

PENGEMBANGAN SPEKTRA RESPON ELASTIS GEMPA MAMUJU SEBAGAI REKOMENDASI SPEKTRA RESPON UNTUK BANGUNAN GEDUNG DI INDONESIA

Mirna Kristiyanto, Sigit Pramono, Pariatmono, Robby Wallansha

Prodi Magister Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, DKI Jakarta, Indonesia
Divisi Seismologi Teknik, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Indonesia
Prodi Magister Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, DKI Jakarta, Indonesia
Divisi Seismologi Teknik, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Indonesia
Email: krisna_esa@yahoo.com, sigit_muslim@yahoo.com,
pariatmono@mercubuana.ac.id dan rwallansha@gmail.com.

Abstrak

Wilayah Indonesia memiliki potensi aktivitas seismik yang sangat tinggi dan rawan terhadap bahaya gempa. Saat ini Perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia masih menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pada revisi SNI 1726-2019 yang mengacu pada standar *American Society of Civil Engineers (ASCE) 7-16*, metode pembuatan grafik spektra respons masih memiliki kesamaan, yaitu dengan menentukan nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) berdasarkan peta percepatan spektrum respons gempa maksimum yang dipertimbangkan berbasis pada risiko (MCE_R) dengan redaman 5% dan kriteria 1% kemungkinan bangunan runtuh dalam 50 tahun. Dalam penelitian ini akan melakukan pengembangan elastis spektra respons dengan sistem derajat kebebasan tunggal berdasarkan metode numerik untuk menganalisis tingkat kerawanan gempa Mamuju yang terjadi pada 15 Januari 2021 berdasarkan rekaman di stasiun Dishub Mamuju Sulawesi (MMSN) dengan kelas situs tanah sedang, SD, dibandingkan dengan respon spektra yang dikembangkan berdasarkan SNI 1726-2019. Nilai spektra respons percepatan yang menghasilkan nilai tertinggi di stasiun MMSN adalah komponen HNE dengan nilai PSA sekitar 0.292 g pada periode 0.65 detik. Kurva spektra respons percepatan dari rekaman gempa asli di stasiun MMSN berada jauh dibawah spektra respons yang dikembangkan berdasarkan SNI 1726-2019.

Kata Kunci: respon spektra; analisa riwayat waktu; dinamika struktur; penskalaan gempa; SNI 1729:2019

Abstract

Indonesian territory has a very high seismic activity potential and is prone to seismic hazards. Currently, the design of earthquake-resistant buildings in Indonesia is still using the Indonesian National Standard. In the revision of SNI 1726-2019 which refers to the standard of the American Society of Civil Engineers (ASCE) 7-16, the method of graphing the response spectra still has similarities, namely by determining the PGA (Peak Ground Acceleration) value based on the maximum earthquake response spectrum acceleration map that is considered based on risk (MCE_R) with 5% attenuation and 1% probability of the building collapsing

in 50 years. In this research, we will develop an elastic response spectrum with a single degree of freedom system based on a numerical method to analyze the seismic hazard of the Mamuju earthquake that occurred on January 15, 2021 based on recordings at the Mamuju Sulawesi Transportation Agency (MMSN) station with a stiff soil site class, SD, compared to the response spectra developed based on the SNI 1726-2019 approach method. The value of the acceleration response spectra that produces the highest value at the MMSN station is the HNE component with a PSA value of around 0.292 g in a period of 0.65 seconds. The acceleration response spectra curve from the original earthquake recording at the MMSN station is far below the response spectra developed based on SNI 1726-2019.

Keywords: *response spectra; time history analysis; structural dynamic; earthquake scaling; SNI 1729:2019*

Pendahuluan

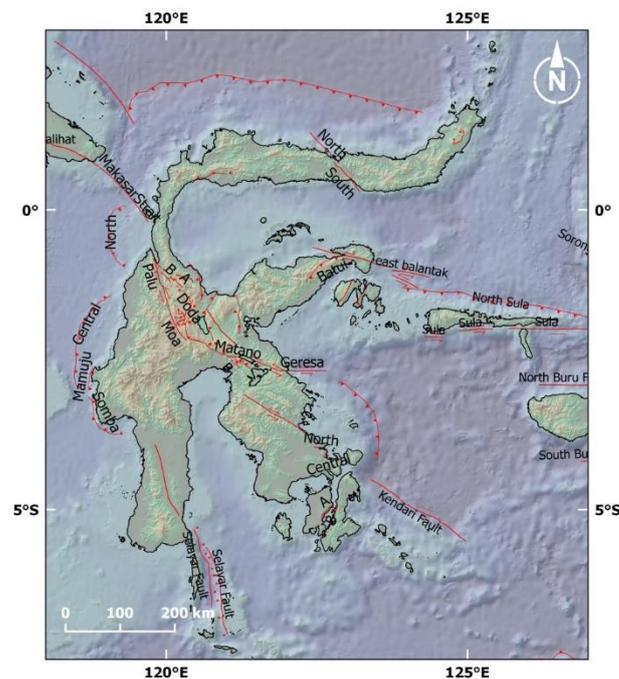
Kepulauan Indonesia secara geografis terletak didaerah pertemuan lempeng tektonik besar dan beberapa lempeng tektonik kecil (Bird, 2003). Hal ini menciptakan jalur subduksi dan jalur patahan yang terus aktif, dan akibatnya, sebagian besar wilayah Indonesia sangat aktif secara seismik dan rentan terhadap gempa bumi.

Pemutakhiran peta gempa Indonesia untuk mengikuti perkembangan terkini ilmu dan teknologi kegempaan dilakukan pada tahun 2017 yang terdapat dalam standar kegempaan SNI 03-1726-2019. Beberapa pertimbangan pemutakhiran Peta Gempa Indonesia 2017 antara lain peningkatan kualitas sumber data seismik, adanya informasi baru terkait sesar aktif, ketersediaan data topografi yang lebih mencukupi, dan penggunaan katalog gempa hingga tahun 2016.

Salah satu gempabumi terbaru yang terjadi di Indonesia pada tanggal 15 Januari 2021 adalah gempa Mamuju, Sulawesi Barat, dengan Magnitudo 6.2. Pusat gempa berada pada garis lintang 2.97° LS dan garis bujur 118.99° BT, Timur Laut Majene, dengan kedalaman pusat gempa yaitu 21 km. Stasiun akselerometer terdekat dengan sumber gempabumi adalah stasiun akselerometer yang di pasang di kantor Dishub Mamuju Sulawesi (MMSN) dengan jarak sekitar 47.77 km.

Sulawesi memiliki struktur sesar yang kompleks yang terdiri dari sesar aktif dan sesar tidak aktif. Pada Gambar 1 ditampilkan peta sesar aktif Sulawesi yang terangkum dalam Peta Gempa Nasional Indonesia 2017.

Saat ini Perencanaan bangunan tahan gempa Indonesia masih menggunakan Standar Nasional Indonesia SNI 1726-2012 yang mengacu pada *American Society of Civil Engineers (ASCE) 7-2010*. Dalam revisi standar Gempa Indonesia SNI 1726-2019 mengacu pada standar *American Society of Civil Engineers (ASCE) 7-16*, masih terdapat kesamaan dalam metode pembuatan grafik respon spektra dengan menentukan nilai PGA (Peak Ground Acceleration) berdasarkan peta percepatan spektrum respons gempa maksimum yang dipertimbangkan berbasis pada risiko (*MCER*). Redaman yang digunakan adalah 5% dan kriteria 1% kemungkinan bangunan runtuh dalam 50 tahun yang dikembangkan berdasarkan peta *hazard* dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang gempa 2,475 tahun).



Gambar 1
Peta Sesar Aktif di Pulau Sulawesi
Sumber: PUSGEN (2017)

Dalam penelitian ini akan melakukan pengembangan elastis spektra respons dengan sistem derajat kebebasan tunggal berdasarkan metode numerik untuk menganalisis tingkat kerawanan gempa Mamuju 2021 dibandingkan dengan respon spektra yang dikembangkan berdasarkan SNI 1726-2019. Spektra respon percepatan berdasarkan gempa aktual merupakan salah satu alat bantu yang berguna bagi para ahli dalam mengantisipasi getaran tanah dalam perencanaan bangunan tinggi.

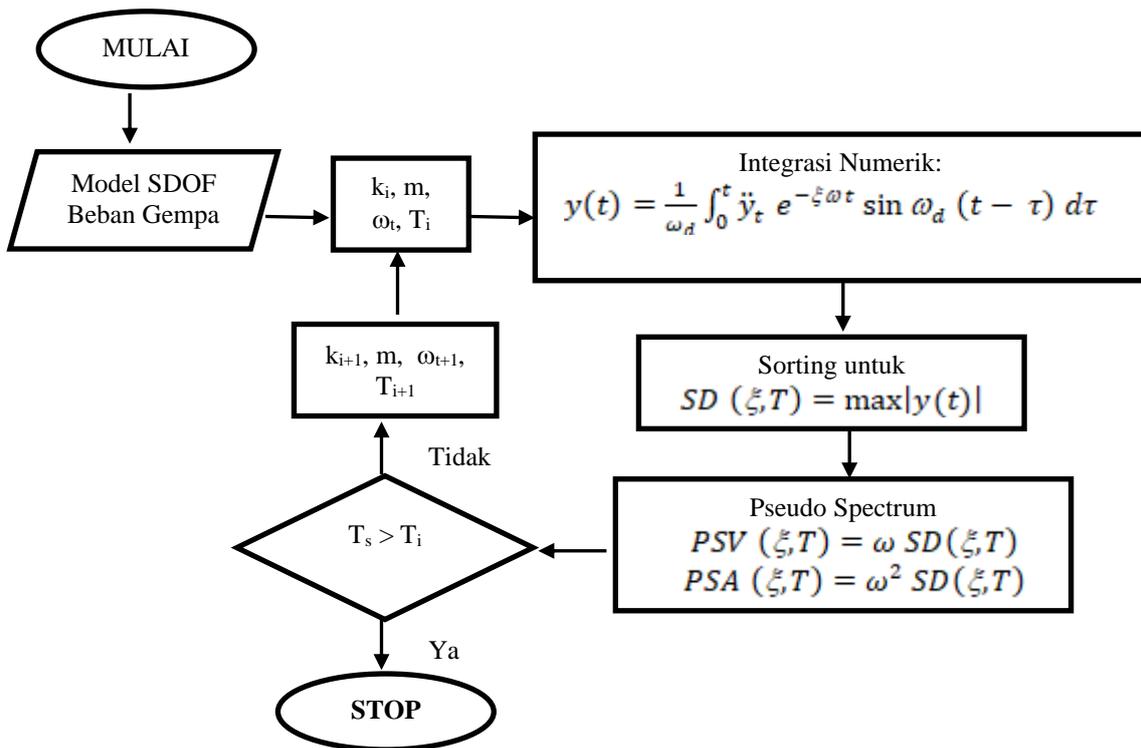
Pengertian Spektra Respons

Menurut (Prawirodikromo, 2017), Spektrum respons adalah spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getaran struktur T dan respons maksimumnya pada rasio redaman dan beban gempa tertentu. Sedangkan menurut Mario (Paz and Leigh, 2004), respons spektrum adalah plot respons maksimum (perpindahan maksimum, kecepatan, percepatan, atau kuantitas lain yang diinginkan) ke fungsi beban yang ditentukan untuk semua kemungkinan sistem derajat kebebasan tunggal.

Maka dapat di simpulkan bahwa spektra respons adalah grafik antara periode getar struktur (pada sumbu x) dengan respon-respon maksimumnya (pada sumbu y) yang dapat berupa perpindahan maksimum, kecepatan maksimum ataupun percepatan maksimum massa struktur dengan sistem derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*).

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan rekaman percepatan getaran tanah riwayat waktu berdasarkan gempa Mamuju 15 Januari 2021 dan direkam di stasiun MMSN. Data rekaman tersebut di peroleh dari Laporan Survey Seismologi Teknik BMKG. Secara sistematis diagram alir pengembangan spektra respons berdasarkan rekaman gempa riwayat waktu adalah seperti yang disajikan pada Gambar 2.

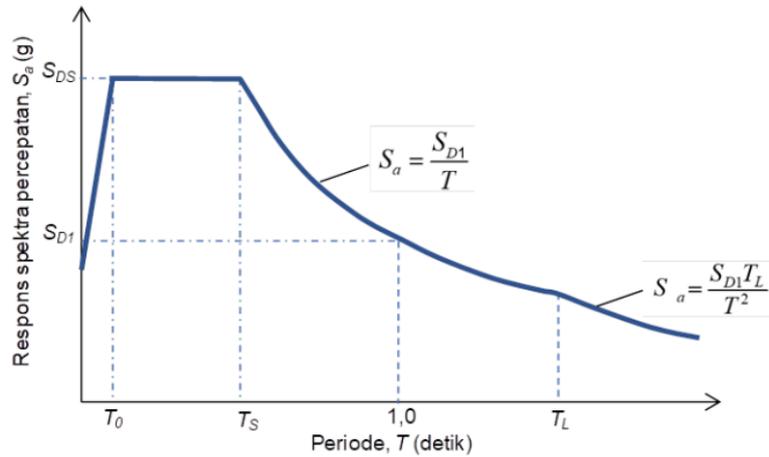


Gambar 2
Diagram Alir Pembuatan Spektra Respons

Stasiun terdekat dengan pusat gempa yang mencatat gempa Mamuju 15 Januari 2021 adalah Dishub Mamuju Sulawesi (MMSN). Berdasarkan karakterisasi situs, kelas situs untuk MMSN dikategorikan sebagai jenis tanah sedang SD (Divisi Teknik Seismologi BMKG, 2021). Data rekaman Gerakan tanah riwayat waktu akselerograf gempa Mamuju 15 Januari 2021 yang tercatat di stasiun MMSN dianalisa untuk mendapatkan spektra respons percepatan akibat gempa.

Peraturan gempa Indonesia terbaru, yaitu SNI 1726-2019, menetapkan cara penentuan beban gempa untuk bangunan gedung yang berlokasi di wilayah Indonesia sebagai spektra respons percepatan desain. Grafik spektra respons percepatan tersebut seperti terlihat pada pada Gambar 3 dibawah.

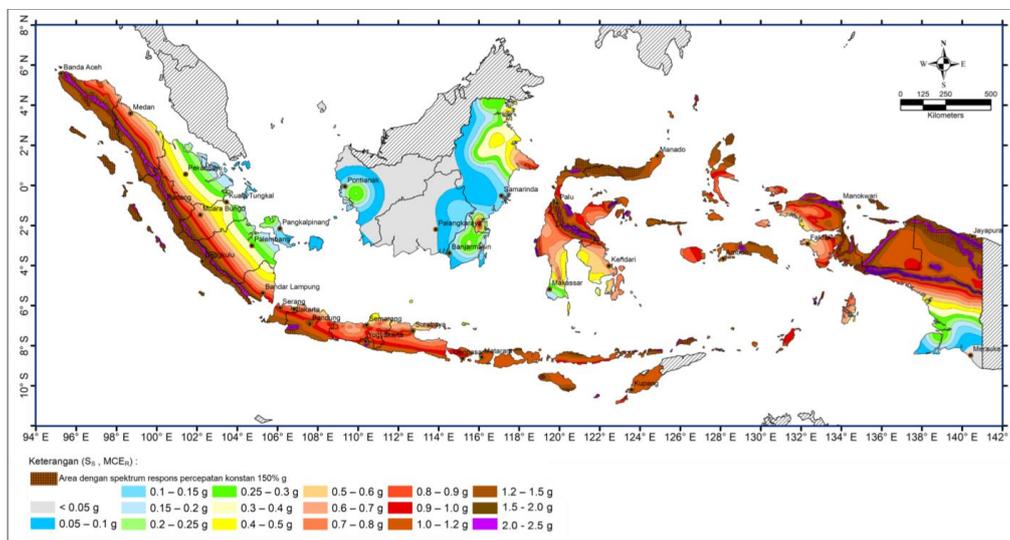
Pengembangan Spektra Respon Elastis Gempa Mamuju Sebagai Rekomendasi Spektra Respon Untuk Bangunan Gedung di Indonesia



Gambar 3
Spektra respons desain
Sumber: SNI 1726-2019

Berdasarkan Gambar 3 di atas, parameter-parameter percepatan gempa S_0 , S_{D1} , S_{DS} , T_0 , dan T_S , nilainya dihitung sesuai dengan Bab 6 peraturan SNI 1726-2019 dengan memperhatikan parameter S_s , S_1 , dan PGA .

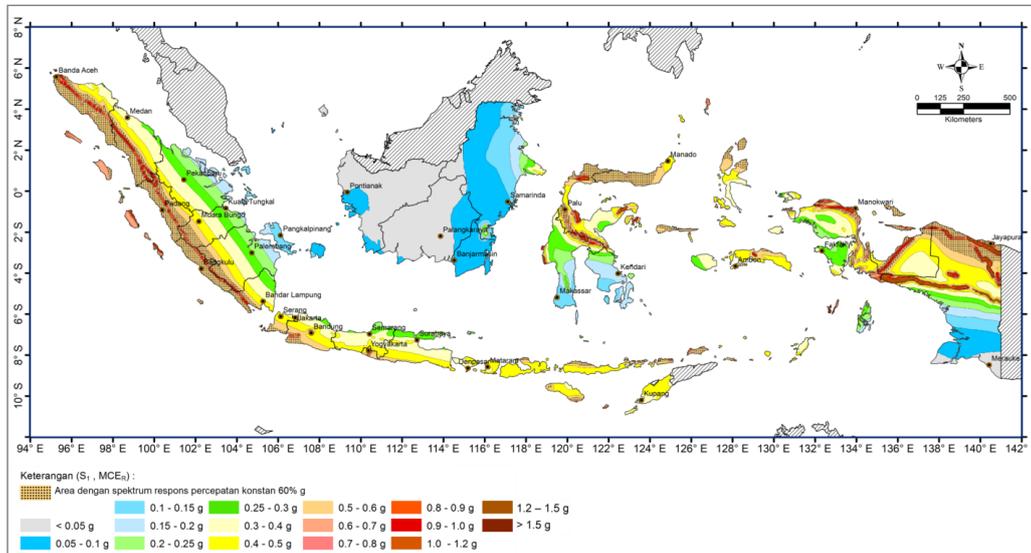
Spektra respons yang akan digunakan sesuai peraturan SNI 1726-2019 adalah spektra respon Mamuju dengan kelas situs tanah sedang, SD ,



Gambar 4
Parameter Gerak Tanah, S_s
Sumber: SNI 1726-2019

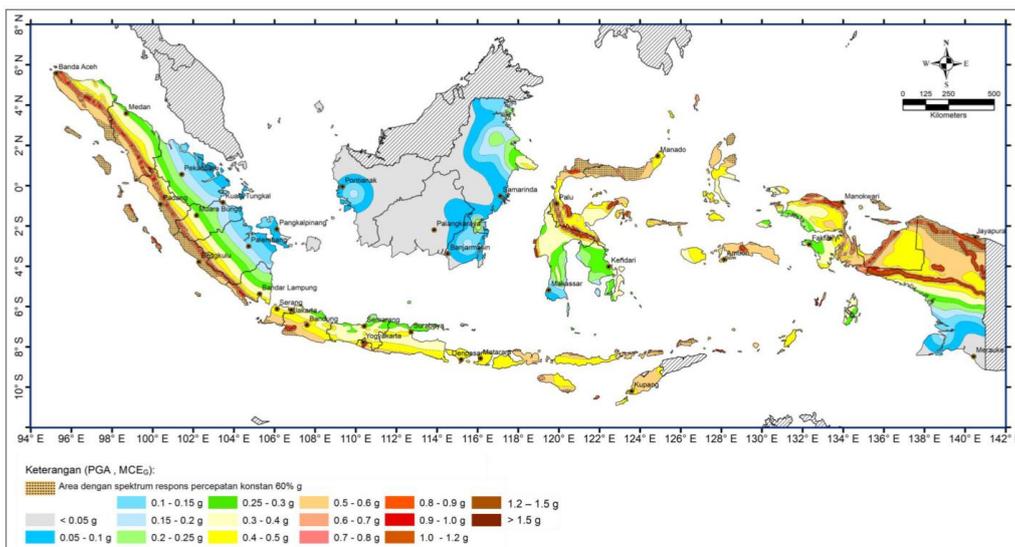
Gambar 4 merupakan peta untuk menentukan nilai parameter gerak tanah S_s , berdasarkan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) untuk wilayah Indonesia pada spektra respons 0.2-detik dengan redaman kritis 5% dan kriteria

kemungkinan keruntuhan bangunan dalam 50 tahun adalah 1%. Kelas situs tanah berdasarkan peta tersebut adalah di antara SB dan SC.



Gambar 5
Parameter Gerak Tanah, S_I
Sumber: SNI 1726-2019

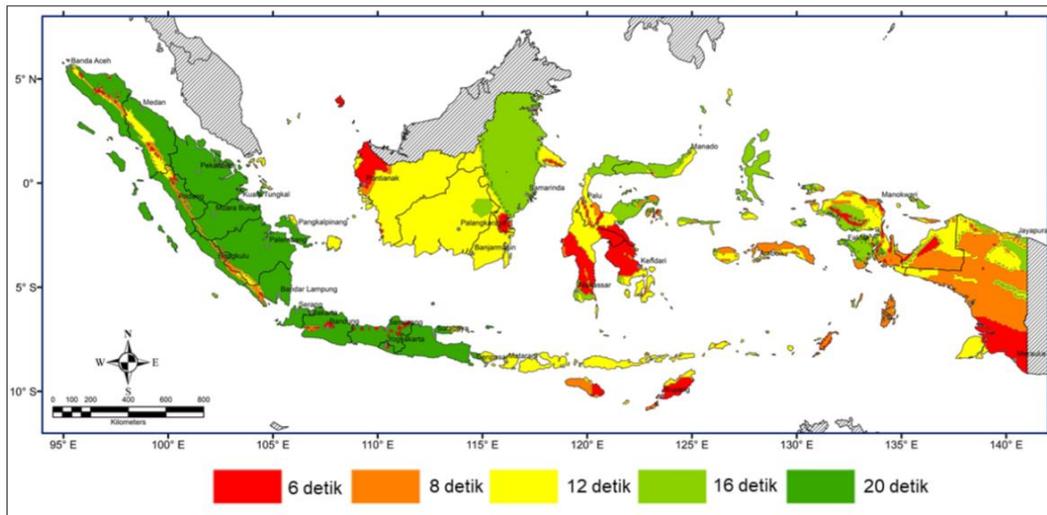
Sedangkan Gambar 5 merupakan peta untuk menentukan parameter gerak tanah S_I , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) untuk wilayah Indonesia pada spektra respons 1-detik dengan redaman kritis 5% dan kriteria kemungkinan keruntuhan bangunan dalam 50 tahun adalah 1%. Kelas situs tanah berdasarkan peta tersebut adalah di antara SB dan SC.



Gambar 6 PGA
Sumber: SNI 1726-2019

Pengembangan Spektra Respon Elastis Gempa Mamuju Sebagai Rekomendasi Spektra Respon Untuk Bangunan Gedung di Indonesia

Dari Gambar 6 disajikan nilai *PGA* yang didasarkan pada Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (*MCEG*) untuk wilayah Indonesia.



Gambar 7 Transisi periode panjang, T_L
Sumber: SNI 1726-2019

Sedangkan Gambar 7 merupakan Peta wilayah Indonesia untuk menentukan nilai transisi periode panjang, T_L .

Tabel 1
Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral untuk periode Pendek = 0.2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	diperlukan investigasi geoteknik khusus serta analisis <i>site-specific response</i>					

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 1 diatas menyajikan nilai untuk koefisien situs, F_a berdasarkan kelas situs dan parameter respon spektral pada periode pendek = 0.2 detik, S_s . Sedangkan pada Tabel 2, disajikan nilai untuk koefisien situs, F_v berdasarkan kelas situs dan parameter respon spektral pada periode 1 detik, S_1 .

Tabel 2
Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral untuk periode					
	1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.6$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
SD	2.4	2.2	1.0	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
SF	diperlukan investigasi geoteknik khusus serta analisis <i>site-specific response</i>					

Sumber: SNI 1726-2019

Langkah-langkah pengembangan kurva spektra respons Desain sesuai dengan SNI 1726-2019 Adalah sebagai berikut:

1. Sesuai dengan peta MCE_R untuk periode pendek = 0.2 detik (Gambar 4) dan periode 1-detik (Gambar 5), maka akan didapatkan nilai percepatan untuk parameter S_S dan S_I .
2. Kalikan nilai S_S dan S_I tersebut dengan faktor koefisien situs F_a dan F_v , maka akan dihasilkan parameter percepatan respons spektral yang sesuai dengan kelas situs tanah, S_{MS} dan S_{M1} .
3. Hitung nilai percepatan spektra respons desain untuk periode pendek = 0.2 detik, $S_{DS} = 2/3 S_{MS}$ dan juga untuk periode 1-detik, $S_{D1} = 2/3 S_{M1}$.
4. Buat kurva spektra respons desain yang dikembangkan berdasarkan grafik pada Gambar 3 dengan ketentuan sebagai berikut:

- Apabila $T < T_0$, maka

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$
- Apabila $T_0 \leq T \leq T_s$, maka

$$S_a = S_{DS}$$
- Apabila $T_s \leq T \leq T_L$, maka

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$
- Apabila $T > T_L$, maka

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

Dengan:

S_a = spektra respons percepatan desain

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{MS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{MS}}$$

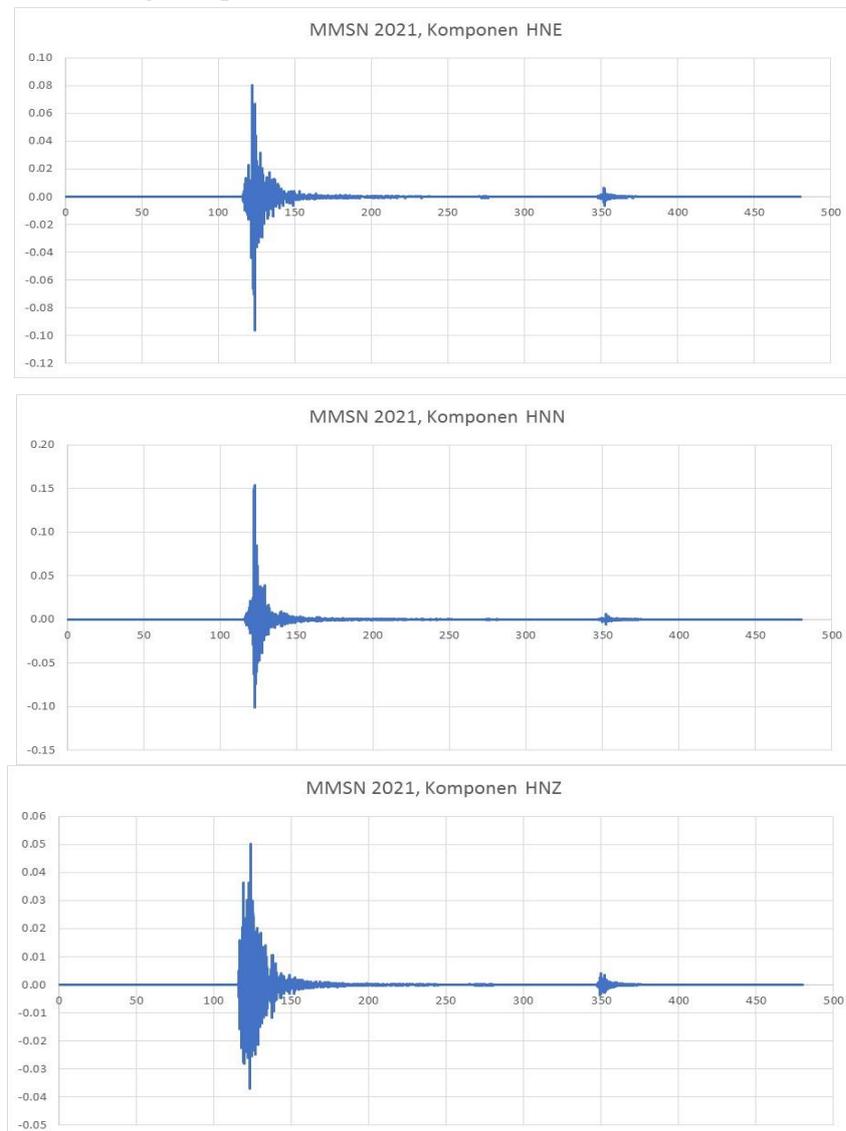
T_L = Transisi periode panjang sesuai peta pada Gambar 7

Pengembangan Spektra Respon Elastis Gempa Mamuju Sebagai Rekomendasi Spektra Respon Untuk Bangunan Gedung di Indonesia

Selanjutnya hasil dari pengembangan spektra respon berdasarkan riwayat waktu gempa Mamuju, dengan menggunakan redaman 5%, tersebut akan dibandingkan dengan spektra respon berdasarkan metode pendekatan SNI 1726-2019.

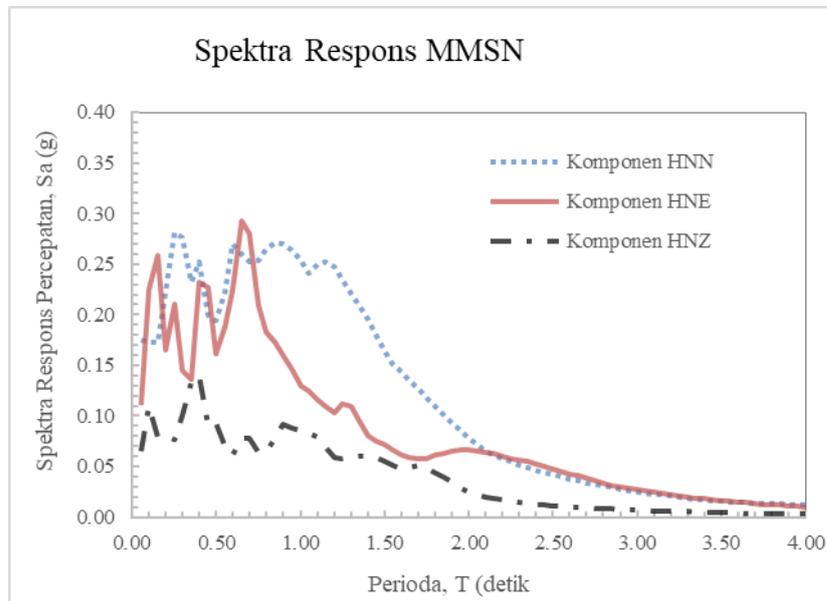
Hasil dan Pembahasan

Sesuai dengan hasil analisa data akselerograf untuk kejadian gempabumi Mamuju tanggal 15 Januari 2021, didapatkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) adalah sebesar 150.7799 gals atau 0.1536 g, pada stasiun Dishub Mamuju Sulawesi (MMSN), untuk komponen HNN. Rekaman asli akselerograf gempa Mamuju 2021 pada stasiun Dishub Mamuju Sulawesi (MMSN), yang diperoleh dari Divisi Teknik Seismologi BMKG disajikan pada Gambar 8.



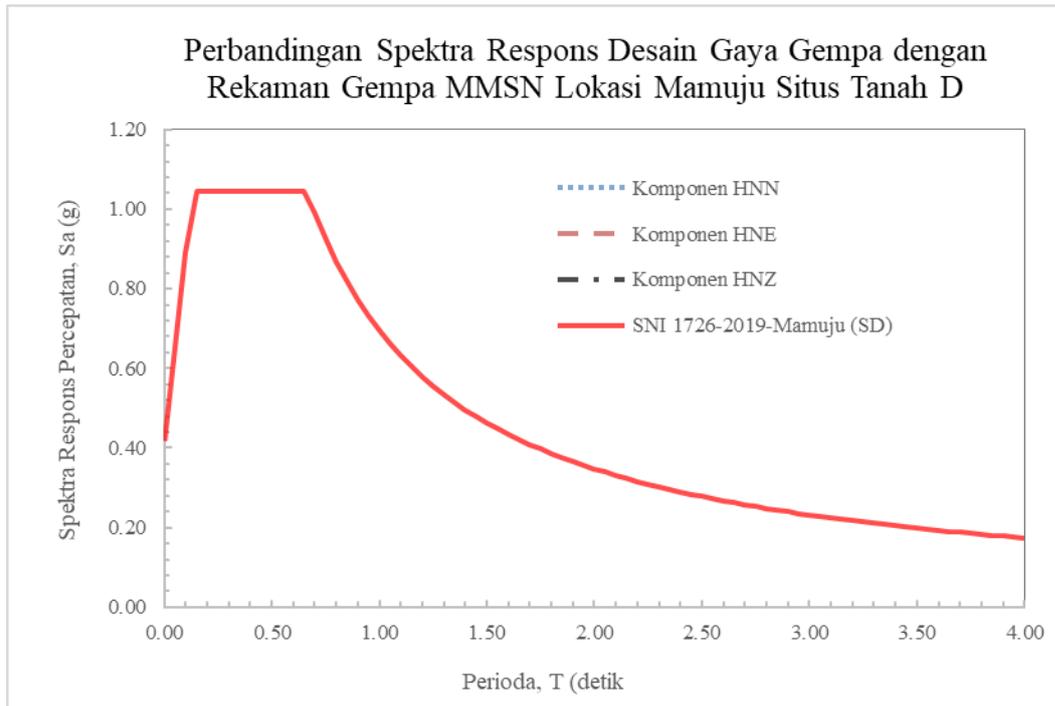
Gambar 8
Rekaman asli akselerograf gempa Mamuju, 15
Januari 2021, di Stasiun MMSN
Sumber: Divisi Teknik Seismologi BMKG, 2021

Hasil plot kurva spektra respons berdasarkan rekaman gempa Mamuju (MMSN) 2021 yang dibuat berdasarkan metode numerik dengan redaman 5% untuk ketiga komponen, yaitu komponen HNN, HNE dan HNZ, dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9
Spektra respons rekaman gempa Mamuju, 15
Januari 2021, di Stasiun MMSN

Spektra respons desain dikembangkan berdasarkan SNI 1726-2019 untuk lokasi di stasiun MMSN dengan kelas situs tanah sedang SD sesuai dengan Gambar 3. Hasil perbandingan antara spektra respons rekaman gempa Mamuju di Stasiun MMSN dengan spektra respons desain berdasarkan SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10
Perbandingan Spektra Respons Rekaman Gempa Mamuju
Di Stasiun MMSN Dengan Spektra Respons Desain Sesuai SNI 1726-2019

Dari Gambar 10 diketahui bahwa nilai spektra respons percepatan tertinggi di stasiun MMSN adalah komponen HNE dengan nilai PSA sekitar 0.292 g pada periode 0.65 detik. Kurva spektra respons percepatan dari rekaman gempa MMSN berada jauh dibawah spektra respons desain sesuai SNI 1726-2019. Oleh karena itu, spektra respons desain sesuai SNI 1726-2019 untuk wilayah Mamuju sangat aman digunakan dalam perencanaan bangunan tinggi bila dibandingkan dengan spektra respons berdasarkan gempa Mamuju yang terjadi pada 15 Januari 2021 di Stasiun MMSN dengan magnitude 6.2. Hal ini dapat terjadi karena spektra respons desain sesuai SNI 1726-2019 menggunakan lebih banyak data kejadian gempa di Indonesia dengan magnitudo yang lebih besar.

Kesimpulan

Pengembangan spektra respons elastis berdasarkan gempa Mamuju, Sulawesi Barat, yang terjadi pada tanggal 15 Januari 2021 di stasiun MMSN telah dibahas secara rinci dalam penelitian ini. Nilai spektra respons percepatan tertinggi di stasiun MMSN adalah komponen HNE dengan nilai PSA sekitar 0.292 g pada periode 0.65 detik. Kurva spektra respons percepatan dari rekaman gempa MMSN berada jauh dibawah spektra respons desain sesuai SNI 1726-2019. Oleh karena itu, spektra respons desain sesuai SNI 1726-2019 untuk wilayah Mamuju sangat aman digunakan dalam perencanaan bangunan tinggi bila dibandingkan dengan spektra respons berdasarkan gempa Mamuju yang terjadi pada 15 Januari 2021 di Stasiun MMSN dengan magnitude 6.2. Hal ini

dapat terjadi karena spektra respons desain sesuai SNI 1726-2019 menggunakan lebih banyak data kejadian gempa di Indonesia dengan magnitudo yang lebih besar.

BIBLIOGRAFI

- Anajafi H., & Medina, R. A. (2018). Uncertainties In Using The Spectrum Matching Technique For Generating Synthetic Ground Motions. *Proceedings of 11th National Conference in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Los Angeles, CA.*
- Asrurifak, M. (2010). Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilitas. *Disertasi Doktor Teknik Sipil ITB, Indonesia.*
- Ayele, Atalay. (2017). Probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) for Ethiopia and the neighboring region. *Journal of African Earth Sciences, 134.*, 257-264.
- Bayyinah, Dilla Ayu Laila Nurul, & Faimun, Faimun. (2017). Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan Time History untuk Desain Gedung. *Jurnal Teknik Its, 6(1)*, C33-C38.
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry. Geophysic. Geosystem, 4(3).*
- Chopra, Anil K. (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering*. 4th Ed. Prentice Hall International Inc.
- Fahjan, Yasin M. (2008). Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish Design. *Teknik Dergi, 19(3)*. 4423–4444.
- Gempabumi, Pusat, & Tsunami, BMKG. (2019), Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821-2018. *Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.*
- Li, Bo, Xie, Wei Chau, & Pandey, M. D. (2016). Newmark design spectra considering earthquake magnitudes and site categories. *Earthquake Engineering And Engineering Vibration, 15(3)*, 519-535.
- Loads, Minimum Design. (2017). Associated Criteria for Buildings and Other Structures. *American Society of Civil Engineers, 6–15*
- Makrup, Lalu, & Jamal, Atika Ulfa. (2016). The Earthquake Ground Motion and Response Spectra Design for Sleman, Yogyakarta, Indonesia with Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Spectral Matching in Time Domain. *American Journal of Civil Engineering, 4(6)*, 298-305.
- Nasional, Badan Standarisasi. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. *Sni, 1726, 2019.*
- Nasional, Pusat Studi Gempa. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. *Badan Penelitian Dan Pengembangan Kementerian PUPR.*

Mirna Kristiyanto, Sigit Pramono, Pariatmono, Robby Wallansha

Paz, Mario, & Leigh, William. (2004). *Structural Dynamics: Theory and Computation*. 5th Ed. Kluwer Academic Publisher.

Prawirodikromo, Widodo. (2017). Analisis Dinamik Struktur. *Yogyakarta: Cetakan I, Pustaka Pelajar*.

Sunardi, Bambang, Karnawati, Dwikorita, Haryoko, Urip, Rohadi, Supriyanto, Pramono, Sigit, & Sungkowo, Ari. (2019). Acceleration Response Spectra for M 7.4 Donggala Earthquake and Comparison with Design Spectra. *Journal of Sustainable Engineering: Proceedings Series 1(1)*, 20-26.

Wahjudi, Dicky Imam. (2017). Pemilihan dan Pen-skala-an Rekaman Akselerogram Gempa Nyata agar Sesuai dengan Spektrum Respons SNI 1726-2012. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 15(2), 67-72.

Yi, Jiang, Lam, Nelson, Tsang, Hing Ho, & Au, Francis T.K. (2020). Selection of earthquake ground motion accelerograms for structural design in Hong Kong. *Advances in Structural Engineering*, 23(10), 2044-2056.

Zamora, M., & Ridell, R. (2011). Elastic and Inelastic Response Spectra Considering Near-Fault Effects. *Journal of Earthquake Engineering*, 15(5).775–808.

Copyright holder:

Mirna Kristiyanto, Sigit Pramono, Pariatmono, Robby Wallansha (2022)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

