

RESPONS STRUKTUR DAN TINGKAT KERUSAKAN PORTAL BAJA AKIBAT VARIASI PEMBEBANAN DINAMIK DENGAN ANALISIS RIWAYAT WAKTU NON LINIER

Vomania¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Alex Kurniawandy³⁾

¹ Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: vomania@student.unri.ac.id

² Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: reni.suryanita@eng.unri.ac.id

³ Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: alexkurniawandy@gmail.com

Abstract

Currently, steel is widely used as a starting material in the high-rise building structure because it is more effective and efficient. Otherwise, steel has some drawbacks i.e. prone to collapse due to dynamic loading. Therefore the aim of this research is to determine the response structure due to dynamic loading. The model is an Open Steel Frame building with a height of 35 m along 10 floors. The type of dynamic loads is harmonic sine and cosines, El Centro earthquake. The dynamic loadings are more precise when they were analyzed using the nonlinear time history method. The harmonic loads on the earthquake load structure are magnitude P_0 1 kN, 5 kN and 10 kN load, meanwhile used the history of the El Centro earthquake. Dynamic loads that work suddenly, caused the structure undergoes deformations are not fixed and always have a change within a specified time. The results of the study showed that of these three types of loads, the maximum displacement is 143,885 cm, the maximum velocity is -519,599 cm/dt and the maximum acceleration is 3197,623 cm/dt² load of the structure caused by sinus. Based on this study it can be concluded that the maximum displacement, velocity and acceleration of a maximum load harmonic sine and cosines is directly proportional to the variation of the value of P_0 values getting bigger because then the greater the deformation structure anyway.

Key words: dynamic loading, response structure, harmonic loading, time history

A. Pendahuluan

Baja adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam konstruksi sebuah bangunan karena mengingat beberapa keunggulan material baja itu sendiri yaitu kekuatan dan keawetan tinggi, elastis, dan mudah dalam proses penyambungan. Tetapi, di samping keunggulan tersebut material ini juga memiliki beberapa kekurangan seperti masalah tekuk, dan keruntuhannya yang sering terjadi akibat pembebahan siklik. Pembebahan siklik dalam hal ini termasuk beban dinamik yang dapat menyebabkan keruntuhannya. Keruntuhannya ini dinamakan keruntuhannya (fatigue failure) yang dipengaruhi oleh berbagai faktor yang salah satunya adalah

jumlah siklus pembebahan yang berulang-ulang.

Pada struktur yang mengalami beban secara berulang-ulang akan menimbulkan retakan pada struktur yang terus bertambah panjang untuk tiap siklus pembebahan sehingga akan mengurangi kapasitas elemen untuk memikul beban layan.

Dalam menyelesaikan permasalahan kerusakan struktur yang diakibatkan oleh pembebahan dinamik, analisis *time history* merupakan pilihan yang paling tepat karena analisis *time history* merupakan metode yang paling mendekati untuk menganalisis respons struktur akibat beban dinamik yang selalu berulang-ulang. Dalam melakukan analisis *time history* diperlukan banyak perhitungan

dan waktu yang cukup lama, namun cenderung lebih akurat seperti yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu Dewanti & Teruna (2013), melakukan investigasi indeks kerusakan pada struktur baja 4 tingkat dengan menggunakan analisis riwayat waktu dengan hasil bahwa analisis riwayat waktu memberikan perhitungan yang lebih baik karena menggunakan *Time Stepping* sehingga hasil yang didapat lebih akurat.

Tulisan ini bertujuan untuk menentukan respons struktur berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan serta menentukan tingkat kerusakan struktur akibat variasi pembebanan dinamik. Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan respons struktur adalah Suryanita & Sarfika (2007), melakukan analisis untuk mengetahui respons struktur SDOF akibat beban sinusoidal dengan metode integral Duhamel. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa respons struktur untuk kekakuan adalah berbanding terbalik dengan penambahan massa, sedangkan perpindahan maksimum meningkat saat penambahan massa dua kali semula dan akan menurun bila massa dikurangi setengah dari massa semula.

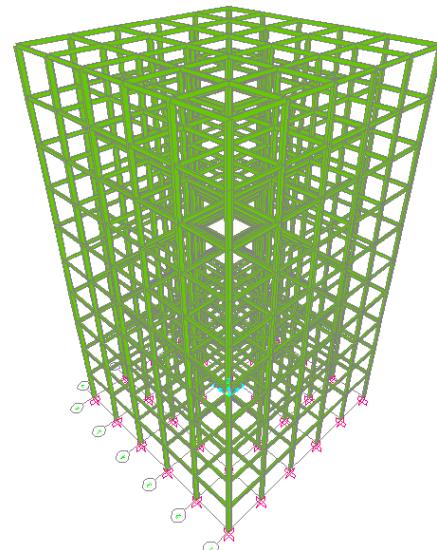
Analisis dilakukan dengan asumsi sebagai berikut:

1. Model struktur yang digunakan yaitu *Open Frame* dengan spesifikasi gedung beraturan 10 (sepuluh) lantai.
2. Karena struktur merupakan rangka terbuka maka beban yang digunakan pada struktur hanya beban mati yang berupa berat sendiri dan beban dinamik saja.
3. Gedung merupakan bangunan yang diasumsikan berfungsi sebagai perkantoran yang terletak diwilayah kota Pekanbaru.
4. Beban yang digunakan dalam perencanaan adalah beban harmonik sinus dan cosinus. Sedangkan, untuk beban gempa menggunakan akselerogram El Centro, pada daerah Pekanbaru.

5. Analisis *non linier Time history* dilakukan dengan menggunakan *software* elemen hingga .

6. Data struktur yang digunakan yaitu:

- a. Dimensi elemen dan bentuk struktur seperti pada gambar berikut :



Gambar 1. Tampak Tiga Dimensi Gedung

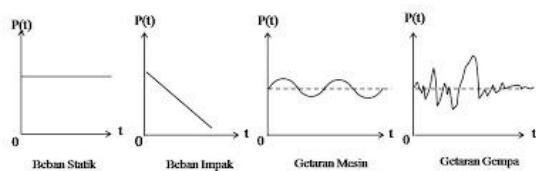
- b. Tegangan leleh baja, $f_y = 240$ MPa.
- c. Dimensi balok = WF.150.75.7.5
- d. Dimensi Kolom = WF.450.200.14.9
- e. Modulus Elastisitas, $E = 200.000$ MPa
- f. Jumlah lantai = 10 lantai dengan ketinggian antar tingkat 3,5 m.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Beban dinamik adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur atau beban dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat.

Beban dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi sehingga deformasi puncak dari struktur tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya beban yang maksimum. Pengaruh beban statis dan beban dinamis pada struktur, dapat digambarkan pada

Diagram Beban (P) – Waktu (t), seperti pada Gambar 2 berikut.

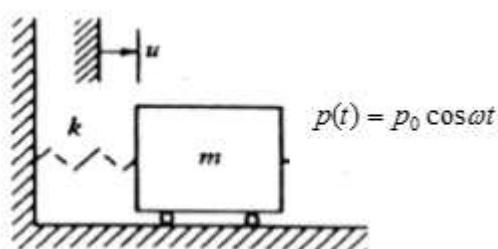


Gambar 2. Diagram Beban (P) – Waktu (t)
Sumber : (Ardhany, 2012)

Beban Dinamik, Harmonik Sinus dan Cosinus

Beban harmonik adalah beban dalam bentuk getaran atau gerak sebuah benda dimana grafik posisi partikel sebagai fungsi waktu berupa sinus (dapat dinyatakan dalam bentuk sinus atau kosinus). Gerak semacam ini disebut gerak osilasi atau gerak harmonik. Chopra, (2012) menyebutkan respons struktur terhadap beban luar, terdapat dalam bentuk gerakan harmonis yaitu struktur yang dibebani oleh gaya atau perpindahan yang besarnya dinyatakan oleh fungsi sinus atau cosinus dari waktu ($p(t) = \sin \omega t$ atau $p(t) = \cos \omega t$). Contoh gerakan harmonis adalah gerakan mesin-mesin rotasi yang menghasilkan pengaruh harmonis akibat adanya eksentrisitas massa yang berotasi (Budio, n.d.).

Berdasarkan Gambar 3 yang menunjukkan sistem tak teredam, diasumsikan bahwa sistem linier, amplitudo p_0 dan frekuensi gerakan ω , persamaan gerakan adalah:



Gambar 3. Gerak Harmonik Dari Sistem SDOF Tak Teredam
Sumber : (Paz, 1990)

$$m\ddot{u} + ku = p_0 \cos \omega t \quad (1)$$

Nilai dari gaya luar (*response steady-state*) berbentuk:

$$u_p = U \cos \omega t \quad (2)$$

Untuk menentukan amplitudo, U Persamaan (2) disubstitusikan ke dalam Persamaan (1):

$$U = \frac{p_0}{k - m\omega^2} \quad (3)$$

Terlihat bahwa $k - m\omega^2 \neq 0$, maka defleksi statis:

$$U_0 = \frac{p_0}{k} \quad (4)$$

Kombinasi dari Persamaan (3) dan (4) akan menghasilkan persamaan fungsi respons frekuensi:

$$U = \frac{p_0 / k}{1 - \frac{m}{k} \omega^2}$$

$$U = \frac{U_0}{1 - \frac{m}{k} \omega^2} \text{ dimana, } \frac{m}{k} = \frac{1}{\omega_n^2}$$

$$H(\omega) = \frac{1}{1 - r^2}, r \neq 1 \quad (5)$$

Dimana :

$$r = \frac{\omega}{\omega_n^2} \quad (6)$$

Dan

$$H(\omega) = \frac{U}{U_0} \quad (7)$$

Fungsi respons frekuensi adalah fungsi yang memberikan penambahan atau pembesaran pada gerakan *steady-state* dalam bentuk nilai absolut dari fungsi respons frekuensi. Faktor pembesaran respons *steady-state* dirumuskan sebagai berikut:

$$D_s = |H(\omega)| \quad (8)$$

Dari gabungan persamaan (2) dan (5) memberikan persamaan respons *steady-state* sebagai berikut:

$$u_p = \left(\frac{U_0}{1 - r^2} \right) \cos \omega t, r \neq 1 \quad (9)$$

Jika $r < 1$, maka responsnya sefase/terdapat di dalam fase gerakan karena $(1-r^2)$ bernilai positif. Jika $r > 1$,

maka responsnya 180° diluar fase/tidak sefase dengan gerakan, sehingga u_p dapat dituliskan:

$$u_p = \left(\frac{U_0}{1-r^2} \right) (-\cos \omega t) \quad (10)$$

Persamaan respons total terdiri dari solusi komplementer (u_c) yang memenuhi persamaan homogen dan solusi partikular (u_p) yang memenuhi persamaan diferensial non homogen.

$$u = u_p + u_c$$

$$u_c = A_1 \cos \omega_n t + A_2 \sin \omega_n t$$

$$u = \left(\frac{U_0}{1-r^2} \right) \cos \omega t + A_1 \cos \omega_n t + A_2 \sin \omega_n t$$

Beban Dinamik, Beban Gempa

Gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi gelombang *seismic* yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi (Hartuti, 2009).

Gempa bumi biasanya terjadi dalam waktu yang relatif singkat, tetapi walaupun hanya terjadi dalam waktu beberapa detik tetapi akan mengakibatkan kerusakan hebat terhadap infrastruktur serta menyebabkan terjadinya korban jiwa dan harta benda. Sifat getaran gempa bumi adalah *random* dan tidak seperti beban statik pada umumnya sehingga efek beban gempa terhadap respons struktur tidak mudah untuk diketahui.

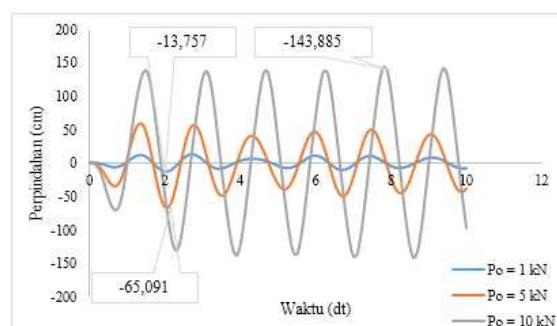
Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*)

Model Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) adalah dasar struktur bangunan digetarkan oleh gempa yang pada umumnya memakai rekaman gempa tertentu. Sebagaimana sifat beban dinamik maka penyelesaian/hitungan respons struktur tidak hanya dilakukan sekali tetapi dapat ratusan kali bahkan sampai ribuan kali. Peralatan komputer dan penguasaan integrasi numerik merupakan prasyarat untuk menyelesaikan problem dinamik dengan model analisis *Time*

History Analysis (THA). Analisis dinamik linier riwayat waktu (*time history*) sangat cocok digunakan untuk analisis struktur yang tidak beraturan terhadap pengaruh gempa rencana. Mengingat gerakan tanah akibat gempa di suatu lokasi sulit diperkirakan dengan tepat, maka sebagai *input* gempa dapat didekati dengan gerakan tanah yang disimulasikan. Dalam analisis ini digunakan hasil rekaman akselerogram gempa sebagai *input* data percepatan gerakan tanah akibat gempa (Kevin & Barus, 2014).

C. ANALISIS DAN PEMBAHASAN Respons Struktur Akibat Beban Harmonik Sinus

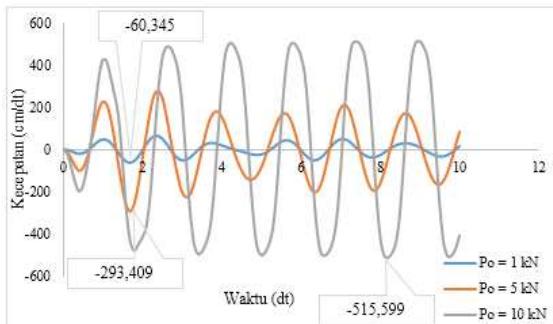
Respons struktur yang dianalisis akan ditampilkan dalam bentuk grafik perpindahan, kecepatan dan percepatan maksimum struktur. Terdapat tiga lantai pada struktur yang menjadi perwakilan untuk dianalisis, yaitu pada lantai satu, lima dan lantai sepuluh. Pada tiap lantai akan dipilih satu *joint* pula yang akan menjadi perwakilan yaitu *joint* 57 pada lantai 1, *joint* 61 pada lantai 5 dan *joint* 66 pada lantai 10. Tetapi, pada jurnal ini hanya akan difokuskan ke lantai 10 saja sebab lantai sepuluh memiliki nilai deformasi yang lebih besar dibanding lantai 1 – lantai 9.



Gambar 4. Riwayat Waktu vs Perpindahan Dengan Variasi Nilai P_0 Akibat Beban Sinus Pada Lantai Sepuluh

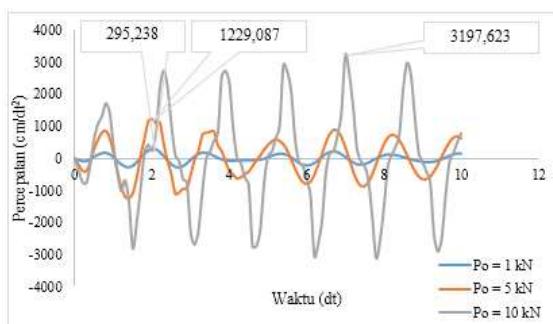
Berdasarkan Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai P_0 berbanding lurus dengan perpindahan maksimum sebab dengan beban 1 kN menghasilkan perpindahan maksimum

sebesar $-13,757$ cm, beban 5 kN menghasilkan perpindahan maksimum sebesar $-65,091$ cm, beban 10 kN menghasilkan perpindahan maksimum sebesar $-143,885$ cm.



Gambar 5. Riwayat Waktu vs Kecepatan Dengan Variasi Nilai P_0 Akibat Beban Sinus Pada Lantai Sepuluh

Gambar 5 menjelaskan bahwa struktur yang menerima beban 1 kN menghasilkan kecepatan maksimum sebesar $-60,345$ cm/dt, beban 5 kN menghasilkan kecepatan maksimum sebesar $-293,409$ cm/dt, beban 10 kN menghasilkan kecepatan maksimum sebesar $-515,599$ cm/dt. Kecepatan maksimum yang terjadi pada struktur juga berbanding lurus dengan besarnya nilai P_0 .



Gambar 6. Riwayat Waktu vs Percepatan Dengan Variasi Nilai P_0 Akibat Beban Sinus Pada Lantai Sepuluh

Struktur yang terlihat pada Gambar 6 dengan beban 1 kN menghasilkan percepatan maksimum sebesar $295,238$ cm/dt^2 , beban 5 kN menghasilkan percepatan maksimum sebesar $1229,087$ cm/dt^2 , dan beban 10 kN menghasilkan

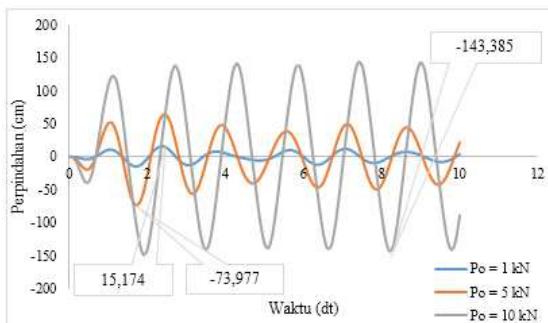
percepatan maksimum sebesar $3197,623$ cm/dt^2 .

Berdasarkan Gambar 4-6 dapat dilihat bahwa perpindahan, kecepatan dan percepatan maksimum struktur berbanding lurus dengan besarnya nilai P_0 karena akibat besarnya nilai tersebut menyebabkan deformasi yang besar pula pada struktur. Deformasi terbesar struktur terjadi pada lantai sepuluh, ini disebabkan oleh distribusi gaya geser beban dinamik yang akan bertambah besar seiring dengan banyaknya jumlah lantai pada struktur bangunan sehingga struktur menjadi semakin berat, dan karena besarnya massa struktur serta tinggi bangunan yang berbanding lurus dengan distribusi gaya geser beban dinamik pada bangunan menyebabkan lantai sepuluh memiliki nilai perpindahan yang maksimum.

Respons Struktur Akibat Beban Harmonik Cosinus

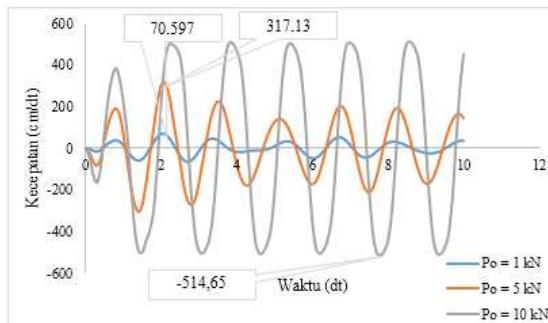
Struktur struktur dengan variasi nilai P_0 pada lantai sepuluh, memperlihatkan bahwa semakin besar nilai P_0 maka akan semakin besar pula perpindahan maksimum yang dihasilkan atau besarnya nilai P_0 berbanding lurus dengan perpindahan maksimum, yang secara visual dapat dilihat pada Gambar 7.

Struktur dengan beban 1 kN menghasilkan perpindahan maksimum sebesar $15,174$ cm, beban 5 kN menghasilkan perpindahan maksimum sebesar $-73,977$ cm, beban 10 kN menghasilkan perpindahan maksimum sebesar $-143,385$ cm. Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa variasi nilai P_0 menghasilkan perpindahan maksimum yang bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur, bergerak pada arah yang berlawanan dengan beban.



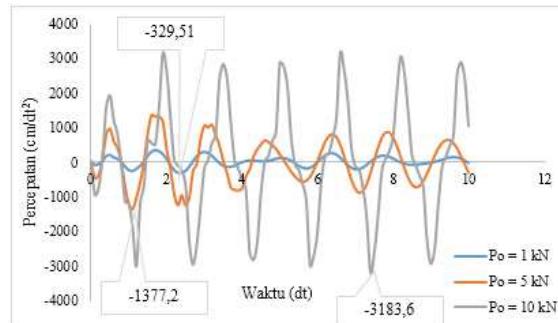
Gambar 7. Riwayat Waktu vs Perpindahan Dengan Variasi Nilai P_0 Akibat Beban Cosinus Pada Lantai Sepuluh

Gambar 8 menunjukkan struktur yang menerima beban 1 kN menghasilkan kecepatan maksimum sebesar 70,597 cm/dt, beban 5 kN menghasilkan kecepatan maksimum sebesar 317,13 cm/dt, dan yang menerima beban 10 kN menghasilkan kecepatan maksimum sebesar -514,65 cm/dt.



Gambar 8. Riwayat Waktu vs Kecepatan Dengan Variasi Nilai P_0 Akibat Beban Cosinus Pada Lantai Sepuluh

Struktur yang menerima beban 1 kN menghasilkan percepatan maksimum sebesar $-329,51 \text{ cm/dt}^2$, beban 5 kN menghasilkan percepatan maksimum sebesar $-1377,2 \text{ cm/dt}^2$, dan beban 10 kN menghasilkan percepatan maksimum sebesar $-3183,6 \text{ cm/dt}^2$. Percepatan maksimum struktur pada lantai sepuluh dengan variasi nilai P_0 , dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Riwayat Waktu vs Percepatan Dengan Variasi Nilai P_0 Akibat Beban Cosinus Pada Lantai Sepuluh

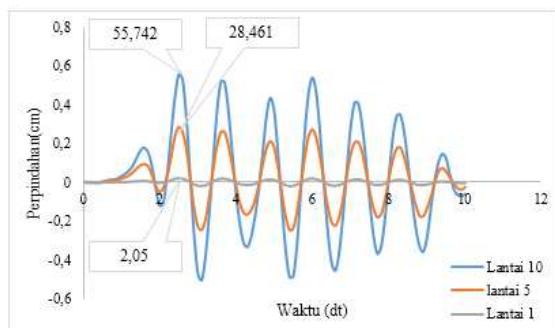
Berdasarkan Gambar 7-9 dapat dilihat bahwa perpindahan, kecepatan dan percepatan maksimum struktur akibat beban cosinus sama dengan akibat beban sinus yaitu sama-sama berbanding lurus dengan besarnya nilai P_0 karena akibat besarnya nilai tersebut menyebabkan deformasi yang besar pula pada struktur. Deformasi terbesar struktur terjadi pada lantai sepuluh, ini disebabkan oleh distribusi gaya geser beban dinamik yang akan bertambah besar seiring dengan banyaknya jumlah lantai pada struktur bangunan sehingga struktur menjadi semakin berat, dan karena besarnya massa struktur serta tinggi bangunan yang berbanding lurus dengan distribusi gaya geser beban dinamik pada bangunan menyebabkan lantai sepuluh memiliki nilai perpindahan yang maksimum.

Deformasi pada struktur baik yang disebabkan oleh beban harmonik sinus maupun cosinus menunjukkan bahwa dengan nilai P_0 5 kN telah menyebabkan struktur mengalami keruntuhan. Hal ini terlihat pada setiap grafik respons struktur yang menunjukkan bahwa variasi P_0 5 kN dan yang lebih besar akan menyebabkan struktur tidak dapat kembali ke keadaan semula yaitu keadaan dimana deformasi dan waktu bernilai mendekati nol.

Respons Struktur Akibat Beban Gempa El Centro

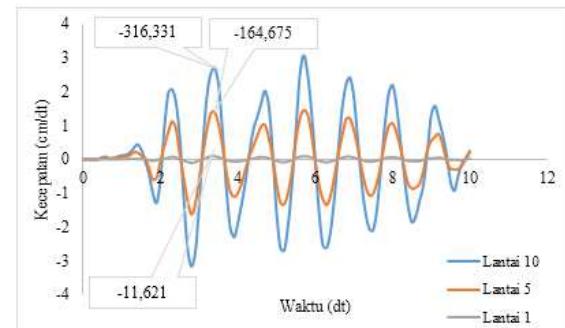
Perpindahan maksimum terjadi pada lantai sepuluh dengan nilai perpindahan maksimum sebesar 55,742 cm dapat dilihat

pada Gambar 10. Dari Gambar 10 terlihat bahwa perpindahan semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah lantai. Pada lantai satu perpindahan maksimum yang terjadi adalah 2,05 cm, dan pada lantai lima perpindahan maksimum yang terjadi adalah 28,461 cm. Perpindahan berbanding lurus dengan jumlah lantai, semakin tinggi jumlah lantai maka semakin besar nilai perpindahan yang terjadi. Pada lantai satu perpindahan yang terjadi relatif kecil bila dibandingkan dengan lantai sepuluh dan lantai lima. Karena struktur masih mampu menahan perpindahan maksimum pada lantai sepuluh, menunjukkan bahwa material baja sangat daktail sebab dengan nilai perpindahan tersebut struktur belum mengalami keruntuhan.



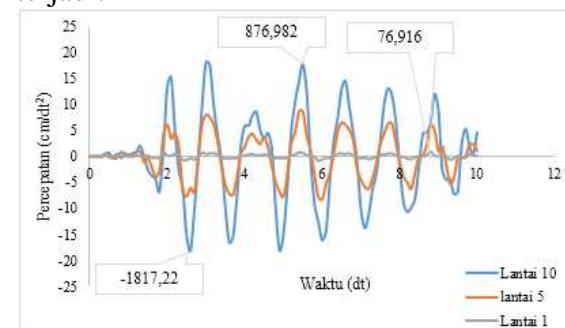
Gambar 10. Riwayat Waktu vs Perpindahan Dengan Variasi Lantai Akibat Beban Gempa El Centro

Kecepatan maksimum terjadi pada lantai sepuluh dengan nilai kecepatan maksimum sebesar $-316,331 \text{ cm}/\text{dt}$, pada lantai lima kecepatan struktur adalah $-164,675 \text{ cm}/\text{dt}$ dan pada lantai satu kecepatan struktur adalah $-11,621 \text{ cm}/\text{dt}$ seperti yang dapat dilihat pada Gambar 13. Berdasarkan Gambar 11 terlihat bahwa kecepatan semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah lantai. Kecepatan berbanding lurus dengan jumlah lantai, semakin tinggi jumlah lantai maka semakin besar nilai perpindahan yang terjadi. Nilai kecepatan maksimum bernilai negatif berarti kecepatan struktur bergerak berlawanan arah dengan arah beban.



Gambar 11. Riwayat Waktu vs Kecepatan Dengan Variasi Lantai Akibat Beban Gempa El Centro

Percepatan maksimum terjadi pada lantai sepuluh dengan nilai percepatan maksimum sebesar $-1817,22 \text{ cm}/\text{dt}^2$, sedangkan pada lantai lima nilai percepatan adalah $876,982 \text{ cm}/\text{dt}^2$ dan pada lantai satu nilai percepatan adalah $76,916 \text{ cm}/\text{dt}^2$ seperti yang terlihat pada Gambar 12. Berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa percepatan semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah lantai atau nilai percepatan berbanding lurus dengan jumlah lantai yaitu semakin tinggi jumlah lantai maka semakin besar nilai percepatan yang terjadi.



Gambar 12. Riwayat Waktu vs Percepatan Dengan Variasi Lantai Akibat Beban Gempa El Centro

Dari Gambar 10 – 12 terlihat bahwa distribusi gaya geser beban dinamik menyebabkan perpindahan, kecepatan dan percepatan menjadi lebih kecil pada lantai satu dan menjadi maksimum pada lantai atas atau lantai sepuluh. Nilai percepatan yang besar hingga mencapai $-1817,22 \text{ cm}/\text{dt}^2$ menandakan bahwa struktur telah mengalami keruntuhan yang dibuktikan dengan adanya sendi plastis pada struktur.

Karena besarnya beban dinamik yang selalu berubah menurut waktu, maka pengaruhnya terhadap struktur juga berubah berdasarkan waktu. Besarnya beban dinamik menyebabkan timbulnya gaya inersia pada pusat massa yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan respons struktur. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya nilai perpindahan, kecepatan dan percepatan yang bernilai negatif.

D. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan analisis, didapatkan nilai perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur, yaitu:
 - a. Perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban sinus adalah 143,885 cm di lantai sepuluh dengan P_0 10 kN.
 - b. Perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban cosinus adalah -143,385 cm di lantai sepuluh dengan P_0 10 kN.
 - c. Perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban gempa El Centro adalah 55,742 cm di lantai sepuluh.
2. Berdasarkan analisis, didapatkan nilai kecepatan maksimum yang terjadi pada struktur, yaitu:
 - a. Kecepatan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban sinus adalah -515,599 cm/dt di lantai sepuluh dengan P_0 10 kN.
 - b. Kecepatan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban cosinus adalah -514,65 cm/dt di lantai sepuluh dengan P_0 10 kN.
 - c. Kecepatan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban gempa El Centro adalah -316,331 cm/dt di lantai sepuluh.
3. Berdasarkan analisis, didapatkan nilai percepatan maksimum yang terjadi pada struktur, yaitu:
 - a. Percepatan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban sinus adalah 3197,623 cm/dt² di lantai sepuluh dengan P_0 10 kN.
 - b. Percepatan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban cosinus adalah -3183,6 cm/dt² di lantai sepuluh dengan P_0 10 kN.
 - c. Percepatan maksimum yang terjadi pada struktur akibat beban gempa El Centro adalah -1817,22 cm/dt² di lantai sepuluh.
4. Respons struktur berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan bertambah besar terutama pada lantai atas. Hal ini dibuktikan dengan nilai maksimum yang berada pada lantai atas yakni lantai sepuluh, seperti yang tertera pada poin 1,2 dan 3.
5. Variasi nilai P_0 dapat mempengaruhi besarnya nilai perpindahan, kecepatan dan percepatan oleh beban sinus dan beban cosinus karena besarnya nilai P_0 akan berbanding lurus dengan nilai perpindahan, kecepatan dan percepatan pada struktur.
6. Beban harmonik sinus dan cosinus lebih besar mempengaruhi deformasi struktur dibanding beban gempa El Centro, sebab beban harmonik memiliki pola pembebanan yang seragam sehingga tidak ada perubahan besarnya beban dalam jangka waktu tertentu sedangkan beban gempa merupakan beban acak dengan variasi nilai yang lebih fluktuatif dalam jangka waktu tertentu pula.
7. Beban dinamik menyebabkan timbulnya gaya inersia pada pusat massa yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan respons struktur. Hal ini terbukti dengan adanya nilai

- perpindahan, kecepatan dan percepatan yang bernilai negatif.
8. Distribusi gaya geser beban dinamik mengakibatkan perpindahan, kecepatan, dan percepatan maksimum berada pada lantai sepuluh. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi jumlah lantai pada suatu bangunan semakin berat dan besar pula gaya yang diterima lantai tersebut untuk berdeformasi.

E. SARAN

Beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Agar dapat diperoleh hasil yang lebih akurat dapat digunakan Δt yang lebih kecil, dan dengan waktu pembebanan yang lebih lama.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi massa, kekakuan dan redaman yang lebih beragam.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Ardhany, S. (2012). Mekanika Getaran dan Gempa, Teknik Sipil. Retrieved from <http://dyshally.blogspot.com/2013/03/pembebanan-pada-struktur-bangunan-sipil.html?m=1>
- Budio, S. P. (n.d.). *Dinamika struktur*. Universitas Brawijaya.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics Of Structures Theory And Application To Earthquake Engineering*. (G. Dulles, Ed.) (Fourth Edi). United States of America: Pearson Education, Inc. Retrieved from <http://www.pearsoned.com/legal/permission.htm>.
- Dewanti, Ratih; Teruna, D. R. (2013). *Investigasi Indeks Kerusakan Pada Struktur Baja 4 Tingkat Dengan Menggunakan Analisa Riwayat Waktu. Laporan Tugas Akhir*. Universitas Sumatera Utara.
- Hartuti, E. R. (2009). *Buku Pintar Gempa*. (E. Syahriyanti, Ed.) (Edisi Pert). Yogyakarta: DIVA Press. Retrieved from www.divapress-online.com
- Kevin; Barus, S. (2014). Kajian Perbandingan Respon Dinamik Linier Dengan Analisis Riwayat Waktu (Time History Analysis) Menggunakan Modal Analisis (Mode Superposition Method) Dan Integrasi Langsung (Direct Time Integration Method). *Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara*, 1–15.
- Paz, M. (1990). *Dinamika Struktur, Teori dan Perhitungan Edisi Kedua* (Edisi Kedu). Erlangga.
- Suryanita, Reni; Sarfika, H. (2007). Respons Struktur SDOF Akibat Beban Sinusoidal Dengan Metode Integral Duhamel. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(3), 266–278.