

Diterima : 18 Mei 2023 | Selesai Direvisi : 08 Juni 2023 | Disetujui : 09 Juni 2023 | Dipublikasikan : Juli 2023

DOI : <http://dx.doi.org/10.24853/jk.14.2.119-127>

Copyright © 2023 Jurnal Konstruksia

This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Studi Variasi Perletakan pada Respon Seismik Bangunan 17 Lantai

Pranowo Rahayu¹, dan Widodo Pawirodikromo¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia (UII), Jl. Kaliurang, Sleman, Yogyakarta 55584

Email korespondensi: omprans@yahoo.com

ABSTRAK

Desain dan analisis bangunan tinggi yang dikenakan beban lateral gempa sangat penting pada daerah yang rawan potensi terjadinya gempa bumi. Pada desain struktur tahan gempa, respons struktur tidak dapat dihitung secara pasti, kecuali metode penyaluran beban dari tanah ke struktur telah ditentukan. Pada saat ini, asumsi yang sering digunakan, ialah kuat getaran bebas dapat diaplikasikan langsung pada dasar bangunan. Struktur diasumsikan terjepit kaku sempurna atau tak terhingga pada dasar pondasi. Asumsi ini diambil pada analisis MDOF. Kondisi tanah pada jenis tanah bisa lunak atau kaku, tetapi tidak kaku tak terhingga. Struktur gedung yang berada diatas tanah yang dikenakan gaya gravitasi tidak diperuntukkan menahan dari terjadinya rotasi pada pondasi. Analisis respon yang lebih akurat dapat dicapai ketika tanah dimodelkan sebagai material yang fleksibel dan tidak diasumsikan sebagai material yang kaku tak terhingga.

Kata kunci: Gempa, Tumpuan pegas, tumpuan jepit, Interaksi tanah struktur, karakteristik dinamik.

ABSTRACT

The design and analysis of high-rise buildings subjected to earthquake lateral loads is very important in areas prone to earthquakes. In the design of earthquake-resistant structures, the response of the structure cannot be calculated with certainty, unless the method of transmitting the load from the soil to the structure has been determined. At this time, the assumption that is often used, is that the free vibration strength can be applied directly to the base of the building. The structure is assumed to be perfectly or infinitely fixed to the base of the foundation. This assumption is taken in the MDOF analysis. Soil conditions on this type of soil can be soft or stiff, but not infinitely rigid. The structure of the building which is above the ground which is subject to gravity is not intended to resist the rotation of the foundation. A more accurate response analysis can be achieved when the soil is modeled as a flexible material and not assumed to be infinitely rigid.

Keywords: Earthquake, Spring bearing, Fixed bearing, Soil structure interaction, dynamic characteristics

1. PENDAHULUAN

Pemodelan perletakan pada bangunan tinggi dipengaruhi oleh karakteristik dinamik, respon struktural dan juga volume material dari disain struktur yang dihasilkan. Perencana struktur bangunan, pada umumnya terbiasa atau lebih baik

untuk memodelkan struktur atas dengan perletakan jepit yaitu menganggap pondasi sebagai sistem yang sangat kaku, sementara pada perencana pondasi dalam memodelkan suatu pondasi tanpa mempertimbangkan pengaruh dari struktur atas. Padahal dari kenyataan,

pergerakan pondasi sering kali menjadi faktor penting dalam struktur dan akan memberikan model yang lebih realistis yaitu tidak benar-benar terjepit/kaku sebagaimana asumsi yang umum digunakan pada saat struktur bangunan didesain. Analisa yang akan dilakukan ialah dengan mempertimbangkan nilai kekakuan tanah, rotasi pada pondasi, juga redaman

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan karakteristik dinamik dan respon struktur antara lain periode getar bangunan, simpangan bangunan, gaya geser dasar serta berat tulangan dari desain struktur bangunan dengan jenis perletakan jepit dan fleksibel (pegas).

Hipotesis penelitian ini adalah pemodelan dengan model perletakan jepit akan menghasilkan kekakuan bangunan yang besar dan dianggap paling konservatif dalam penyebaran gaya dalamnya sehingga berat tulangan yang dibutuhkan akan menjadi lebih besar untuk komponen struktur dibandingkan dengan model perletakan fleksibel (pegas), juga beberapa keluaran kinerja struktur akan dibandingkan seperti, periode getar bangunan, Nilai simpangan yang terjadi, dan gaya geser dasar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem struktur bangunan yaitu berupa Sistem Rangka Pemikul Momen dimana sistem ini keseluruhan beban lateral akan ditahan oleh rangka gaya geser dasar nominal dan juga jumlah respon ragam yang disuperposisikan dapat dibatasi dengan syarat partisipasi massa yang menghasilkan respon total mencapai minimal 90% (Chopra, 1995). Untuk struktur bangunan tinggi yang didesain menggunakan analisa dinamik dengan menggunakan respon spektrum, harus dihitung berdasarkan SNI 1726-2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.

Getaran vertikal

Novak (1977a) menentukan variasi amplitudo dan fase dengan:

- Kedalaman relatif z/l
- Rasio kelangsingan l/r_0
- Rasio kecepatan gelombang V_s/v_c
- Rasio frekuensi a_0 , untuk $v = 0.5$
- Rasio kerapatan $\rho/\rho_p = 0.7$, untuk tiang beton bertulang
- Rasio kecepatan gelombang geser $V_b/V_s = 1$ dan 10.000 yang mencirikan masing-masing tiang apung dan tiang penyangga ujung. Redaman internal dari tiang telah diabaikan.

Bagian ini menunjukkan bahwa:

- Kondisi tip sangat penting pada tanah yang lemah (V_s/v_c kecil), bahkan tiang yang sangat panjang dapat bergetar hampir seperti benda yang kaku.
- Hanya bagian atas tiang yang mengalami perpindahan yang signifikan ke dalam tanah yang kaku.

Peningkatan pergeseran fase merupakan indikasi peningkatan redaman. Dalam desain tiang-didukung pijakan dan struktur, kekakuan dan konstanta redaman dari sistem tanah-pile pada bagian kepala tiang diperlukan. Memiliki jumlah yang ditentukan, prosedur yang tersisa sama seperti ujung tiang.

Kekakuan kompleks sama dengan gaya yang menghasilkan perpindahan dinamis kepala tiang pada frekuensi tertentu. maka:

$$K_w = -N(0) \quad (1)$$

$$N(z) = \frac{E_p A d w(z)}{dz} \quad (2)$$

Dengan mengganti $z = 0$, maka diperoleh kekakuan kompleks sebagai berikut:

$$K_w = \frac{E_p A}{l} F_w(\Lambda) \quad (3)$$

$$F_w(\Lambda) = -\Lambda C(\Lambda) = F_w(\Lambda)_1 + i F_w(\Lambda)_2 \quad (4)$$

Konstanta kekakuan k_w dari satu tiang dapat ditulis ulang sebagai

$$k_w^1 = \frac{E_p A}{r_0} f_{w1} \quad (5)$$

Konstanta ekuivalen redaman dari satu tiang adalah $E_p A F_w(\Lambda)_2 / (l \omega)$, yang tertulis sebagai berikut:

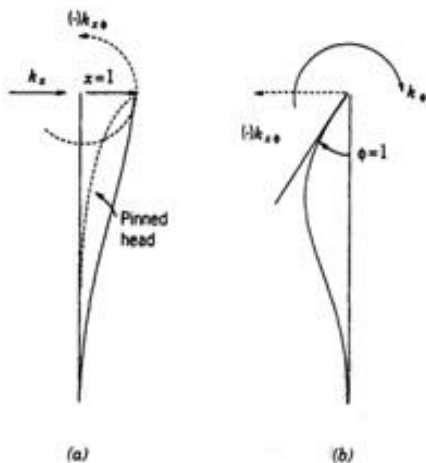
$$c_{w_s}^1 = \frac{E_p A}{V_s} f_{w2} \quad (6)$$

Getaran lateral

Novak (1974) telah menurunkan kekakuan lateral dan konstanta redaman untuk tiang tunggal dengan konstanta modulus tanah terhadap kedalaman. Dia menganggap (1) translasi saja, Gambar 1a, (2) rotasi saja, Gambar 1b, dan (3) rotasi gabungan dan translasi. Novak dan El-Sharnouby (1983) memperluas solusi ini untuk memasukkan variasi parabola modulus geser tanah juga. Persamaan (5) hingga (10) meringkas koefisien kekakuan dan redaman.

Konstanta kekakuan translasi.

$$k_x^1 = \frac{E_p I_p}{r_0^3} (f_{x1}) \quad (7)$$



Gambar 1. kekakuan Lateral Tiang pada Arah Individual: (a) Horizontal, (b) Rotasi (Novak dan El-Sharnouby, 1983)

Konstanta redaman Translasi,

$$c_x^1 = \frac{E_p I_p}{r_0^2 V_s} (f_{x2}) \quad (8)$$

konstanta kekakuan rotasi,

$$k_\phi^1 = \frac{E_p I_p}{r_0} (f_{\phi1}) \quad (9)$$

konstanta redaman rotasi,

$$c_\phi^1 = \frac{E_p I_p}{V_s} (f_{\phi2}) \quad (10)$$

konstanta kekakuan silang,

$$k_{x\phi}^1 = \frac{E_p I_p}{r_0^2} f_{(x\phi1)} \quad (11)$$

konstanta redaman silang,

$$c_{x\phi}^1 = \frac{E_p I_p}{r_0 V_s} f_{(x\phi2)} \quad (12)$$

dengan $f_{w1} = \frac{F_w(\Lambda)_1}{l/r_0}$, $f_{w2} = \frac{F_w(\Lambda)_2}{a_0 l/r_0}$, E_p = Modulus Young tiang, r_0 = diameter tiang, A = Luas penampang tiang, I_p = momen inersia penampang tiang, V_s = kecepatan gelombang geser dalam tanah, V_c = kecepatan gelombang longitudinal pada tiang, f = konstanta

Getaran vertikal pada kelompok tiang

Novak dan Grigg (1976) mengusulkan bahwa faktor defleksi Poulos untuk aksi grup tiang yang dibebani secara statis berdasarkan analisis elastis juga dapat diterapkan pada sebuah kelompok tiang yang mengalami vibrasi keadaan stabil. Oleh karena itu, kekakuan kelompok tiang k_w^g dapat diperoleh dari persamaan (13):

$$k_w^g = \frac{\sum_1^n k_w^1}{\sum_1^n \alpha_A} \quad (13)$$

Rasio redaman geometris ekuivalen untuk grup diberikan

$$c_w^g = \frac{\sum_1^n c_w^1}{\sum_1^n \alpha_A} \quad (14)$$

Jika pile cap tidak bersentuhan dengan tanah, persamaan (13) dan (14) dapat digunakan secara langsung untuk menghitung respon kelompok tiang dalam getaran vertikal. Penanaman pile cap mengakibatkan peningkatan nilai kekakuan dan redaman dari kelompok tiang.

Novak dan Beredugo (1972) telah mengembangkan cara untuk menghitung kekakuan dan konstanta redaman geometris untuk pondasi tertanam yang dapat diterapkan pada pile cap. Ini ditambahkan ke nilai kekakuan dan redaman yang diperoleh dalam persamaan (13) dan (14). Jumlah dari dua nilai kekakuan dan redaman memberikan kekakuan sistem total dan redaman untuk sekelompok tiang. Kekakuan (k_w^f) dan nilai redaman (c_w^f) akibat gesekan samping dari pile cap [5]:

$$k_w^f = G_s h \bar{S}_1 \quad (15)$$

$$c_w^f = hr_0 \bar{S}_2 \sqrt{G_s \rho_s} \quad (16)$$

dengan n = jumlah tiang, α_A = faktor interaksi perpindahan aksial untuk tiang yang relatif tipikal dalam grup terhadap dirinya sendiri dan semua tiang lain dalam kelompok dengan asumsi referensi tiang dan semua tiang lainnya memikul beban yang sama, h = kedalaman penanaman tutup, r_0 = jari-jari tutup yang setara, G_s dan ρ_s = modulus geser dan kerapatan massa total timbunan dan \bar{S}_1 dan \bar{S}_2 adalah konstanta dan masing-masing adalah 2,70 dan 6,70.

Getaran lateral pada kelompok tiang

Pada getaran lateral, kekakuan dan redaman untuk kelompok tiang diberikan oleh

$$k_x^g = \frac{\sum_1^n k_x^1}{\sum_1^n \alpha_L} \quad (17)$$

Dan

$$c_x^g = \frac{\sum_1^n c_x^1}{(\sum_1^n \alpha_L)} \quad (18)$$

dengan α_L = faktor perpindahan untuk translasi lateral.

Untuk getaran vertikal, pegas bernilai k_x^f dan redaman c_x^f karena translasi pile cap yaitu:

$$k_x^f = G_s h \bar{S}_{x1} \quad (19)$$

Dan

$$c_x^f = hr_0 \sqrt{G_s \rho_s \cdot \bar{S}_{x2}} \quad (20)$$

dengan h = kedalaman pemancangan, r_0 = ekuivalen jari-jari dari cap, G_s dan ρ_s = modulus geser dan kerapatan massa total timbunan, \bar{S}_{x1} dan \bar{S}_{x2} = konstanta

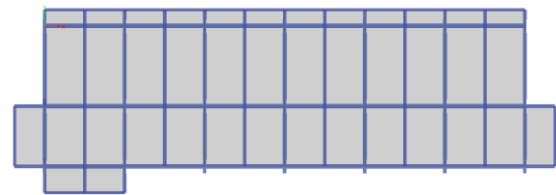
Kekakuan total dan nilai redaman total merupakan penjumlahan dari persamaan (17) dan (18) dan (19) dan (20), masing-masing sebagai:

$$\text{Total } k_x^g = k_x^g + k_x^f \quad (21)$$

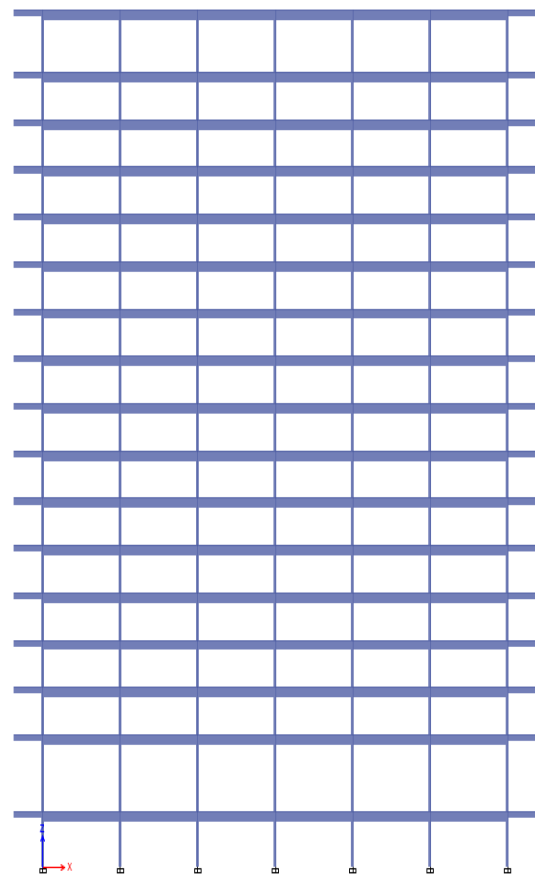
3. METODE PENELITIAN

Jenis bangunan yang dimodelkan adalah struktur bangunan apartemen & condotell 17 lantai tanpa basement dengan luas 48 m x 15.55 m, tinggi lantai dasar yaitu 4 m, tinggi lantai dua 5.5 m, lantai tiga hingga

lantai enam belas 3,4 m dan lantai tujuh belas 4.5 m. Layout bangunan adalah sebagai berikut:



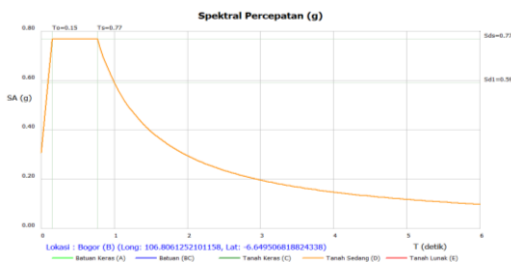
Gambar 1. Layout Bangunan



Gambar 2. Potongan Bangunan

Beban gravitasi pada struktur yang digunakan sesuai dengan SNI 1727-2020 yaitu beban mati dan beban hidup. Beban mati yaitu berat jenis beton bertulang (24 kN/m³), mortar + penutup lantai (1,08 kN/m²), MEP + ceiling (0,25 kN/m²), dinding bata (1,5 kN/m²). Sedangkan untuk beban hidup yaitu beban lantai rumah tinggal (1,92 kN/m²).

Beban lateral yang berasal dari gempa bumi yang digunakan yaitu sesuai dengan SNI 1726- 2019, dimana jenis tanah di wilayah Bogor merupakan tanah sedang yang termasuk kategori SD dengan faktor keutamaan gedung (I_e) yaitu 1,0. Sedangkan parameter percepatan gempa untuk wilayah Bogor seperti parameter respon spektral percepatan gempa ($S_s = 1,080g$ dan $S_1 = 0,4896g$), koefisien situs ($F_a = 1,068$ dan $F_v = 1,810$), dan parameter percepatan spektral desain ($S_{DS} = 0,769$ dan $S_{D1} = 0,591$). Faktor reduksi (R) untuk struktur bangunan dengan sistem rangka pemikul momen menggunakan nilai 8 (SRPMK). Grafik respon spektrum yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 3. Respon Spektrum Wilayah Bogor

Kombinasi pembebanan untuk mendapatkan tulangan dari struktur atas yaitu dengan menggunakan kombinasi pembebanan seperti dibawah ini.

- (1) U 1 : 1,4DL
- (2) U 2 : 1,2DL + 1,6LL
- (3) U 3a : (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1LL + 1SpecX + 0,3SpecY
- (4) U 3b : (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1LL + 0,3SpecX + 1SpecY
- (5) U 4a : (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 1SpecX + 0,3SpecY
- (6) U 4b : (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3SpecX + 1SpecY

Setelah mendapatkan jumlah pancang (45 x 45 cm) dari kombinasi pembebanan untuk pondasi diatas, tahap selanjutnya yaitu menghitung nilai dari konstanta pegas *group pile* berdasarkan rumusan perhitungan konstanta pegas vertikal, horizontal, serta rotasi dari *group* untuk masing-masing *group pile* pada kolom (K pegas equivalen). Nilai dari konstanta pegas dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** dibawah.

Tabel 1. Nilai Konstanta Pegas

No	G	Konstanta Pegas Vertikal							Konstanta Pegas Horizontal				Konstanta Rotasi				
		Kekakuan tiang vertikal	Kekakuan grup vertikal	Kekakuan tiang vertikal pilecap	Total kekakuan vertikal	Kw	Cw	$\sum K$	$\sum C$	Kxg	Cxg	Kx	Cx	$K\phi$	C		
1	P	20	4,8	349	8,2	14	4,4	364	1	975	7,1	85	4,2	10	11,	124	30
	C	74,	71	8,2	14	8,2	00	6,4	2,	,05	97	,2	851	60,	482	736	53
	4	46	38	467	81	22	80	696	6	791	13	60	824	31	313	43,	7,
		03	45	61				33	1	14		32	88			55	42

N o r o u p	G	Konstanta Pegas Vertikal							Konstanta Pegas Horizontal						Konstanta Rotasi			
		Kekakuan tiang vertikal		Kekakuan tiang grup vertikal		Kekakuan pilecap vertikal		Total kekakuan vertikal	Kekakuan horizontal		Kekakuan horizontal pilecap		Total kekakuan horizontal	Total Kekakuan Rotasi				
K	Cw	kw	cw	Kw	Cw	ΣK	ΣC	Kxg	Cxg	Kx	Cxf	Kx	Cx	Kφ	C			
w1	1	g	g	f	f	wg	C	(t/in)	(t-sec/in)	f	(t-sec/in)	(t/in)	(t-sec/in)	g	φg			
(t/in)	(t-sec/in)	(t/in)	(t-sec/in)	(t/in)	(t-sec/in)	(t/in)	wg	(t-sec/in)	(t-sec/in)	(t/in)	(t-sec/in)	(t/in)	(t-sec/in)	(t/in)	sec/in			
			37	87	81		5		05				82					
			3	2	7		6		1				3					
2	P	20	4,8	390	9,1	14	2,0	404	1	121	8,9	85	1,9	13	10,	292	70	
	C	74,	71	1,4	61	8,2	35	9,6	1,	8,8	96	,2	821	04,	978	154	54	
		7	46	38	568	65	22	66	796	1	223	41	60	831	08	596	91,	6,
		03	45	25	81	87	77	97	9	89	31	32	9	27	33	49	82	
					9	2	9		7		4			1				
									3									

Sesuai dengan nilai konstanta pegas yang telah didapatkan, maka nilai-nilai tersebut diinput kedalam pemodelan dengan perletakan pegas/spring.



Gambar 4. Potongan Bangunan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan periode getar, simpangan, dan *base shear* untuk masing-masing model dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 2. Perbandingan Periode Getar, Simpangan dan *Base Shear*

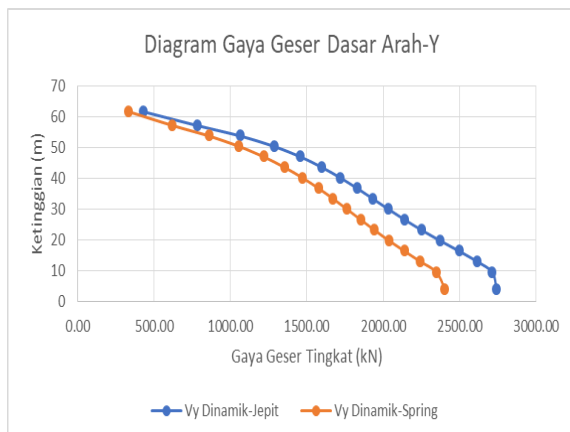
Jenis Perletakan	Periode Getar		Simpangan		Base Shear	
	M _{od 1}	M _{od 2}	Ara h-x	Ara h-y	V _x	V _y
	[x]	[y]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
Jepit	3.	2.	121.	115.	217	274
	90	87	157	972	8.2	1.37
	2	2				
Pegas/spring	4.	3.	96.3	139.	134	240
	66	40	06	976	0.39	4.17
	4	9				

Pada 2 diatas, dari semua model didapatkan bahwa mode 1 terjadi translasi dalam arah X, mode 2 terjadi translasi dalam arah Y dan mode 3 terjadi torsi dalam arah Z. Berdasarkan data diatas maka periode getar terbesar merupakan struktur yang lebih fleksibel yaitu model dengan perletakan pegas/spring diikuti jepit.

Perbandingan gaya geser dasar dan gaya gempa antar lantai yang terjadi pada masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 5 sampai dengan **Error! Reference source not found.** dibawah ini.



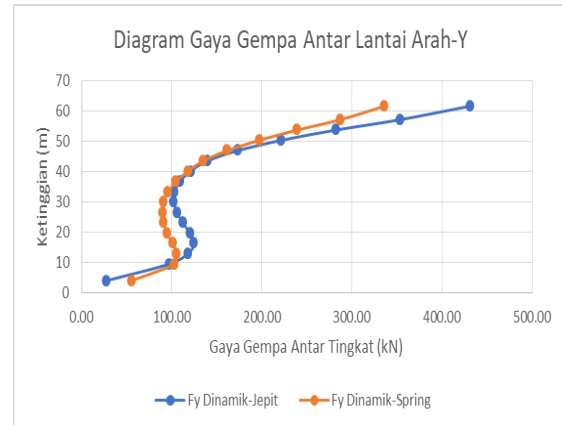
Gambar 5. Gaya Geser Tingkat Arah X Model Jepit



Gambar 6. Gaya Geser Tingkat Arah Y Model Jepit



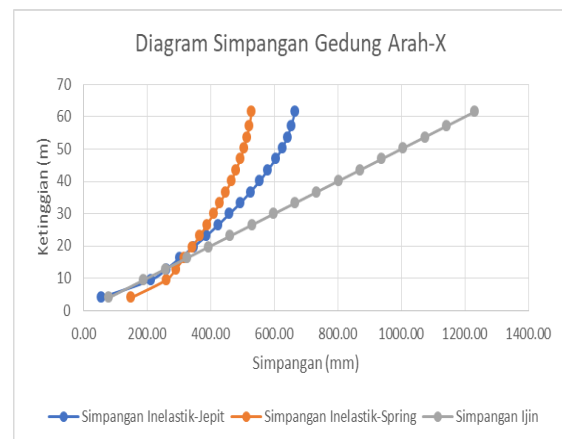
Gambar 7. Gaya Gempa Antar Tingkat Arah X Model Jepit



Gambar 8. Gaya Gempa Antar Tingkat Arah Y Model Jepit

Pada Gambar 5 sampai dengan **Error! Reference source not found.** diatas, perbandingan gaya geser tingkat arah X dan Y untuk model dengan perletakan jepit memberikan gaya geser tingkat yang lebih besar daripada model dengan perletakan pegas/spring. Hal ini dikarenakan jenis perletakan jepit lebih kaku dari pada jenis perletakan pegas/spring.

Perbandingan simpangan antar lantai yang terjadi pada masing-masing model dapat dilihat pada Gambar sampai dengan **Error! Reference source not found.** dibawah ini.

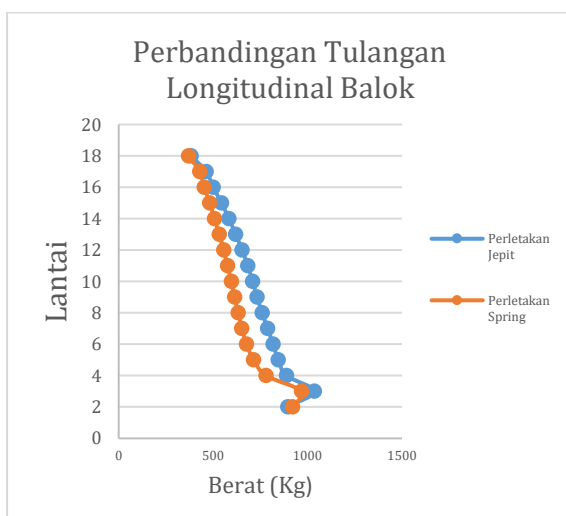


Gambar 10. Simpangan Antar Lantai Arah X Model Jepit

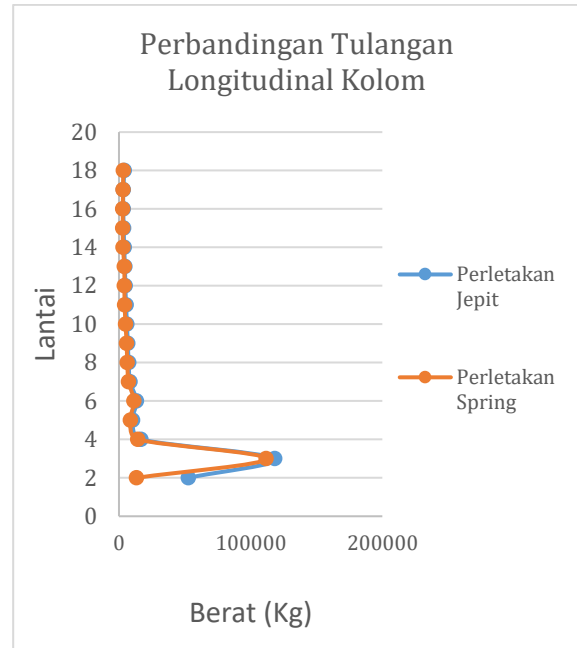


Gambar 11. Simpangan Antar Lantai Arah Y Model Jepit

Pada Gambar sampai dengan **Error! Reference source not found.** diatas, simpangan antar lantai arah X untuk model dengan perletakan jepit memberikan nilai simpangan yang lebih kecil daripada model dengan perletakan pegas/spring, sebaliknya simpangan antar lantai arah Y untuk model dengan perletakan jepit memberikan nilai simpangan yang lebih besar daripada model dengan perletakan pegas/spring. Perbandingan berat tulangan longitudinal balok dan tulangan longitudinal kolom yang didapat untuk masing-masing model dapat dilihat pada Gambar dan Gambar dibawah ini.



Gambar 12. Perbandingan Berat Tulangan Longitudinal Balok



Gambar 13. Perbandingan Berat Tulangan Longitudinal Kolom

Pada Gambar dan Gambar diatas, memperlihatkan bahwa untuk tulangan longitudinal balok dan kolom dengan model perletakan jepit lebih besar dari pada model perletakan pegas/spring, Hal ini disebabkan gaya geser tingkat yang dipikul oleh balok dan kolom perletakan jepit lebih besar sehingga momen yang terjadi pun lebih besar daripada perletakan pegas/spring.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan pengaruh yang signifikan pada interaksi tanah struktur, yang didukung oleh pondasi tiang. Studi ini mengarah pada kesimpulan sbb:

- Periode Getar pada pemodelan dengan SSI lebih besar daripada dalam kondisi jepit, hal ini menunjukkan kekakuan pondasi yang lebih kecil dikarenakan ditahan oleh Tiang yang nilai kekakuannya berdasarkan kondisi tanah.
- Gaya Gempa yang terjadi pada struktur dengan SSI lebih kecil daripada struktur dalam kondisi terjepit. Ini bisa terjadi ketika respon

- pada tiang mempengaruhi struktur atas bangunan.
- c. Simpangan struktur yang terjadi pada arah X kondisi dengan SSI lebih kecil bila dibandingkan dengan kondisi terjepit.
 - d. Parameter-parameter *Spring* Konstanta yang dipakai, sangat dipengaruhi oleh data lapangan maupun data Lab, sehingga diperlukan kehati-hatian dan keakuratan dalam mengerjakan penyelidikan tanah.
 - e. Volume besi tulangan dalam kondisi *spring/pegas* lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi terjepit, dikarenakan gaya geser dasar tumpuan *spring/pegas* lebih kecil dibandingkan tumpuan terjepit.

- [7] Rajib Saha . 2012, "Seismic Response Of Soil-Pile Raft Structure System" Journal Of Civil engineering and Management, India.
- [8] Saha, Rajib. 2013, "Influence Of SSI on pile raft Structure system : An experimental Study". International Symposium on Advances in foundation Engineering. India
- [9] Shukla, S, J. 2013, "A Dynamic behavioural study of 25 storey Building with piled raft Foundation with variable Subsoils". International Journal of structural and civil engineering research, India.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chaudhari,R. R. 2013, "Effect of piled raft design on High Rise Building considering Soil Structure Interaction", International Journal of Scientific and technology research Vol 2, India.
- [2] El-Garhy, Basuony. 2014, "Effect Of Different parameters on the Behaviour of Uniformly Loaded piled rafts",Journal of engineering and Technology research, Tabuk, KSA.
- [3] Gazetas, G. 2000, "Seismic Soil Structure Interaction Beneficial or Detrimental". Journal of earthquake Engineering, New york, USA .
- [4] Mahadev swamy, R. 2019, "Effect of soil structure Interaction on response of Building Frame wit Piled-raft Foundation". International Research Journal of engineering and Technology. India.
- [5] Prakash, Sharma 1990 "Pile Foundations In Engineering Practice" John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Prakoso, W. 2014, "Pengaruh Pemodelan Perletakan pada Respon Seismik Bangunan Tinggi" Jurnal Universitas Indonesia, Jakarta.