

# Pengembangan Spektrum Respons Dari Gempa Riwayat Waktu Palu 2018

Indra Rifaldy<sup>1</sup>, Pariatmono Sukamdo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Teknik Sipil - Universitas Mercu Buana, Jakarta  
email : rifaldyindra@gmail.com

<sup>2</sup>Program Magister Teknik Sipil - Universitas Mercu Buana, Jakarta  
email: pariatmono@mercuBuana.ac.id

Received: 27-08-2023 Revised: 16-03-2024 Accepted: 27-05-2024

## Abstract

*Indonesia is at the summit of three world plates – the Indonesian plate – Australia, the Eurasian plate, and the Pacific plate, so the earthquake activity that occurs in Indonesia is quite high. On Friday, September 28, 2018, at 18:02 WITA there was an earthquake that shook Palu M 7.4 and a depth of 10 km.*

*This study aimed to build a response spectrum from the 2018 Timeline Earthquake. The maximum spectral values of the vibration were obtained at each vibration period value of the T structure and then plotted into such a vibration spectrum, indicating that the beginning of the production of the response spectrum began with the calculation of the angular velocities and periods of vibration of  $\omega_i$  and  $T_i$  on the information of the stiffness of  $k_i$  and  $m_i$  masses. Using the Central Difference numerical method approaching to the derivative value of the time function or a displacement time derivative, both for velocity parameters and acceleration parameters. The SDOF response consisted of a two-dimensional structure analysis by inserting the parameters of the Palu Response Spectrum 2018, to find out how SDOF Respons.*

*The result from development of the displacement response spectrum were HNE 160,60 cm T2,98 sec, HNN 230,09 cm T4,69 sec, and HNZ 94,43 cm T4,97 sec. Velocity HNE maximum 335,79 cm/d T2,98 seconds, HNN 307,30 cm/de T4,69 sec, and HNZ 143,98 cm/sec T2,11 sec. Acceleration HNE 1480 cm/det<sup>2</sup> T0,23 seconds; 1850 cm/det<sup>2</sup> T 0,38 sec and HNZ 3773 cm/sec<sup>2</sup> 0,12 sec.*

**Keywords:** Response Spectrum; SDOF; Displacement; Velocity; Acceleration.

## Abstrak

Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng dunia yaitu lempeng Indonesia – Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, Sehingga aktivitas gempa bumi yang terjadi di Indonesia cukup tinggi. Pada hari Jumat, 28 September 2018 pukul 18:02 WITA terjadi gempa yang mengguncang Palu M 7,4 dan kedalaman 10 km.

Tujuan dari penelitian ini yaitu membangun spektrum respons dari Gempa Riwayat Waktu Palu 2018. Nilai-nilai spektral simpangan maksimum diperoleh pada setiap nilai periode getar struktur T kemudian diplot menjadi spektrum simpangan, menunjukkan bahwa awal dari pembuatan spektrum respons dimulai dari menghitung kecepatan sudut dan periode getar  $\omega_i$  dan  $T_i$  atas informasi kekakuan  $k_i$  dan massa  $m_i$ . Menggunakan metode numerik *Central Difference* yaitu dengan pendekatan nilai derivatif fungsi waktu atau turunan waktu perpindahan, baik untuk parameter kecepatan maupun percepatan. Respons SDOF terdiri dari analisa struktur dua dimensi dengan memasukkan parameter-parameter Spektrum Respons Palu 2018, Agar mengetahui bagaimana Respons SDOF tersebut.

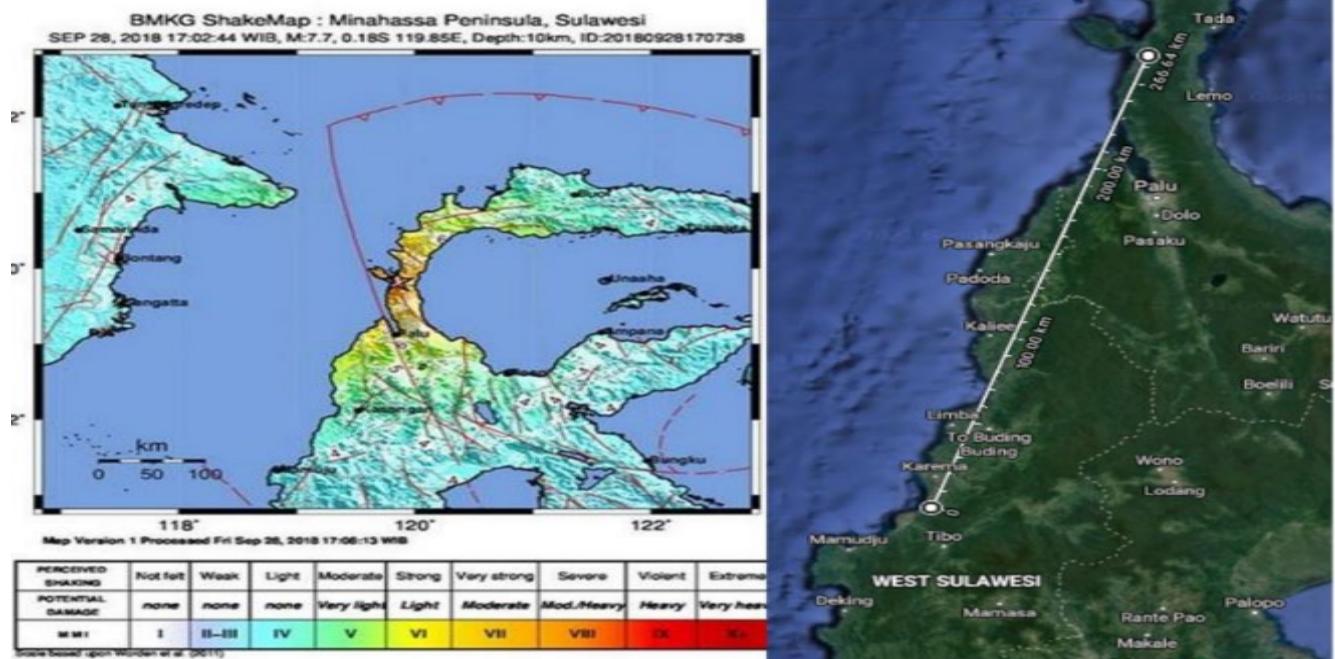
Hasil dari pengembangan spektrum respons *displacement* HNE 160,60 cm T 2,98 det, HNN 230,09 cm T 4,69 det dan HNZ 94,43 cm T 4,97 det. Velocity dari HNE maksimum 335,79 cm/det T 2,98 det, HNN 307,30 cm/det T 4,69 det dan HNZ sebesar 143,98 cm/det T 2,11 det. Acceleration HNE 1480 cm/det<sup>2</sup> T 0,23 det, HNN 1850 cm/det<sup>2</sup> T 0,38 det dan HNZ 3773 cm/det<sup>2</sup> T 0,12 det.

**Kata Kunci:** Spektra Respons; SDOF; Displacement; Velocity; Acceleration.

## PENDAHULUAN

Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng dunia, yaitu lempeng Indonesia – Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, Sehingga aktivitas gempa bumi yang terjadi di Indonesia cukup tinggi. Gempa bumi merupakan peristiwa dinamik, yang menimbulkan pergerakan pada tanah kemudian berlanjut ke struktur konstruksi bangunan. (Bayyinah dan Faimun, 2017) Gempa bumi adalah suatu gerakan tiba-tiba yang terjadi dipermukaan bumi akibat adanya energi dalam bumi yang menciptakan gelombang ke segala arah.

(Wiryadi dkk, 2021) Gaya gempa berubah-ubah intensitasnya menurut waktu, pengaruhnya terhadap struktur juga dapat berubah-ubah menurut waktu. Analisis Dinamik terbagi atas analisis riwayat waktu dan Analisis Spektrum Respons. Model analisis riwayat waktu merupakan model pembebasan dengan bagian dasar model struktur bangunan digetarkan oleh beban gempa yang digunakan untuk memprediksi bagaimana struktur gedung akan merespons gempa atau getaran dinamik lainnya dalam rentang waktu tertentu, Metode ini melibatkan simulasi numerik berdasarkan data waktu sejarah getaran tanah yang sebelumnya direkam dan dianalisis.



Gambar 1. Gempa Palu, 28 September 2018

(Rahmad dkk, 2019) Model Analisis Riwayat Waktu adalah analisis dinamis yang memberikan beban dalam bentuk catatan rekaman gempa terhadap model numerik struktur. Analisis struktur dilakukan dengan integrasi numerik langkah-demi-langkah (step by step numerical integration).

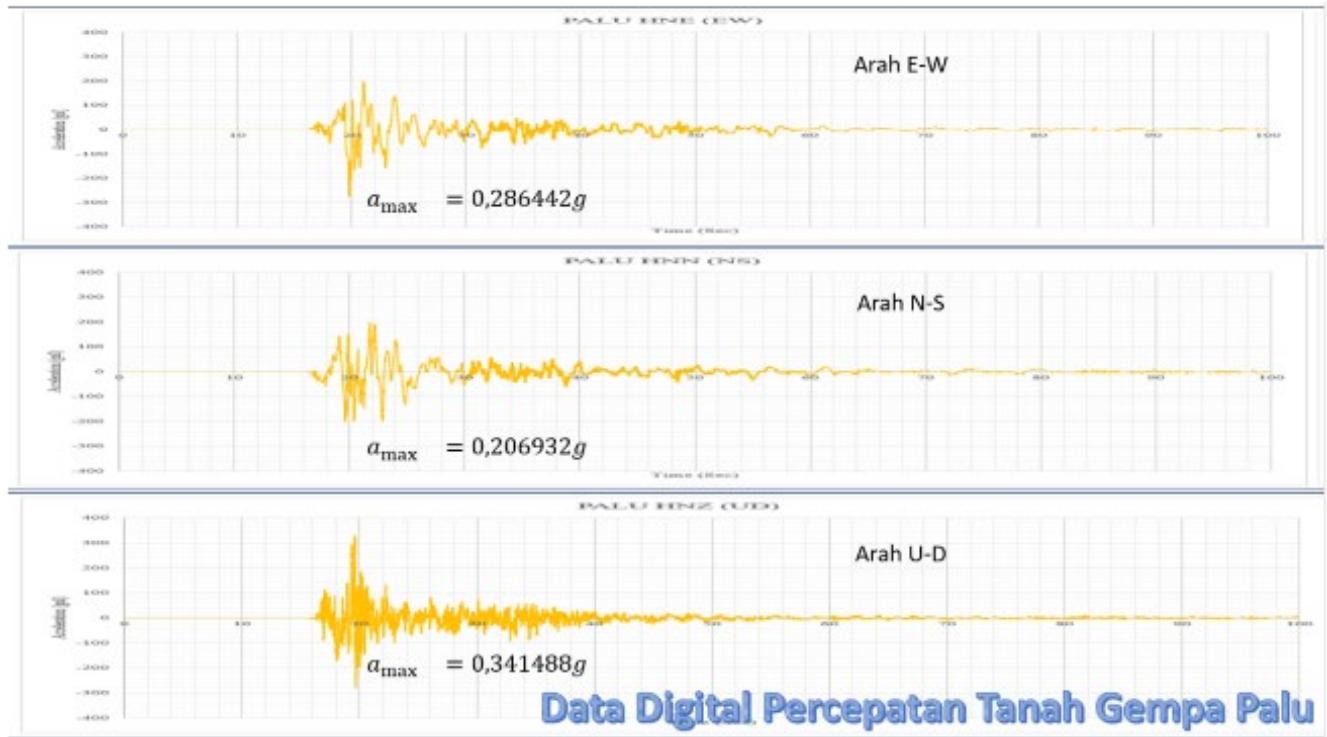
(Kristiyanto dkk, 2022) Model Analisis Spektra Respons adalah spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getaran struktur T dan respons maksimumnya pada rasio redaman, beban gempa tertentu dan grafik antara periode getar struktur (pada sumbu x) dengan respons maksimumnya (pada sumbu y) yang dapat berupa perpindahan maksimum, kecepatan maksimum ataupun percepatan maksimum massa struktur dengan sistem derajat kebebasan tunggal SDOF (*Single Degree of Freedom*).

Tujuan dari penelitian ini yaitu membangun spektrum Respons dari Gempa Riwayat Waktu Palu 2018.

Pada hari Jumat, 28 September 2018 pukul 18:02 WITA terjadi gempa yang mengguncang Palu dengan M 7,4 dan kedalaman 10 km . Pusat gempa terletak di koordinat 0,18 Lintang Selatan 119,85 Bujur Timur (lihat Gambar 1).

Gempa Palu mempunyai percepatan maksimum dalam arah Timur - Barat sebesar

281 gals ( $0,286442g$ ), Utara – Selatan 203 gals ( $0,206932g$ ) dan arah Z 335 gal ( $0,341488g$ ).



**Gambar 2.** Data Digital Percepatan Tanah Pada Saat Gempa Palu, 28 September 2018.

Menurut SNI 1726:2019 analisis riwayat waktu harus terdiri dari analisis model matematis dari struktur untuk menentukan responsnya melalui metode-metode integrasi numerik, terhadap rangkaian riwayat percepatan yang dicocokkan secara spektrum yang kompatibel dengan respons spektrum desain di tempat itu.

#### METODE PENELITIAN

Nilai-nilai spektral simpangan maksimum diperoleh pada setiap nilai periode getar struktur  $T$  kemudian diplot menjadi spektrum simpangan seperti, menunjukkan bahwa awal dari pembuatan spektrum respons dimulai dari menghitung kecepatan sudut dan periode getar  $\omega_i$  dan  $T_i$  atas informasi kelakuan  $k_i$  dan massa  $m_i$ . selanjutnya melalui integrasi numerik atas persamaan diferensial atau melalui duhamel integral riwayat, riwayat simpangan massa  $y(t)$  dapat dihitung dan nilai SD dapat dicari. Apabila dipakai prinsip pseudo spektrum maka PSV dan

PSA dapat dicari. Proses pembuatan spektrum akan diulang dengan cara yang sama dengan mengubah massa ( $m_{i+1}$ ). Dengan variasi massa maka nilai kecepatan sudut dan periode getar  $\omega_{i+1}$  dan  $T_{i+1}$  yang baru akan mempengaruhi riwayat simpangan.

Secara singkat pembuatan spektrum Respons Palu 2018 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Disiapkan rekaman gempa dalam riwayat waktu yang akan dibuat spektrum responnya.
2. Dipilih model struktur SDOF, rasio redaman dan step integrasi tertentu
3. Ditentukan periode getar struktur  $T$  sekaligus nilai percepatan sudut  $\omega$
4. Integrasi numerik untuk menentukan simpangan  $y(t)$  atas model struktur SDOF dan rasio redaman pada butir 2
5. Dengan melalui *sorting*, dicari nilai simpangan  $y(t)$  maksimum, misalnya diberikan notasi  $y_{mi}$  yaitu simpangan

maksimum pada daur I yang pada hakikatnya adalah sama dengan spektrum simpangan SD

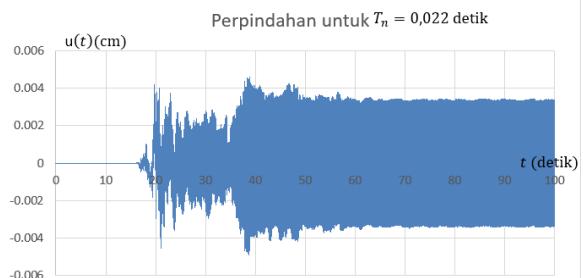
6. Dihitung pseudo spektral kecepatan dan pseudo spektral percepatan.
7. Prosedur pembuatan spektrum respons di ulangi lagi dengan memakai nilai periode getar struktur T yang baru, yaitu mulai lagi dari butir 3 di atas.
8. Setelah daur hitungan seperti di atas meliputi semua periode getar yang ditinjau maka spektrum simpangan, kecepatan dan percepatan dapat di gambar.

Metode numerik *Central Difference* menggunakan pendekatan nilai derivatif fungsi waktu atau turunan waktu perpindahan, baik untuk parameter kecepatan maupun percepatan. Dengan Langkah-langkah waktu yang konstan  $\Delta t_i = \Delta t$ , Metode *Central Difference* pada parameter kecepatan dan percepatan dalam fungsi waktu  $i$  adalah

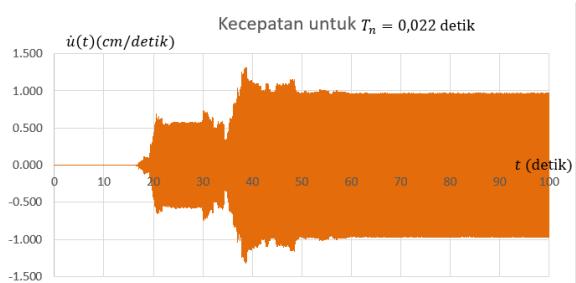
$$\dot{u}_i = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta t}$$

$$\ddot{u}_i = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{(\Delta t)^2}$$

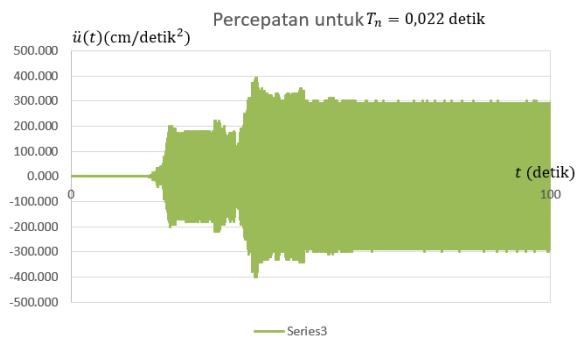
Respons SDOF terdiri dari analisa struktur dua dimensi dengan memasukkan parameter-parameter Analisa Spektrum Respons Palu 2018 dengan bantuan program, Agar mengetahui bagaimana Respons SDOF tersebut.



**Gambar 3.** Respons SDOF  
Displacement/Perpindahan  $T_n = 0,22$  detik.



**Gambar 4.** Respons SDOF Velocity/Kecepatan  $T_n = 0,22$  detik.



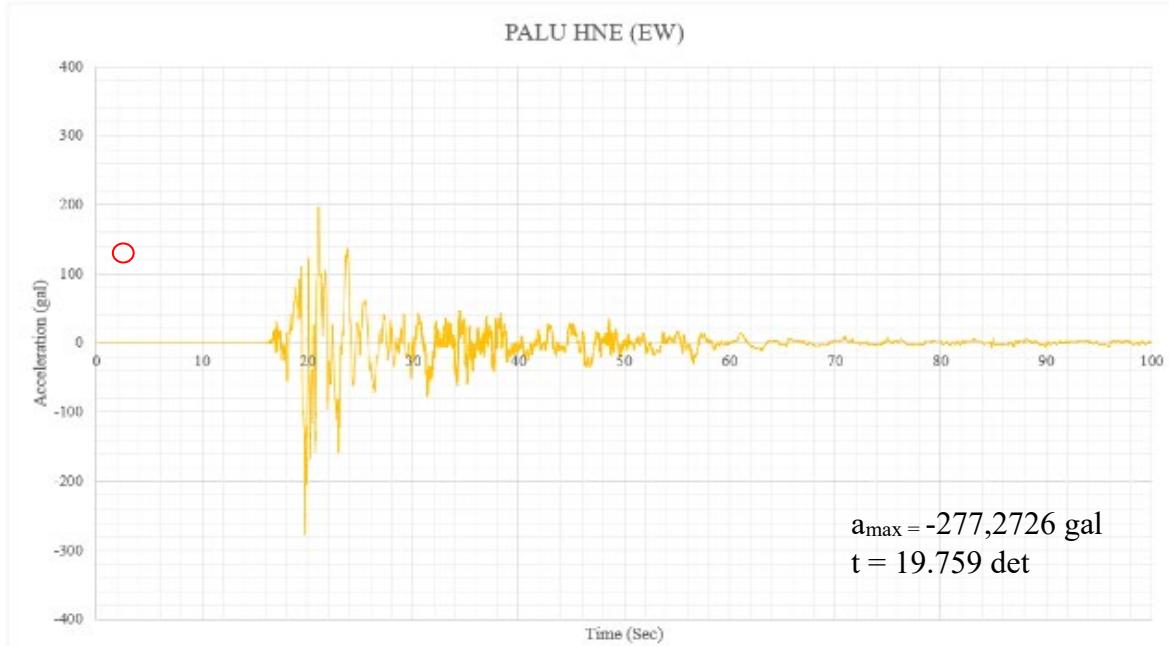
**Gambar 5.** Respons SDOF  
Acceleration/Percepatan  $T_n = 0,22$  detik.

Secara singkat dilakukan sebagai berikut :

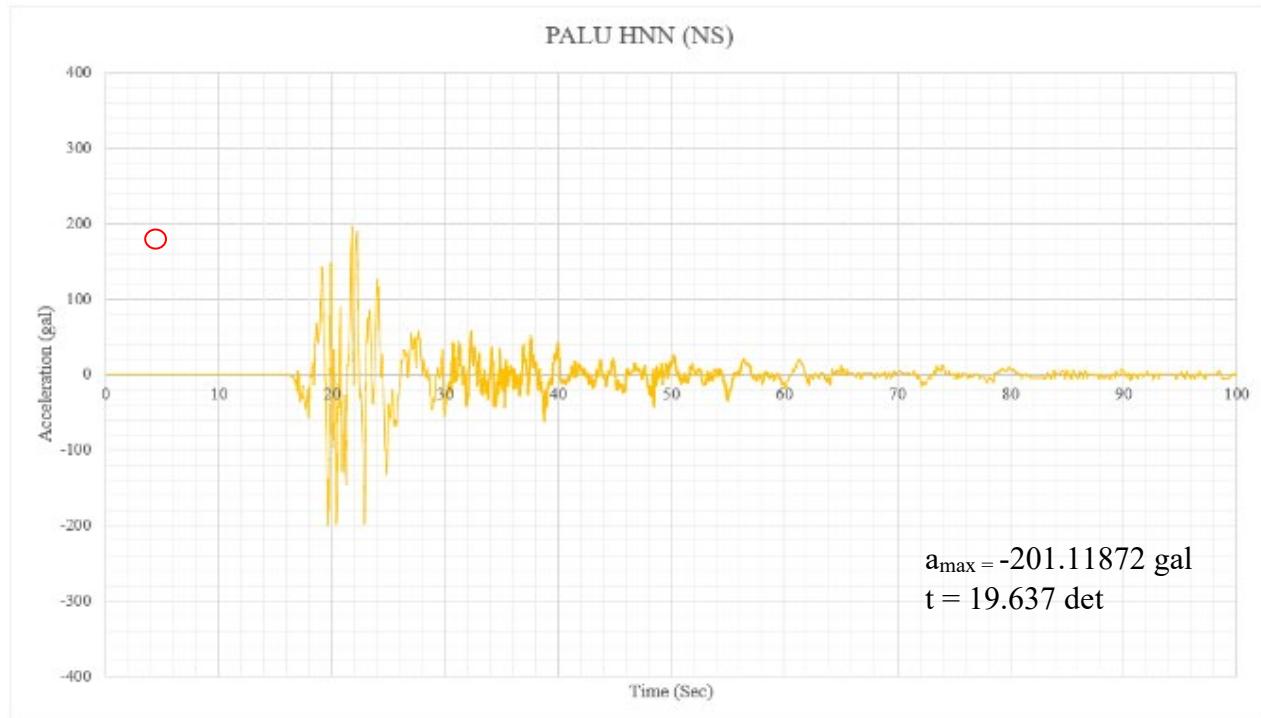
1. Membuat modeling SDOF berdasarkan data.
2. Mendefinisikan suatu penampang kolom pada menu *define* dengan memasukkan dimensi yang sama berdasarkan data.
3. Mendefinisikan pembebanan dengan menu *load patterns* dan memasukkan beban gempa riwayat waktu Palu 2018.
4. Untuk beban gempa Spektra Respons Palu 2018 dengan memilih *define time history function* dengan memasukkan rekaman percepatan gempa yang sudah dihitung.
5. Melakukan analisa dengan memilih *analyze* lalu *run now*.
6. Dari program yang sudah di *run now* akan terlihat hasil simpangan struktur.
7. Luaran data simpangan diolah dalam MS Excel untuk dianalisis metode numerik dan diambil nilai maksimumnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

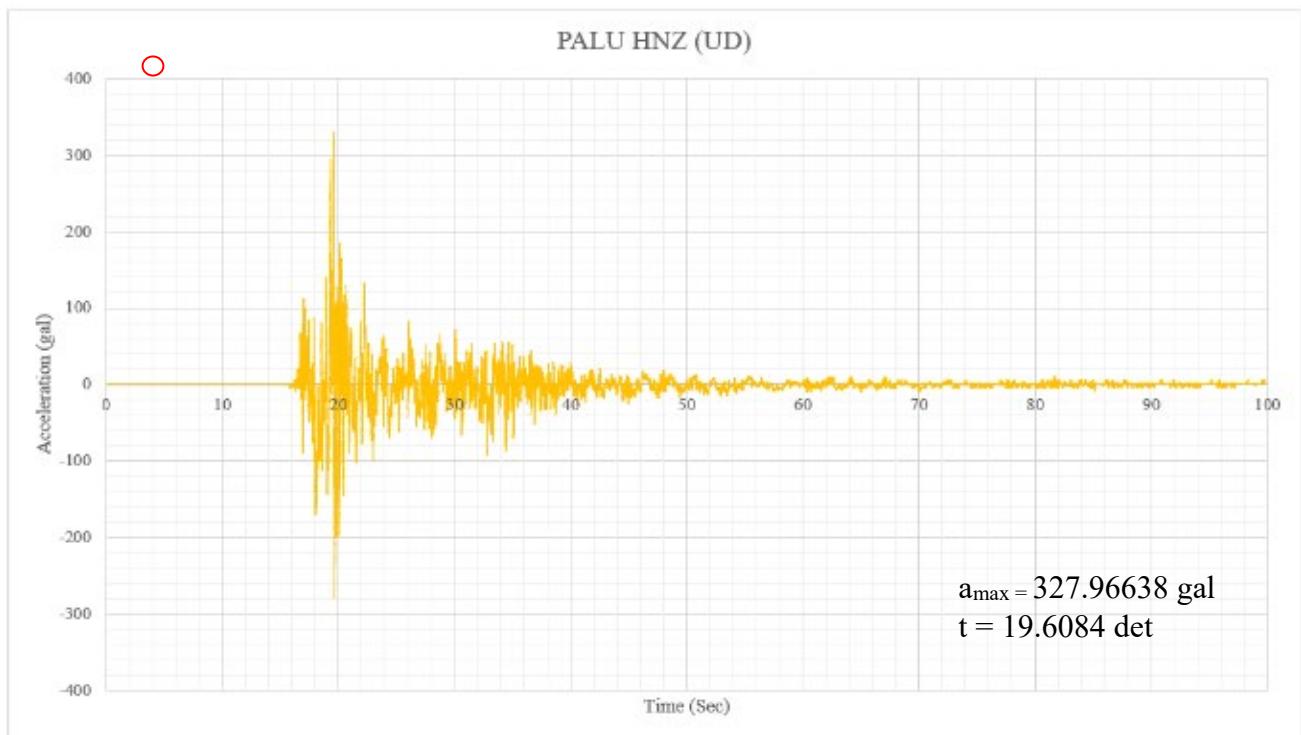
Rekaman percepatan Riwayat waktu gempa asli untuk Palu di Stasiun PCI-Palu dapat dilihat pada Gambar di bawah ini :



**Gambar 6.** Rekaman Asli Akselerograf Gempa Palu Komponen HNE, 28 September 2018, Stasiun PCI-Palu



**Gambar 7.** Rekaman Asli Akselerograf Gempa Palu Komponen HNN, 28 September 2018, Stasiun PCI-Palu



**Gambar 8.** Rekaman Asli Akselerograf Gempa Palu Komponen HNZ, 28 September 2018, Stasiun PCI-Palu

Untuk cara perhitungan pengembangan spektrum respons berdasarkan metode numerik dan digabungkan dengan data dari bantuan program. Data yang digunakan untuk perhitungan adalah sebagai berikut :

Data Struktur SDOF :  
 Ukuran Kolom : 0.25 m x 0.25 m

Tinggi Struktur : 3 m

Mutu Beton : K-300;  $F_c'$  24.9 MPa (N/mm<sup>2</sup>)

Data Beban : Digunakan rekaman gempa Palu 2018 untuk komponen HNE, HNN dan HNZ (Dengan massa bervariasi hingga 100x percobaan).

Massa Kolom : Dianggap Nol.

Berat Kolom : Dianggap Nol.

Massa : 10, 11.20, 12.54, .....  
 $745734.54 \text{ N det}^2/\text{m}$ .

Perhitungan :

- Modulus Elastisitas Beton, E

$$E_{F_c'} = 4700 \cdot \sqrt{F_c'} = 4700 \cdot \sqrt{24.9}$$

$$= 23452.953 \frac{N}{mm^2}$$

$$\approx 23452952905.76 N/m^2$$

## 2. Inersia Penampang, I

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} 0.25 0.25^3 = 0.000326 m^4$$

## 3. Kekakuan Struktur, K

$$K = \frac{3EI}{L^3} = 3, \frac{23452952905.76, 0.000326}{3^3}$$

$$= 842269.42 N/m$$

## 4. Perhitungan untuk tiap-tiap massa

Massa : 10, 11.20, 12.54, ..... 745734.54  
 $N \text{ det}^2/\text{m}$ .

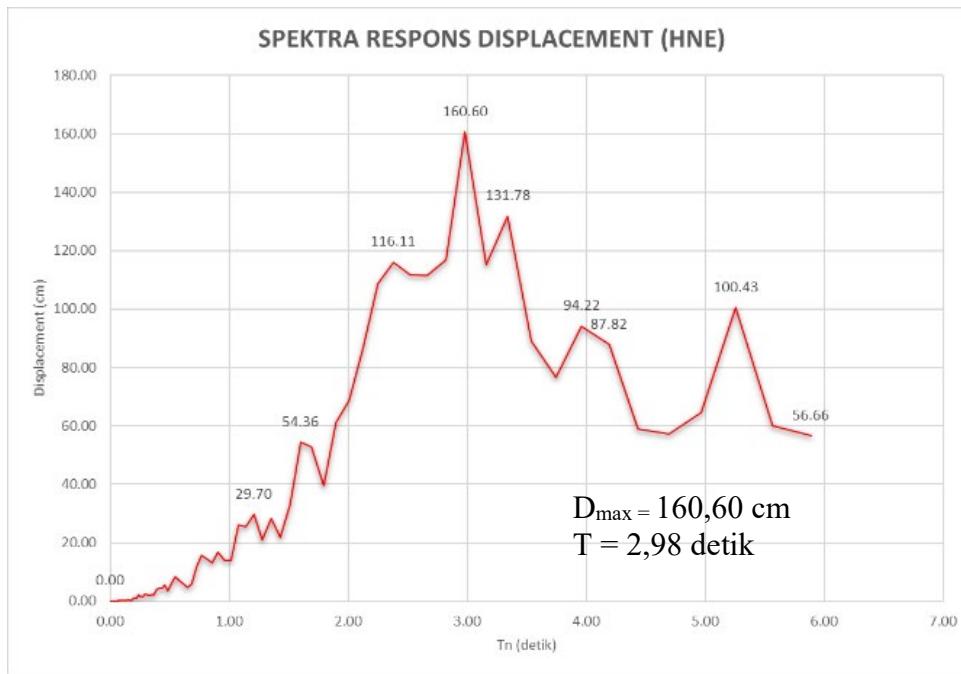
$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m_{n+i}}} = \sqrt{\frac{842269.42}{10}}$$

$$= 291.25 \text{ Rad/det}$$

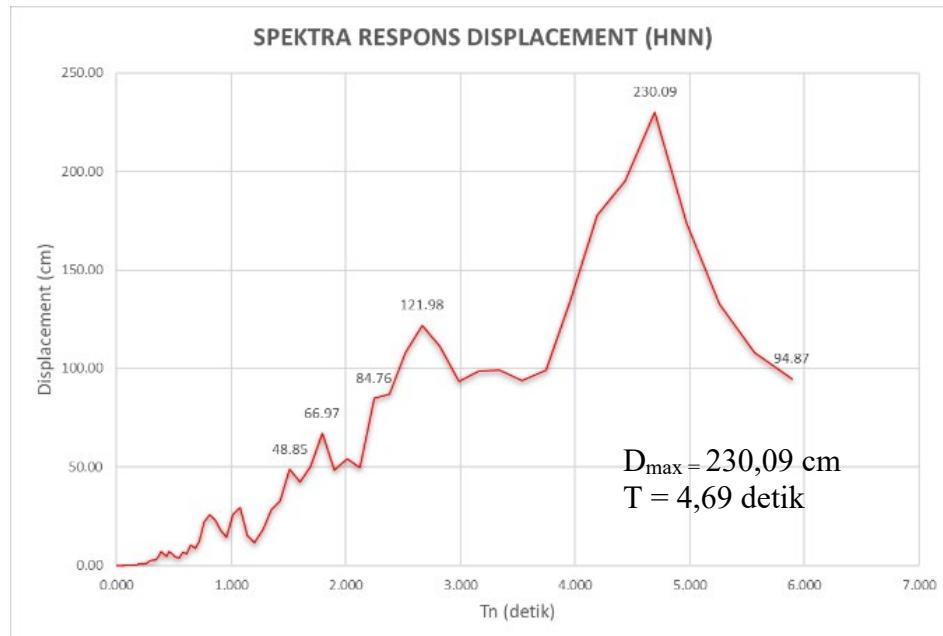
$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_n} = \frac{2,31415927}{291.25} = 0.022 \text{ det}$$

Perhitungan pada Langkah 4 diulang seterusnya  $m_{n+1}$  hingga 100 kali ditabelkan dan dibantuan dengan program *Ms Excel* untuk

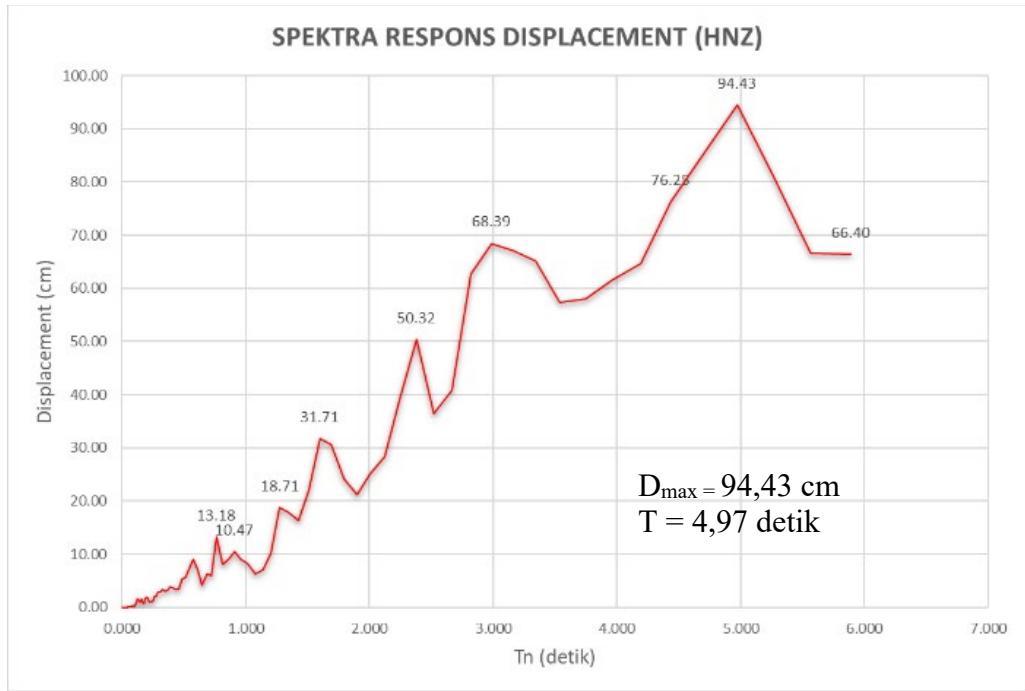
membuat grafik Respons spektrum. Berikut Grafik spektrum respons yang didapatkan dari hasil hitungan untuk komponen HNE, HNN dan HNZ :



**Gambar 9.** Spektra Respons Displacement Komponen HNE



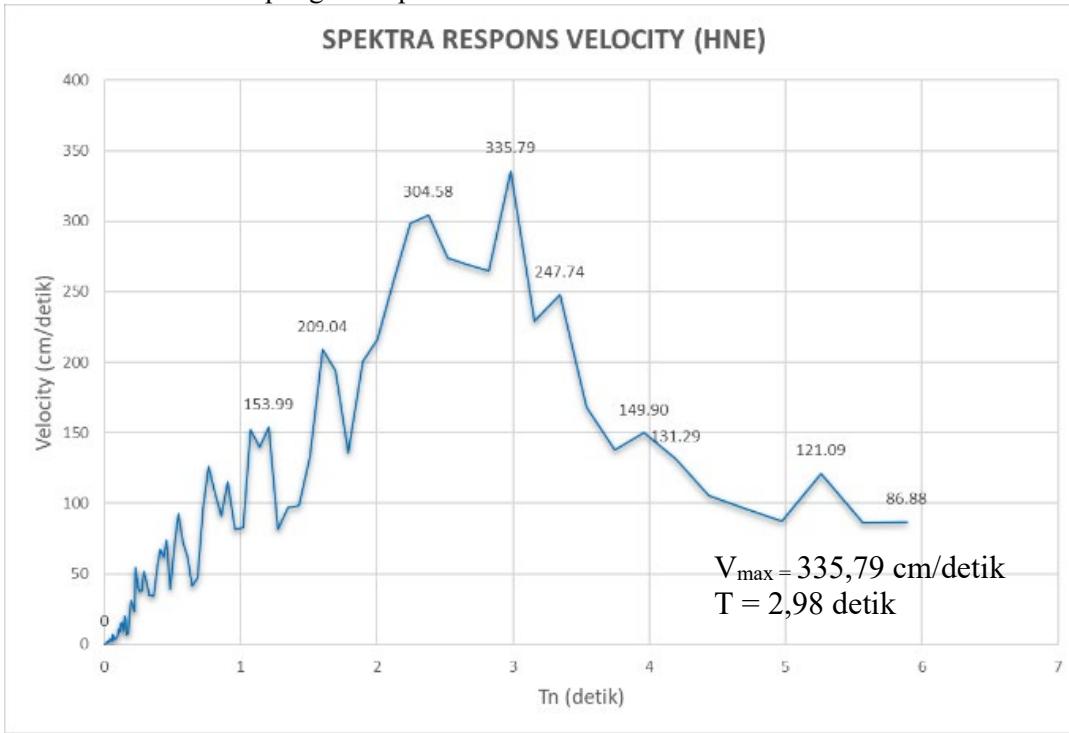
**Gambar 10.** Spektra Respons Displacement Komponen HNN



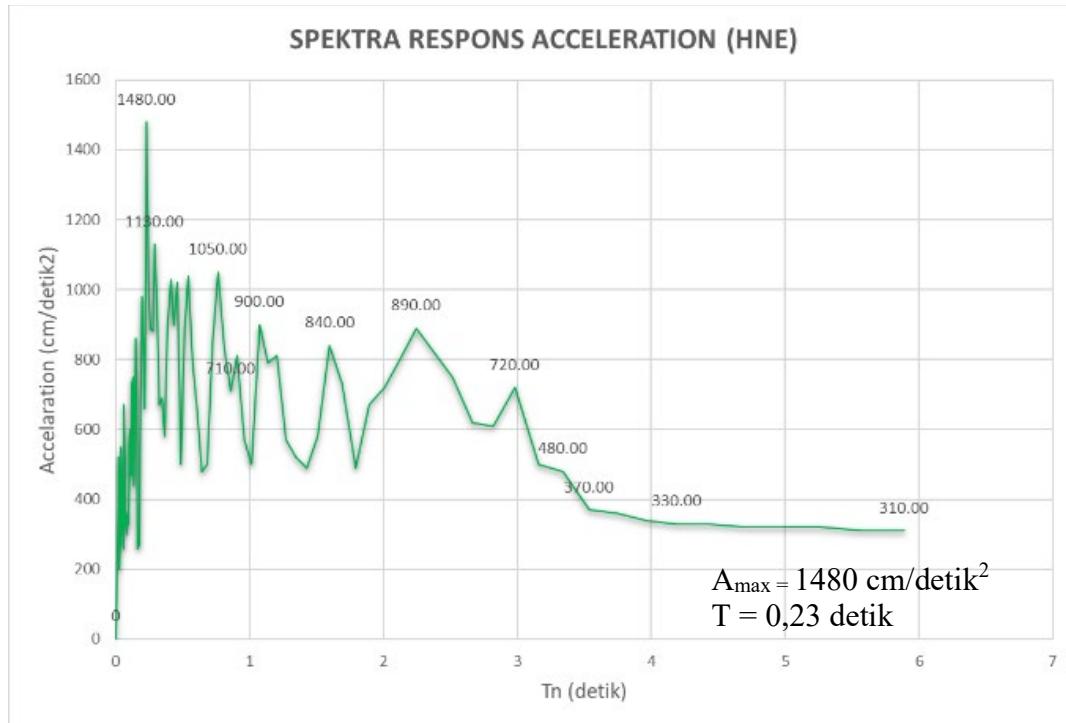
**Gambar 11.** Spektra Respons Displacement Komponen HNZ

Selanjutnya dari nilai displacement berdasarkan variasi  $m_{n+i}$  dengan menggunakan metode numerik *Central Difference*, dari hasil perhitungan analisa metode numerik tersebut dicari nilai maksimum. Di dapat grafik spektrum

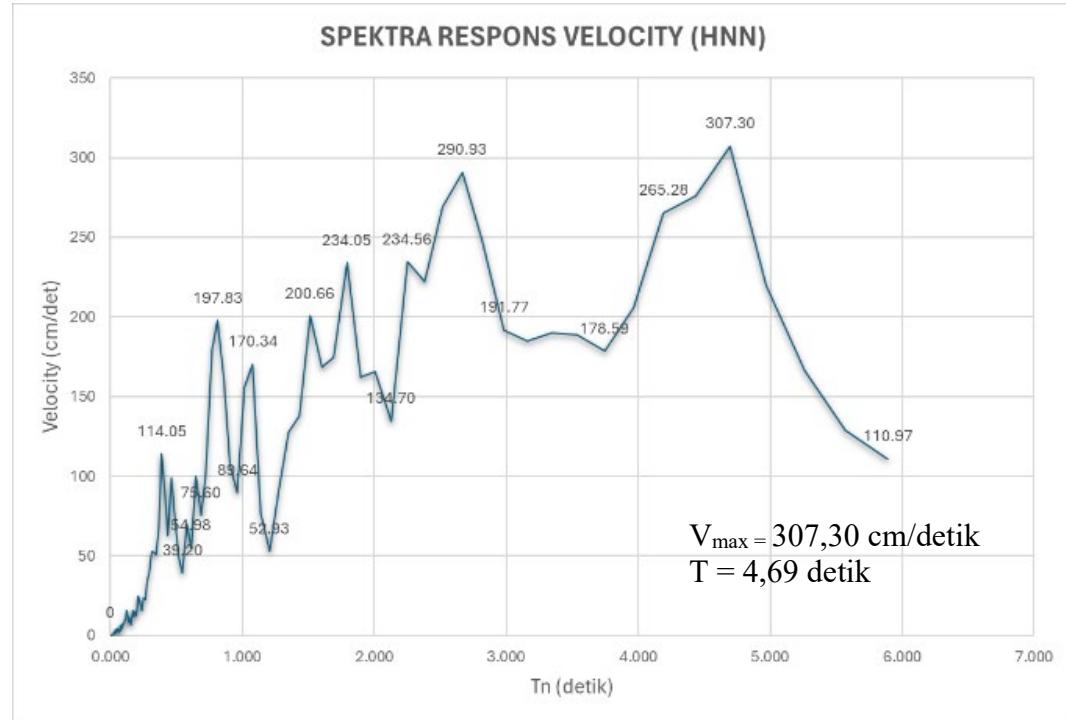
respons dari hubungan periode getar T dengan Kecepatan (Velocity) dan Percepatan (Acceleration) :



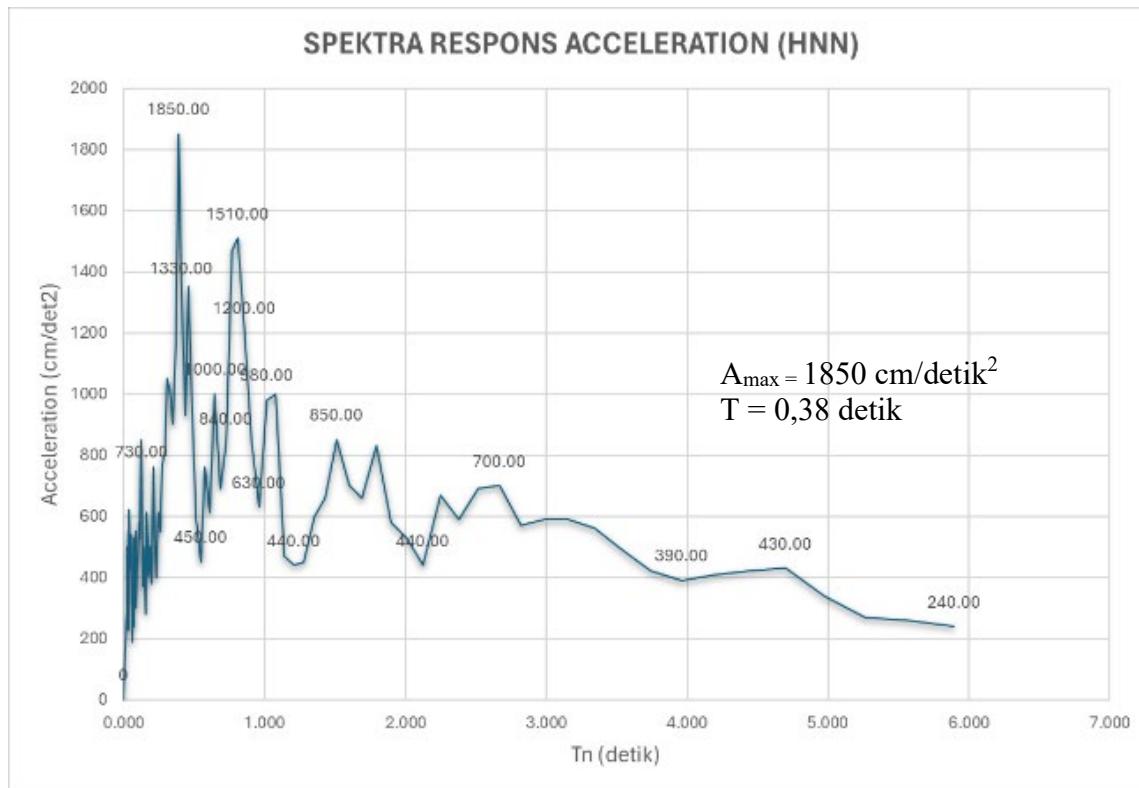
**Gambar 12.** Spektra Respons Velocity Komponen HNE



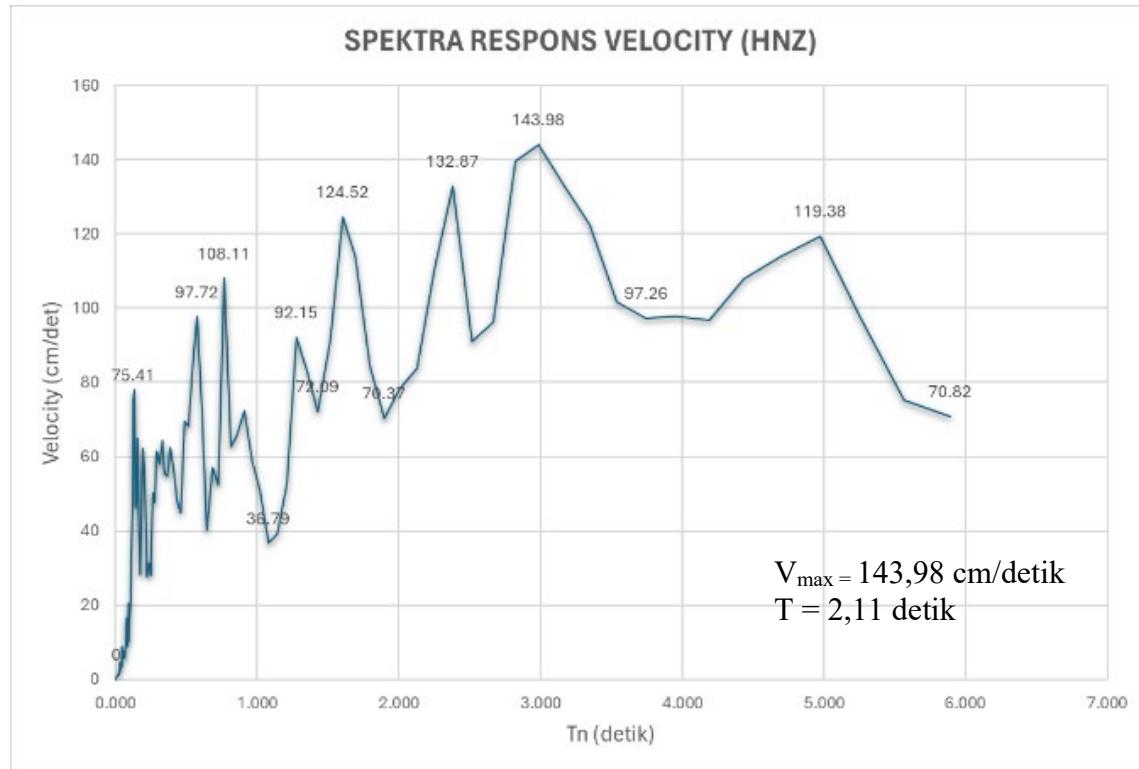
**Gambar 13.** Spektrum Respons Acceleration Komponen HNE



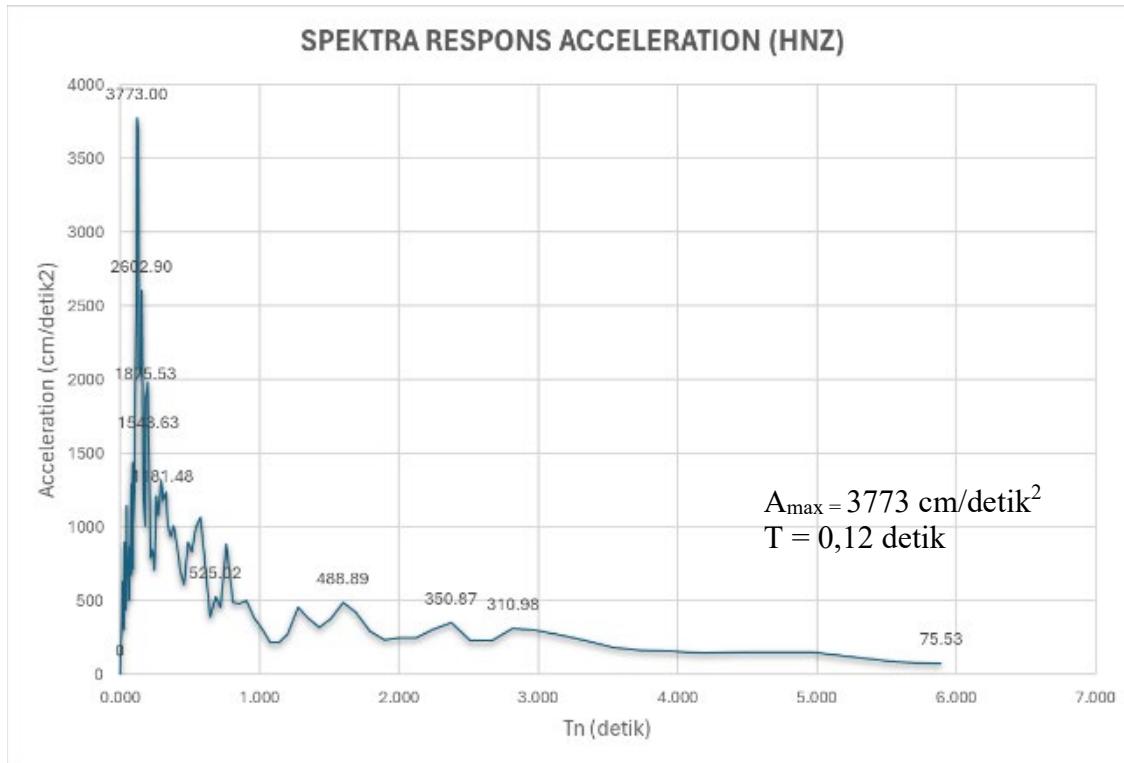
**Gambar 14.** spektrum Respons Velocity Komponen HNN



**Gambar 15.** Spektrum Respons Acceleration Komponen HNN



**Gambar 16.** Spektrum Respons Velocity Komponen HNZ



**Gambar 17.** spektrum Respons Acceleration Komponen HNZ

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka pada pengembangan spektrum respons dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan pengembangan spektrum respon terhadap *displacement* dari komponen HNE didapat maksimum sebesar 160,60 cm pada periode T 2,98 detik, komponen HNN didapat maksimum sebesar 230,09 cm pada periode T 4,69 detik dan komponen HNZ didapat maksimum sebesar 94,43 cm pada periode T 4,97 detik.
2. Berdasarkan pengembangan spektrum respons terhadap *velocity* dari komponen HNE didapat maksimum sebesar 335,79 cm/detik pada periode T 2,98 detik, komponen HNN didapat maksimum sebesar 307,30 cm/detik pada periode T 4,69 detik dan komponen HNZ didapat maksimum sebesar 143,98 cm/detik pada periode T 2,11 detik.
3. Berdasarkan pengembangan spektrum respons terhadap *acceleration* dari

komponen HNE didapat maksimum sebesar 1480 cm/detik<sup>2</sup> pada periode T 0,23 detik, komponen HNN didapat maksimum sebesar 1850 cm/detik<sup>2</sup> pada periode T 0,38 detik dan komponen HNZ didapat maksimum sebesar 3773 cm/detik<sup>2</sup> pada periode T 0,12 detik.

## Daftar Pustaka

Andriani, M.D.P., Mulyani, R., 2019, ‘Analisis Respon Dinamik Struktur Terhadap Karakteristik Gempa Yang Berbeda Dengan Metode Riwayat Waktu (Time History)’, Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan.;1–2.

Applied Technology Council., 1996, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings".

Bayyinah, D.A.L.N., Faimun, F, 2017, ‘Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan Time History untuk Desain Gedung, Jurnal Teknik ITS, ;6(1):33–38.

Geotechnical Engineering Research Group

- Bandung Institute of Technology, In: The 2018 Palu Earthquake, Indonesia: Andhika Sahadewa.
- Haider, S.M.B., Nizamani, Z., Yip, C.C., Wong, J.Y., 2021, 'Nonlinear Dynamic Analysis Of Two Storey RC Building Model. Jurnal Teknologi', ;83(4):51–62. (Tidak ada dalam artikel)
- Kristiyanto, M., Pramono, S., Pariatmono, 2022, 'Pengembangan Spektra Respons Elastis Gempa Mamuju Sebagai Rekomendasi Spektra Respon Untuk Bangunan Gedung Indonesia', Jurnal Ilmiah Indonesia, ;(7):2548-1398.
- Li, J., Li, F., Cai, Z., 2021, Seismic Analysis Of Multi-Story Frame Office Building Based on SAP2000', IOP Conf.Series: Earth and Environment Science, ;768(1):20–28. (Tidak ada dalam artikel)
- Purnomo, E., Purwanto, E., Supriyadi, A., 2014, 'Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel di Semarang)', Matriks Teknik Sipil, ;2(4):569–576. (Tidak ada dalam artikel)
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi - Badan Geologi  
<https://vsi.esdm.go.id/index.php/gempabumi-a-tsunami/kejadian-gempabumi-a-tsunami/3399-kajian-kejadian-gempabumi-majene-januari-2021-pusat-vulkanologi-dan-mitigasi-bencana-geologi> [Accessed 18th November 2022]. (Tidak ada dalam artikel)
- Rahmad, A., Saidi, T., Muttaqin, H., 2019, 'Analisis Kegagalan Struktur Gedung Serbaguna Bagian Depan Kabupaten Pidie Jaya Menggunakan Analisis Time History', Journal of The Civil Engineering Student, ;3(1):36–42.
- Standar Nasional Indonesia 1726:2019, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung".
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional, In: Kajian Gempa Palu Provinsi Sulawesi Tengah
- 28 September 2018 (M7.4), Indonesia : Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE., Ph.D & Dr. Nuraini Rahma Hanifa.p.1-300. (Tidak ada dalam artikel)
- Pariatmono, 2021, Kajian Kegempaan PLTU Mamuju. Indonesia, p.1-19. (Tidak ada dalam artikel)
- Zhou, C.X., Zheng, S.P., Ye, Y.Q., Wang, H., Fu, P., 2019, 'Analysis of Seismic Wave Selection in Time History Analysis', IOP Conf, Series: Earth and Environment Science, ;242(6):1-4. (Tidak ada dalam artikel)