

# RESPON STRUKTUR MULTI DOF TERHADAP BEBAN HARMONIK PERIODIK

Sartika Dewi Usman<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo  
email: sartikadewi@ung.ac.id

**ABSTRAK** : Getaran sering dirasakan oleh manusia pada kehidupan sehari-hari. Suatu benda akan bergetar apabila terdapat sumber energy yang diteruskan sampai ke benda yang bersangkutan, misalnya mesin generator yang terletak diatas permukaan tanah dapat menyebabkan getaran , sehingga struktur bangunan yang terletak diatasnya ikut bergetar. Getaran-getaran tersebut merupakan beban dinamik yang mempunyai karakter dan akibat yang berbeda terhadap suatu struktur. Studi yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan struktur portal tiga lantai, yang dibebani oleh getaran mesin dengan frekuensi 1500 rpm dan berat 1060 Kg, serta beban gempa *El Centro*. Perhitungan normal modes menggunakan metode polinomial, dan respon struktur menggunakan metode numeric central difference. Berdasarkan perhitungan, setiap posisi mesin akan memberikan respon simpangan yang paling besar dan terjadi hampir pada detik yang sama. Secara keseluruhan dapat disimpulkan dari ketiga posisi mesin, mesin yang berada pada tingkat ke 3 memberikan respon yang paling besar, diikuti oleh tingkat pertama dan yang memberikan respon yang paling kecil adalah posisi mesin yang berada pada tingkat ke 2.

**Kata Kunci** : Getaran; Mesin; Respon Bangunan.

## 1. PENDAHULUAN

Getaran sering dirasakan oleh manusia pada kehidupan sehari-hari. Getaran yang dimaksud adalah getaran suatu benda yang dapat dirasakan oleh manusia. Suatu benda akan bergetar apabila terdapat sumber energy yang diteruskan sampai ke benda yang bersangkutan. Beberapa sumber getaran disebabkan oleh kereta api, bus dan aktivitas konstruksi seperti pemancangan tiang dan pengoperasian alat berat.

Kendaraan yang melaju di jalan raya maupun kereta api yang melaju diatas rel dapat menyebabkan tanah menjadi bergetar dan hal ini dapat dirasakan oleh orang-orang yang berada di dekatnya. Sumber energy pada contoh ini adalah getaran mobil atau getaran lokomotif akibat kerja mesin-mesinnya. Getaran akibat kerja mesin selanjutnya diteruskan kedalam tanah melalui roda-roda kendaraan. Generator yang terletak di atas permukaan tanah juga dapat menyebabkan getaran.

Getaran akibat kerja mesin generator selanjutnya diteruskan oleh media tanah dan seterusnya energy getarannya diteruskan sampai pada objek tertentu, Akibatnya struktur/bangunan yang terletak di atasnya akan ikut bergetar. Kerusakan struktur akan terjadi apabila getaran tanah yang terjadi cukup besar, berulang-ulang dan terjadi dalam waktu yang relatif lama. Ini di karenakan struktur tanah merupakan factor utama penurunan nilai frekuensi alami struktur tersebut (Chik, dkk., 2015; Cyril, dkk., 2017; Pachla, dkk., 2019)

Getaran-getaran tersebut merupakan beban dinamik yang mempunyai karakter dan akibat berbeda terhadap suatu struktur. Balok plat dan lantai merupakan elemen struktur yang penting yang menerima beban dinamik selama masa pelayanannya (Bello, dkk., 2017). Getaran mesin juga bisa menghasilkan beban dinamik yang efeknya tidak dapat diabaikan begitu saja.

Hal-hal yang perlu diketahui dari beban dinamik tersebut adalah jenis/macam sumber dan

karakteristik beban (media perantara getaran, sifat dan ukuran getaran) dan akibat beban dinamik terhadap struktur. Analisis struktur secara dinamik akan membahas efek kuantitatif beban-beban tersebut terhadap struktur bangunan. Masing-masing beban dinamik tersebut akan mempunyai karakter dan akibat yang berbeda terhadap struktur. Menurut Widodo (2001), karakter utama beban dinamik salah satunya adalah beban akibat getaran mesin.

Ada beberapa keadaan yang memungkinkan putaran/getaran suatu mesin adalah harmonik periodic. Untuk bangunan-bangunan industry dimungkinkan adanya mesin yang bekerja pada struktur bangunan. Mesin pengasah tegel teraso yang bekerja pada bangunan bertingkat juga dapat dikategorikan sebagai beban dinamik akibat putaran suatu mesin. Bentuk-bentuk lainnya, misalnya adanya mesin diesel/generator yang berada diatas lantai tingkat atau diatas permukaan tanah. Getaran yang ditimbulkan oleh kerja mesin merupakan beban dinamik terhadap bangunan atau tanah dasar. Tanah yang bergetar akibat kerja mesin selanjutnya akan diteruskan sampai pada objek lain yang berada didekatnya, misalnya struktur bangunan (Gao, dkk., 2020)

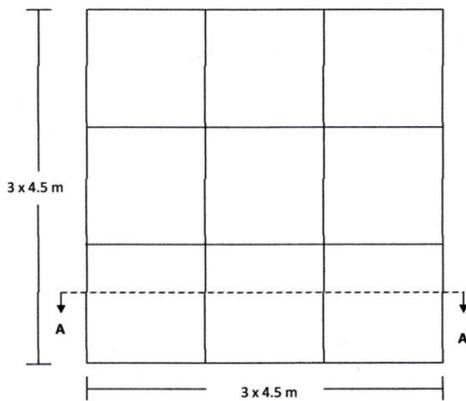
Mesin yang sedang bekerja umumnya berputar menurut kecepatan putaran tertentu. Kecepatan putaran umumnya dinyatakan dalam revolusi/rotasi per menit atau disingkat rpm. Putaran itu dapat ditransfer menjadi rotasi perdetik yang kemudian setara dengan natural frequency  $f$  dalam cps (*cycle per second*) . periode getaran mesin  $T$  adalah berbalikan dengan natural frequency  $f$  (Shrestha, 2018). Selanjutnya angular frequency atau putaran sudut mesin dapat dihitung. Pengaruh rotasi mesin terhadap struktur umumnya dinyatakan dalam fungsi harmonic periodic karena rotasi mesin dianggap tetap /teratur (*steady state*). Widodo (2001), mengatakan walaupun putaran mesin tidaklah bersifat harmonic periodic secara sempurna namun anggapan seperti itu dapat dipakai. Fungsi sinus umumnya dipakai sehingga beban akibat putarn mesin bersifat sinusoidal seperti pada gambar dibawah ini .

Pengaruh getaran mesin terhadap struktur bangunan umumnya dinyatakan dalam beban dinamik  $P(t) = P_o \sin \Omega t$ . Media perantara getaran mesin sampai ke struktur akan bergantung pada jenis struktur dan dimana mesin ditempatkan. Apabila sebuah mesin ditempatkan pada tingkat suatu bangunan maka  $P_o$  adalah amplitude beban akibat putaran mesin dengan frekuensi tertentu. Sedangkan  $\Omega$  adalah frekuensi sudut putaran mesin. Dengan demikian intensitas beban horizontal yang bekerja pada pusat massa struktur bangunan akan bergantung pada kedua besaran tersebut diatas. Lantai bangunan memiliki sejumlah mode getaran, yang masing-masing memiliki frekuensi natural (SteelConstruction.info, 2016) Dalam beberapa keadaan, getaran akibat kerja suatu mesin dapat merusak struktur dengan jenis rusak-leleh (*fatigue*). Pola kerusakan struktur jenis ini akan berbeda dengan kerusakan struktur akibat beban angin ataupun akibat gempa bumi. Perbedaan antara analisis dinamik dan static berdasarkan apakah respon yang terjadi memiliki akselerasi yang cukup dibanding dengan frekuensi alami struktur (Bello, dkk., 2017)

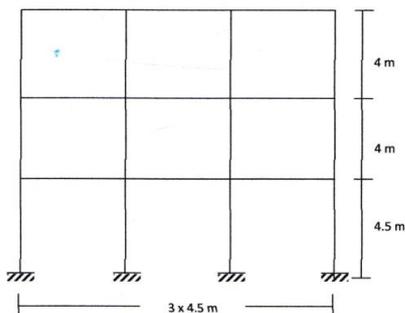
**2. METODE PENELITIAN**

Pada pemodelan dinamika struktur, sebuah bangunan gedung jumlah derajat kebebasannya sama dengan jumlah lantai bangunan tersebut. Maka semakin banyak jumlah lantainya semakin banyak pula derajat kebebasannya (Nasution, dkk., 216).

Studi yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan struktur portal tiga lantai seperti pada Gambar 1 denah struktur portal dan Gambar 2..



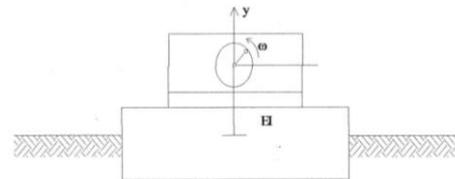
Gambar 1. Denah Struktur Portal



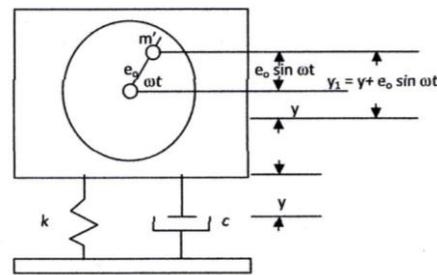
Gambar 2. Portal

Mutu bahan yang digunakan adalah mutu beton 30 MPa, mutu baja 240 MPa,  $E = 2,0 \times 10^5$  MPa.

Ukuran Plat atap 10 cm, plat lantai 12 cm, balok 30/40, kolom luar 30/50, kolom dalam 30/60. Beban yang digunakan yaitu, beban mati 2400 Kg/m<sup>3</sup>, beban hidup atau 100 kg/m<sup>2</sup>, dan beban hidup lantai 240 kg/m<sup>2</sup>. Mesin generator (Generator Model YMK 30) yang digunakan mempunyai berat 1060 Kg, kerja mesin 1500 rpm, ketidakseimbangan rotornya 40 kg, jari-jari  $e_o$  10 cm. Getaran mesin dianggap sebagai beban horizontal. Analisis struktur memperhitungkan beban gempa, dengan menggunakan gempa El Centro. Model struktur dianggap tidak mempunyai redaman.



Gambar 3. Diagram Sistem Mesin dan Pondasi



Gambar 4. Model Harmonis Tereadam

Menurut Wiliam Thomson (1986) sesuai Gambar 3 dan 4,  $m$  adalah massa total dan  $m'$  massa yang berotasi tidak seimbang. Bila  $y$  adalah perpindahan vertical dari massa yang tidak berotasi ( $m - m'$ ) dari posisi keseimbangan, maka perpindahan  $y_1$  dari massa  $m'$  adalah :

$$y_1 = y + e_o \sin \Omega t \dots \dots \dots (\text{pers. 1})$$

Persamaan gerak didapatkan dari penjumlahan gaya-gaya sepanjang arah vertical dari diagram free body. Gaya-gaya inersia dari massa yang tidak berotasi dan massa tak seimbang juga terlihat dengan jelas. Penjumlahan ini menjadi :

$$(m - m')\ddot{y} + m'\ddot{y}_1 + c\dot{y} + ky = 0. (\text{pers. 2})$$

Substitusi  $y_1$  dari persamaan 1, menghasilkan,

$$(m - m')\ddot{y} + m'(\ddot{y} - e_o \Omega^2 \sin \Omega t) + c\dot{y} + ky = 0$$

.....(pers. 3)

Kemudian disederhanakan menjadi

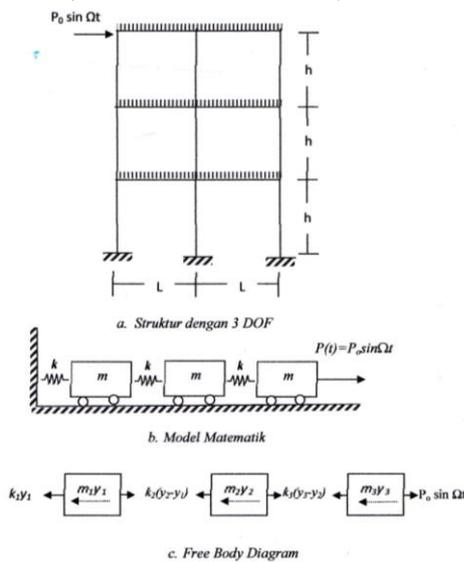
$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = m'e_o \Omega^2 \sin \Omega t \dots (\text{pers. 4})$$

Persamaan ini sama dengan bentuk persamaan gerak osilator teredam yang dipengaruhi secara harmonis oleh gaya yang beramplitudo.

$$P_o = m'e_o \Omega^2 \dots \dots \dots (\text{pers. 5})$$

Bila pengaruh gaya luar bersifat harmonis (fungsi sinus atau cosines), analisisnya menjadi sangat sederhana dan respon akan didapat tanpa menggunakan analisa pola. Tinjauan bangunan penahan geser berlantai tiga, dipengaruhi sebuah gaya harmonis tunggal  $P = P_o \sin \Omega t$  yang bekerja pada bidang lantai ke tiga seperti pada gambar 5 (Mario Paz, 1984),

Simulasi analisis numeric gedung bertingkat ini untuk mengidentifikasi perpindahan, akselerasi, dan bentuk mode tiga derajat kebebasan (DOF) selama getaran. Model yang dirancang merupakan representasi fisik dari struktur bangunan yang sebenarnya. Factor yang sangat mempengaruhi adalah massa bangunan dan kekakuan struktur yang akan digunakan. (Vikneshvaran dkk, 2017)



Gambar 5. Struktur dengan Pembebanan Harmonis

Berdasarkan pada keseimbangan dinamik pada free body diagram gambar 5, maka diperoleh,

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) &= P_o \sin \Omega t \\ m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 + k_3 (y_3 - y_2) &= 0 \dots\dots (\text{pers. 6}) \end{aligned}$$

Persamaan diatas dapat ditulis menjadi,

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 &= P_o \sin \Omega t \\ m_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3) y_2 - k_3 y_3 &= 0 \\ m_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 &= 0 \dots\dots\dots (\text{pers. 7}) \end{aligned}$$

Untuk respon keadaan tetap (steady state) dicari solusi dengan bentuk,

$$\begin{aligned} y_1 &= Y_1 \sin \Omega t \\ y_2 &= Y_2 \sin \Omega t \dots\dots\dots (\text{pers. 8}) \\ y_3 &= Y_3 \sin \Omega t \end{aligned}$$

Kemudian substitusikan persamaan 8 ke persamaan 7, dan hilangkan factor  $\sin \Omega t$  yang sama maka didapat,

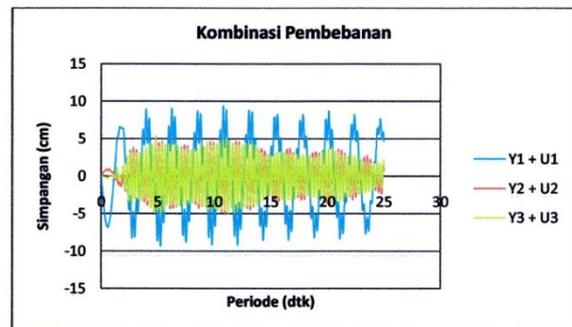
$$\begin{aligned} (k_1 + k_2 - m_1 \Omega^2) Y_1 - k_2 Y_2 &= P_o \\ -k_2 Y_1 + (k_2 + k_3 - m_2 \Omega^2) Y_2 - k_3 Y_3 &= 0. \\ -k_3 Y_2 + (k_3 - m_3 \Omega^2) Y_3 &= 0 \dots\dots\dots (\text{pers. 6}) \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai-nilai ordinat didalam normal modes terdapat beberapa metode yaitu metode Polinomial, metode Stodola, metode Holzer, metode Transformasi Jacobi dan metode Shifted Iteration. Dalam penelitian ini kami menggunakan metode Polinomial, dimana untuk mencari/menghitung eigenvalues (nilai-nilai frekuensi sudut) tidak lagi dipakai cara determinan. Cara yang dipakai adalah dengan mentransfer persamaan simultan eigenproblem menjadi suatu persamaan polinomial pangkat banyak. Akar-akar persamaan polinomial tersebut yang akan dicari seterusnya akan menghasilkan nilai-nilai eigenvector.

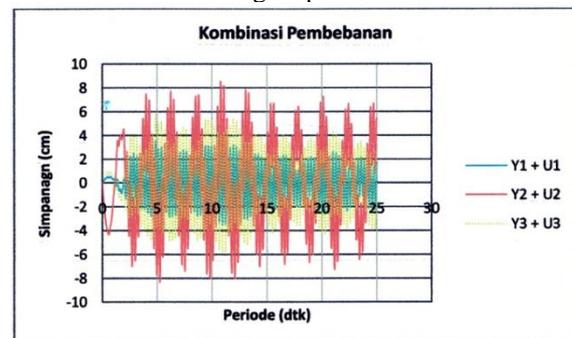
Untuk menyelesaikan problem dinamik kami menggunakan metode Central Difference. Metode ini berdasarkan pada pendekatan nilai derivative atas fungsi waktu, baik untuk parameter kecepatan maupun percepatan, dimana kedua parameter ini dinyatakan dalam fungsi simpangan. Respons struktur dianalisis dengan menggunakan Microsoft Excel.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

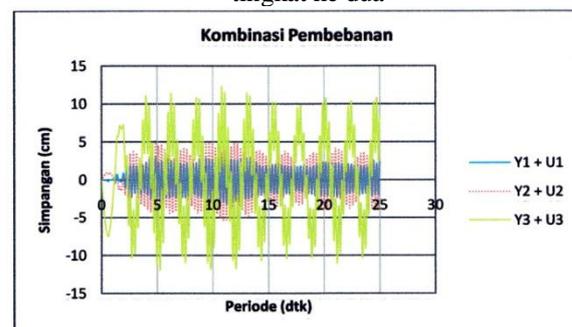
Hasil respon struktur dapat dilihat pada Gambar 6, 7 dan 8 dibawah ini.



Gambar 6. Respon struktur akibat getaran mesin pada tingkat pertama

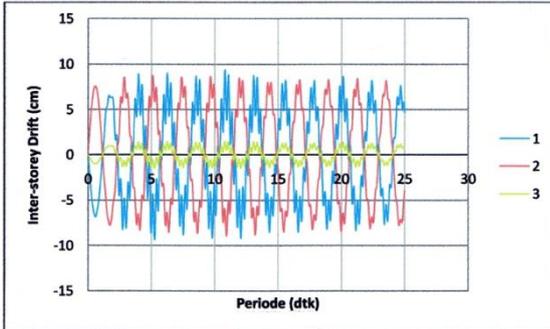


Gambar 7. Respon struktur akibat getaran mesin pada tingkat ke dua

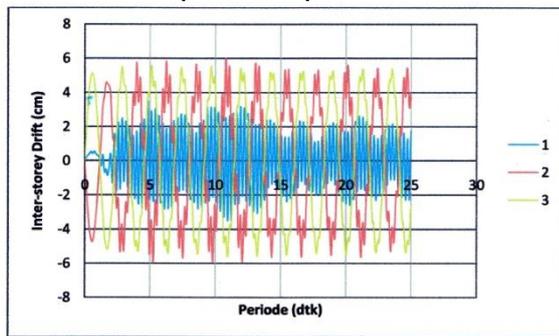


Gambar 8. Respon struktur akibat getaran mesin pada tingkat ke tiga

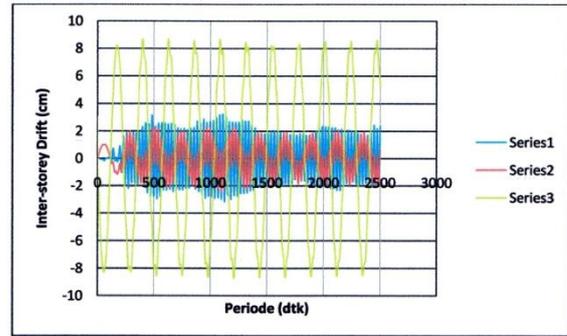
Setelah simpangan horizontal tiap tingkat didapat, maka simpang antara tingkat atau *inter-storey drift* dapat dihitung. Nilai *inter-storey drift* dari masing-masing posisi mesin dapat dilihat pada gambar 9,10 dan 11 dibawah ini.



Gambar 9. Nilai *inter-storey drift* ketika mesin berada pada lantai pertama



Gambar 10. Nilai *inter-storey drift* ketika mesin berada pada lantai kedua



Gambar 11. Nilai *inter-storey drift* ketika mesin berada pada lantai ketiga

Dari hasil perhitungan respon struktur akibat getaran mesin ketika mesin berada pada lantai pertama, kedua dan ketiga seperti pada Gambar 6, 7 dan 8, maka dapat dilihat perbandingan respon struktur tersebut berdasarkan letak mesin seperti pada Tabel 1. dibawah ini.

Tabel 1. Gaya Geser Maksimum

No	LETAK MESIN					
	Tingkat Pertama		Tingkat ke-2		Tingkat ke-3	
	Simp. Max	Detik ke	Simp. Max	Detik ke	Simp. Max	Detik ke
1.	9.3795	10.8	3.5250	10.94	3.2322	11.09
2.	5.2959	4.83	8.5363	10.80	5.5168	10.95
3.	5.2645	4.83	5.9544	4.83	12.2690	10.81

Tabel 2. Gaya Geser Maksimum

No	K (Kg/cm)	LETAK MESIN								
		Tingkat Pertama			Tingkat ke-2			Tingkat ke-3		
		$\Delta$ max (cm)	Detik ke	V = K. $\Delta$ max (Kg)	$\Delta$ max (cm)	Detik ke	V = K. $\Delta$ max (Kg)	$\Delta$ max (cm)	Detik ke	V = K. $\Delta$ max (Kg)
1	204156.64	9.379	10.80	1914887.2	3.525	10.94	719652.2	3.232	11.09	659875.01
2	290683.48	8.924	10.93	2594059.4	6.011	10.80	1747327.5	2.509	10.95	729535.90
3	290683.48	1.510	5.26	438961.1	5.604	10.93	1629077.4	8.726	12.06	2536416.8

Tabel 3. Momen Maksimum

No	Tinggi H (cm)	LETAK MESIN					
		Tingkat Pertama		Tingkat ke-2		Tingkat ke-3	
		Vmax (Kg)	M=1/2.H.Vmax (Kg.cm)	Vmax (Kg)	M=1/2.H.Vmax (Kg.cm)	Vmax (Kg)	M=1/2.H.Vmax (Kg.cm)
1	450	1914887.2	430849621.1	719652.2	161921735.1	659875.01	148471895.7
2	400	2594059.4	518811875.1	1747327.5	349465493.3	729535.90	145870783.9
3	400	438961.1	87792224.6	1629077.4	325815485.4	2536416.8	507283368.3

Tampak pada Gambar 6, 7 dan 8 bahwa secara keseluruhan tingkat-tingkat itu bergoyang tidak pada phase yang sama dan juga tidak berbentuk fungsi harmonic periodic sesuai dengan getaran akibat getaran mesin. Hal ini sangat dipengaruhi oleh getaran akibat gempa.

Simpangan horizontal tingkat dimana posisi mesin berada pada tingkat pertama disajikan pada Gambar 6. Simpangan-simpangan maksimum adalah  $Y1 = 9.3795$  cm (detik ke 10.8),  $Y2 = 5.2959$  cm (detik ke 4.83),  $Y3 = 5.2645$  cm (detik ke 4.83). simpangan horizontal tingkat dengan posisi mesin berada pada tingkat ke-dua disajikan pada Gambar 7, dengan simpangan maksimum adalah  $Y1 = 3.5250$  cm (detik ke 10.94),  $Y2 = 8.5364$  cm (detik ke 10.8), dan  $Y3 = 5.9544$  cm (detik ke 4.83), demikian pula simpangan horizontal tingkat dengan posisi mesin berada pada tingkat ke-tiga dapat dilihat pada Gambar 8, dengan simpangan maksimum  $Y1 = 3.2322$  cm (detik ke 11.09),  $Y2 = 5.5168$  cm (detik ke 10.95), dan  $Y3 = 12.2690$  cm (detik ke 10.81). Hal ini juga berarti dari setiap posisi mesin yang memberikan respon simpangan yang paling besar dan terjadi hampir pada detik yang sama. Secara keseluruhan dapat disimpulkan dari ketiga posisi mesin, yang memberikan respon simpangan paling besar adalah mesin yang berada pada tingkat ke 3, kemudian disusul oleh tingkat pertama dan berikutnya pada tingkat ke 2 yang memberikan respon paling kecil. Pada Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan simpangan maksimum antar tingkat dan gaya geser maksimum dimana setiap posisi mesin akan menghasilkan simpangan antar tingkat maksimum.

## KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan perhitungan respon bangunan bertingkat akibat getaran mesin, maka ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil yaitu :

1. Respon struktur yang didapat tidak berbentuk fungsi harmonic periodic atau tidak sesuai dengan getaran akibat getaran mesin karena sangat dipengaruhi oleh getaran akibat gempa.
2. Dari ketiga posisi mesin, yang memberikan respon yang paling besar adalah mesin yang berada pada tingkat ke 3, kemudian disusul tingkat pertama dan berikut pada tingkat ke 2 yang memberikan respon paling kecil

## DAFTAR PUSTAKA

- Bello, M., Adedeji, A.A., Rahmon R.O. & Kamal, M.A. (2017). Dynamic Analysis of Multi-Storey Building under Seismic Excitation by Response Spectrum Method using ETABS. *Journal of Research Information in Civil Engineering*, 1922-1931
- Chapain, S., & Mousaad, A. (2019). Vibration Attenuation in High\_Rise Buildings to Achieve System Level Performance under Multiple Hazards. *Engineering Structures*, 197, 1-47
- Chik, T N T., Zakaria, M F ., Remali, M A., & Yusoff, N A. (2015). Vibration Response of Multi Storey Building Using Finite Element Modelling. *Soft*

*Soil Engineering International Conference (SEIC2015)*

- Chopra, A. (1995). *Dynamicsof Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice\_Hall.
- Cyiril, M E., Chukwuemeka, N., Festus, O. & Felix, o. (2017). Forced Vibration Response of Double-Bay Multi-Storey Building Frames with Joints of Infinite Rigidity. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2(4), 68 -77.
- Gao, H., Wang, C., Huang, C., Shi, W. & Huo, L. (2020). Development of a Frequency-Adjustable Tuned mass Damper (FATMD) for Structural Vibration Control. *Hindawi Shock and Vibration*, 1-16.
- Huo, R., Li, S., Song, Z., Fujii, Y., Lei, S., Mao, J., Tian, S., & Miao, S. (2019). Analysis of Vibration Response Law of Multistory Building under Tunnel Blasting Loads. *Hindawi Advances in Civil Engineering*, 1-16
- Miller, M., & Hanson Inc. (1995). *Transit Noise and Vibration Impact Assesment*. U.S Dept of Transportation, Washington
- Nasution, B., & Purqon, A. (2016). Uji Respon Struktur Bangunan Bertingkat Terhadap Gempa Bumi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Symposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains (SNIPS 2016)*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Pachla, F., Koczwara, A K., Tataru, T. & Stypula, K. (2019). The Influence of Vibration Duration on the Structure of Irregular RC Buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 3119-3138
- Paz, M. (1984). *Dinamik Struktur : Teori dan Perhitungan*, Erlangga, Jakarta.
- Sapkale, R D. (2016). Seismic Response of Multi-Storey Building Equipped with Steel Bracing. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS)*, 2(7), 978-982.
- Sen, D., & Kujur, A.(2019). Study The Effect Of Transient Vibration On Multi-Storey Building Structure According To Equivalent Spring-Mass System Performed By Ansys. *Journal Engineering Annals of Civil and Environmental*, 3, 011-024.
- Shrestha, B. (2018). Study of Building Vibrations Caused By Machinery, Thesis, Mexico: University of New Mexico.
- Floor Vibrations. SteelConstruction.info. (2016) Retrieved June 2, 2021, from [https://www.steelconstruction.info/Floor\\_vibration\\_s#cite\\_ref-No14\\_7-0](https://www.steelconstruction.info/Floor_vibration_s#cite_ref-No14_7-0)
- Thomson, W. (1984). *Teori Getaran dengan Penerapan*, Erlangga, Jakarta.
- Vikneshvaran., Aminnudin, A., Alyaa, H U., Fathiah, W., Shakirah, S H. & Afham, A. (2017). Study On Numerical Analysis of High Rise Building. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 4(3), 51-45.
- Widodo, (2001). *Respon Dinamik Struktur Elastik*, UII Press Jogjakarta, Jakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan