPULAN

Dalam analisis ini mengevaluasi tentang momen, gaya geser, displacement, simpangan antar lantai, koefisien stabilitas dengan perbandingan antar gempa lemah dan gempa tinggi serta gempa sedang yang nilainya sudah memenuhi syarat izin dan sudah memenuhi syarat ketentuan gempa SNI 1726 2012

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional.** (2008). standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan, SNI 2833 2008, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional.** (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, SNI 1726 2012. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional.** (2013). Beban minimum untuk perencanaan struktur bangunan gedung dan struktur lain, SNI -1727-2013, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional.** (2016.) Pembebanan untuk jembatan, SNI 1725 2016, Jakarta.
- Computer & struktur, inc.** (2017). CSI BRIDGE 2017, amerika
- Muntohar, agus setyo.** (2007). Jembatan , Yogyakarta.
- Muslim fadhilah.** (2012). kajian pengaruh gempa terhadap perilaku jembatan kabel suramadu selama tahap konstruksi dengan analisis riwayat waktu, skripsi, depok , universitas indonesia
- Nawy, G. Adward.** (1998). Beton Bertulang, Biro Penerbit, PT. Refika Aditama.
- Nugroho, budi.** (2016). perancangan jembatan , samarinda.
- Sudarmoko.** (1996). Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang, Biro Penerbit, Yogyakarta.