

STUDI PERILAKU TIANG AKIBAT INTERAKSI STRUKTUR DAN TANAH PADA BANGUNAN GEDUNG

Charles¹, Hendy Wijaya², dan Amelia Yuwono³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
charles.325170117@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
hendyw@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
ameliauwono@yahoo.com

Masuk: 18-01-2022, revisi: 11-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

ABSTRACT

The interaction between pile foundation and soil results a bearing capacity that allows the superstructure to be securely maintained. The interaction impact of the soil structure can lead to more accurate analysis, especially on structure's ability to endure seismic forces. Therefore, the pile foundation must be idealized as a multilinear spring support in order to analyze the interaction of the soil structure. The Midas GTS NX and Midas GEN programs were used to examine the impact of soil structure interactions. The program requires data such as superstructure models, soil factors, pile specifications, and pile bearing capacity. The z-direction deformation (-11,112 mm) and axial force (-2207,914 kN) on the C19-3 pile are both greater than in the corner and edge pile sites under gravity load condition. The z-direction deformation (2,909 mm) and the axial force (587,850 kN) on the C2-2 pile are both greater than in the corner and center pile sites under the x-direction static earthquake load condition. The z-direction deformation (2,909 mm) on the C4-6 pile and the axial force (587,850 kN) on the C4-7 pile are both greater than at the edge and center pile sites under the y-direction static earthquake load condition.

Keywords: pile; soil-structure interaction; springs

ABSTRAK

Interaksi antara fondasi tiang dengan tanah menghasilkan daya dukung yang dapat mempertahankan kondisi struktur atas dengan aman. Efek interaksi struktur tanah dapat menghasilkan analisis yang lebih akurat terutama pada kapasitas struktur dalam menahan gaya gempa. Oleh karena itu dalam analisis interaksi struktur tanah, fondasi tiang perlu diidealisasikan sebagai tumpuan pegas multilinear. Analisis efek interaksi struktur tanah dilakukan menggunakan program Midas GTS NX dan Midas GEN. Data yang diperlukan seperti permodelan struktur atas, parameter tanah, spesifikasi tiang, dan daya dukung tiang dimasukkan ke dalam program. Pada kondisi pembebanan gravitasi di tiang C19-3, deformasi arah z (-11,112 mm) dan gaya aksial (-2207,914 kN) kedua nilainya lebih besar daripada di lokasi tiang pojok maupun pinggir. Pada kondisi pembebanan gempa statik arah x di tiang C2-2, deformasi arah z (2,909 mm) dan gaya aksial (587,850 kN) kedua nilainya lebih besar daripada di lokasi tiang pojok maupun tengah. Pada kondisi pembebanan gempa statik arah y, deformasi arah z (2,909 mm) di tiang C4-6 dan gaya aksial (587,850 kN) di tiang C4-7 kedua nilainya lebih besar daripada di lokasi tiang pinggir maupun tengah.

Kata kunci: tiang; interaksi struktur tanah; pegas

1. PENDAHULUAN

DKI Jakarta sebagai kota terpadat di Indonesia memerlukan pembangunan infrastruktur yang dapat menunjang aktivitas masyarakatnya sehari-hari. Pembangunan infrastruktur dapat berupa jalan, jembatan, jaringan listrik, akses transportasi, saluran irigasi, bangunan gedung, dan lain-lain. Salah satu infrastruktur yang paling sering ditemui di Jakarta adalah bangunan gedung.

Bangunan gedung pada umumnya terdiri dari dua bagian utama yaitu struktur atas dan struktur bawah. Struktur bawah yaitu fondasi yang berinteraksi langsung dengan tanah berfungsi untuk menopang struktur atas yang terdiri dari kolom, balok, pelat lantai, dan dinding geser serta beban hidup, beban dinamik dan beban gempa. Selain itu, fungsi fondasi

adalah untuk mentransfer beban aksial dan lateral ke lapisan tanah yang cukup keras. Fondasi yang umumnya digunakan untuk bangunan gedung di Jakarta yaitu fondasi tiang. (Bowles, 1991)

Fondasi tiang merupakan jenis fondasi yang banyak digunakan untuk membangun gedung bertingkat. Fondasi ini juga dapat digunakan untuk bangunan gedung yang tanahnya mudah tergerus air. Jenis fondasi tiang yaitu fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor. Fondasi tiang pancang dibuat dengan memancang tiang ke dalam tanah dengan kedalaman tertentu menggunakan alat berat. Sementara fondasi tiang bor dibuat dengan beton bertulang yang dicor di tempat menggunakan peralatan bor manual maupun dengan mesin. (Kurniawan, Wijaya, & Yuwono, 2021)

Interaksi antara fondasi tiang dengan tanah menghasilkan daya dukung yang dapat menopang dan mempertahankan kondisi struktur atas. Oleh karena itu, perencanaan fondasi tiang yang kuat dan efisien diperlukan agar mampu menahan beban aksial dan lateral. Kondisi tanah dengan struktur lapisan yang berbeda membuat interaksi fondasi dengan tanah menjadi tidak linear sehingga sulit untuk menganalisis permasalahan sebenarnya. Selain itu, umumnya digunakan asumsi bahwa fondasi tiang dapat diidealisasikan dengan kondisi terjepit kaku, sehingga mengabaikan efek dari interaksi struktur tanah. Padahal, efek interaksi struktur tanah dapat menghasilkan analisis yang lebih akurat dan juga performa struktur yang lebih baik terutama pada kapasitas struktur dalam menahan gaya gempa. Maka dalam analisis interaksi tanah-struktur, fondasi tiang perlu diidealisasikan sebagai tumpuan pegas multilinear. Oleh sebab itu, diperlukan analisis dengan bantuan program. (Arman, 2021)

Untuk menganalisis interaksi antara fondasi tiang dengan tanah, digunakan program berbasis geoteknik dan analisis struktur yaitu Midas GTS NX dan Midas GEN. Program ini dapat menganalisis perilaku fondasi tiang terhadap tanah dengan permodelan dan parameter kondisi sesungguhnya. (Alvi, 2021)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besaran *displacement* dan gaya dalam fondasi tiang akibat *soil structure interaction* pada bangunan gedung menggunakan program Midas GTS NX dan Midas GEN. Adapun batasan dari penelitian ini meliputi: lokasi data tanah di Tangerang, Banten, permodelan tanah, tiang, dan struktur atas menggunakan program Midas GTS NX dan Midas GEN, dimensi penampang tiang 50 cm x 50 cm, konfigurasi tiang menyesuaikan dengan daya dukung tiang tunggal, kedalaman tiang disesuaikan dengan kebutuhan daya dukung aksial serta sesuai dengan *soil report*, pedoman yang digunakan yaitu SNI 8460:2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017) dan SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019), permodelan tanah digunakan tanah dengan konsistensi lunak, permodelan bangunan gedung 12 lantai dengan fungsi perkantoran, permodelan *point spring support* melalui pendekatan parameter tanah seragam dengan tiang dibagi setiap 1 m (Arman, 2021).

Daya Dukung Fondasi Tiang

Daya dukung tiang pancang terdiri dari daya dukung tiang tunggal dan daya dukung tiang kelompok. Pada kondisi tanah lunak, tiang harus dipancang sampai ujung tiang mencapai tanah keras. Hal ini bertujuan agar tanah keras dapat mendukung ujung tiang dalam menahan beban gedung. Pada umumnya, struktur gedung tinggi yang dibangun diatas tanah lunak memerlukan kedalaman tiang pancang yang cukup dalam. (Das, 1993)

Daya Dukung Ujung

Rumus untuk perhitungan daya dukung ujung tiang menurut metode Meyerhof adalah sebagai berikut: (Meyerhof, 1976)

$$Q_{p_{clay/silt}} = 9 C_u A_p \quad (1)$$

Dengan $Q_{p_{clay/silt}}$ = daya dukung ujung tiang untuk tanah *clay/silt*, C_u = *undrained shear strength*, A_p = luas penampang ujung tiang.

Daya Dukung Selimut

Rumus untuk perhitungan daya dukung selimut tiang sebagai berikut:

$$Q_{s_{clay}} = 0,5 \left(\frac{\sigma'_0}{C_u} \right)^{0,45} C_u P (d_t - d_0) \quad (2)$$

Dengan $Q_{s_{clay}}$ = daya dukung selimut tiang untuk tanah *clay*, σ'_0 = tegangan efektif rata-rata, C_u = *undrained shear strength*, P = keliling penampang tiang, d_t = kedalaman ujung tiang, d_0 = kedalaman sebelum ujung tiang.

Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Izin

Rumus untuk perhitungan daya dukung ultimit dan daya dukung izin tiang sebagai berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3)$$

$$Qa = \frac{(Qu - BJ \cdot Ap \cdot d)}{SF} \quad (4)$$

Dengan Qu = daya dukung ultimit tiang, Qp = daya dukung ujung tiang, Qs = daya dukung selimut tiang, Qa = daya dukung izin tiang, BJ = berat jenis tiang beton, Ap = luas penampang ujung tiang, d = kedalaman ujung tiang, SF = faktor keamanan.

Daya Dukung Aksial Tiang Kelompok

Rumus untuk perhitungan daya dukung aksial tiang kelompok sebagai berikut:

$$Qall = n \cdot Qa \cdot Eg > Pa + W \quad (5)$$

Dengan $Qall$ = daya dukung izin tiang kelompok, n = jumlah tiang dalam 1 kelompok, Qa = daya dukung izin tiang tunggal, Eg = nilai efisiensi tiang kelompok, Pa = 75% dari gaya aksial kolom ultimit, W = berat *pile cap*.

Soil Spring Stiffness

Rumus untuk perhitungan *soil spring stiffness* menggunakan *modulus of subsoil reaction* menurut Vesic adalah sebagai berikut: (Vesic, 1961)

$$k_s = \frac{0,65}{D} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot D^4}{E_p \cdot I_p}} \cdot \frac{E_s}{1 - \nu^2} \quad (6)$$

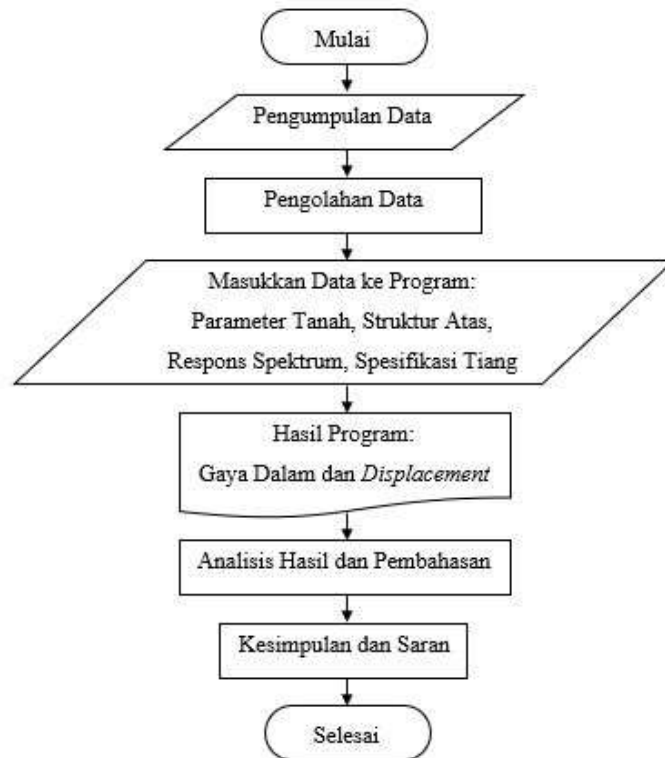
Dengan k_s = *soil spring stiffness*, D = diameter penampang tiang, E_s = modulus elastisitas tanah, E_p = modulus elastisitas tiang beton, I_p = inersia penampang tiang beton, ν = *poisson's ratio* 0,495 untuk *undrained*.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan pada penelitian ini dimulai dari menentukan tujuan yang jelas, mencari sumber pustaka dan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini sebagai acuan, membuat diagram alir metodologi penelitian, mengumpulkan data, menentukan metode analisis yaitu dengan program Midas GEN dan Midas GTS NX, mengolah data berdasarkan metode analisis yang ditentukan, melakukan pembahasan berdasarkan hasil analisis, membuat kesimpulan dan saran terhadap penelitian.

Sumber data tanah yang digunakan pada penelitian ini berlokasi di Tangerang, Banten. Data tanah tersebut merupakan tanah dengan konsistensi lunak. Respons spektrum diambil melalui *website* puskim dan daerah yang ditinjau untuk wilayah Jakarta dengan kelas situs SE (tanah lunak). Pedoman yang digunakan mengikuti aturan SNI 8460:2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017) dan SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Untuk spesifikasi tiang pancang diambil dari brosur JHS *square pile*. Untuk proses pengolahan data, data-data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam program yaitu data parameter tanah, data permodelan bangunan struktur atas, respons spektrum, dimensi tiang, dan daya dukung tiang. Program akan melakukan *perform analysis* dan dilakukan pembahasan berdasarkan hasil dari program. Penelitian ini membahas akibat yang ditimbulkan dari *soil structure interaction* pada fondasi tiang bangunan gedung. Melakukan pembahasan terhadap hasil analisis dari program yaitu berupa rangkuman tabel nilai maksimum *displacement* dan gaya dalam tiang. Pembahasan juga dilakukan tentang kaitannya dengan *soil structure interaction*. Setelah itu, dapat diambil kesimpulan tentang perilaku tiang.

Berdasarkan tahapan metode penelitian ini, maka diagram alir penelitian yang merujuk pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini, data tanah yang digunakan berasal dari data laboratorium dan hasil korelasi parameter seperti E , γ_{wet} , ν , γ_{sat} , e_0 , C_u , ϕ' yang kemudian dimasukkan ke dalam program berbasis geoteknik. Bangunan gedung 12 lantai dengan tinggi 4 m per lantai dan luas 21 m x 35 m sebagai fungsi perkantoran. Kedalaman tanah dimodelkan sedalam 61 m. Fondasi tiang sedalam 44 m yang dibagi setiap 1 m dimodelkan dengan *point spring support* pada Midas GEN (Arman, 2021). Efisiensi tiang kelompok menggunakan *Formula Fled* (Geotechnical Engineering Center, 2005). Tanah dimodelkan kondisi *undrained* karena yang ditinjau adalah beban gempa, karena gaya akibat gempa terjadi hanya dalam waktu singkat (*short term*). Untuk menganalisis *soil structure interaction*, pada penelitian ini digunakan metode pendekatan *direct analysis* yaitu data tanah dan struktur dibuat permodelannya secara bersamaan dan dianalisis sebagai suatu sistem yang lengkap (NIST GCR 12-917-21, 2012).

Berikut ini adalah *summary* parameter tanah yang digunakan untuk analisis program yang merujuk pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. *Summary* parameter tanah

Summary Parameter Tanah						
Elevasi	0 s/d 12	12 s/d 20	20 s/d 26	26 s/d 36	36 s/d 48	48 s/d 61
Jenis Tanah	Clay	Clay	Sandy Silt	Silty Clay	Clayey Silt	Clayey Silt
Material Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
E	6397	29418	26979	26194	26580	19333
γ_{unsat}	15,175	14,131	15,968	16,908	16,859	16,727
γ_{sat}	15,371	15,813	15,913	17,034	17,265	16,881
ϕ'	16,98	26,899	24,62	27,349	28,907	26,617
ν	0,495	0,495	0,495	0,495	0,495	0,495
e_0	2,216	1,815	1,899	1,337	1,265	1,465
C_u	27,365	89,691	80,909	58,272	52,761	59,4

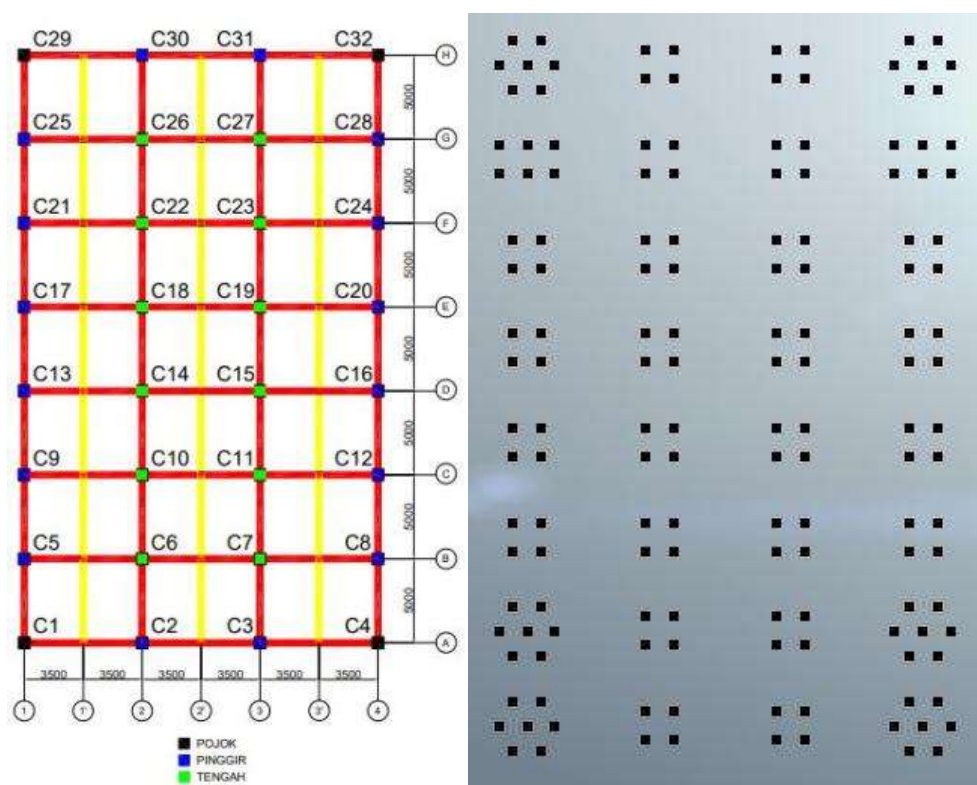
Pada analisis daya dukung tiang tunggal, ukuran penampang tiang pancang berbentuk persegi yang digunakan pada penelitian ini adalah 500 x 500 mm dengan kedalaman tiang 44 m dan konfigurasi tiang tunggal *fixedhead*. Data spesifikasi tiang diperoleh dari brosur JHS.

Berdasarkan perhitungan dari rumus (1), (2), (3), dan (4), maka nilai daya dukung tiang tunggal yang merujuk pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Daya dukung tiang tunggal

Jenis Daya Dukung	Nilai Daya Dukung (kN)
Daya Dukung Ujung Tiang	364.5
Daya Dukung Selimut Tiang	330
Daya Dukung Ultimit	5591.5
Daya Dukung Izin	2129.633

Berikut ini adalah denah penomoran kolom gedung dan kelompok tiang pada kolom yang merujuk pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Tampak atas denah penomoran kolom gedung dan kelompok tiang pada kolom

Berdasarkan perhitungan dari rumus (5), maka nilai daya dukung aksial tiang kelompok yang merujuk pada tabel 3 dan tabel 4 sebagai berikut:

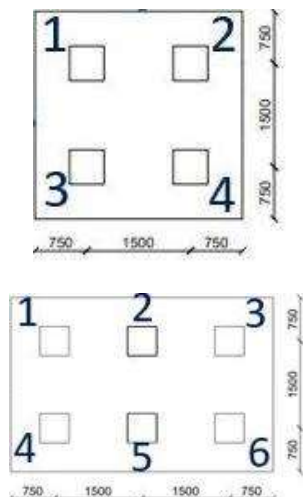
Tabel 3. Daya dukung aksial tiang kelompok

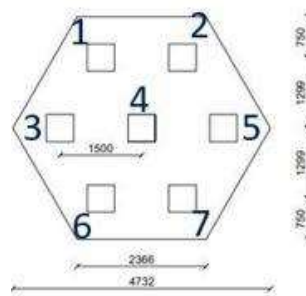
Nomor Kolom	$P_{ultimate}$ (kN)	Jumlah Tiang	Efisiensi	$Q_{allowable}$ Kelompok (kN)	Cek
C1	5905,444	7	0,75	11181	OK
C2	3614,672	4	0,813	6925,6	OK
C3	4766,362	4	0,813	6925,6	OK
C4	6616,174	7	0,75	11181	OK
C5	5941,862	7	0,75	11181	OK
C6	7093,188	4	0,813	6925,6	OK

Tabel 4. Daya dukung aksial tiang kelompok (lanjutan)

Nomor Kolom	$P_{ultimate}$ (kN)	Jumlah Tiang	Efisiensi	$Q_{allowable}$ Kelompok (kN)	Cek
C7	7120,175	4	0,813	6925,6	OK
C8	6543,013	7	0,75	11181	OK
C9	4445,369	4	0,813	6925,6	OK
C10	6978,066	4	0,813	6925,6	OK
C11	7008,762	4	0,813	6925,6	OK
C12	4501,306	4	0,813	6925,6	OK
C13	4176,659	4	0,813	6925,6	OK
C14	4510,304	4	0,813	6925,6	OK
C15	5266,885	4	0,813	6925,6	OK
C16	4373,318	7	0,813	6925,6	OK
C17	4771,506	4	0,813	6925,6	OK
C18	4722,081	4	0,813	6925,6	OK
C19	5339,349	7	0,813	6925,6	OK
C20	4900,382	7	0,813	6925,6	OK
C21	4222,421	4	0,813	6925,6	OK
C22	6736,885	4	0,813	6925,6	OK
C23	6758,501	4	0,813	6925,6	OK
C24	4272,056	4	0,813	6925,6	OK
C25	4572,086	6	0,771	9851,7	OK
C26	7044,398	4	0,813	6925,6	OK
C27	7072,209	4	0,813	6925,6	OK
C28	5190,998	6	0,771	9851,7	OK
C29	7011,630	7	0,75	11181	OK
C30	3678,474	4	0,813	6925,6	OK
C31	4841,437	4	0,813	6925,6	OK
C32	7716,375	7	0,75	11181	OK

Berikut ini adalah konfigurasi penomoran tiang pada kelompok tiang yang merujuk pada gambar 3 sebagai berikut:





Gambar 3. Konfigurasi kelompok dan penomoran untuk 4 tiang, 6 tiang, dan 7 tiang

Berdasarkan perhitungan dari rumus (6), maka nilai *point spring support* pada tiang yang merujuk pada tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. *Point spring support* pada tiang

Elevasi (m)	0 s/d 12	12 s/d 20	20 s/d 26	26 s/d 36	36 s/d 44
E_s (kN/m ²)	6397	29418	26979	26194	26580
D (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
E_p (kN/m ²)	25742,960	25742,960	25742,960	25742,960	25742,960
I_p (m ⁴)	0,008789	0,008789	0,008789	0,008789	0,008789
ν	0,495	0,495	0,495	0,495	0,495
k_s (kN/m ³)	11550,259	60318,185	54919,768	53190,736	54040,404
k_s (kN/m)	2887,565	15079,546	13729,942	13297,684	13510,101

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kombinasi *Gravity Load* ($P = SW+DL+LL$)

Program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX menghasilkan *displacement* dan gaya dalam pada seluruh tiang kelompok pada kombinasi pembebanan *gravity load*. Dari hasil tersebut, diambil nilai *displacement* dan gaya dalam maksimum pada tiang pojok, tiang pinggir, dan tiang tengah yang akan dirangkum ke dalam tabel.

Berdasarkan hasil analisis dari program Midas GEN, maka nilai *displacement* dan gaya dalam maksimum tiang pada pembebanan gravitasi yang merujuk pada tabel 6 dan tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 6. *Displacement* maksimum tiang dengan kombinasi *gravity load*

Lokasi Tiang	<i>Displacement-x</i> (mm)	<i>Displacement-y</i> (mm)	<i>Displacement-z</i> (mm)
Pojok	0,704 (C29-1, C32-2)	0,421 (C29-3)	-6,831 (32-4)
Pinggir	0,703 (C30-1, C31-2)	0,411 (C5-3, C25-1)	-7,164 (C20-3)
Tengah	0,691 (C26-1, C27-2)	0,393 (C6-3, C10-3, C14-3, C18-3, C22-3, C26-3)	-11,112 (C19-3)

Tabel 7. Gaya dalam maksimum tiang dengan kombinasi *gravity load*

Lokasi Tiang	<i>Axial Force</i> (kN)	<i>Shear Force-y</i> (kN)	<i>Shear Force-z</i> (kN)	<i>Bending Moment-y</i> (kNm)	<i>Bending Moment-z</i> (kNm)
Pojok	-1295,479 (C32-4)	-11,934 (C29-6)	-9,766 (C32-1)	-19,032 (C32-2)	-21,207 (C29-6)
Pinggir	-1364,438 (C20-3)	-92,525 (C8-2)	-22,159 (C2-1)	-20,038 (C20-4)	-70,648 (C8-6)
Tengah	-2207,914 (C19-3)	-47,107 (C15-1)	-141,101 (C18-4)	-109,757 (C23-3)	-38,677 (C15-1)

Pada hasil interaksi struktur dan tanah dengan bantuan program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX di atas untuk pembebanan *gravity load* dapat terlihat bahwa distribusi beban di tengah lebih besar daripada di bagian pinggir atau pojok. *Displacement-z* dan *axial force* di bagian tengah lebih besar daripada bagian pinggir ataupun pojok.

Kombinasi Gempa *Static Load* Arah X (EQX)

Program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX menghasilkan *displacement* dan gaya dalam pada seluruh tiang kelompok pada kombinasi pembebanan gempa *static load* arah x. Dari hasil tersebut, diambil nilai *displacement* dan gaya dalam maksimum pada tiang pojok, tiang pinggir, dan tiang tengah yang akan dirangkum ke dalam tabel.

Berdasarkan hasil analisis dari program Midas GEN, maka nilai *displacement* dan gaya dalam maksimum tiang pada pembebanan gempa statik arah x yang merujuk pada tabel 8 dan tabel 9 sebagai berikut:

Tabel 8. *Displacement* maksimum tiang dengan kombinasi gempa *static load* arah x

Lokasi Tiang	<i>Displacement-x</i> (mm)	<i>Displacement-y</i> (mm)	<i>Displacement-z</i> (mm)
Pojok	2,105 (C29-1, C32-2)	-0,085 (C4-5, C32-5)	2,162 (C29-3)
Pinggir	2,102 (C30-1, C31-2)	-0,103 (C28-6)	2,909 (C2-2)
Tengah	2,067 (C26-1, C27-2)	-0,035 (C19-4)	2,432 (C14-3)

Tabel 9. Gaya dalam maksimum tiang dengan kombinasi gempa *static load* arah x

Lokasi Tiang	<i>Axial Force</i> (kN)	<i>Shear Force-y</i> (kN)	<i>Shear Force-z</i> (kN)	<i>Bending Moment-y</i> (kNm)	<i>Bending Moment-z</i> (kNm)
Pojok	-440,825 (C32-5)	0,845 (C4-7)	-17,437 (C32-2)	36,081 (C4-7)	2,003 (C4-6)
Pinggir	587,850 (C2-2)	1,370 (C28-6)	-170,307 (C2-3)	-95,843 (C16-2)	3,871 (C28-6)
Tengah	491,035 (C14-3)	0,428 (C19-3)	-463,150 (C23-3)	-337,691 (C23-3)	1,153 (C19-3)

Pada hasil interaksi struktur dan tanah dengan bantuan program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX di atas untuk pembebanan gempa *static load* arah x (EQX) dapat terlihat bahwa distribusi beban di pinggir lebih besar daripada di bagian tengah atau pojok. *Displacement* dan *axial force* di bagian pinggir lebih besar daripada bagian tengah ataupun pojok.

Kombinasi Gempa *Static Load* Arah Y (EQY)

Program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX menghasilkan *displacement* dan gaya dalam pada seluruh tiang kelompok pada kombinasi pembebanan gempa *static load* arah y. Dari hasil tersebut, diambil nilai *displacement* dan gaya dalam maksimum pada tiang pojok, tiang pinggir, dan tiang tengah yang akan dirangkum ke dalam tabel.

Berdasarkan hasil analisis dari program Midas GEN, maka nilai *displacement* dan gaya dalam maksimum tiang pada pembebanan gempa statik arah y yang merujuk pada tabel 10 dan tabel 11 sebagai berikut:

Tabel 10. *Displacement* maksimum tiang dengan kombinasi gempa *static load* arah y

Lokasi Tiang	<i>Displacement-x</i> (mm)	<i>Displacement-y</i> (mm)	<i>Displacement-z</i> (mm)
Pojok	-0,174 (C4-7)	1,822 (C1-3, C29-3)	3,307 (C4-6)
Pinggir	0,109 (C28-1)	1,822 (C5-3, C25-1)	-2,975 (C8-4)
Tengah	0,067 (C26-1, C27-2)	1,783 (C6-3, C10-3, C14-3, C18-3, C22-3, C26-3)	1,707 (C15-1)

Tabel 11. Gaya dalam maksimum tiang dengan kombinasi gempa *static load* arah y

Lokasi Tiang	<i>Axial Force</i> (kN)	<i>Shear Force-y</i> (kN)	<i>Shear Force-z</i> (kN)	<i>Bending Moment-y</i> (kNm)	<i>Bending Moment-z</i> (kNm)
Pojok	668,290 (C4-7)	-93,365 (C29-3)	-2,681 (C32-6)	8,496 (C4-7)	-53,410 (C29-6)
Pinggir	-608,230 (C8-7)	-492,440 (C8-1)	-1,633 (C28-4)	-5,033 (C28-3)	-314,041 (C8-2)
Tengah	345,022 (C15-2)	-390,996 (C15-1)	0,594 (C7-4)	-1,228 (C26-1)	-214,368 (C15-1)

Pada hasil interaksi struktur dan tanah dengan bantuan program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX di atas untuk pembebanan gempa *static load* arah y (EQY) dapat terlihat bahwa distribusi beban di pojok lebih besar daripada di bagian tengah atau pinggir. *Displacement* dan *axial force* di bagian pojok lebih besar daripada bagian tengah ataupun pinggir.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pada hasil interaksi struktur dan tanah dengan bantuan program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX di atas untuk pembebanan *gravity load* dapat terlihat bahwa distribusi beban di tengah lebih besar daripada di bagian pinggir atau pojok. *Displacement-z* dan *axial force* di bagian tengah lebih besar daripada bagian pinggir ataupun pojok.
2. Pada hasil interaksi struktur dan tanah dengan bantuan program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX di atas untuk pembebanan gempa *static load* arah x (EQX) dapat terlihat bahwa distribusi beban di pinggir lebih besar daripada di bagian tengah atau pojok. *Displacement* dan *axial force* di bagian pinggir lebih besar daripada bagian tengah ataupun pojok.
3. Pada hasil interaksi struktur dan tanah dengan bantuan program Midas GEN hasil *nodal result* dari Midas GTS NX di atas untuk pembebanan gempa *static load* arah y (EQY) dapat terlihat bahwa distribusi beban di pojok lebih besar daripada di bagian tengah atau pinggir. *Displacement* dan *axial force* di bagian pojok lebih besar daripada bagian tengah ataupun pinggir.
4. Hasil interaksi struktur tanah dalam kondisi pembebanan *gravity load*, gempa *static load* arah x dan arah y dapat tergambar dengan baik dengan modelisasi struktur atas dan bawah.

Saran

1. Perlu dilakukan analisis dengan beberapa program bantuan lain seperti ETABS, Plaxis 3D, dan lain-lain.
2. Perlu dibuat analisis permodelan lapisan tanah yang lain selain tanah lunak untuk mengetahui perbedaan yang terjadi.
3. Perlu mempertimbangkan analisis lain seperti bentuk penampang tiang, ukuran penampang tiang, kedalaman tiang, serta permodelan struktur atas yang berbeda pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvi, S. D. (2021). Hand On MIDAS GTS NX : Exercise on Pile Group Analysis. *UNPAR-MIDAS Geotechnical Forum Webinar*. Bandung: PT. Midasindo Teknik Utama.
- Arman, F. (2021). Multilinear Spring Function Analysis in Soil-Structure Interaction for Building. *UNPAR-MIDAS Geotechnical Forum Webinar*. Bandung: PT. Midasindo Teknik Utama.
- Badan Standardisasi Nasional . (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460:2017)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional .
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1991). *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2 Edisi Keempat*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Geotechnical Engineering Center. (2005). *Manual Pondasi Tiang*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Kurniawan, N. I., Wijaya, H., & Yuwono, A. (2021). Analisis Fondasi Tiang Pancang Akibat Respons Spektrum Gempa Untuk Wilayah Jakarta. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*.
- Meyerhof, G. G. (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 102, 197-228.
- NIST GCR 12-917-21. (2012). *Soil-Structure Interaction for Building Structures*. NEHRP Consultants Joint Venture.
- Vesic, A. S. (1961). Bending of Beams Resting on Isotropic Elastic Solid. *ASCE*, 87, 35-53.

