

Evaluasi Desain Struktur Abutmen Jembatan Aek Simaila Akibat Beban Gempa Dengan Respon Spektra Berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016

Suriyadi¹ Ronal H T Simbolon² M Husni Malik Hasibuan³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, Kota Medan,
Provinsi Sumatera Utara, Indonesia^{1,2,3}

Email: soeryadi025@gmail.com¹ ronal.h.t.simbolon@uisu.ac.id² husnihasibuan@ft.uisu.ac.id³

Abstrak

Abutmen merupakan elemen penting dalam struktur jembatan yang berfungsi menopang ujung jembatan dan menyalurkan beban ke tanah. Stabilitas dan kekuatan abutmen sangat penting, terutama pada wilayah rawan gempa, untuk mencegah kegagalan struktur jembatan yang dapat membahayakan keselamatan pengguna. Evaluasi terhadap struktur abutmen menjadi sangat penting untuk memastikan jembatan mampu menahan beban gempa sesuai standar desain yang berlaku. Perhitungan kinerja struktur dilakukan dengan menggunakan metode respon spektra, dengan cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencana (Design Spectra). Oleh sebab itu, rancangan desain struktur di kawasan Indonesia mesti merujuk kepada metode desain yang telah disyaratkan dalam SNI 1725-2016 dan 2833-2016. Penelitian ini dilakukan pada abutmen jembatan Aek Simaila yang berlokasi di Kecamatan Onan Runggu Kabupaten Samosir Provinsi Sumatera Utara. Pada penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menjelaskan suatu fenomena berdasarkan angka yang menggambarkan karakteristik subjek yang diteliti. Struktur abutmen jembatan diberikan kombinasi pembebanan pada titik acuan yang telah ditentukan dengan memperhitungkan beban gempa berdasarkan respon spektra yang dianalisis menggunakan software SAP2000. Hasil penelitian menunjukkan kategori kinerja seismik abutmen jembatan Aek Simaila berada pada zona gempa 4. Struktur abutmen jembatan Aek Simaila dalam kategori aman, ditinjau dari nilai faktor keamanan (FK) stabilitas guling dan geser lebih besar dari pada yang dipersyaratkan sebesar 1,50.

Kata Kunci: Gempa, Respon Spektra, Stabilitas Struktur



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Abutmen merupakan elemen penting dalam struktur jembatan yang berfungsi menopang ujung jembatan dan menyalurkan beban ke tanah. Stabilitas dan kekuatan abutmen sangat penting, terutama pada wilayah rawan gempa, untuk mencegah kegagalan struktur jembatan yang dapat membahayakan keselamatan pengguna. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) sejumlah jembatan di wilayah Indonesia rusak akibat gempa dalam beberapa dekade terakhir. Evaluasi terhadap struktur abutmen menjadi sangat penting untuk memastikan jembatan mampu menahan beban gempa sesuai standar desain yang berlaku. Kinerja struktur sangat dibutuhkan untuk mengetahui kondisi keruntuhan struktur saat terjadi gempa yang bersifat tiba-tiba. Perhitungan kinerja struktur memakai berbagai metode antara lain metode statis dan metode dinamis. Metode dinamis diantaranya adalah metode time history analysis dan respon spektra. Metode ini menunjukkan beban gempa yang relevan terhadap waktu sehingga diperoleh kinerja struktur terhadap beban gempa dinamis. Cara ini membutuhkan rekaman percepatan gempa dan Analisis Respon Spektrum (Spectrum Response Analysis), dengan cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencana (Design Spectra). Oleh sebab itu, rancangan desain struktur di kawasan Indonesia mesti merujuk kepada metode desain yang telah disyaratkan dalam SNI 1725-2016 dan 2833-2016.

Deteriorasi struktur jembatan selama masa layan akan menyebabkan kerusakan bahkan keruntuhan. Hal ini dapat disebabkan oleh overloading beban kendaraan, fatik pada elemen struktur tersebut, terjadinya gempa di luar prediksi perencanaan, dan beban angin yang besar. Pencegahan terjadinya deteriorasi diperlukan suatu metode monitoring di abutmen jembatan agar dapat dilakukan pemeliharaan secara dini. Salah satu metode monitoring untuk menilai kondisi abutmen jembatan adalah dengan menggunakan respon spektra analisis. Penggunaan metode respon spektra analisis untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur abutmen jembatan akibat gempa bumi. Pendeteksian efek gempa bumi terhadap struktur yang ditinjau agar kerusakan bisa diperkirakan dengan cepat. Oleh karenanya, penelitian ini menggunakan respon spektra untuk memprediksi tingkat kerusakan struktur abutmen jembatan yang ditimbulkan akibat efek gempa bumi.

Kajian Pustaka

Definisi Evaluasi

Evaluasi, pengukuran, dan penilaian merupakan kegiatan yang bersifat hirarki. Artinya ketiga kegiatan tersebut dalam kaitannya dengan proses pembelajaran tidak dapat dipisahkan satu sama lain dan dalam pelaksanaannya harus dilaksanakan secara berurutan. Dalam kaitan ini ada dua istilah yang hampir sama tetapi sesungguhnya berbeda, yaitu penilaian dan pengukuran. Menurut Djamarah (2005) pengertian pengukuran terarah kepada tindakan atau proses untuk menentukan kauntitas sesuatu, karena itu biasanya 6 diperlukan alat bantu. Sedangkan penilaian atau evaluasi terarah pada penentuan kualitas atau nilai sesuatu.

Pembebanan

1. Beban mati sendiri (MS). Beban mati sendiri atau berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat material dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Beban mati sendiri ini sangat dipengaruhi oleh berat volume dari tiap material yang digunakan pada struktur jembatan. Oleh karena itu, dalam perhitungan beban mati sendiri, berat elemen struktur perlu dikalikan dengan berat volume dari jenis material yang digunakan pada elemen tersebut.
2. Beban mati tambahan (MA). Berbeda dengan beban mati sendiri yang berasal dari berat elemen struktural, berat mati tambahan merupakan beban yang dihasilkan akibat berat seluruh bahan pada elemen nonstruktural. Beban mati tambahan ini dapat berubah ubah dari tahun ketahun tergantung pada kondisi jembatan eksisting. Contoh dari beban mati ini terjadi akibat adanya pekerjaan perkerasan pada badan jalan. Sama seperti dalam perhitungan beban mati sendiri, berat bahan pada beban mati tambahan perlu dikalikan dengan berat volume dari jenis material yang digunakan. Menurut SNI 1725-2016 terdapat faktor beban yang digunakan dalam menentukan beban mati tambahan.
3. Beban akibat tekanan tanah. Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian 8 tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c dan ϕ_f .
4. Beban lajur "D". Beban "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur

kendaraan itu sendiri. Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT).

5. Gaya rem (TB). Rem dapat mengakibatkan gaya yang menghantam jembatan dalam arah memanjang. Dampak gaya rem dan traksi harus dipertimbangkan di kedua arah arus lalu lintas. Nilai gaya rem adalah 5% dari nilai beban "D".
6. Beban angin (EW). Angin rencana dengan kecepatan (VB) 90 sampai 126 km/jam diasumsikan mengakibatkan tekanan angin horizontal. Namun jika tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa.
7. Pengaruh susut dan rangkai (SH). Pengaruh rangkai dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkai dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari 12 rangkai dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).
8. Pengaruh prategang (PR). Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit. Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.
9. Gesekan pada perletakan (BF). Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung menggunakan hanya beban tetap, dan nilai rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer).
10. Beban gempa. Beban gempa sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (Csm) dengan berat struktur ekuivalen dengan faktor modifikasi respons (Rd).

Stabilitas terhadap Guling dan Geser

Menurut Hardiyatmo (2002), stabilitas terhadap geser yaitu perbandingan gaya-gaya yang menahan dan mendorong dinding penahan tanah. Gaya-gaya yang menahan geser adalah gesekan antara tanah dengan dasar pondasi serta tekanan tanah pasif di depan dinding penahan tanah akibat tanah timbunan. Menurut Hardiyatmo (2002), persamaan kapasitas daya dukung untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah antara lain adalah menggunakan kapasitas dukung Terzaghi, Meyerhof, dan Hansen. Menurut Hardiyatmo (2002), persamaan Terzaghi hanya berlaku untuk pondasi yang dibebani secara vertikal dan sentris. Penulangan lentur pelat dapat dilakukan apabila sudah ditetapkan tebal pelat (h), mutu beton ($f'c$), mutu baja (fy) dan momen rencana (MR).

Perhitungan Respon Spektrum

1. Kelas situs. Klasifikasi situs pada pasal ini ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium.
2. Faktor Situs. Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs diklasifikasikan sebagai kelas situs SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik).
3. Respon spektrum. Rencana Respons spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) 22 teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respons spektra dibuat dalam bentuk respons spektra yang sudah disederhanakan.

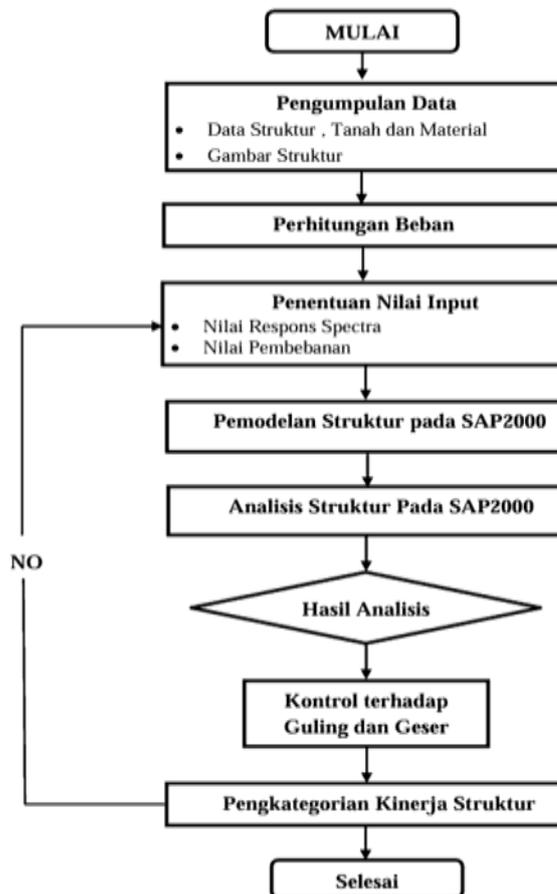
4. Koefisien respons gempa elastik. Koefisien respons gempa elastik (Csm) untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_S , respons spektra percepatan, Csm adalah sama dengan SDS.
5. kategori kinerja seismik. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SD1) terdapat 4 pembagian zona gempa.

Klasifikasi Operasional

Pemilik pekerjaan atau pihak yang berwenang harus dapat mengklasifikasikan jembatan ke dalam satu dari tiga kategori sebagai berikut: Jembatan sangat penting (critical bridges), Jembatan penting (essential bridges), atau Jembatan lainnya (other bridges). Jembatan penting harus dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan/pertahanan beberapa hari setelah mengalami gempa rencana dengan periode ulang 1000 tahun). Untuk jembatan sangat penting, maka jembatan harus dapat dilalui oleh semua jenis kendaraan (lalu-lintas normal) dan dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan/pertahanan segera setelah mengalami gempa dengan periode ulang 1000 tahun. Jembatan 25 lainnya adalah jembatan standar pada umumnya (biasanya menggunakan gempa 500 tahun).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menjelaskan suatu fenomena berdasarkan angka yang menggambarkan karakteristik subjek yang diteliti. Metode ini dilakukan dengan menggunakan sistem analisis hitungan yang didasarkan pada data yang diperoleh dari data lapangan, sedangkan pembahasan hasil hitungan didasarkan pada teori yang diperoleh dari beberapa Pustaka.



HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban mati yang bekerja terdiri dari beban mati sendiri dan beban mati tambahan. Sedangkan untuk beban hidup yang bekerja terdiri dari beban pejalan kaki dan beban lalu lintas. Perhitungan beban mati dan beban hidup tersebut mengacu kepada SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. Sementara itu, dalam perhitungan beban gempa mengacu kepada SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa dengan penyesuaian terhadap peta gempa terbaru.

1. Perhitungan beban mati. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya beban mati terdiri dari beban mati sendiri dan beban mati tambahan. Beban mati sendiri merupakan total keseluruhan volume dari elemen baja atau beton yang terdapat pada struktur jembatan lalu dikalikan dengan berat jenis material tersebut. Berat jenis yang digunakan untuk material beton bertulang digunakan sebesar 25 kN/m³ dan berat jenis untuk material baja sebesar 7850 kg/m³. Sedangkan beban mati tambahan merupakan beban-beban yang terjadi dengan adanya penambahan lapisan aspal (overlay), genangan air hujan jika sistem drainase tidak bekerja dengan baik serta pemasangan tiang listrik dan instalasi mekanikal dan eektrikal.
 - a. Beban mati sendiri (MS) Berat sendiri (self weight) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri dibedakan menjadi 2 macam, yaitu berat sendiri struktur atas, dan berat sendiri struktur bawah.
 - b. Beban mati tambahan (MA) Beban mati tambahan (superimposed dead load) adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Jembatan dianalisis harus mampu memikul beban tambahan seperti : a. Penambahan lapisan aspal (overlay) di kemudian hari b. Genangan air hujan jika sistem drainase tidak bekerja dengan baik c. Pemasangan tiang listrik dan instalasi mekanikal dan elektrik (ME).
2. Perhitugan beban hidup. Beban hidup yang bekerja pada struktur jembatan terdiri dari beban pejalan kaki dan beban lalu lintas. Beban lalu lintas menurut SNI 1725-2016 terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T". Namun, pada penelitian ini beban lalu lintas yang diperhitungkan hanya beban lajur "D". Hal ini sesuai dengan keterangan pada SNI 1725-2016 yang menyebutkan bahwa kedua beban tersebut tidak dapat digunakan secara bersamaan. Beban truk "T" digunakan ketika analisis yang 53 dilakukan lebih berfokus pada analisis pelat lantai pada jembatan. Pada penelitian ini analisis pelat lantai tidak dilakukan sehingga beban yang digunakan hanyalah beban lajur "D". Perhitungan beban hidup tersebut dapat dilihat pada uraian berikut.
 - a. Beban pedestrian/pejalan kaki (TP). Diketahui struktur Jembatan Aek Simaila mempunyai trotoar dengan lebar (b₂) 1,2 meter di setiap sisinya dan panjang bentang (L) sebesar 20,6 meter. Untuk jembatan jalan raya direncanakan mampu memikul beban hidup merata pada trotoar yang besarnya tergantung pada luas bidang trotoar yang didukungnya.
 - b. Beban Lajur "D" (TD). Beban kendaraan yang berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (Uniformly Distributed Load), UDL dan beban garis (Knife Edge Load), KEL. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani lalu lintas.

Struktur Jembatan Aek Simaila memiliki panjang bentang sebesar 20,60 m dan masuk ke dalam kategori jembatan bentang tunggal. Panjang bentang tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan beban terbagi rata. Menurut SNI 1725-2016 untuk jembatan dengan panjang bentang kurang daripada atau sama dengan 30 meter sehingga nilai $q = 9,0$ kPa. Nilai KEL mempunyai intensitas $p = 49,0$ kN/m.

3. Beban akibat tekanan tanah (TA). Pada bagian tanah di belakang dinding abutment yang dibebani lalu lintas, harus diperhitungkan adanya beban tambahan yang setara dengan tanah setebal 0.60 m yang berupa beban merata ekuivalen beban kendaraan pada bagian tersebut. Tekanan tanah lateral dihitung berdasarkan harga nominal dari berat tanah w_s , sudut gesek dalam ϕ , dan kohesi c dengan : $w_s' = w_s$.
4. Gaya rem (TB). Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (Lt).
5. Pengaruh temperatur (ET). Perbedaan temperatur diambil yang besarnya setengah dari selisih antara temperatur maksimum dan temperatur minimum rata-rata pada lantai jembatan untuk memperhitungkan tegangan maupun deformasi struktur yang timbul akibat pengaruh temperatur.
6. Beban angin (EW)
 - a. Angin yang meniup bidang samping jembatan. Gaya akibat angin yang meniup bidang samping jembatan dihitung dengan rumus: $TEW1 = 0.0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b$
 - b. Angin yang meniup kendaraan. Gaya angin tambahan arah horisontal pada permukaan lantai jembatan akibat beban angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan rumus: $TEW2 = 0.0012 \times C_w \times (V_w)^2 \times L/2$
 - c. Beban angin total pada abutment. Total beban angin pada Abutment adalah:
 $TEW = TEW1 + TEW2 =$
 $TEW = 26,213 + 18,169$
 $TEW = 44,382$ kN.
Total momen pada pondasi adalah :
 $MEW = MEW1 + MEW2$
 $MEW = 141,812 + 103,563$
 $MEW = 245,375$ kNm.
Total momen pada breast wall adalah :
 $MEW = M'EW1 + M'EW2$
 $MEW = 118,221 + 87,211$
 $MEW = 205,432$ kNm.
7. Beban Gempa (EQ)
 - a. Beban gempa statik ekuivalen
 - b. Beban gempa arah memanjang jembatan (arah x)
 - c. Beban gempa arah melintang jembatan (arah y)
 - d. Tekanan tanah dinamis akibat gempa
8. Gesekan/friksi pada perletakan (BF). Koefisien gesek pada tumpuan yang berupa elastomer, $\mu = 0,018$ Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau terhadap beban berat sendiri dan beban mati tambahan.

Hasil Analisis Beban Gempa dengan Respon Spektra

Perhitungan beban gempa pada analisis linier

1. Pembuatan respon spectrum. Pembuatan respon spektrum perlu melakukan beberapa perhitungan parameter gempa berdasarkan lokasi struktur jembatan. Perhitungan tersebut dihitung berdasarkan SNI 2833-2016. Jembatan Aek Simaila diketahui berlokasi di Desa

Harian Kecamatan Onan Runggu Kabupaten Samosir dengan kelas situs SE atau Tanah Lunak. Berdasarkan data tersebut dapat dilakukan perhitungan berikut.

- a. Percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s). Percepatan batuan dasar pada periode pendek didapatkan dari pembacaan peta gempa berdasarkan SNI 2833-2016 yang ada pada Gambar. Berdasarkan Gambar tersebut maka diketahui Kabupaten Samosir mempunyai nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) sebesar 0,677.
- b. Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1). Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik didapatkan dari pembacaan peta gempa berdasarkan SNI 2833-2016 yang ada pada Gambar. Berdasarkan Gambar tersebut maka diketahui Kabupaten Samosir mempunyai nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) sebesar 0,288.
- c. Koefisien situs. Berdasarkan SNI 2833-2016 yang dapat dilihat pada Tabel penelitian ini didapatkan nilai F_a sebesar 1,346 dan F_v sebesar 2,848.

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA = 0,5$
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$
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

Kelas Situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
	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

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Kombinasi Pembebanan

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _c	BF	EU _c	TG	ES	GUNAKAN SALAH SATU		
										EQ	TC	TV
Kuat I	Y_D	1,80	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{FG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat II	Y_D	1,40	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{FG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat III	Y_D	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	Y_{FG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat IV	Y_D	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	Y_D	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	Y_{FG}	Y_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	Y_D	Y_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	Y_D	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya layan I	1	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	Y_{FG}	Y_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1	0,80	1	-	-	1	1,00/1,20	Y_{FG}	Y_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1	-	1	0,7	-	1	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75										

Catatan: - Y_D dapat berupa Y_{MS} - Y_{MA} - Y_{TA} - Y_{PR} - Y_{PL} - Y_{SH} tergantung beban yang ditinjau

- Y_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

1. Kontrol Stabilitas Guling
 - a. Stabilitas guling arah X. Faktor keamanan (FK) terhadap guling diambil = 1,50, Letak titik guling A (ujung pondasi) terhadap pusat pondasi : $B_x / 2 = 3,50 / 2 = 1,75$ m.
 - b. Stabilitas guling arah Y. Faktor keamanan (FK) terhadap guling diambil = 1,50 Letak titik guling A (ujung pondasi) terhadap pusat pondasi : $B_y / 2 = 5,90 / 2 = 2,95$ m.
2. Kontrol Stabilitas Geser
 - a. Stabilitas geser arah X. Parameter tanah dasar Pile-cap : $\varphi = 30 = 0,5236$ rad Sudut gesek, $C = 0$ kPa Kohesi, Ukuran dasar Pile-cap : $B_x = 3,50$ m $B_y = 5,90$ m $K =$ Faktor beban pelaksanaan dan setiap efek dinamis sebesar 1,50. $T_x =$ gaya penyebab geser.
 - b. Pembahasan Hasil. Hasil pembahasan penelitian ini menunjukkan bahwa struktur abutmen jembatan Aek Simaila yang berada pada zona gempa 4 dengan risiko tinggi, setelah dilakukan analisis memiliki kemampuan yang cukup dalam menahan beban gempa sesuai dengan standart perencanaan jembatan terhadap beban gempa sebagaimana tertuang dalam SNI 2833-2016.

Penelitian ini menemukan bahwa kondisi tanah disekitar abutmen memiliki pengaruh signifikan terhadap respons struktur terhadap gempa. Kondisi tanah yang lunak atau rawan likuifaksi cenderung meningkatkan risiko kerusakan struktur. Oleh karena itu, perlunya penanganan khusus terhadap stabilitas tanah menjadi salah satu rekomendasi utama dari penelitian ini.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan penelitian adalah sebagai berikut: Berdasarkan analisa respon spektra diketahui nilai koefisien seismik elastik pada periode 1,0 detik (SD1) adalah 0,82 g, nilai tersebut menunjukkan bahwa kategori kinerja seismik Abutmen Jembatan Aek Simaila berada pada zona gempa 4. Struktur Abutmen Jembatan Aek Simaila dalam kategori aman, ditinjau dari nilai faktor keamanan (FK) stabilitas guling dan geser lebih besar dari pada yang dipersyaratkan sebesar 1,50. Nilai faktor keamanan stabilitas guling arah x sebesar 1,56 dan arah y sebesar 8,06, sedangkan nilai faktor keamanan stabilitas geser arah x sebesar 1,54 dan arah y sebesar 5,63.

Saran

Adapun saran penelitian adalah sebagai berikut: Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan profil baja tulangan, serta mutu tulangan yang berbeda. Apakah akan mempengaruhi tingkat pelayanan dari struktur. Analisis pushover untuk struktur jembatan dapat digunakan software aplikasi lain seperti Staadpro sebagai pembanding dari nilai yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrina, F., Riyansyah, M., Aryanto, A., & Lim, E. Evaluasi kinerja pilar Jembatan Lemah Ireng II berdasarkan performance based seismic design. *Teknisia*, Vol. 28, No. 1, 1-12, 2023.
- Applied Technology Council (ATC). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings Volume 1*. California: Seismic Safety Commission State of California, 1996.
- Apriani, W., Suryanita, R., & Lubis, F. Evaluasi Kinerja Struktur Jembatan Pelengkung akibat Beban Gempa dengan Analisis Riwayat Waktu. *Jurnal Infrastruktur*, 6(2), 151-156. 2020.
- Badan Standardisasi Nasional. *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional. 2016.
- Badan Standardisasi Nasional. *SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional. 2016.

- Hadibrata, M., & Indianto, A. Evaluasi kapasitas struktur bawah jembatan integral. *Construction and Material Journal*, 4(2), 129-135. 2022.
- Mahardika, K. M. Evaluasi Kinerja Struktur Atas Jembatan Sardjito 1 Dengan Metode Pushover Analysys. Skripsi : Universitas Islam Indonesia. 2021.
- Meltzner, Aron J. , Sieh, Kerry , Abrams, Michael , Agnew, Duncan C. , Hudnut, Kenneth W. , Avouac, Jean-Philippe. "Uplift and Subsidence Associated with The Great Aceh-Andaman Earthquake of 2004". *Journal Of Geophysical Research*. Vol. 111 (2006).
- Nugroho, Sri Cahyadi. "The Easerum Epicentre Pusat Studi Gempa Bumi Di Kabupaten Bantul, D.I Yogyakarta". Disertasi. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. 2017.
- O'Reilly, G. J. Seismic intensity measures for risk assessment o f bridges. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(9), 3671-3699. 2021.
- Pangestu, F., & Indianto, A. Evaluasi Kapasitas Kepala Jembatan Akibat Perubahan Bseban Gempa Rencana Sesuai SNI 2833: 2016. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 3(2), 54-61. 2021.
- Pasaribu, B. C. H., Eratodi, I. B., Ariawan, P., & Wismanantara, I. N. Evaluasi Perencanaan Struktur Jembatan Underpass Simpang Tugu Ngurah Rai, Badung, Bali. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 2(2), 63-72. 2019.
- Ramayulis. *Metodologi Pendidikan Agama Islam*. Jakarta: Kalam Mulia. 2002
- Sabri, Ahmad. *Strategi Belajar Mengajar*. Jakarta: Ciputat Press. 2005.
- Thoha, M. Chabib. *Teknik Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: PT. Raja Grafindo. 1990.
- Wei, B., Hu, Z., He, X., & Jiang, L. Evaluation of optimal ground motion intensity measures and seismic fragility analysis of a multi-pylon cable-stayed bridge with super-high piers in Mountainous Areas. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 129, 105945. 2020.