

PENGARUH PENGAKU TERHADAP RESPON ELASTIK STRUKTUR BAJA BERTINGKAT DENGAN MEMPERHITUNGKAN FLEKSIBILITAS FONDASI

Gilang Arya Perdana¹, Widodo²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: gilangaryaperdana@students.uii.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 785110201@staf.uii.ac.id

Abstract : *Structure must be ductile and the drift must be controlled. One alternative is using steel material and using bracing. In simplifying the analysis, structure of the foundation is often assumed to fixed while in its original condition the ground can not rigidly clamped a foundation. So we need a research about the flexibility of the foundation. This research was conducted to find out the influence of the use of stiffness value and damping interaction between the foundation and the soil to the structure response, the influence of the use of bracing to the structure response and the effect of using soil movement parameters to the structure response. This research uses SPT testing data on soil in hospital of Islamic University of Indonesia. The structural data used is a steel structure with 15 levels in elastic response condition with open frame variation and with bracing X. Earthquake load data used are EL Centro (low frequency), EL Centro (medium frequency), Manjil (high frequency). Tool in calculating the structure response using MATLAB 2015a aids program named FF2018. From the results showed that the fixed foundation will have a greater impact than the flexible foundation. The use of bracing has an impact on the foundation of greater rotation due to increased stiffness of the structure. The EL Centro earthquake (low frequency) will provide greater structural response.*

Keywords: *Bracing, Elastic Response, Steel, Flexibility of foundation*

PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi sedangkan lahan yang tersedia sudah sangat sedikit. Kebutuhan akan sarana dan prasarana pun meningkat. Di sisi lain, posisi Indonesia dilalui oleh dua jalur gempa yaitu *Trans Asiatic Earthquake Belt* (melalui Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara dan Irian Jaya) dan *Circum Pasific Earthquake Belt* (melalui Sulawesi Utara, Kepulauan Maluku dan Irian Jaya). Posisi Indonesia tersebut menyebabkan Indonesia rawan terhadap gempa bumi. Melihat permasalahan lahan yang sempit dan posisi Indonesia yang rawan terhadap gempa bumi maka solusinya dengan

membangun bangunan bertingkat yang tahan terhadap gempa bumi.

Struktur bangunan terutama gedung bertingkat banyak akan menerima massa yang besar. Semakin besar massa dari suatu bangunan maka akan semakin besar juga beban gempa yang akan ditahan bangunan pada saat terjadi gempa, maka dari itu dibutuhkan material yang ringan untuk mendapatkan massa yang kecil.

Pada struktur gedung dengan material baja memiliki sifat daktail yang apabila menerima beban lateral maka struktur gedung akan mengalami simpangan yang searah gaya

terjadi. Simpangan inilah yang harus di kontrol. Salah satu cara untuk mengurangi simpangan yaitu dengan menggunakan pengaku (bracing).

Penyederhanaan yang sering dilakukan pada analisis yaitu fondasi bangunan sering dimodelkan terjepit monolit dengan tanah. Namun demikian anggapan tersebut tidaklah tepat karena tanah bukanlah material yang dapat menyatu monolit dengan fondasi dan tanah tidak dapat menjepit secara kaku suatu fondasi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dari Imam Wibowo dan Hafidz Auzzami (2003) dengan topik *Pengaruh Penggunaan Pengaku (bracing) terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Banyak dengan Memperhitungkan Rotasi Fondasi* diperoleh hasil dukungan tanah *fixed* akan memberikan nilai frekuensi yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi tanah dianggap dapat berotasi tetapi pada penelitian tersebut nilai kekakuan putar interaksi antara fondasi dengan tanah (kr) dan kekakuan horizontal interaksi antara fondasi dengan tanah (kh) ditetapkan.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan nilai kekakuan dan redaman interaksi antara fondasi dengan tanah (fleksibilitas fondasi), pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) dan pengaruh penggunaan parameter gerakan tanah yang berbeda terhadap respon elastis struktur baja bertingkat.

Kekakuan dan Redaman Interaksi antara Fondasi dengan Tanah

Perhitungan yang digunakan merupakan metode dari Novak (1974) didalam buku Prakash (1990). Nilai modulus geser tanah menggunakan rumus menurut Hardin dan Black (1968) di dalam buku Widodo (2012).

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{\bar{\sigma}_v + 2\bar{\sigma}_h}{3} \quad (1)$$

$$G = 1230 \cdot OCR^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \bar{\sigma}_0^{0,5} \text{ (psi)} \quad (2)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3)$$

dengan : $\bar{\sigma}_0$ = Effective confining pressure, $\bar{\sigma}_v$ = Effective vertical stress, $\bar{\sigma}_h$ = Effective horizontal stress, G = Modulus geser tanah, OCR = Over consolidated ratio, k = Koefisien yang nilainya bergantung dari nilai Indeks Plastisitas (PI), e = Angka pori didapat pada akhir uji konsolidasi, V_s = kecepatan gelombang geser dalam tanah, dan ρ = Kepadatan massa tanah.

Kekakuan dan Redaman Vertikal Interaksi Antara Tanah dengan Fondasi

Rumus yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$k_v^1 = \frac{E_p A}{r_0} f_{v1}, \quad c_v^1 = \frac{E_p A}{V_s} f_{v2} \quad (4)$$

Kekakuan dan Redaman Horizontal Interaksi Antara Tanah dengan Fondasi

Rumus yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 5 sd 8.

$$k_h^1 = \frac{E_p I_p}{r_0^3} f_{h1}, \quad c_h^1 = \frac{E_p I_p}{r_0^2 V_s} f_{h2} \quad (5)$$

$$k_h^g = \frac{\sum_1^n k_h^1}{\sum_1^n \alpha_L}, \quad c_h^g = \frac{\sum_1^n c_h^1}{\sum_1^n \alpha_L} \quad (6)$$

$$k_h^f = G_s \cdot h \cdot \bar{S}_{h1}, \quad c_h^f = h \cdot r_0 \cdot \bar{S}_{h2} \sqrt{G_s \rho_s} \quad (7)$$

$$k_h^g = k_h^g + k_h^f, \quad c_h^g = c_h^g + c_h^f \quad (8)$$

dengan :

k_h^1 = Kekakuan horizontal 1 tiang, c_h^1 = Redaman horizontal 1 tiang, E_p = Modulus young tiang, I_p = Momen inersia dari potongan melintang tiang, r_0 = Diameter tiang, f_{h1} = Konstanta untuk kekakuan horizontal, f_{h2} = Konstanta untuk redaman horizontal, k_h^g = Kekakuan horizontal kelompok tiang, c_h^g = Redaman horizontal kelompok tiang, α_L = Faktor interaksi perpindahan horizontal, k_h^f = Kekakuan

horizontal *pile cap*, c_h^f = Redaman horizontal *pile cap*, h = Tinggi *pile cap* yang tertimbun tanah, \bar{S}_{h1} = Konstanta untuk kekakuan horizontal, dan \bar{S}_{h2} = Konstanta untuk redaman horizontal.

Kekakuan dan Redaman Rotasi Interaksi Antara Tanah dengan Fondasi

$$k_r^1 = \frac{E_p I_p}{r_0} f_{r1}, \quad c_r^1 = \frac{E_p I_p}{V_s} f_{r2} \quad (9)$$

$$k_{hr}^1 = \frac{E_p I_p}{r_0^2} f_{hr1}, \quad c_{hr}^1 = \frac{E_p I_p}{r_0 V_s} f_{hr2} \quad (10)$$

$$k_r^g = \sum_1^n (k_r^1 + k_v^1 x_r^2 + k_h^1 z_c^2 - 2z_c k_{hr}^1),$$

$$c_r^g = \sum_1^n (c_r^1 + c_v^1 x_r^2 + c_h^1 z_c^2 - 2z_c c_{hr}^1) \quad (11)$$

$$k_r^f = G_s r_0^2 h \bar{S}_{r1} + G_s r_0^2 h \bar{S}_{h1} \left[\left(\frac{\delta^2}{3} \right) + \left(\frac{z_c}{r_0} \right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_0} \right) \right]$$

$$c_r^f = \delta r_0^4 \sqrt{\frac{G_s \gamma_s}{g}} \left\{ \bar{S}_{r2} + \bar{S}_{h2} \left[\left(\frac{\delta^2}{3} \right) + \left(\frac{z_c}{r_0} \right)^2 - \delta \left(\frac{z_c}{r_0} \right) \right] \right\} \quad (12)$$

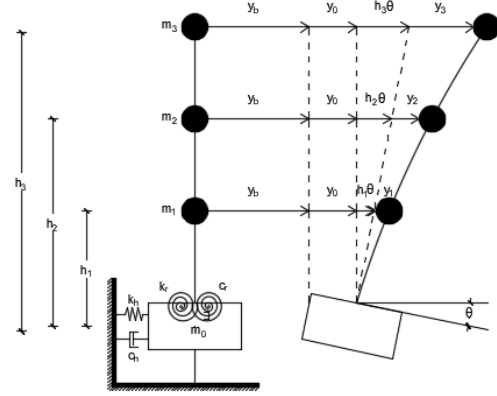
$$k_r^g = k_r^f + k_r^g, \quad c_r^g = c_r^g + c_r^f \quad (13)$$

dengan :

k_r^1 = Kekakuan rotasi 1 tiang, c_r^1 = Redaman rotasi 1 tiang, k_{hr}^1 = Kekakuan silang 1 tiang, c_{hr}^1 = Redaman silang 1 tiang, f_{r1} = Konstanta untuk kekakuan rotasi, f_{r2} = Konstanta untuk redaman rotasi, f_{hr1} = Konstanta untuk kekakuan silang rotasi, f_{hr2} = Konstanta untuk redaman silang rotasi, k_r^g = Kekakuan rotasi kelompok tiang, c_r^g = Redaman rotasi kelompok tiang, x_r = Jarak setiap tiang terhadap C.G, z_c = Tinggi dari titik tengah pile cap ke bawah permukaan, k_r^f = Kekakuan rotasi pile cap, c_r^f = Redaman rotasi pile cap, δ = Perbandingan antara h dengan r_0 , \bar{S}_{r1} = Konstanta untuk kekakuan rotasi, \bar{S}_{r2} = Konstanta untuk redaman rotasi, \bar{S}_{h1} = Konstanta untuk kekakuan horizontal, dan \bar{S}_{h2} = Konstanta untuk redaman horizontal.

Struktur dengan Memperhitungkan Fleksibilitas Fondasi Akibat Gerakan Tanah

Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur MDOF dengan Rotasi Fondasi

Metode β -Newmark

β -Newmark digunakan untuk mencari respon struktur. Rumus diambil dari buku Widodo (2017) pada Persamaan 14 sampai 22.

$$m \Delta \ddot{y}_i + c \Delta \dot{y}_i + k \Delta y_i = \Delta p_i \quad (14)$$

$$a = \left(\frac{1}{\beta \Delta t} [M] + \frac{\gamma}{\beta} [C] \right) \quad (15)$$

$$b = \left\{ \frac{1}{2\beta} [M] + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) [C] \right\} \quad (16)$$

$$\Delta \hat{p}_i = (p_{i+1} - p_i) + a \cdot \dot{y}_i + b \cdot \ddot{y}_i \quad (17)$$

$$\hat{k} = \left\{ [K] + \frac{1}{\beta \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} [M] \right\} \quad (18)$$

$$\Delta y_i = \frac{\Delta \hat{p}_i}{\hat{k}} \quad (19)$$

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta y_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{y}_i \quad (20)$$

$$\Delta \ddot{y}_i = \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} \Delta y_i - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{y}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{y}_i \quad (21)$$

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i, \quad \dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i,$$

$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta \ddot{y}_i \quad (22)$$

dengan :

m = Massa, k = Kekakuan, c = Redaman, Δp = Perubahan intensitas pembebanan, Δy = Perubahan simpangan, $\Delta \dot{y}$ = perubahan kecepatan, $\Delta \ddot{y}$ = perubahan percepatan, y = simpangan, \dot{y} = kecepatan, \ddot{y} = percepatan, γ , β = konstanta (percepatan rata-rata maka $\gamma = 1/2$ dan $\beta = 1/4$, percepatan linier maka $\gamma = 1/2$ dan $\beta = 1/6$).

METODE PENELITIAN

Data Tanah

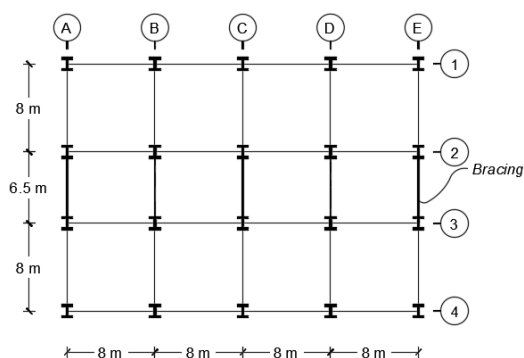
Tanah yang digunakan merupakan tanah di rumah sakit Universitas Islam Indonesia yang berada di Jalan Srandakan, Bantul, Yogyakarta. Data tanah pada Tabel 1 tersebut merupakan hasil dari sebuah korelasi terhadap data dari pengujian.

Tabel 1 Data Tanah

Lapisan Tanah	Kedalaman m	γ_{sat} kg/m ³	e	PI %	OCR	Kohesi kg/m ²	θ derajat
1	6	1828	0.4	5	1	300	33
2	12	1957	0.6	20	1	360	26
3	17	1820	0.6	21	1	220	26
4	20	1960	0.6	25	1	370	20
5	24	1895	0.4	5	1	200	40
6	26	1895	0.4	3	1	200	34

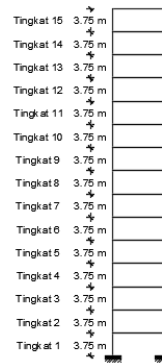
Data Struktur

Struktur diambil dari Tugas Akhir Wiwit Budi C dan Hariyanto (2000). Denah dapat dilihat pada Gambar 2 dan Profil pada Tabel 2 dan 3.

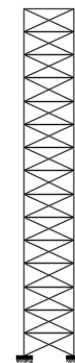


Gambar 2 Denah Perletakkan Balok dan Kolom Struktur 15 Tingkat

Dalam penelitian ini digunakan hanya batang tengah. Sehingga potongan denah menjadi Gambar 3 dan 4.



Gambar 3 Pot. C Struktur Open Frame 15 Tingkat



Gambar 4 Pot. C Struktur 15 Tk. dgn Bracing X

Tabel 2 Dimensi Elemen Struktur 15 Tingkat

Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja
Balok	1-5	W14X53
Balok	6-10	W14X53
Balok	11-15	W14X26
Kolom	1-5	W14X370
Kolom	6-10	W14X311
Kolom	11-15	W14X211
Bracing	1-5	W8X21
Bracing	6-10	W8X18
Bracing	11-15	W8X15

Tabel 3 Beban Merata Struktur 15 Tingkat

Tingkat	Beban Merata (kg/m)
1-15	3427

Data Beban Gempa

Pembebanan menggunakan percepatan maksimum sebesar 70,4 cm/dt² yang diambil dari Tugas Akhir Wiwit Budi C dan Hariyanto (2000). Data beban gempa dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Kandungan Frek. Beban Gempa

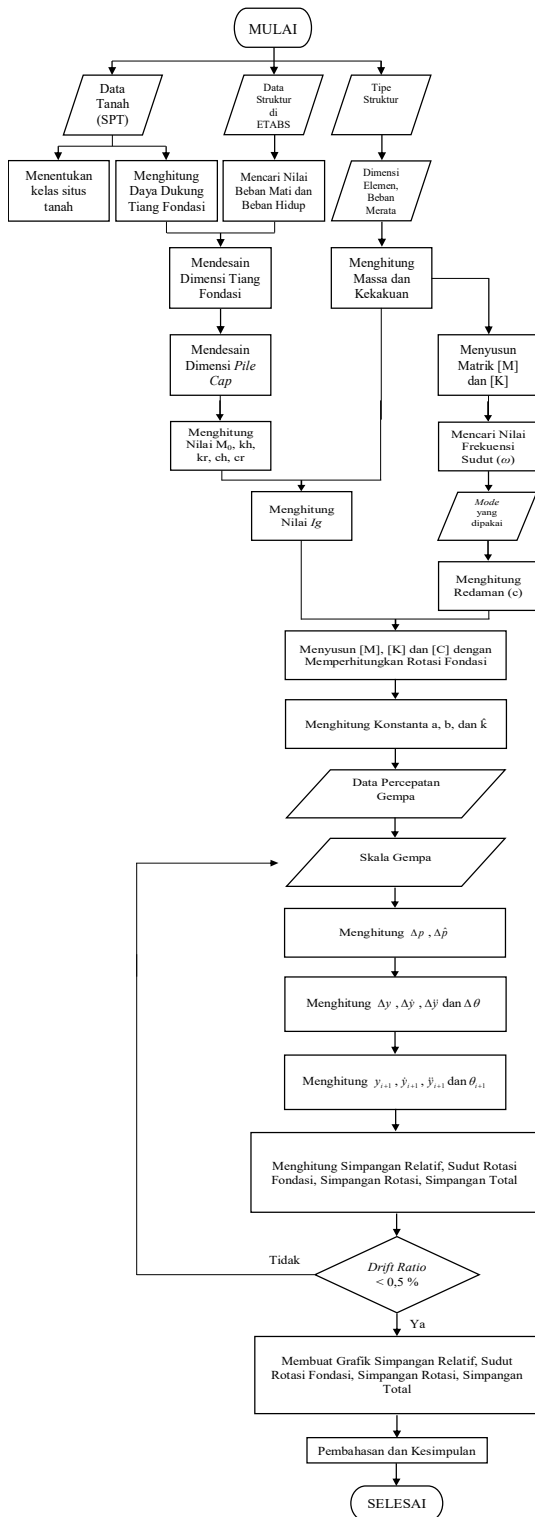
Beban Gempa	A maks (cm/dt ²)	V maks (cm/dt)	A/V Rasio (g/m/dt)
EL Centro Rend.	210.915	29.229	0.736
El Centro Men.	307.053	29.602	1.057
Manjil	505.215	21.331	2.053

Skala yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Skala EL Centro frek. Rendah = 0,33
2. Skala EL Centro frek. Menengah = 0,23
3. Skala gempa frek. Manjil = 0,14

Bagan Alir

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan respon struktur meliputi simpangan relatif maksimum, simpangan rotasi maksimum dan simpangan total maksimum. Kombinasi yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Kombinasi 1 (Fleksibel)

$$K_h = 1,36E+08 \text{ kg/m}, K_r = 9,46E+09 \text{ kgm/rad}$$

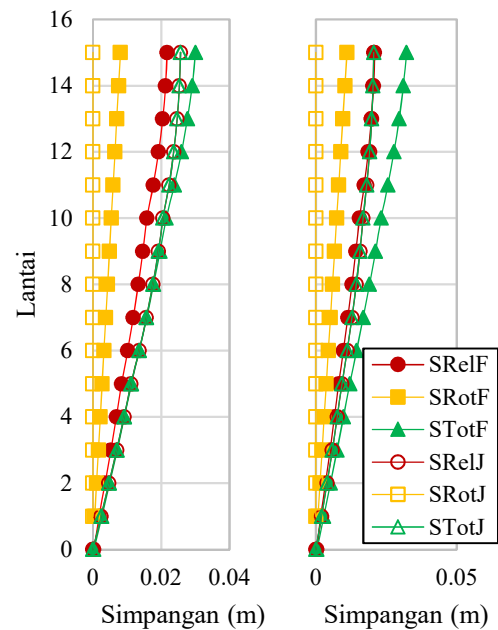
$$C_h = 1,01E+06 \text{ kgdt/m}, C_r = 1,19E+07 \text{ kgmdt/rad}$$

2. Kombinasi 2 (Jepit)

$$K_h = 1,36E+25 \text{ kg/m}, K_r = 9,46E+25 \text{ kgm/rad}$$

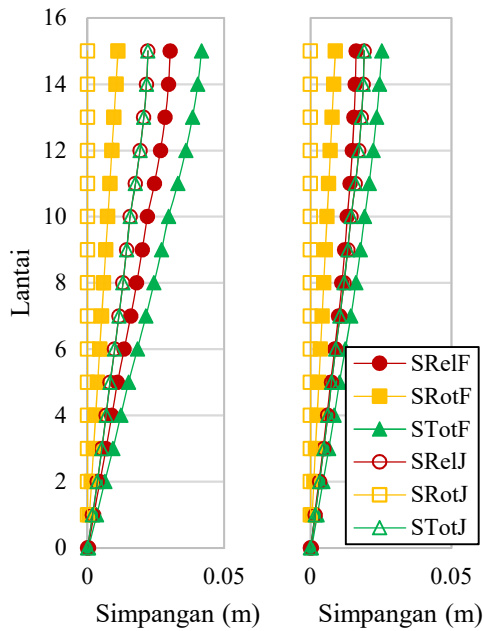
$$C_h = 1,01E+06 \text{ kgdt/m}, C_r = 1,19E+07 \text{ kgmdt/rad}$$

Simpangan



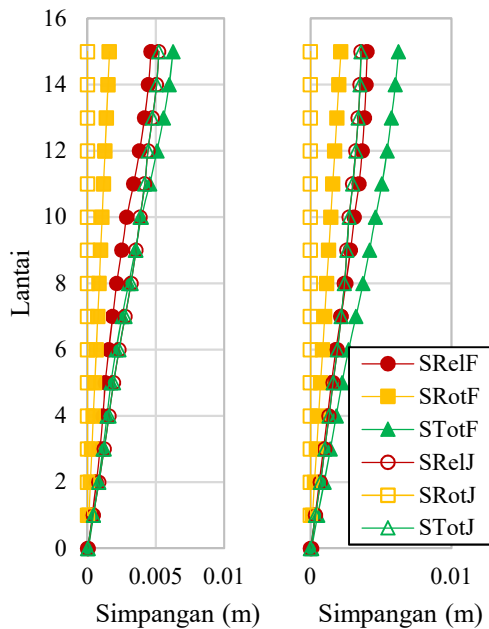
A. Struktur Open Frame B. Struktur Bra. X

Gambar 6 Grafik Simp. Relatif Maks. Struktur 15 Tk. akibat Gempa EL Centro frek. Rendah



A. Struktur Open Frame B. Struktur Bra. X

Gambar 7 Grafik Simp. Relatif Maks. Struktur 15 Tk. akibat Gempa EL Centro frek. Menengah



A. Struktur Open Frame B. Struktur Bra. X

Gambar 8 Grafik Simp. Relatif Maks. Struktur 15 Tk. akibat Gempa Manjil

Dari Gambar 6 sampai 8 didapatkan struktur dengan bracing X tidak terlalu berpengaruh terhadap simpangan yang terjadi. Hal ini dikarenakan penggunaan bracing akan berdampak pada nilai kekakuan struktur yang besar dibandingkan dengan open frame. Pada struktur yang lebih kaku kemungkinan terjadinya rotasi fondasi akan menjadi lebih besar yang akan berdampak pada simpangan rotasi yang besar juga sehingga simpangan total akan sangat besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Pada saat fondasi asumsi jepit akan memberikan dampak yang lebih besar dibandingkan dengan fondasi asumsi fleksibel. Kekakuan dan redaman horizontal interaksi antara fondasi dengan tanah sangat berpengaruh pada simpangan relatif sedangkan kekakuan dan redaman rotasi interaksi antara fondasi dengan tanah sangat berpengaruh pada rotasi fondasi, simpangan rotasi, simpangan total.
2. Penggunaan *bracing* memberikan dampak pada fondasi mengalami rotasi lebih besar dikarenakan kekakuan struktur bertambah, sehingga akan memberikan dampak pada simpangan rotasi dan simpangan total.
3. Gempa EL Centro (frek. rendah) akan memberikan respon struktur yang lebih besar dibandingkan dengan gempa EL Centro (frek. menengah) dan gempa Manjil (frek. tinggi).

Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian dengan memperhitungkan kekakuan vertikal, kekakuan torsi, redaman vertikal dan kekakuan torsi interaksi antara fondasi dengan tanah.
2. Perlu dilakukan penelitian pada struktur 3 dimensi dengan melibatkan arah X dan Y.

3. Perlu dilakukan penelitian pengaruh kedalaman muka air tanah terhadap respon struktur.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan tipe *bracing* yang berbeda.
5. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi gempa (dari segi *Peak Ground Acceleration*, mekanisme terjadinya gempa, magnitude gempa, kedalaman gempa, kondisi geologi rambatan gelombang gempa, jarak episenter, kondisi tanah setempat) yang lebih banyak lagi.
6. Perlu dilakukan penelitian dengan *bracing* anti tekuk.
7. Perlu dilakukan penelitian pengaruh durasi total dan durasi efektif terhadap respon struktur.
8. Perlu dilakukan penelitian dengan struktur yang sama pada tanah yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, W. dan Hariyanto, 2000, "Analisis Bracing pada Desain Struktur Baja Tahan Gempa dengan Strong Column Weak Beam", *Tugas Akhir*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Prakash, S. dan Sharma, H.D, 1990, "*Pile Foundations in Engineering Practice*", John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Wibowo, I. dan Auzzami, H, 2003, "Pengaruh Penggunaan Pengaku (Bracing) Terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Banyak dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi", *Tugas Akhir*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Widodo, 2012, "*Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*", Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Widodo, 2017, "*Analisis Dinamika Struktur*", Pustaka Pelajar, Yogyakarta.