

**ANALISIS PERHITUNGAN BEBAN GEMPA PADA STRUKTUR JEMBATAN SLAB ON PILE
BERDASARKAN SNI 2833:2016 MENGGUNAKAN METODE RESPONS SPEKTRUM**
(Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang Demak Paket 2)

Mochammad Gerald^{1*}, Alfia Magfirona²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah, Kode Pos 57162

*Co Responden Email: d100180020@student.ums.ac.id am389@ums.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang terletak di Cincin Api Pasifik, yang memiliki seismik tinggi dan risiko gempa yang signifikan. Kondisi ini menuntut infrastruktur yang tahan gempa, Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penerapan standar SNI 2833:2016 dalam melakukan analisis perhitungan pembebanan gempa pada suatu proyek pekerjaan jembatan, Metode yang digunakan adalah analisis dinamis respons spektrum, yang mana pada perhitungan beban gempa meninjau pengaruh dinamis terhadap struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jembatan slab on pile, yang didukung pondasi tiang pancang di atas tanah lunak (kategori E, $N < 15$), dan perhitungan nilai percepatan puncak (PGA) didapat sebesar 0,3 g, yang mana pada hal ini sudah di tentukan dari peta gempa pada SNI 2833:2016. Studi ini menegaskan bahwa penerapan standar perencanaan yang tepat sangat penting untuk meningkatkan ketahanan struktur di wilayah dengan risiko seismik tinggi, sehingga mendukung keamanan dan kelancaran transportasi.

Kata kunci: struktur jembatan, slab on pile, SNI 2833:2016, pembebanan gempa, respons spektrum

Abstract

Indonesia is a country located on the Pacific Ring of Fire, characterized by high seismic activity and significant earthquake risk. This condition necessitates earthquake-resistant infrastructure. Therefore, this study aims to examine the implementation of SNI 2833:2016 standards in conducting earthquake load analysis for a bridge construction project. The method used is dynamic analysis with the response spectrum approach, which considers the dynamic effects on the structure in earthquake load calculations. The results indicate that the slab-on-pile bridge, supported by pile foundations on soft soil (category E, $N < 15$), has a peak ground acceleration (PGA) value of 0.3 g, as determined by the seismic map in SNI 2833:2016. This study emphasizes that the proper application of planning standards is crucial to enhancing structural resilience in high seismic risk areas, thereby ensuring safety and smooth transportation

Keywords: bridge structure, slab on pile, SNI 2833:2016, seismic loading, response spectrum

1. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai bagian dari wilayah Cincin Api Pasifik, sering mengalami aktivitas seismik yang tinggi (Handayani, 2019), dengan ini menjadikannya salah satu negara yang memiliki risiko gempa terbesar di dunia (Rafsanjani & Kurnia, 2021). Akibatnya, infrastruktur yang tahan terhadap gempa sangat penting, terutama untuk jembatan yang merupakan bagian vital dari jaringan transportasi (Sartika, Herbudiman, & Pribadi, 2019). Kegagalan struktur jembatan akibat gempa dapat menyebabkan gangguan ekonomi dan risiko keselamatan yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan desain dan analisis struktur jembatan yang mampu menahan beban gempa sesuai standar nasional, yaitu SNI 2833:2016 tentang bagaimana cara perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan (Pangestu & Indianto, 2021).

Guna mendorong pertumbuhan ekonomi serta memudahkan mobilitas masyarakat serta distribusi barang, infrastruktur jalan tol sangat penting. Salah satu proyek strategis yang sedang dilaksanakan adalah pembangunan Jalan Tol Paket 2 Semarang - Demak. Tujuan proyek tersebut adalah untuk meningkatkan konektivitas di Jawa Tengah, terutama dengan mengurangi kemacetan dan membuat arus lalu lintas lebih lancar.

Struktur jembatan *slab on pile*, yang didukung oleh pondasi tiang pancang, menawarkan keuntungan signifikan dalam menghadapi gempa (Dimaswara Putra, 2020). Desain ini memungkinkan beban didistribusikan lebih merata melalui slab yang ditopang oleh tumpuan pada pondasi tiang yang tertanam kuat dalam tanah. Kombinasi ini dapat meningkatkan kestabilan dan ketahanan struktur terhadap beban lateral seperti gempa,

menjadikannya pilihan yang tepat untuk wilayah dengan aktivitas seismik tinggi. Namun, untuk memastikan efektivitas desain ini dalam menghadapi gempa, perhitungan beban gempa yang akurat dan sesuai standar harus dilakukan, untuk bentuk penggambaran model jembatan Slab on Pile dan juga komponen susunannya dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Susunan Slab on Pile (SOP)

2. METODOLOGI

2.1 Data

Data sekunder, yang merupakan data yang telah diproses oleh kontraktor proyek dan akan digunakan oleh peneliti untuk menganalisis penelitian ini, termasuk :

- Data Bor Log dari Hasil Uji Lapangan (KSO PT. PP dan PT Wijaya Karya)

2.2 Lokasi Proyek

Paket 2 Infrastruktur Jalan Tol Semarang-Demak (STA 10+690 s/d STA 27+000) terletak di Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah. Ini dimulai di Kecamatan Sayung (STA 10+690) dan berakhir di Kecamatan Wonosalam (STA 27+000). Struktur slab on pile yang dibahas penulis di Interchange Sayung, bagian *Access Interchange & Toll Gate*, digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak



Gambar 2.2 Layout Rancangan Interchange Sayung berlokasi di Kab. Demak, Provinsi Jawa Tengah (Sumber : Dokumen milik PT. Wijaya Karya)

2.3 Metode Analisis

Penelitian ini dapat dilaksanakan setelah mendapatkan Data Sekunder, kemudian dilanjutkan dengan Mengolah data tersebut menjadi Data Baru, Data N-SPT (*Standart Penetration Test*) yang nanti nya akan digunakan guna mengetahui Kelas Situs pada Lokasi Proyek Sesuai dengan SNI yang berlaku, menurut (Alihudien, Suhartinah, & Warnana, 2018) Uji penetrasi standar adalah suatu teknik uji yang dilakukan secara bersama-sama dengan pengeboran guna mengetahui apakah pengambilan contoh dan perlawanan dinamik tanah terganggu oleh teknik penumbukan. Saat ini melakukan uji dengan mengacu pada standar uji. SNI 4153:2008 (BSN, 2008). pada gambar 2.3 adalah contoh hasil pengujian

menggunakan bor mesin pada kedalaman 30 m.

LJIFRANUSANTARA BUMI CONSULTING ENGINEERING COMPANY		EXPLORATION BOR LOG																
PROJECT : PROYEK DETAIL ENGINEERING DESIGN RUAS JALAN TOL SEMARANG-DEMAM		BORING HOLE NO. BH-SS-04																
LOCATION : BOJONEHARU-SAYUNG STA. 10+822	COORDINATE : 446027, 9233195	Z 3 M	DATE COMMENCED : 09-Feb-20															
METHOD OF BORING : Rotary Core Drilling	BOR MACHINE TYPE : YBM - YSD THE	BOR MASTER / DRILLER : Sun	DATE COMPLETED : 04-Mar-20															
TOTAL DEPTH (L-20) : 10.45 Meter	GROUND WATER LEVEL : 1.00M	STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D 1586)																
DEPTH (M)	BOR PROFILE	V I S U A L DESCRIPTION	S.P.T. Number		N VALUE		NUMBER OF BLOWS											
			15	30	45	60	15	30	45	60								
0.00																		
1.00																		
2.00																		
3.00																		
4.00																		
5.00																		
6.00																		
7.00																		
8.00																		
9.00																		
10.00																		
11.00																		
12.00																		
13.00																		
14.00																		
15.00																		
16.00																		
17.00																		
18.00																		
19.00																		
20.00																		
21.00																		
22.00																		
23.00																		
24.00																		
25.00																		
26.00																		
27.00																		
28.00																		
29.00																		
30.00																		

Gambar 2.3 Hasil Pengujian Bor Mesin

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Situs Tanah

Menurut (BSN, 2016) Klasifikasi Situs dapat didefinisikan sebagai cara untuk menentukan kelas tanah berdasarkan nilai uji penetrasi standar (N).

Berdasar dari SNI 2833 : 2016 Pasal 5.3.1, Seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1, Untuk lapisan setebal 30 meter, klasifikasi situs didasarkan pada hubungannya dengan temuan pen-yelidikan tanah lapangan laboratorium.

Tabel 3.1 Kelas Situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah teresmentasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3m$) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5m$ dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35m$		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

(Sumber : Tabel 2 SNI 2833-2016)

Pengujian lapangan dilakukan oleh Konsultan Perencana Wira Nusantara Bumi pada wilayah pekerjaan *slab on pile*. Pengujian dilakukan di STA 10 + 822, koordinat x: 446027, y: 9233195,

Desa Sidogemah, Kecamatan Sayung, Demak, dengan muka air tanah pada kedalaman 0,00 m dan kedalaman total 70,45 m. Hasil pengolahan data N-SPT ditunjukkan di bawah.

Tabel 3.2 Data N-SPT Hasil uji Lapangan

No	Dalam (m)	Tebal (m)	N-SPT (blow)	N' = T/N
1	0	0		
2	2	2	1	2,00
3	4	2	1	2,00
4	6	2	0	0,00
5	8	2	1	2,00
6	10	2	2,5	0,80
7	12	2	3	0,67
8	14	2	3	0,67
9	16	2	3,5	0,57
10	18	2	4,5	0,44
11	20	2	4,5	0,44
12	22	2	4,5	0,44
13	24	2	5	0,40
14	26	2	5,5	0,36
15	28	2	7,5	0,26
16	30	2	9,5	0,21
Jumlah =	30			11,2

$$N = \Sigma T / \Sigma N'$$

$$N = 30 / 11,2789$$

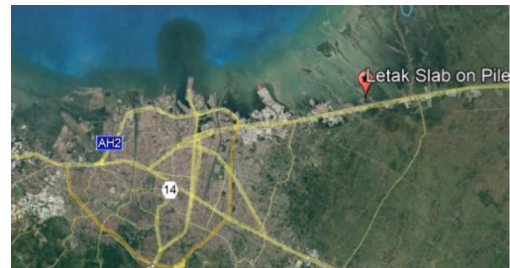
$$N = 2,6598$$

Situs tanah termasuk dalam kategori E (Tanah Lunak), menurut tabel 3.1, dengan $N = 2,6598 < 15$.

3.2 Perhitungan Respons Spektrum

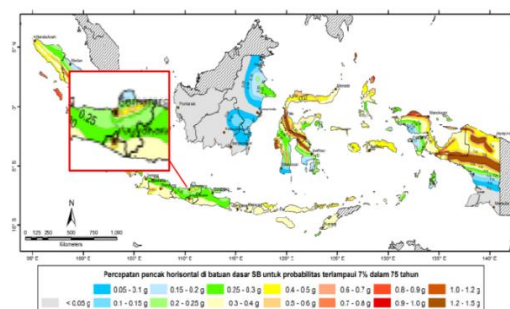
Dalam menghitung beban gempa pada suatu konstruksi dapat dilakukan menggunakan beberapa metode, yang mana salah satunya ialah metode analisis dinamik Respons Spektrum, pada metode ini yaitu memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah pada struktur Pada

lokasi pelaksanaan pekerjaan *Slab on Pile* berada pada Kabupaten Demak yang mana untuk lokasinya dapat dilihat pada gambar 3.1. dibawah



Gambar 3.1 Peta Lokasi Pelaksanaan Struktur *Slab on Pile*

Peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) atau percepatan puncak tanah, serta spektra respons percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar, digunakan dalam ketentuan ini, menurut SNI 2833-2016. PGA menunjukkan tingkat bahaya (potensi bahaya) gempa selama seribu tahun, dengan kemungkinan 7% meningkat dalam 75 tahun. Gambar 3.2 berikut menunjukkan nilai Percepatan Puncak.



Gambar 3.2 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA) untuk Kemungkinan melebihi 7% dalam 75 Tahun

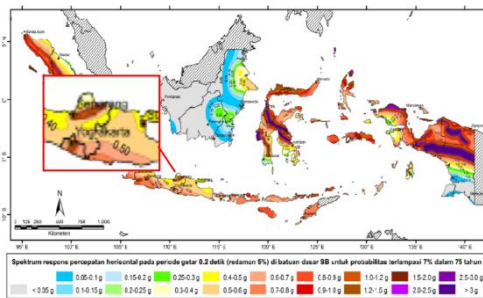
Berdasarkan pada gambar diatas, didapat Nilai PGA sebesar 0,3 untuk daerah Semarang- Demak, kemudian mencari Nilai S_s dan S_1 , dimana definisi masing-masing diantaranya

adalah sebagai berikut (SNI 2833-2016) :

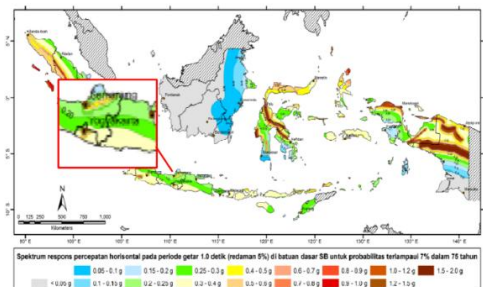
Keterangan :

S_s = Dengan angka probabilitas terlampaui 7%, Peta Gempa Indonesia dikaitkan dengan Indikator respons spektrum percepatan gempa untuk periode pendek ($T=0.2$ detik).

S_1 = Indikator respons spektrum percepatan gempa selama 1 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010, yang menunjukkan bahwasanya kemungkinan akan melampaui 7% dalam 75 tahun.



Gambar 3.3 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar untuk Kemungkinan melebihi 7% dalam 75 Tahun



Gambar 3.4 Peta Respons Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Kemungkinan melebihi 7% dalam 75 Tahun

Berdasarkan apa yang ada pada Peta Zona gempa mendapati kesimpulan sebagai berikut :

- a. $S_s = 0,7$
- b. $S_1 = 0,31$
- c. $PGA = 0,3$

Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 menunjukkan bahwa kelas situs SE dengan percepatan gempa $S_s = 0,7$ g, $S_1 = 0,31$, dan $PGA = 0,3$ menemukan faktor amplifikasi seismik untuk periode 0,2 detik dan 1 detik.

Tabel 3.3 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_A)

Kelas situs	PGA ≤ 0,1 $S_s ≤ 0,25$	PGA = 0,2 $S_s = 0,5$	PGA = 0,3 $S_s = 0,75$	PGA = 0,4 $S_s = 1,0$	PGA > 0,5 $S_s ≥ 1,25$
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

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

(Sumber : Tabel 3. SNI 2833:2016)

Tabel 3.4 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_V)

Kelas situs	$S_s ≤ 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s ≥ 0,5$
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)	1,7	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

(Sumber : Tabel 4. SNI 2833:2016)

Berikut Perhitungannya untuk mengetahui Nilai F_A , F_{PGA} , F_V .

- a. $F_A = 1,7 - ((0,7-0,5) / (0,75-0,5)) \times (1,7-1,2) = 1,3$
- b. $F_{PGA} = 1,2$
- c. $F_V = 2,8 - ((0,31-0,3) / (0,4-0,3)) \times (2,8-2,4) = 2,76$

Selanjutnya, nilai diatas digunakan untuk menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode satu detik (S_{D1}).

$$A_S = F_{PGA} \times PGA = 1,2 \times 0,3 = 0,39$$

$$S_{DS} = F_A \times S_s = 1,3 \times 0,7 = 0,91$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 = 2,76 \times 0,31 = 0,856$$

Periode getar T_0 dan T_s dihitung dengan cara :

$$T_0 = 0,2 \times S_{D1} / S_{Ds} = 0,188$$

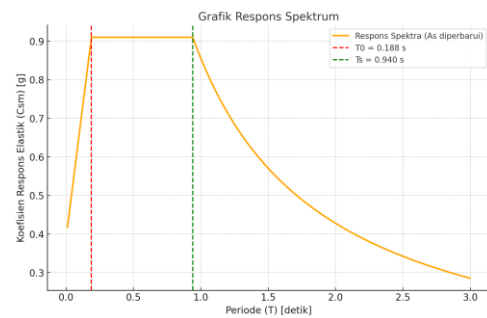
$$T_s = S_{D1} / S_{Ds} = 0,940$$

Dari seluruh perhitungan diatas didapat tabel Parameter Percepatan Gempa yang di dalam nya terdapat rangkuman dari seluruh hasil diatas yang mana akan digunakan untuk membuat grafik respons spektra di permukaan tanah (BSN, SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan terhadap beban gempa, 2016), untuk tabel hasil rangkuman nya dapat dilihat sebagai berikut pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Parameter Percepatan Gempa

No	Keterangan	Hasil
1	Kelas Situs	SE
2	Nilai S_s	0,7
3	Nilai S_1	0,31
4	Nilai F_a	1,3
5	Nilai F_v	2,76
6	Nilai A_s	0,39
7	Nilai S_{Ds}	0,91
8	Nilai S_{D1}	0,856
9	Nilai T_0	0,188
10	Nilai T_s	0,940
11	Nilai PGA	0,3

Kemudian setelah didapat tabel diatas lalu dilakukan membuat grafik Respons Spektrum secara manual dengan periode waktu 3 detik, dan berikut grafiknya pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik Respons Spektrum

dari grafik diatas dapat digunakan sebagai langkah lanjutan untuk menghitung kategori kinerja dan kombinasi pembebanan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan tercatat sebagai berikut :

- a. **Klasifikasi Situs Tanah** : Berdasarkan sampel uji lapangan N-SPT, lokasi proyek ini dikategorikan sebagai situs tanah lunak (kategori E). Hal ini mempengaruhi penyesuaian desain dan faktor amplifikasi seismik yang diperlukan untuk menahan per-cepatan gempa di area tersebut.
- b. **Nilai Percepatan Puncak** : Nilai percepatan puncak (PGA) di lokasi proyek sebesar 0,3 g mendukung penetapan parameter desain gempa. Nilai S_s dan S_1 yang digunakan untuk menghitung respons spektrum me-mastikan bahwa perencanaan me-menuhi standar daerah gempa tinggi, sesuai dengan peta percepatan gempa untuk wilayah Semarang - Demak.

c. Pentingnya Faktor Amplifikasi :

Untuk memperhitungkan efek dinamis gempa pada struktur *slab on pile* di lokasi ini, parameter spektral desain yang dihasilkan—SDS untuk periode pendek dan SD1 untuk periode 1 detik — telah diper-timbangkan dalam analisis. Nilai amplifikasi seismik FA sebesar 1,3 dan nilai amplifikasi seismik FV sebesar 2,76.

d. Rekomen Desain Struktural :

Hasil analisis ini merekomendasikan pentingnya perhitungan rinci dan pen-ggunaan standar SNI 2833:2016 dalam desain infrastruktur di wilayah seismik tinggi. Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa struktur mampu menghadapi potensi kerusakan akibat gempa, yang pada akhirnya mendukung keselamatan pengguna dan kelancaran distribusi barang di jaringan jalan tol nasional.

Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Dimaswara Putra, I. B. (2020). *EVALUASI KINERJA SLAB ON PILE JEMBATAN KENJERAN TERHADAP BEBAN GEMPA MENURUT SNI 2833-2016*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Handayani, L. F. (2019, July 14). Perbandingan Respons Struktur bertingkat dengan menggunakan statik ekuivalen dan analisa dinamis spektrum respons dengan permodelan akibat gempa berdasarkan SNI 1726:2012. *OSF*. doi:<https://doi.org/10.31219/osf.io/4qc95>

Pangestu, F., & Indianto, A. (2021). Evaluasi Kapasitas Kepala Jembatan Akibat Perubahan Beban Gempa Rencana Sesuai SNI 2833:2016. *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)*, 54-61.

PUPR. (2005). *RSNI-T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan umum.

Rafsanjani, A., & Kurnia, F. (2021). ANALISA KEKUATAN BANGUAN TERHADAP GAYA GEMPA DENGAN METODE LINEAR RESPON SPEKTRUM. *Jurnal Artesis*, 1(1), 52-57.

Sartika, D., Herbudiman, B., & Pribadi, A. (2019). Studi Komparasi Pembebanan Analisis Jembatan Cibaruyan dengan Pembebanan Jembatan Berdasarkan RSNI T-02-2005

DAFTAR PUSTAKA

- Alihudien, Suhartinah, & Warnana. (2018). Analysis Of Liquefaction Potential Based On Standart Penetration Test (SPT) In Puger, Jember, Indonesia. *ICCSET*, 25-26.
- BSN. (2008). *SNI 4153:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. (2016). *SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan terhadap beban gempa*.

dan SNI 1725:2016.
*RekaRacana: Jurnal Teknik
Sipil, 5(4).*