

# EVALUASI STRUKTUR BAWAH JEMBATAN KERETA API RANGKA BAJA TIPE WARREN BENTANG 42 M BERDASARKAN PETA GEMPA 2017

*Substructure Evaluation of Steel Frame Bridge of 42 m Warren-type Based on Indonesian Earthquake Map 2017*

**Jannatan Firdaus, Bagus Soebandono**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Indonesia merupakan negara yang terletak pada kawasan cincin api pasifik (*ring of fire*) dan pertemuan lempeng benua Asia dan Australia. Kawasan tersebut merupakan jalur persebaran gunung api dan pergerakan tektonik aktif yang berakibat peningkatan intensitas gempa bumi. Peningkatan intensitas gempa bumi pada Indonesia menjadikan negara rawan terhadap bencana. Kerugian akibat dampak gempa bumi sangat besar. Salah satu antisipasi dijadikan permasalahan sebagai tolak ukur faktor pembebanan dalam perencanaan konstruksi. Peta gempa 2017 menjadi salah satu acuan untuk perancangan bangunan gedung maupun nongedung. Jembatan merupakan infrastruktur untuk membantu kegiatan transportasi dan mobilisasi manusia. Salah satu komponen struktur bawah jembatan ialah abutmen. Penelitian ini bertujuan untuk evaluasi abutmen dengan peta gempa 2017 pada struktur yang sudah dibangun. Analisa dilakukan dengan menghitung ulang kapasitas dukung abutment berdasarkan beban struktur atas yang terdampak oleh beban gempa peta gempa 2017. Peta gempa berdasarkan percepatan batuan dasar dengan probabilitas 7% dalam 75 tahun bernilai 0,3 g menjadi 0,4 g. Hasil yang diperoleh nilai faktor amplifikasi sebesar 1,24 saat 0,2 detik dan 1,8 saat 1 detik. Menggunakan rumus Mononobe-Okabe didapatkan nilai beban gempa horizontal sebesar 29,208 ton. Nilai stabilitas abutmen terhadap penggeseran, penggulingan dan daya dukung tanah berturut-turut sebesar 8,527, 5,729 dan 0,55 dari faktor acuan 3.

Kata kunci: Peta gempa, respon spektrum, kapasitas geser, kapasitas guling, daya dukung tanah

**Abstract.** *Indonesia is a country located in the Ring of Fire and the Asia and Australia Continental Plate meeting. The area is a volcano-spread pathway and active tectonic movements increasing the intensity of earthquakes. Increasing the intensity of earthquakes in Indonesia makes the country vulnerable to disasters. Losses due to earthquakes are enormous. One of the anticipations was as a matter of measuring the load factor in construction planning. The 2017 earthquake map became one of the references for building buildings and the building. Bridges are the infrastructure to help transport activities and human mobilization. One component of the lower structure of the bridge is abutment. The research aims to demonstrate the safety of the earthquake with the influence of 2017 earthquakes on structures already built. This research is an analysis by replacing the earthquake burden of the earthquake load planning that has been used with the new earthquake load. Earthquake map based on basic rock acceleration with a probability of 7% in 75 years worth 0,3 g to 0,4 g. Results obtained amplification factor value of 1,24 when 0,2 seconds and 1,8 when 1 second. Using the Mononobe-Okabe formula obtained a horizontal earthquake load value of 29,208 tonnes. Stability value of against shifting, overturning and bearing capacity are the successful overthrow of 8,527, 5,729 and 0,55 of the reference factor 3.*

*Keywords: Earthquake map, respons spektrum, sliding capacity, overturning capacity, bearing capacity*

## 1. Pendahuluan

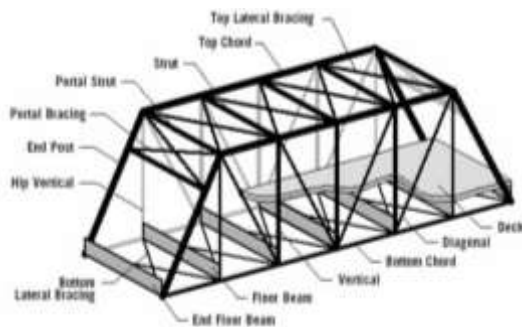
Indonesia merupakan negara dengan tingkat rawan bencana tinggi seperti banjir, tanah longsor, kebakaran hutan, tsunami dan gempa bumi. Mengacu pada letak geografisnya, Indonesia terletak diantara Benua Asia dan Australia, serta samudra pasifik dan hindia. Indonesia juga terletak dalam cincin api (*ring of*

*fire*) pasifik (Peta Gempa, 2017). Cincin api tersebut merupakan jalur dengan persebaran letak gunung api vulkanik aktif dan berbagai patahan lempeng tektonik.

Chen (2000) menyatakan, gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang terjadi akibat peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa dari dalam bumi. Menurut Supriatna dan Budiono (2011) energi

rambatan gelombang yang dihasilkan terjadi secara tiba-tiba menyebar melalui lapisan kulit bumi. Gempa bumi memberikan efek yang merugikan bagi masyarakat yang terkena dampaknya. Kerugian material seperti kerusakan pada bangunan tempat tinggal, gedung, jalan raya, bendungan, dan jembatan.

Jembatan merupakan infrastruktur yang digunakan untuk membantu kegiatan perpindahan atau transportasi bagi manusia (Chen dan Duan, 2014). Pembangunan struktur jembatan harus mampu bertahan dari keruntuhan pada saat terjadi gempa, hal ini dikarenakan jembatan menjadi penopang jalur penghubung evakuasi apabila daerah yang terkena gempa tersebut berada pada sebarang sungai, lembah maupun jurang. Menurut SNI-2833 (2016), perencanaan struktur jembatan harus meminimalisir kemungkinan untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan saat terjadi gempa. Jenis jembatan warren dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Jembatan tipe warren (Ressler, 2001)

Terjadinya gempa bumi di Indonesia tidak bisa diprediksi letak dan waktu terjadinya secara pasti. Salah satu upaya untuk mengurangi resiko terhadap gempa dalam perencanaan bangunan gedung dan infrastruktur dengan panduan pada peta gempa 2017 yang ditetapkan oleh pemerintah Indonesia. Perkembangan dalam peta gempa 2017 semakin menunjukkan data yang lebih *valid* dari peta sebelumnya. Menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2016), penentuan pembagian lokasi pada peta gempa mempunyai perbedaan nilai percepatan puncak batuan dasar. Acuan peta gempa 2017 yang digunakan dalam merancang struktur dengan probabilitas terlampaui sebesar 7% dalam 75 tahun. Pada Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan wilayah percepatan batuan pada Indonesia.

Nilai PGA berdasarkan SNI (2016) memerlukan faktor amplifikasi pada periode pendek dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi diperlukan untuk PGA 0,2 detik (FPGA/Fa) dan periode 1 detik (FV). Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan nilai faktor amplifikasi PGA pada periode 0,2 dan 1 detik.

Wilches, dkk. (2019) menyatakan, penggunaan peraturan kriteria perencanaan bangunan yang baru dapat menunjukkan peningkatan pada elemen strukturnya. Setyowulan, dkk. (2016) penggunaan girder beton saat gempa terhadap variasi bentuk abutment yang ditentukan dapat mengurangi *displacement*. Simos, dkk. (2018) Jarak yang jauh dari lokasi jembatan dengan respon gempa pada patahan aktif lebih berpotensi merusak strukturnya. Stefanidou, dkk. (2017) interaksi gempa antara tanah dasar serta tanah timbunan dengan pondasi mempunyai nilai 25-30% kerusakan struktur abutment. Kaviani, dkk. (2012) variasi ukuran abutment dengan posisi girder semakin miring dengan percepatan tanah dasar yang berbeda menunjukkan kemungkinan untuk runtuh (*collapse*). Wang, dkk. (2018) aktivitas kegempaan dapat dianalisis menggunakan *finite element* dengan membandingkan nilai percepatan gempa yang terjadi pada beberapa tempat sebagai acuan perhitungan struktur lainya dan didapatkan variasi *displacement* pada pondasi. Liu dan Gao (2018) *supporting sistem* akibat gempa dapat dimodelkan dalam laboratorium dengan memodifikasi ketinggian pilar dan keefektivitas menahan dampak gempa dapat menurun jika melebihi 15 m. Martin, dkk. (2019) . Kun, dkk. (2017) pergerakan tanah saat terjadi gempa pada sekitar abutment dipengaruhi oleh kemiringan sudut pada girder dapat mengakibatkan *displacement*. Kozak, dkk. (2018) aktivitas kegempaan yang berdampak kerusakan pada struktur jembatan rangka baja dapat dikurangi dengan menambah baut pada struktur atas dan ukuran pilar abutment dapat diperbesar.

Penelitian ini merupakan perhitungan evaluasi keamanan abutment dari jembatan eksisting terhadap pengaruh peta gempa 2017 dengan tidak merubah dimensi dan jenis material struktur.

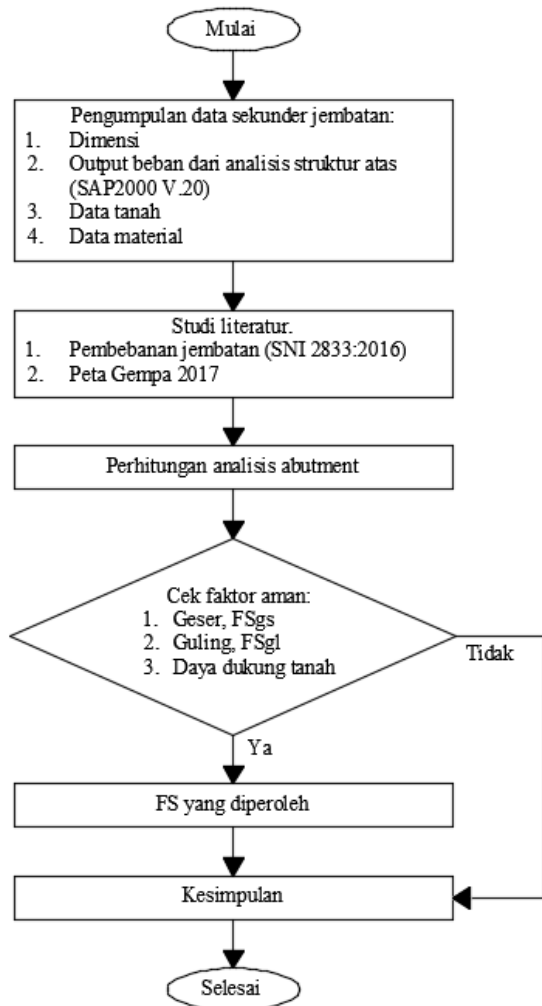
Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi nilai faktor aman struktur bawah

jembatan eksisting dengan acuan dari peraturan SNI 2833:2016 dan peta 2017.

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dan pertimbangan dalam mendesain ulang struktur bawah jembatan kereta api dengan dasar peraturan peta gempa 2017 atau peta gempa yang terbaru. Apabila dalam mendesain analisis struktur tersebut tidak aman dan kurang layak dalam melayani fungsi jembatan, maka dapat diberikan rekomendasi untuk perancangan lebih lanjut.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data jembatan yang menjadi objek analisis merupakan jembatan kereta api dengan jalur operasional Tarahan-Waytuba di Provinsi Lampung. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



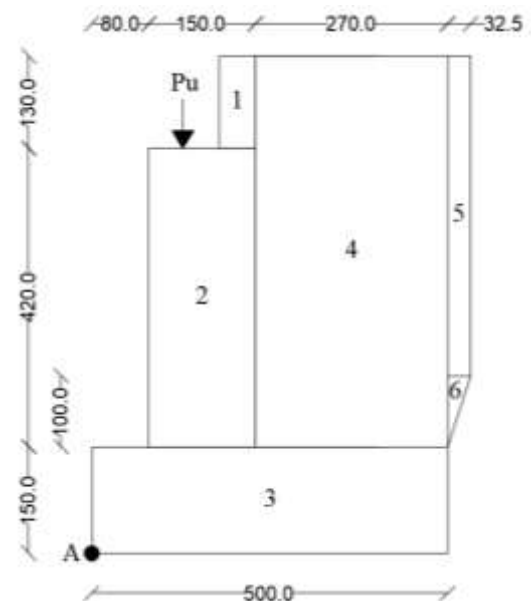
Gambar 2 Bagan alir penelitian

Data sekunder dari jembatan adalah sebagai berikut.

Data struktur atas

Panjang jembatan	: 42	m
Tinggi rangka jembatan	: 8	m
Lebar antar girder	: 1,067	m
Panjang bentang persegi	: 7	m
Data abutment dan tanah		
Lebar abutment	: 6,4	m
Sudut gesek internal	: 30°	
Kohesi tanah timbunan	: 0	ton/m <sup>2</sup>
Kohesi tanah dasar	: 1,25	ton/m <sup>2</sup>
Berat volume tanah timbunan	: 1,8	ton/m <sup>3</sup>
Berat volume tanah dasar	: 1,7	ton/m <sup>3</sup>

Dimensi abutment jembatan eksisting beserta pembagian area untuk perhitungan beban dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Dimensi abutment yang sudah dibangun

Struktur abutment mendapatkan reaksi beban vertikal ( $P_u$ ) yang diperoleh dari analisis jembatan menggunakan *SAP2000 V.20 (Structur Analisis Progam)* yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan bentang jembatan 42 m sebesar 242,78 ton. Beban horizontal diperoleh dari tekanan tanah lateral, beban tambahan diatas tanah dan beban gempa. Rumus yang mendukung yang digunakan dalam analisis penelitian ini sebagai berikut:

### Beban Horizontal

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (1)$$

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a \quad (2)$$

Keterangan:

- $K_a$  : Koefisien tanah aktif
- $\phi$  : Sudut gesek internal tanah (°)
- $P_a$  : Tekanan tanah aktif (Ton)

### Beban Gempa

Perhitungan beban gempa dengan menyesuaikan lokasi struktur abutment yang sudah dibangun. Lokasi tersebut berpengaruh terhadap nilai percepatan puncak batuan dasar (PGA) saat terjadi gempa. Berdasarkan peta gempa 2017 dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun. Berdasarkan lokasi berdirinya abutment didapatkan nilai PGA 0,4g dari peta gempa 2017 pada Gambar 4. Faktor amplifikasi pada Tabel 1 dan Tabel 2 diperlukan untuk analisis PGA pada periode 0,2 dan 1 detik. Rumus pengaruh respon spektrum sebagai berikut:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (3)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (4)$$

$$S_{D1} = F_v \times S1 \quad (5)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (6)$$

$$T_0 = 0,2 \times T_s \quad (7)$$

Pengaruh gempa terhadap tekanan dapat menggunakan rumus yang ditetapkan pada Badan Standarisasi Nasional (2016) sebagai berikut,

$$P_{AE} = 0,5 \gamma H^2 (1 - K_v) K_{AE} \quad (8)$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cos^2\beta \cos(\delta + \theta + \beta)} \times \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \theta + \beta) \cos(i - \beta)}} \right)^{-2} \quad (9)$$

$$\theta = \text{atan} \left( \frac{K_h}{1 - K_v} \right) \quad (10)$$

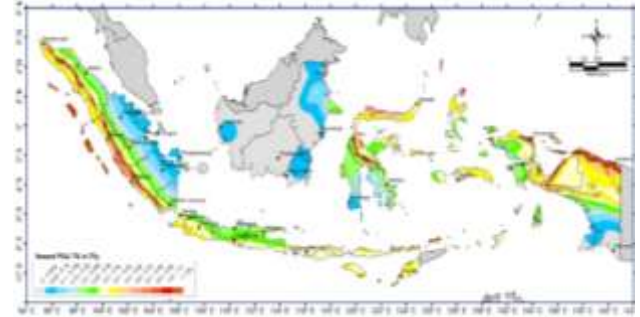
keterangan:

$P_{AE}$  : Tekanan tanah saat gempa (Ton)

$P_{AE'}$  : Tekanan tanah ekuivalen saat gempa (Ton)

$K_{AE}$  : Koefisien tanah akibat gempa  
 $K_h$  : Koefisien gempa arah horizontal

$K_v$  : Koefisien gempa arah vertikal



Gambar 4 Peta percepatan puncak batuan dasar untuk probabilitas 7% dalam 75 tahun

Tabel 1 Faktor amplifikasi PGA dan periode 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ )

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA > 0,5$
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 2 Faktor amplifikasi periode 1 detik ( $F_v$ )

Kelas Situs	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
	Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

### Kontrol Stabilitas

Kontrol stabilitas untuk menentukan nilai keamanan struktur abutment dengan nilai acuan yang sudah ditetapkan meliputi stabilitas pergeseran, penggulingan dan daya dukung tanah. Rumus masing-masing yang digunakan sebagai berikut:

#### a. Stabilitas terhadap penggeseran

Faktor aman terhadap penggeseran dalam Hardiyatmo (2014) menunjukkan perbandingan antara jumlah gaya yang menahan struktur dengan jumlah gaya horizontal yang bekerja. Nilai acuan minimal adalah 1,5 dalam penelitian ini digunakan 3.

$$F_{gs} = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \quad (11)$$

$$\sum Rh = ca \times B + W \times tg \delta \quad (12)$$

Keterangan:

$\sum Rh$  : Tahanan struktur terhadap penggeseran

$\sum Ph$  : jumlah gaya horizontal

$ca$  : adhesi tanah dasar dengan struktur

$B$  : lebar

$\delta$  : sudut gesek tanah dan dasar struktur

#### b. Stabilitas terhadap penggulingan

Penggulingan terjadi akibat gaya lateral tanah dengan titik pusat rotasi pada ujung kaki pelat struktur. Pada umumnya tanah lateral yang ditinjau berada di belakang dan titik pusat rotasi berada di depan struktur. Pada penelitian ini menggunakan nilai acuan dari perbandingan momen berat struktur (vertikal) dengan momen akibat penggulingan (horizontal) adalah 3.

$$F_{gl} = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} \quad (13)$$

Keterangan:

$\sum Mw$  : Momen akibat berat sendiri struktur

$\sum Mgl$  : Momen akibat penggulingan

#### c. Daya dukung tanah

Penelitian ini menggunakan persamaan Hansen dan Vesic dimana menggunakan faktor-faktor seperti kedalaman, pengaruh kemiringan beban dan kapasitas dukung tanah. Pada Tabel 3 menunjukkan nilai pengaruh kapasitas dukung tanah berdasarkan sudut gesek internal.

Tabel 3 Kapasitas dukung tanah

$\phi$	Meyerhof (1963)			Hansen (1961)			Vesic (1973)		
	Nc	Nq	Ny	Nc	Nq	Ny	Nc	Nq	Ny
0	5,14	1,00	0,00	5,14	1,00	0,00	5,14	1,00	0,00
2	5,63	1,20	0,01	5,63	1,20	0,01	5,63	1,20	0,15
4	6,19	1,43	0,04	6,19	1,43	0,05	6,19	1,43	0,34
6	6,81	1,73	0,11	6,81	1,73	0,11	6,81	1,73	0,57
8	7,53	2,06	0,21	7,53	2,06	0,22	7,53	2,06	0,86
10	8,34	2,47	0,37	8,34	2,47	0,39	8,34	2,47	1,22
12	9,28	2,97	0,60	9,28	2,97	0,63	9,28	2,97	1,69
14	10,37	3,59	0,92	10,37	3,59	0,97	10,37	3,59	2,29
16	11,63	4,34	1,37	11,63	4,34	1,43	11,63	4,34	3,06
18	13,10	5,26	2,00	13,10	5,26	2,08	13,10	5,26	4,07
20	14,83	6,40	2,87	14,83	6,40	2,95	14,83	6,40	5,39
22	16,88	7,82	4,07	16,88	7,82	4,13	16,88	7,82	7,13
24	19,32	9,60	5,72	19,32	9,60	5,75	19,32	9,60	9,44
26	22,25	11,85	8,00	22,25	11,85	7,94	22,25	11,85	12,54
28	25,80	14,72	11,19	25,80	14,72	10,94	25,80	14,72	16,72
30	30,14	18,40	15,67	30,14	18,40	15,07	30,14	18,40	22,40

$$qu = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma_1 N_q + d_y i_y 0,5 B \gamma_2 N_y \quad \gamma_2$$

(14)

Keterangan:

$d_c, d_q, d_y$  : faktor pengaruh kedalaman  
 $i_c, i_q, i_y$  : faktor pengaruh kemiringan beban  
 $N_c, N_q, N_y$  : faktor pengaruh kapasitas dukung tanah  
 $D_f$  : kedalaman dasar struktur dengan tanah permukaan  
 $B$  : lebar dasar struktur  
 $\gamma_1$  : berat volume tanah di atas

struktur

: berat volume tanah dasar

### 3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan pembebanan meninjau pada salah satu sisi abutment seperti pada gambar 3. Beban-beban yang diterima struktur abutment terdiri dari beban vertikal, beban horizontal dan beban gempa.

#### **Beban Vertikal**

Hasil perhitungan beban vertikal dari struktur dan tanah timbunan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 beban vertikal struktur dan tanah timbunan

No	Dimensi (m)		Luas Penampang (m <sup>2</sup> )	Bentang (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat Jenis (ton/m <sup>3</sup> )	Berat (ton)
	Tinggi	Lebar					
1	1.3	0.5	0.65	6.4	4.16	2.4	9.98
2	4.2	1.5	6.3	6.4	40.32	2.4	96.76
3	1.5	5	7.5	15.4	115.5	2.4	277.2
4	5.5	1.25	6.87	5.6	38.5	1.8	69.3
5	5.5	1.25	6.87	0.8	5.5	2.4	13.2
6	3.5	1.78	6.23	0.8	4.98	2.4	11.96
Jumlah							478.41

#### **Beban Horizontal**

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(45 - 30/2) = 0,333$$

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a = 0,5 \times 72 \times 1,8 \times 0,333 = 14,685 \text{ Ton}$$

#### **Beban Gempa**

Berdasarkan peta gempa pada Gambar 4 didapatkan nilai percepatan batuan dasar untuk daerah Propinsi Lampung sebagai berikut:

$$P_{GA} = 0,4 \text{ g (Percepatan batuan dasar)}$$

$$S_s = 0,7 \text{ g (Percepatan saat 0,2 detik)}$$

$$S_1 = 0,3 \text{ g (Percepatan saat 1 detik)}$$

Menentukan nilai faktor amplifikasi ( $F_a$ ) pada percepatan saat 0,2 detik menggunakan interpolasi berdasarkan Tabel 1 dengan kelas situs tanah sedang (SD).

$$\frac{0,7 - 0,5}{0,75 - 0,5} = \frac{\chi - 1,4}{1,2 - 1,4}$$

$$\chi (F_{PGA}/F_a) = \frac{-0,04 + 0,35}{0,25}$$

$$\chi (F_{PGA}/F_a) = 1,24$$

Nilai percepatan amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) ditentukan berdasarkan

Tabel 2 dengan parameter kelas situs tanah sedang (SD) dan respon spektra 1 detik, kemudian didapatkan nilai faktor amplifikasinya sebesar 1,8. Pada Gambar 5 menunjukkan grafik respon spektrum.

$$A_s = F_{PGA} \times P_{GA} = 1,24 \times 0,4 = 0,496$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s = 1,24 \times 0,7 = 0,868$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 = 1,8 \times 0,3 = 0,54$$

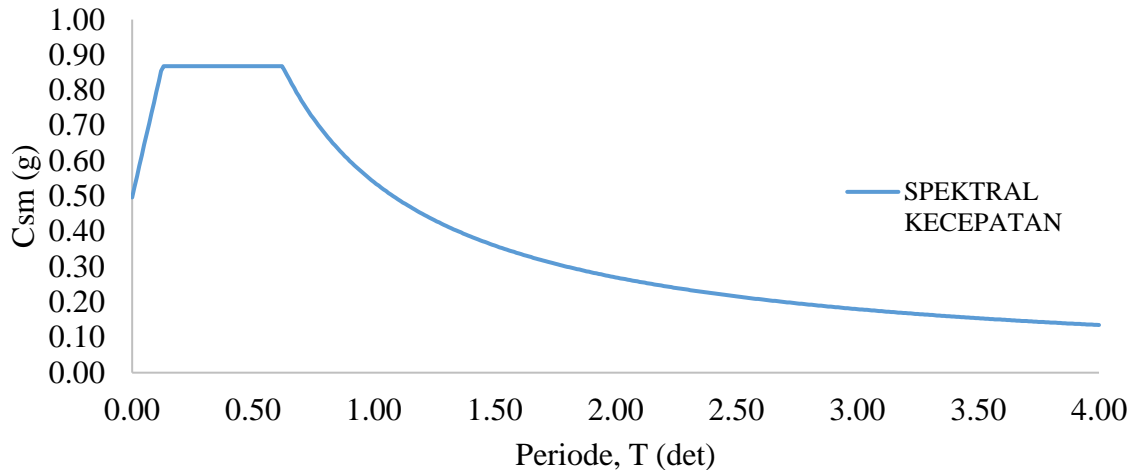
$$K_h = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 0,496 = 0,248$$

$$K_v = 0$$

$$\theta = \text{atan} \left( \frac{K_h}{1 - K_v} \right)$$

$$= \text{atan} \left( \frac{0,248}{1 - 0} \right)$$

$$= 13,93^\circ$$



Gambar 5 Grafik respon spektrum Perhitungan tekanan tanah akibat gempa,

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cos^2\beta \cos(\delta + \theta + \beta)} \times \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \theta + \beta) \cos(i - \beta)}} \right)^{-2}$$

$$= 0,516$$

$$P_{AE} = 0,5 \gamma H^2 (1 - K_v) K_{AE}$$

$$= 0,5 \times 1,8 \times 7^2 \times (1 - 0) \times 0,516$$

$$= 22,756 \text{ ton}$$

Nilai Thrust Factor (FT)

$$FT = \frac{PA \cdot \frac{H}{3} + [(PAE - PA) \cdot 0,6H]}{PA \cdot \frac{H}{3}}$$

$$= 1,989$$

Tekanan tanah ekuivalen menjadi,

$$P_{AE'} = FT \times P_A$$

$$= 1,989 \times 14,685$$

$$= 29,208 \text{ ton}$$

**Perhitungan Gaya Geser dan Momen**

Tabel 5 Gaya dan momen vertikal

Gaya vertikal (ton)	Jarak dengan A (m)	Momen (ton.m)
242,78	1,3	315,614
9,98	2,05	20,459
96,76	1,55	149,978
69,3	2,925	202,703
13,2	2,925	38,61
11,96	4,437	53,067
$\Sigma W = 443,98$		$\Sigma M_a = 780,43$

Tabel 6 Gaya dan momen horizontal

Gaya horizontal (ton)	Jarak dengan A (m)	Momen (ton.m)
1,82	3,5	6,37
14,685	2,333	34,260
22,756	4,2	95,575

$$\Sigma P_a = 39,261$$

$$\Sigma M_b = 136,205$$

**Kontrol stabilitas**

a. Stabilitas penggeseran

Perhitungan tahanan geser abutment dengan lebar B = 5 m dan asumsi dasar dinding sangat kasar, maka sudut gesek internal tanah ( $\phi$ ) sama dengan sudut gesek tanah terhadap dinding ( $\delta_b$ ) dan nilai adhesi ( $c_d$ ) sama dengan kohesi (c).

$$R_h = c_d B + \Sigma W \text{tg } \delta_b$$

$$= 1,25 \times 5 + 443,98 \times \text{tg } 30^\circ$$

$$= 262,58 \text{ ton}$$

$$F_{gs} = \frac{R_h}{\Sigma P_h} \geq 3$$

$$= \frac{262,58}{39,261} \geq 3$$

$$= 6,688 \geq 3 \quad (\text{struktur aman})$$

b. Stabilitas penggulingan

Stabilitas dengan membandingkan jumlah momen gaya vertikal ( $\Sigma M_a$ ) dengan momen gaya horizontal ( $\Sigma M_b$ ),

$$F_{gl} = \frac{\Sigma M_a}{\Sigma M_b} \geq 3$$

$$= \frac{780,43}{136,205} \geq 3$$

$$= 5,729 \geq 3 \quad (\text{struktur aman})$$

c. Daya dukung tanah

Perhitungan daya dukung tanah pada struktur ini menggunakan metode Hansen, dimana struktur tersebut dianggap berada pada permukaan tanah maka nilai  $D_f = 0$ .

$$\begin{aligned} x_e &= \frac{\Sigma M_w - \Sigma M_{gl}}{\Sigma W} \\ &= \frac{780,43 - 136,205}{443,98} \\ &= 1,45 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - x_e \\ &= \frac{5}{2} - 1,45 \\ &= 1,05 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{B}{6} = \frac{5}{6}$$

$$= 0,83 ; \text{ maka nilai } e > \frac{B}{6}$$

Mencari lebar efektif,

$$\begin{aligned} B' &= B - 2e \\ &= 5 - 2 \times 1,05 \\ &= 2,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Mencari luas efektif dengan tinjauan setiap 1 m,

$$\begin{aligned} A' &= B' \times 1 \\ &= 2,9 \times 1 \\ &= 2,9 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 3 nilai faktor kapasitas dukung untuk metode Hansen pada  $\phi = 30^\circ$  ialah,

$$\begin{aligned} N_c &= 30,14 \\ N_q &= 18,40 \\ N_y &= 15,07 \end{aligned}$$

Mencari nilai pengaruh kemiringan beban,

$$\begin{aligned} i_q &= \left[ 1 - \frac{0,5 \times H}{V + A' \times c \times \text{ctg} \phi} \right]^5 \geq 0 \\ &= 0,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_c &= i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_c \times \tan \phi} \\ &= 0,8 - \frac{(1 - 0,8)}{30,14 \times \tan 30} \\ &= 0,79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_y &= \left[ 1 - \frac{0,7 \times H}{V + A' \times c \times \text{ctg} \phi} \right]^5 \\ &= 0,73 \end{aligned}$$

Nilai kapasitas ultimit pada metode Hensen dimana nilai  $D_f = 0$ , nilai faktor bentuk

$s_c = s_q = s_y = 1$  dan nilai faktor kedalaman  $d_c = d_q = d_y = 1$ . Rumus kapasitas ultimit menjadi,

$$q_u = i_c \times c \times N_c + i_y \times 0,5 B' \times \gamma_2 \times N_y$$

$$= 56,88 \text{ ton/m}^2$$

Untuk nilai  $e > \frac{B}{6}$ , maka nilai  $q$ ,

$$\begin{aligned} q &= \frac{2V}{3(B - 2e)} \\ &= \frac{2 \times 443,98}{3(5 - 2 \times 1,05)} \\ &= 102,06 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

Nilai faktor aman,

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{q_u}{q} \\ &= \frac{56,88}{102,06} \\ &= 0,55 < 3 \quad (\text{Struktur tidak aman}) \end{aligned}$$

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari perhitungan pembebanan data gempa terbaru menggunakan beban gempa terbaru, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kontrol keamanan pada kondisi geser didapatkan FS 6,688 dengan nilai acuan 3 menunjukkan struktur aman.
- Kontrol keamanan pada kondisi guling didapatkan FS 5,729 dengan acuan 3, yang menunjukkan struktur aman.
- Kontrol keamanan pada daya dukung tanah didapatkan FS 0,55 dengan acuan 3, yang menunjukkan struktur tidak aman.

#### 5. Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2016 . *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833*.
- Hardiyatmo, H. C., 2014, *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*, edisi ke 3, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Kaviani, P., Zareian, F., dan Taciroglu, E. 2012. Seismic behavior of reinforced concrete bridges with skew-angled seat-type abutments. *Engineering Structures*, 45, 137–150.
- Kozak, D. L., LaFave, J. M., dan Fahnestock, L. A. 2018. Seismic modeling of integral abutment bridges in Illinois. *Engineering*



- Structures*, 165, 170–183.
- Kun, C., Jiang, L., dan Chouw, N. 2017. Influence of pounding and skew angle on seismic response of bridges. *Engineering Structures*, 148, 890–906.
- Liu, C., dan Gao, R. 2018. Design method for steel restrainer bars on railway bridges subjected to spatially varying earthquakes. *Engineering Structures*, 159, 198–212.
- Martin, J., Alipour, A., dan Sarkar, P. 2019. Fragility surfaces for multi-hazard analysis of suspension bridges under earthquakes and microbursts. *Engineering Structures*, 197.
- Setyowulan, D., Yamao, T., Yamamoto, K., dan Hamamoto, T. 2016. Investigation of Seismic Response on Girder Bridges: The Effect of Displacement Restriction and Wing Wall Types. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 218, 104–117.
- Simos, N., Manos, G. C., dan Kozikopoulos, E. 2018. Near and far field earthquake damage study of the Konitsa stone arch bridge. *Engineering Structures*, 177, 256–267.
- Stefanidou, S. P., Sextos, A. G., Kotsoglou, A. N., Lesgidis, N., dan Kappos, A. J. 2017. Soil-structure interaction effects in analysis of seismic fragility of bridges using an intensity-based ground motion selection procedure. *Engineering Structures*, 151, 366–380.
- Wang, N., Elgamal, A., dan Lu, J. 2018. Assessment of the Samoa Channel Bridge-foundation seismic response. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 108, 150–159.
- Wilches, J., Santa María, H., Riddell, R., dan Arrate, C. 2019. Effects of changes in seismic design criteria in the transverse and vertical response of Chilean highway bridges. *Engineering Structures*, 191, 370–385.