

Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Interaksi Struktur-Tanah Pada Jenis Pondasi Tiang Pancang
Earthquake Resistant Building Structure Planning Using the Structure-Soil Interaction Method On Pile Foundation Type

Muhammad Haykal Fiendyo¹, Pujo Priyono², Arief Alihudien³

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: muhammadhaykalfiendyo010603@gmail.com

² Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: pujopriyono@unmuhjember.ac.id

³ Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Seiring dengan meningkatnya sektor pariwisata di Situbondo, kebutuhan akan infrastruktur, termasuk hotel, semakin meningkat. Salah satu aspek dalam perancangan bangunan adalah ketahanan terhadap gempa, mengingat Indonesia merupakan wilayah dengan aktivitas gempa yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur gedung tahan gempa Hotel *Sunrise* Situbondo yang terdiri dari lima lantai dengan menggunakan pendekatan metode kuantitatif eksperimental berbasis numerik Interaksi Struktur-Tanah (IST). Metodologi analisa perancangan dilakukan dengan perangkat lunak SAP2000 untuk mengevaluasi performa struktur terhadap beban gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain seismik gedung termasuk kategori D dengan nilai parameter S_{DS} : 0,774 dan S_{D1} : 0,509. Daya dukung ujung tiang sebesar 113,40 ton dengan panjang tiang 10 m, serta berat jenis tanah 1,73 ton/m³. Analisis getaran bebas menunjukkan periode fundamental untuk tranlasi arah T_x : 0,741 detik, T_y : 0,521 detik, dan T_z : 0,874 detik pada tumpuan jepit, sedangkan pada tumpuan *spring* nilai T_x : 1,365 detik, T_y : 1,268 detik, dan T_z : 0,874 detik menunjukkan adanya pengaruh fleksibilitas tumpuan. Desain struktur gedung tahan gempa dengan metode interaksi struktur-tanah dapat meningkatkan kestabilan dan keamanan bangunan terhadap gempa.

Kata Kunci: Gedung Tahan Gempa; Interaksi Struktur-Tanah; Pondasi Tiang Pancang;
Perencanaan Struktur

Abstract

Along with the increasing tourism sector in Situbondo, the need for infrastructure, including hotels, is increasing. One aspect in building design is earthquake resistance, considering that Indonesia is an area with high earthquake activity. This study aims to design an earthquake-resistant building structure for the Sunrise Hotel Situbondo consisting of five floors using a quantitative experimental method approach based on numerical Structure-Soil Interaction (IST). The design analysis methodology was carried out using SAP2000 software to evaluate the performance of the structure against earthquake loads. The results of the analysis show that the seismic design of the building is included in category D with parameter values of S_{DS} : 0.774 and S_{D1} : 0.509. The end bearing capacity of the pile is 113.40 tons with a pile length of 10 m, and a soil density of 1.73 tons/m³. Free vibration analysis shows the fundamental period for translation direction T_x : 0.741 seconds, T_y : 0.521 seconds, and T_z : 0.874 seconds at the fixed support, while at the spring support the values T_x : 1.365 seconds, T_y : 1.268 seconds, and T_z : 0.874 seconds indicate the influence of support flexibility. The design of earthquake-resistant building structures with the structure-soil interaction method can improve the stability and safety of buildings against earthquakes.

Keywords: Earthquake-Resistant Building, Structure-Soil Interaction, Pile Foundation; Structural Planning

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan pesatnya perkembangan sektor pariwisata di Indonesia, khususnya di daerah Situbondo, kebutuhan akan infrastruktur terus meningkat. Salah satu bentuk infrastruktur yang sangat penting adalah fasilitas penginapan, seperti Hotel. Gedung yang dirancang dengan baik tidak hanya harus memenuhi aspek fungsional dan estetika, tetapi juga aspek struktural yang mampu menahan beban dan kondisi tanah di lokasi. Sehingga, dalam perencanaan tidak terjadi gagal atau *collapse* pada struktur bangunan serta tahan terhadap gempa (Bambang Agus & Salim Arif, 2018).

Elemen struktur penunjang termasuk kolom, balok, dan dinding geser, menentukan stabilitas dan keamanan bangunan. Kolom berfungsi sebagai penopang utama yang menerima dan mentransfer beban vertikal ke pondasi. Balok menghubungkan kolom dan mendistribusikan beban lateral akibat angin atau gempa, sementara dinding geser memberikan stabilitas tambahan dengan menahan gaya lateral yang terjadi (Rahmi, 2021).

Elemen pondasi dalam adalah elemen penting dalam perancangan struktur bangunan, yang memiliki fungsi mendistribusikan beban struktur ke tanah (Das, 1995). Pondasi tiang pancang, pondasi *bored pile*, dan pondasi sumur adalah beberapa jenis pondasi, masing-masing dengan fitur dan teknik pemasangan yang berbeda. Pemilihan jenis pondasi harus didasarkan pada kondisi tanah dan beban yang diterima oleh struktur.

Penggunaan pondasi tiang pancang menjadi pilihan dalam perencanaan struktur gedung *Sunrise* hotel yang direncanakan memiliki 5 lantai. Dari hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa kondisi di lokasi pembangunan memiliki karakteristik tanah sedang. Pondasi tiang pancang mampu menyalurkan beban konstruksi di lapisan tanah keras yang sangat dalam meningkatkan stabilitas dan keamanan struktur (Ruliyansyah, 2015).

Hal ini menegaskan bahwa interaksi antar tanah dan Pondasi tiang pancang adalah

komponen penting dari struktur bangunan. Interaksi ini mempengaruhi perilaku tanah dan respon tiang pancang terhadap beban. Oleh sebab itu, analisa ini perlu dilakukan untuk meningkatkan keamanan struktur. Sehingga, dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis memilih judul “Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Interaksi Struktur-Tanah Dengan Jenis Pondasi Tiang Pancang”.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan struktur gedung tahan gempa menggunakan metode interaksi struktur-tanah pada jenis pondasi tiang pancang?
2. Bagaimana pengaruh penerapan metode interaksi struktur-tanah terhadap perancangan gedung yang tahan gempa?

C. Batasan Masalah

Uraian diatas didapatkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Peraturan yang dipakai, yaitu:
 - SNI 03-2847-2019.
 - SNI 03-1726-2019.
 - SNI 1727-2013.
2. Pemodelan struktur menggunakan aplikasi, yaitu:
 - SAP2000 V.23.
 - *Microsoft Excel* V.19.
3. Analisis gedung difokuskan hanya pada bangunan utama saja yaitu hotel, tidak mencakup keseluruhan bangunan gedung.
4. Jenis tanah yang digunakan sesuai dengan kondisi lapangan saat ini.

D. Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Merancang struktur gedung tahan gempa menggunakan metode interaksi struktur-tanah pada jenis pondasi tiang pancang.
2. Memahami dampak dari teknik interaksi struktur-tanah terhadap struktur yang tahan gempa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Dasar Struktur Tahan Gempa

Merancang gedung bertingkat tinggi harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas untuk mengatasi berbagai kombinasi beban yang terjadi. Untuk gedung yang tahan gempa, ada persyaratan tambahan yang umumnya menjadi acuan, yaitu memastikan bahwa komponen struktural gedung memiliki daktilitas yang cukup agar dapat menahan gempa maksimum tanpa mengalami keruntuhan. (Perancangan et al., 2002)

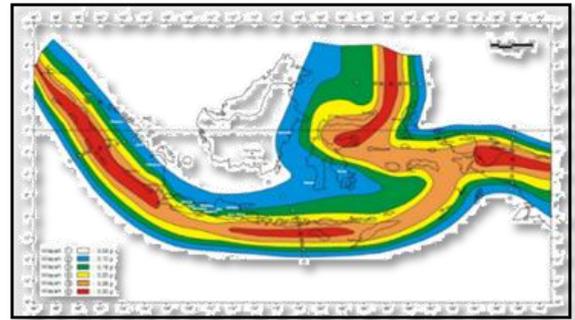
Berikut adalah definisi bangunan yang tahan gempa:

- Saat terjadi gempa kecil, bangunan harus tetap berdiri kokoh tanpa mengalami kerusakan, baik pada bagian struktural maupun non-struktural.
- Dalam gempa berkekuatan sedang, kerusakan pada elemen non-struktural, seperti runtuhnya plafon atau retaknya dinding, masih dapat ditoleransi, namun elemen struktural utama seperti kolom, balok, dan sloof harus tetap utuh.
- Pada gempa besar, ketahanan bangunan sangat lemah resiko mengalami kerusakan pada struktur maupun non-struktur tergolong besar, tetapi tetap harus memungkinkan penghuni untuk menyelamatkan diri sebelum ada risiko runtuh.

Hal ini, struktur gedung dirancang berdasarkan konsep keselamatan hidup (*life safety concept*) yang memberikan respons secara detail.

1. Peraturan Gempa SNI 1726:2019

Perancangan bangunan perlu dilakukan merencanakan gempa rencana, melihat kondisi tata letak Indonesia berada diantara tiga lempeng tektonik. Sehingga resiko terjadinya kerusakan bangunan cukup besar (Badan Standardisasi Nasional (b), 2019). SNI 1726:2019 adalah standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan, baik gedung maupun non-gedung, yang didasarkan pada peta zona seismik dengan probabilitas gempa 2% dalam lima puluh tahun atau dalam rentang waktu sekitar 250 tahun.



Gambar 1. Peta Zona Gempa di Indonesia

Sumber: Amin., 2021

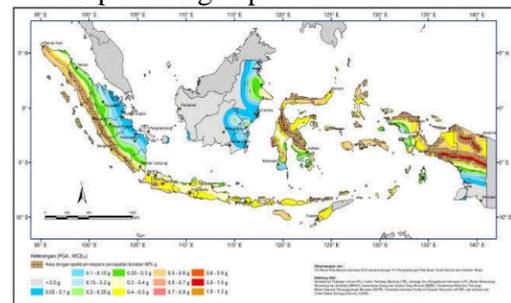
Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan peta zona gempa di Indonesia. Klasifikasi dibagi ke dalam enam zona dengan warna yang berbeda, yaitu:

- Putih = zona 1
- Biru = zona 2
- Hijau = zona 3
- Kuning = zona 4
- Coklat = zona 5
- Merah = zona 6

Berikut ini langkah-langkah dalam menghitung gempa, yaitu :

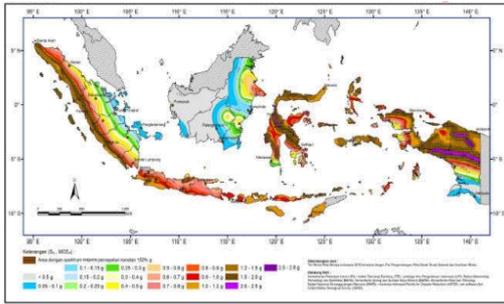
a.) Mencari peta wilayah gempa

Salah satu langkah awal adalah mencari peta wilayah gempa berdasarkan parameter percepatan gempa rencana. Seperti pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 menunjukkan peta percepatan puncak tanah (PGA) serta peta respons spektrum percepatan untuk periode 1,0 detik (S_1 dan S_s) menurut SNI 1726:2019, yang digunakan sebagai acuan dalam analisis perencanaan struktur bangunan terhadap beban gempa

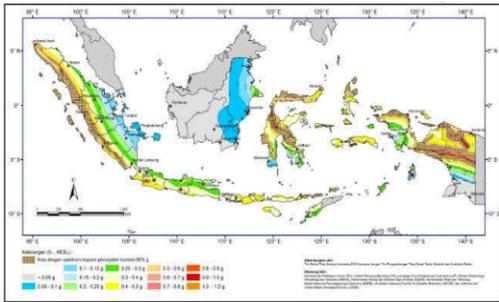


Gambar 2. PGA, Gempa Maksimum

Sumber: SNI1726-2019



Gambar 3. S₁, Peta Respon Spektrum Percepatan 1,0 detik
 Sumber: SNI1726-2019



Gambar 4. S_s, Peta Respon Spektrum Percepatan 1,0 detik
 Sumber: SNI1726-2019

b.) Mengidentifikasi kategori risiko dan faktor-faktor yang mempengaruhi gempa

Bangunan gedung memiliki fungsi serta tingkat risiko yang bervariasi. Untuk menentukan tingkat risiko bangunan, baik untuk gedung maupun non-gedung, dan SNI 1726:2019 mencantumkan komponen keamanan yang relevan.

c.) Menentukan klasifikasi situs

Jenis situs dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori. SA menunjukkan batuan keras ditunjukkan oleh "B", sedangkan "SC" menunjukkan tanah lunak, sangat padat, dan keras. Tanah dengan kepadatan sedang ditunjukkan oleh "SD", "SE" menunjukkan tanah lunak, dan "SF" menunjukkan tanah dengan karakteristik khusus. Berdasarkan SNI 1726:2019.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n v_{si}} \quad (1)$$

dimana:

N_i dan d_i = tanah non-kohefif, tanah kohefif dan lapisan batuan.

d.) Mengidentifikasi kecepatan tanah puncak

Sesuai dengan SNI 1726:2019, nilai percepatan tanah puncak dihitung dengan

mengalikan koefisien situs F_{PGA} dengan nilai PGA yang didapat dari gambar 2. Nilai F_{PGA}.

e.) Menentukan koefisien situs dan parameter respons

Nilai koefisien situs F_a dan F_v, dihitung setelah menentukan kelas situs. Nilai S_s dan S₁ adalah koefisien faktor amplifikasi seismik yang digunakan untuk menghitung respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah.

- Untuk nilai F_a dan F_v :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3)$$

dimana:

S_s = respon untuk periode pendek.

S₁ = respon untuk periode 1,0 detik.

- Untuk nilai S_{DS} dan S_{D1} :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (4)$$

$$S_{D1} = \frac{3}{5} S_{M1} \quad (5)$$

dimana:

S_{DS} = parameter respon untuk periode pendek.

S_{D1} = parameter respon untuk periode 1,0 detik.

f.) Menentukan desain respon spektrum

Setelah nilai S_{DS} dan S_{D1} didapatkan, desain respon spektrum dapat dibuat.

- Untuk T < T₀, maka:

$$S_a = S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (6)$$

- Untuk T₀ ≤ T ≤ T_s, maka:

$$S_a = S_{DS} \quad (7)$$

- Untuk T_L ≥ T > T_s, maka:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (8)$$

- Untuk T < T_L, maka:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (9)$$

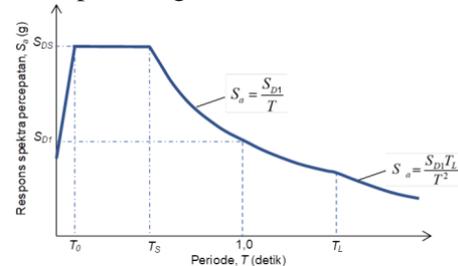
dimana:

S_a = spektrum respons percepatan desain.

S_{DS} = respon untuk periode pendek.

S_{D1} = respon untuk periode 1,0 detik.

T = periode getar struktur.



Gambar 5. Desain Respon Spektrum
 Sumber: SNI 1726-2019

- Untuk nilai T₀ dan T_s, maka:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (10)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (11)$$

dimana:

T_L = peta transisi periode panjang.

g.) Menentukan kategori desain seismik

Jenis struktur harus ditentukan Kategori Desain Seismiknya (KDS). Memilih kategori yang lebih tinggi jika terdapat perbedaan. Perlu dicatat, untuk struktur yang termasuk dalam kategori risiko I, II, atau III di lokasi dengan nilai $S_1 \geq 0,75$, harus ditetapkan sebagai struktur dengan KDS E.

Sedangkan untuk struktur dengan kategori risiko IV di lokasi dengan $S_1 \geq 0,75$ harus menggunakan KDS F. Jika $S_1 < 0,75$ yang tercantum dalam tabel pada SNI 1726:2019.

h.) Menentukan gaya dasar seismik

- Untuk gaya dasar seismik, maka:

$$V = C_s \cdot W \quad (12)$$

- Untuk koefisien respon seismic C_s , maka:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (13)$$

- Untuk $T < T_L$, maka:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\frac{R}{I_e}} \quad (14)$$

- Untuk $T > T_L$, maka:

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \frac{R}{I_e}} \quad (15)$$

- Nilai C_s tidak boleh kurang dari,

$$C_{s \min} = 0,444 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (16)$$

Dipakai untuk struktur nilai C_s dapat melakukan persamaan (15) bila nilai $S_1 \geq 0,6g$.

$$C_s = \frac{0,55 S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (17)$$

dimana:

C_s = koefisien respon seismik.

W = berat seismik efektif.

S_{DS} = periode pendek 0.2 detik.

S_1 = periode 1 detik.

R = faktor modifikasi respon.

I_e = faktor keutamaan gempa.

T = periode struktur dasar (detik).

- Untuk nilai pembesaran defleksi C_d dan faktor kuat lebih sistem Ω yang lebih besar dapat dilihat pada tabel yang tercantum dalam tabel pada SNI 1726:2019.

i.) Menentukan periode alami struktur

Penentuan periode dasar struktur (T) dalam arah yang dianalisis harus dihitung. Periode dasar struktur ini memiliki batas minimum dan maksimum, yang nilainya diatur dalam persamaan berikut:

- Untuk T_a minimum, maka:

$$T_a \text{ minimum} = C_t h_n^x \quad (18)$$

- Untuk T_a maksimum, maka:

$$T_a \text{ maksimum} = C_u T_a \text{ minimum} \quad (19)$$

dimana:

T_a minimum = nilai batas bawah perioda.

T_a maksimum = nilai batas atas perioda.

h_n = ketinggian struktur.

j.) Menentukan batasan simpangan antar lantai (Δ) adalah hasil dari variasi defleksi antara pusat massa di lantai terendah dan tertinggi.

- Untuk defleksi pusat massa, maka:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (20)$$

dimana:

C_d = faktor amplifikasi defleksi.

δ_{xe} = defleksi.

I_e = faktor keutamaan gempa.

2. Pembebanan

Struktur bangunan ini menanggung beban sebagai berikut:

a.) Beban mati

Beban mati adalah beban yang meliputi beban tetap dalam bangunan, termasuk semua komponen tambahan yang bersifat tetap.

b.) Beban hidup

Semua gaya yang dihasilkan oleh aktivitas pengguna atau fungsi bangunan termasuk dalam beban hidup (Badan Standardisasi Nasional, 2013).

c.) Beban gempa

Beban gempa didefinisikan sebagai beban statis ekuivalen pada bangunan atau bagian tertentu..

d.) Beban angin

Beban angin merupakan gaya yang bekerja pada bangunan atau struktur akibat pergerakan udara.

e.) Beban kombinasi

Bangunan harus dirancang dengan mempertimbangkan kombinasi berbagai jenis beban guna memastikan keamanan dan kestabilannya beban yang diterapkan harus dipertimbangkan agar struktur dapat menahan beban. Kombinasi pembebanan dalam metode ultimit sebagai berikut:

$$1,4D \quad (21)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (22)$$

$$1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (23)$$

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (24)$$

$$1,2D + 1,0E + L \quad (25)$$

$$0,9D + 1,0W \quad (26)$$

$$0,9D + 1,0E \quad (27)$$

Sebaliknya, beban gempa harus digabungkan dengan beban hidup dan mati sesuai dengan peraturan, yaitu:

$$1,4D \quad (28)$$

$$1,2D + 1,6L \quad (29)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS}) D + 1L \pm 0,3e E_x \pm 1e E_y \quad (30)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS}) D + 1L \pm 1e E_x \pm 0,3e E_y \quad (31)$$

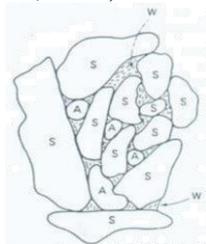
$$(0,9 - 0,2S_{DS}) D \pm 0,3e E_x \pm 1e E_y \quad (32)$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS}) D \pm 1e E_x \pm 0,3e E_y \quad (33)$$

B. Tanah

Lapisan material yang berada di permukaan bumi dan terdiri dari campuran mineral, bahan organik, air, dan udara.

Secara ilmiah, tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristik fisik, kimia, dan biologisnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat tanah meliputi jenis bahan induk, iklim, topografi, serta kegiatan manusia. Tanah juga memiliki berbagai jenis, seperti tanah liat, tanah berpasir, tanah gambut, dan tanah subur, yang masing-masing memiliki karakteristik dan kemampuan unik (Mulyadi et al., 2021)



Gambar 6. Kerangka Tanah (S), Pori dengan Udara/air (A), dan Air (W)

Sumber: Mulyadi., 2021

1. Klasifikasi Tanah

Proses pengelompokan tanah berdasarkan sifat fisik, kimia, dan strukturalnya. Bidang teknik sipil saat ini menggunakan dua sistem pengklasifikasian.

Konstruksi jalan menggunakan standar AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), sedangkan konstruksi gedung menggunakan

sistem USCS (Das, 1995), seperti penjelasan berikut ini:

a.) Klasifikasi AASHTO

Sistem ini dikembangkan oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) untuk tujuan teknik sipil, khususnya dalam perencanaan dan desain jalan.

b.) Klasifikasi *Unified*

Sistem ini dikembangkan oleh *Unified (USCS)* adalah sistem yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan karakteristik fisiknya, sistem ini dirancang untuk memberikan pemahaman yang jelas tentang sifat tanah dan perilakunya dalam aplikasi rekayasa (Das, 1995).

2. Sifat Elastisitas

Sifat-sifat elastis dari tanah sangat penting, terutama dalam perancangan fondasi dan struktur lainnya (Das, 1995). Berikut ini parameter utama untuk mengukur sifat elastis tanah, yaitu:

a.) Modulus elastisitas (E)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (34)$$

dimana:

E = modulus elastisitas (N/m² atau Pa).

σ = tegangan pada tanah (N/m² atau Pa).

ϵ = regangan yang dihasilkan.

b.) Koefisien poisson (v)

$$v = \frac{E_l}{E_a} \quad (35)$$

c.) Deformasi elastis (k)

$$k = \frac{F}{\delta} \quad (36)$$

dimana:

k = keterikatan (N/m).

F = gaya yang diterapkan (N).

δ = deformasi (m).

C. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi dalam (*deep foundation*) umumnya digunakan apabila karakteristik tanah keras dan terletak pada kedalaman yang melebihi dua meter. Dalam konstruksi bawah tanah (*sub construction*) pondasi tiang digunakan, baik pada bangunan gedung atau bangunan jembatan, tujuannya untuk meneruskan beban bangunan yang berada di atas tanah lunak ke lapisan tanah keras.

1. Daya Dukung Tiang

a.) Kekuatan bahan tiang

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq \bar{\sigma} \quad (37)$$

dimana:

σ = tegangan penampang tiang.
 $\bar{\sigma}$ = tegangan izin
 P = beban total
 A = luas penampang tiang.

b.) Data sondir

$$q_u = \frac{q_c \cdot A}{F_1} + \frac{JHP \cdot O}{F_2} \quad (38)$$

q_c = nilai konus.
 JHP = jumlah hambatan sepanjang tiang.
 O = keliling tiang.
 F = faktor keamanan.

c.) Data N-SPT

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (39)$$

dimana:

Q_{all} = daya dukung tiang ijin.
 Q_u = daya dukung tiang ultimit.
 SF = faktor keamanan.

2. Daya Dukung Kelompok Tiang

Pondasi tiang terdiri dari beberapa tiang yang dipasang bersama dan digabungkan oleh plat beton yang disebut "pondasi tiang" untuk menahan beban dari struktur bangunan atas "pilecap" (Meisari & Yakin, 2017)

a.) Jarak antar tiang

$$S/2,5 D$$

$$S/3D$$

b.) Efisiensi kelompok tiang

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} = \frac{f_{av} [2 \cdot (n_1 + n_2 - 2) \cdot d + 4 \cdot D] \cdot L}{n_1 + n_2 \cdot p \cdot L \cdot f_{av}} \quad (40)$$

dimana:

η = efisiensi kelompok tiang.
 $Q_{g(u)}$ = daya dukung kelompok tiang.
 Q_u = daya dukung satu tiang.
 N = jumlah tiang dalam satu baris.
 θ = sudut derajat.
 d = jarak antar tiang pusat.
 D = diameter tiang.

c.) Distribusi beban pada tiang

$$Q_p = \frac{Q_v}{n} + \frac{M_{y-x}}{I_y} \cdot A_b + \frac{M_{x-y}}{I_x} \cdot A_b \quad (41)$$

dimana:

Q_p = beban satu tiang.
 Q_v = total beban vertikal.
 I = momen inersia
 M = momen
 x,y = jarak tiang
 n = jumlah tiang.

3. Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan tiang dibagi menjadi 2 yaitu terjadi dalam jangka waktu dekat (*elastic settlement*) dan dalam jangka waktu Panjang (*consolidation settlement*).

a.) Penurunan elastis

$$S_{g(\epsilon)} = \sqrt{\frac{B_g}{D_s}} \quad (42)$$

dimana:

$S_{g(\epsilon)}$ = penurunan elastisitas (mm).
 B_g = lebar kelompok tiang.
 s = penurunan satu tiang.

b.) Penurunan konsolidasi

$$\Delta S_i = \left[\frac{\Delta e(i)}{1 + e_0(i)} \right] \cdot H_i \quad (43)$$

Dimana

ΔS_i = penurunan konsolidasi
 $\Delta e(i)$ = perubahan angka pori.
 e_0 = angka pori awal
 H_i = tebal lapisan.

D. Interaksi Struktur-Tanah

Respons struktur terhadap getaran gempa dipengaruhi oleh tiga interaksi yang saling berhubungan yaitu struktur, pondasi, serta tanah yang berada di bawah dan sekitar pondasi. Analisis interaksi struktur-tanah menilai respons keseluruhan, sistem gerakan tanah ini disebut dengan istilah *Structure-Soil Interaction* (SSI).

a.) Interaksi inersia

$$\Delta = \frac{F}{k} \quad (44)$$

dimana:

Δ = defleksi.
 F = gaya statis.
 K = kekakuan.

b.) Interaksi kinematik

Saat pondasi bangunan didukung oleh tiang pancang, interaksi kinematik menjadi lebih sulit karena tiang pancang memengaruhi perambatan gelombang di bawah pondasi.

c.) Modulus reaksi tanah (k)

$$k = \frac{Q}{\Delta} \quad (45)$$

dimana:

k = modulus reaksi tanah.
 Q = tekanan atau beban.
 Δ = penurunan tanah.

- Tanah berpasir, maka:

$$k = k_{0,3} \left(\frac{B+0,3}{2B} \right)^2 \quad (46)$$

- Tanah Lempung, maka:

$$k = k_{0,3} \left[\frac{0,3}{B} \right] \quad (47)$$

Untuk menentukan nilai kekakuan pegas pada setiap kedalaman tiang dibutuhkan pendekatan, yaitu:

$$k_s = k \cdot \Delta_z \cdot z \quad (48)$$

dimana:

k_s = kekakuan pegas.

K = modulus reaksi tanah dasar.

Δ = jarak antar dua pegas.

3. METODOLOGI

Proyek Pembangunan Gedung *Sunrise* hotel berlokasi di Desa. Sumber kolak, Kec.Panarukan, Kabupaten Situbondo.



Gambar 7. Lokasi Penelitian
 Sumber: Google Earth., 2024



Gambar 8. Ilustrasi Pembangunan Gedung *Sunrise* Hotel Situbondo

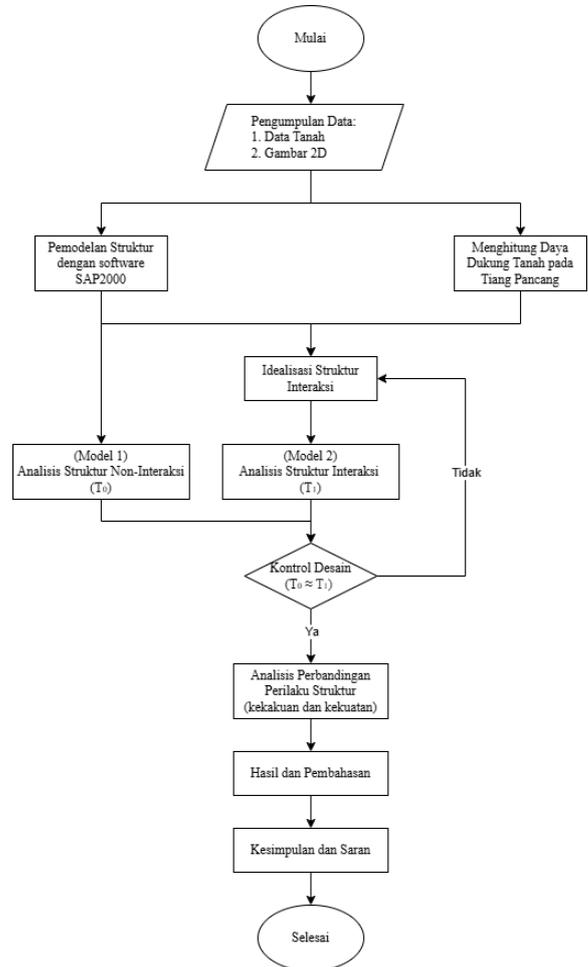
Sumber: Data Penelitian, 2024

Data Umum :

1. Proyek : Hotel, 5 Lantai & *Funtion Hall*, 1 Lantai.
2. Lokasi : Desa. Sumberkolak, Kec.Panarukan, Kabupaten Situbondo.
3. Fungsi Proyek : Gedung Perhotelan.
4. Luas Bangunan : 3307.2 m².
5. Jumlah Lantai : 5 Lantai.

Metode penelitian ini ditunjukkan menggunakan diagram alir pada Gambar 9. Pada model pertama, analisis dilakukan

menggunakan tumpuan jepit sedangkan pada model kedua menggunakan tumpuan *spring*.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian
 Sumber: Data Penelitian, 2024

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Gedung

Gedung *Sunrise* hotel 5 lantai yang berlokasi di Kabupaten Situbondo dengan kondisi tanah sedang akan direncanakan dengan struktur beton, dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Bahan Struktur

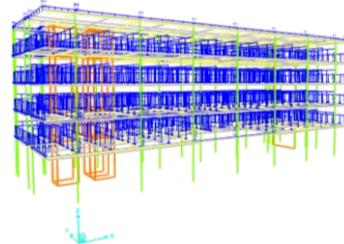
- Beton

- K-500, f'_c = 41,5 MPa (Tiang pancang).
- K-300, f'_c = 25 MPa (*Pile cap*, Sloof, Kolom, Balok, Pelat Lantai, pelat Atap, *Shearwall*).
- K-250, f'_c = 20 MPa (Tangga).

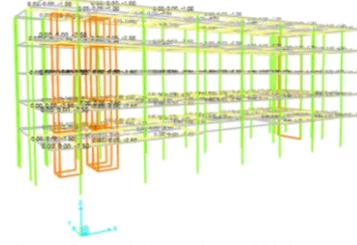
- *Sitemix* 1:2:3 (Kolom praktis dan *Ringbalk*).
- *Poisson ratio* beton = 0,3.
- Berat jenis beton = 2400 kg/m³.
- Baja Tulangan
 - BJTD-32, dengan Ø = 10 mm.
 - BJTD-40, dengan Ø > 12 mm.
 - BJTD-50, wiremesh ulir M6.
 - BJTP-24, dengan Ø < 10 mm.
 - *Poisson ratio* baja = 0,2.
 - Berat jenis baja = 7850 kg/m³.
- 2. Elemen Penampang Struktur
 - Tiang pancang
 - Dimensi = 30 cm x 30 cm.
 - Panjang = 10 m.
 - Kolom
 - K1 = 400 x 750
 - K2 = 400 x 400
 - Balok
 - B1 = 350 x 700
 - B2 = 350 x 600
 - B3 = 250 x 600
 - Pelat
 - Pelat atap = 100 mm.
 - Pelat lantai = 120 mm.
- 3. Pembebanan Struktur
 - Lantai 5 (Atap)
 - Beban Mati :
 Tembok tinggi 1,00 m, sekeliling bangunan
 1 x 25 = 2,5 kN/m².
 - Beban Hidup :
 Beban hidup atap = 1 kN/m²
 - Lantai 2-4
 - Beban Mati :
 Berat sendiri lantai
 0,12 x 24 = 2,88 kN/m²
 Berat keramik (3 cm)
 3 x 0,225 = 0,68 kN/m²
 Berat plafon
 0,11 + 0,07 = 0,18 kN/m²
 Tembok tinggi 3,57 m
 3,57 x 2,5 = 8,75 kN/m²
 Dinding kaca tinggi
 3,57 x 0,1 = 2,5 kN/m²
 - Baban Hidup :
 Beban hidup hotel = 2,5 kN/m²

Berikut ini penyebaran pembebanan tambahan pada masing – masing lantai struktur, yang ditunjukkan oleh Gambar 10

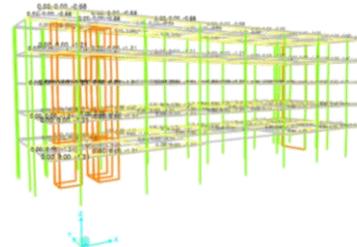
dengan beban mati tambahan struktur (beban tembok 1/2 bata dan dinding kaca), Gambar 11 dengan beban hidup pada plat (beban hidup gedung hotel), dan Gambar 12 dengan beban mati tambahan pada plat (berat sendiri lantai, berat keramik, dan berat plafon).



Gambar 10. Beban Mati Tambahan
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.



Gambar 11. Beban Hidup
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.



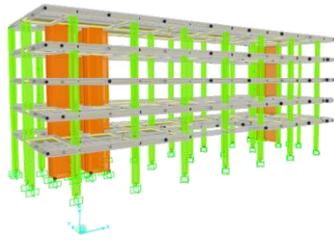
Gambar 12. Beban Mati Tambahan
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

4. Pemodelan Struktur

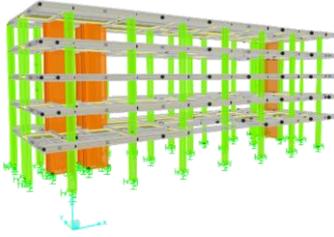
Pemodelan struktur dilakukan menggunakan elemen *frame* and *shell*, di mana elemen balok serta kolom dimodelkan sebagai *frame*, sementara plat lantai direpresentasikan secara memperoleh analisis struktur.

Plat lantai termasuk dalam kategori elemen *shell* karena memiliki kemampuan untuk menahan beban vertikal dan menyalurkan beban horizontal dari gempa.

Pondasi diklasifikasikan sebagai jepit (non-interaksi struktur) dan angin (interaksi struktur). Gambar 13 dan 14 menunjukkan hal ini.



Gambar 13. Tumpuan Jepit
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024



Gambar 14. Tumpuan Spring
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024

5. Peraturan dan Standart Perencanaan

- SNI 03-2847-2019
- SNI 03-1726-2019
- SNI 1727-2013

B. Analisa Desain Seismik

Dalam analisa desain Gedung seismik pada kerangka bangunan didasari dengan peraturan SNI 03-1726-2019.

1. Kategori resiko (Hotel) = II.
2. Faktor keutamaan, I_e = 1.
3. Klasifikasi situs = SD (Tanah sedang).

4. Menentukan nilai S_s dan S_1

$$S_s = 0,579.$$

$$S_1 = 0,237.$$

5. Menghitung nilai F_a

$$S_s = 0,579$$

$$\frac{0,579-0,5}{0,75-0,5} = \frac{(F_a-1,4)}{(1,2-1,4)}$$

$$F_a - 1,4 = \frac{0,079 \times (-0,2)}{0,25}$$

$$F_a - 1,4 = 0,063$$

$$F_a = 1,4 - 0,063$$

$$= 1,337.$$

6. Menghitung nilai F_v

$$S_1 = 0,240$$

$$\frac{0,240-0,2}{0,30-0,5} = \frac{(F_v-2,2)}{(2,2-2,0)}$$

$$F_v - 2,2 = \frac{0,04 \times (-0,2)}{0,10}$$

$$F_v - 2,2 = 0,080$$

$$F_v = 2,2 - 0,080$$

$$= 2,120.$$

7. Menghitung S_{MS}

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$= 1,337 \times 0,579$$

$$= 0,774.$$

8. Menghitung S_{M1}

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$= 2,120 \times 0,240$$

$$= 0,509.$$

9. Menghitung S_{DS}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0,774$$

$$= 0,516.$$

10. Menghitung S_{D1}

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0,509$$

$$= 0,339.$$

11. Menghitung nilai T_s

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= \frac{0,339}{0,516}$$

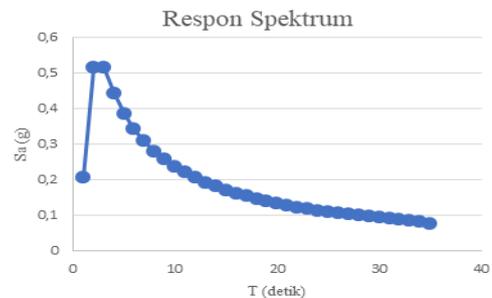
$$= 0,657 \text{ detik.}$$

12. Menghitung T_0

$$T_0 = 0,2 \times T_s$$

$$= 0,2 \times 0,657$$

$$= 0,131 \text{ detik.}$$



Gambar 15. Grafik Nilai Respon

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

13. Kategori desain seismik = D.
- Koefisien modifikasi, R = 8.
- Faktor kuat, Ω_0 = 3.
- Faktor pembesaran, C_d = 5,5.

14. Analisa dinamis getaran bebas

- Menghitung $T_{a \text{ minimum}}$
- $$T_{a \text{ min}} = C_t \times h_n^x$$
- $$= 0,0466 \times 19,28^{0,9}$$
- $$= 0,668 \text{ detik.}$$

- Menghitung $T_{a \text{ maksimum}}$
- $$T_{a \text{ max}} = C_u \times T_{a \text{ maksimum}}$$

$$= 1,4 \times 0,668$$

$$= \mathbf{0,936 \text{ detik.}}$$

15. Gaya geser seismik
 - Menghitung koefisien respon (C_s)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_g}\right)} \leq \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_g}\right)}$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_g}\right)}$$

$$= \frac{0,603}{\frac{8}{1}}$$

$$= \mathbf{0,065.}$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_g}\right)}$$

$$C_{s,maks} = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_g}\right)}$$

$$C_{s,maks} = \frac{0,492}{0,521\left(\frac{8}{1}\right)}$$

$$= \mathbf{0,081.}$$

$$C_{s,maks} = \frac{0,492}{0,741\left(\frac{8}{1}\right)}$$

$$= \mathbf{0,057.}$$

16. Skala gempa
 - Menghitung faktor skala awal

$$SF = \frac{g}{R}$$

$$= \frac{9,81}{\frac{8}{1}}$$

$$= \mathbf{1,226 \text{ m/s}^2}$$

C. Analisa Daya Dukung Tiang

1. Daya dukung pondasi N-SPT

Untuk menentukan daya dukung tanah, diperlukan nilai N-SPT sebagai parameter karakteristik tanah. Tabel 1 menyajikan data N-SPT yang diperoleh dari hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) di lokasi penelitian, yang kemudian digunakan sebagai dasar untuk perhitungan daya dukung pondasi sesuai dengan kondisi tanah yang ada dilapangan.

Tabel 1. Data N-SPT

| Kedalaman (m) | SPT | Jenis tanah |
|---------------|-----|---------------|
| 0 | 0 | Pasir |
| 3 | 8 | Pasir |
| 5 | 26 | Pasir |
| 7 | 44 | Pasir |
| 9 | 11 | Lanau lempung |
| 11 | 38 | Pasir |
| 13 | 33 | Pasir |
| 15 | 34 | Pasir |
| 17 | 50 | Pasir |

| Kedalaman (m) | SPT | Jenis tanah |
|---------------|-----|----------------------|
| 19 | 35 | Pasir |
| 21 | 23 | Tanah liat berlumpur |
| 23 | 37 | Tanah liat berlumpur |
| 25 | 50 | Pasir |
| 27 | 28 | Tanah liat berlumpur |
| 29 | 24 | Tanah liat berlumpur |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

- a.) Daya dukung ujung

- Luas tiang (A_p) = $b \times h$
 = $0,3 \times 0,3$
 = $\mathbf{0,090 \text{ m}^2.}$

- Keliling tiang (K_p) = $s \times s \times s \times s$
 = $0,3 \times 0,3 \times 0,3 \times 0,3$
 = $\mathbf{0,0081 \text{ m.}}$

- b.) Daya dukung ujung tiang

- $Q_p = 40 \times N_r \times A_p$

dimana:

$$N_r = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

N_r = Nilai SPT 8D keatas dan 4D kebawah

$$N_1 = \frac{44 + 11}{2}$$

$$= \mathbf{27,5.}$$

$$N_2 = \frac{38 + 33}{2}$$

$$= \mathbf{35,5.}$$

$$N_r = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

$$= \frac{27,5 + 35,5}{2}$$

$$= \mathbf{35,5.}$$

$$Q_p = 40 \times N_r \times A_p$$

$$= 40 \times 31,5 \times 0,090$$

$$= \mathbf{113,40 \text{ ton.}}$$

- $Q_s = 0,2 \times N_k \times K_p \times L$

dimana:

$$N_k = 25,4$$

$$Q_s = 0,2 \times N_k \times K_p \times L$$

$$= 0,2 \times 25,4 \times 0,0081 \times 10$$

$$= \mathbf{0,411 \text{ ton.}}$$

- c.) Daya dukung ultimate

- $Q_u = Q_p + Q_s$
 = $113,4 + 0,411$
 = $\mathbf{113,811 \text{ ton.}}$

- $Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$
 = $\frac{113,811}{3}$
 = $\mathbf{37,937 \text{ ton.}}$

2. Penurunan

- a.) Modulus elastisitas

$$E_p = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \sqrt{41,5}$$

$$= \mathbf{30277,6 \text{ MPa}}$$

b.) Modulus elastisitas tanah

$$E_s = 6 (N + 5)$$

$$= 6 (25,4 + 5)$$

$$= \mathbf{182,4 \text{ kg/cm}^2}$$

c.) Menentukan S_1

$$S_1 = \frac{(Q_p + \zeta \times Q_s) \times L}{A_p \times E_p}$$

$$= \frac{113,4 + 0,5 \times 0,411 \times 10}{0,090 \times 3027763,2}$$

$$= \mathbf{00042 \text{ m.}}$$

d.) Menentukan S_2

$$S_2 = \frac{Q_p + c_p}{D \times q_p}$$

dimana :

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p}$$

$$= \frac{113,4}{0,090}$$

$$= \mathbf{1260 \text{ t/m}^2}.$$

$$S_2 = \frac{Q_p + c_p}{D \times q_p}$$

$$= \frac{113,4 \times 0,04}{0,3 \times 1260}$$

$$= \mathbf{0,012 \text{ m.}}$$

e.) Menentukan S_3

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{10}{0,3}}$$

$$= \mathbf{4,021}.$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_s}{K_p \times L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu'_s) I_{ws}$$

$$= \mathbf{0,0028 \text{ m.}}$$

f.) Menghitung S_{total}

$$S_{total} = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,004 + 0,012 + 0,003$$

$$= \mathbf{0,019 \text{ m} \approx 0,19 \text{ cm.}}$$

Cek kontrol

$$S_{ijin} = 10\% D$$

$$= 10\% \times 30$$

$$= \mathbf{3 \text{ cm.}}$$

$$S_{total} < S_{ijin}$$

$$\mathbf{0,19 \text{ cm} < 3 \text{ cm} \quad \text{OKEY}}$$

D. Analisa Struktur Tumpuan Spring

1. Defleksi

$$y = \frac{PT^3}{EI} A_x \times \frac{MT^3}{EI} B_x$$

dimana:

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{n_h}}$$

$$= \sqrt[5]{\frac{30277632,01 \times 0,00068}{7000}}$$

$$= \mathbf{1,239 \text{ m.}}$$

Cek

$$L \geq 5T = 6,19 \text{ m.}$$

$$L \leq 2T = 2,48 \text{ m.}$$

Termasuk **tiang panjang**

$$y = \frac{PT^3}{EI} A_x \times \frac{MT^3}{EI} B_x$$

$$= \frac{686,312 \times 1,24^3}{30277632,01 \times 0,00068} \times 2,4 + \frac{0 \times 1,24^2}{30277632 \times 0,000675} \times 1,623$$

$$= \mathbf{0,156 \text{ m} \rightarrow 15,55 \text{ cm}}$$

2. Konstanta pegas

a.) Konstanta pegas vertikal

$$K_v = a \frac{A_p \times E_p}{1}$$

dimana :

$$\frac{L}{D} \geq 10$$

$$\frac{10}{0,3} \geq 10$$

$$\mathbf{33,33 \geq 10 \rightarrow \text{Memenuhi}}$$

$$a = 0,041 \times \frac{L}{D} - 0,27$$

$$= 0,041 \times \frac{10}{0,3} - 0,27$$

$$= \mathbf{1,097}.$$

$$K_v = a \frac{A_p \times E_p}{1}$$

$$= 1,0967 \times \frac{0,090 \times 30277632}{10}$$

$$= \mathbf{298840 \text{ kN/m.}}$$

b.) Konstanta pegas horizontal

- Modulus deformasi tanah

$$E_0 = 28 N$$

$$= 28 \times 25,4$$

$$= \mathbf{711,2}.$$

- Harga k pergeseran permukaan

$$k_0 = 0,2 \times E_0 \times D^{-\frac{8}{4}}$$

$$= 0,2 \times 711 \times 30^{-\frac{3}{4}}$$

$$= 11,096 \text{ kg/m}^3.$$

- Koefisien k arah mendatar

$$k = k_0 \times y^{-\frac{1}{2}}$$

$$= 11,096 \times 15,6^{-\frac{1}{2}}$$

$$= 2,814 \text{ kN/m}^3.$$

- Konstanta pegas Kh ($K_x = K_y$)

$$k_x = k_y = k \times D \times (L_2 - L_1)$$

$$= 2,81 \times 30 \times (10 - 9,0) \times 100$$

$$= 8441,242 \text{ kg/cm.}$$

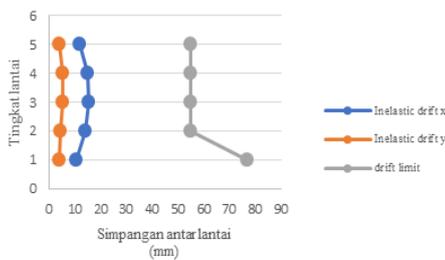
$$\approx 8441,24 \text{ kN/m.}$$

Sehingga, *spring* ditebarkan sepanjang 1 m dengan kedalaman tiang pancang 10 m yang disesuaikan dengan jumlah kelompok tiang, yaitu:

- 1 tiang = **84412,42 kN/m.**
- 2 tiang = **168824,8 kN/m.**
- 3 tiang = **253237,2 kN/m.**
- 4 tiang = **337649,7 kN/m.**
- 5 tiang = **422062,1 kN/m.**
- 7 tiang = **590886,9 kN/m.**

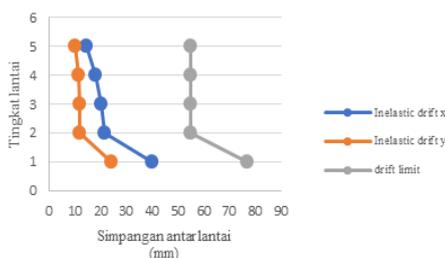
E. Hasil Analisa Tumpuan Jepit dan *Spring*

Kontrol desain dilakukan dengan cara pengecekan terhadap batas simpangan antar lantai serta kestabilan akibat efek P-Delta sesuai dengan SNI 1726-2019.



Gambar 16. Grafik Simpangan pada Tumpuan Jepit

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

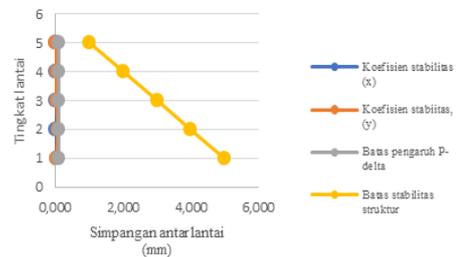


Gambar 17. Grafik Simpangan pada Tumpuan *Spring*

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

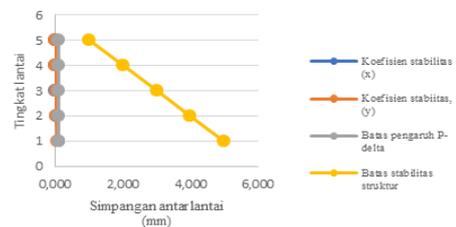
Berdasarkan grafik pada Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan bahwa nilai simpangan antara tumpuan jepit dan tumpuan *spring*, dimana hasil tumpuan jepit memiliki kekakuan yang lebih tinggi sehingga menahan lebih banyak momen dan gaya. Sementara itu, tumpuan *spring* lebih fleksibel, memungkinkan distribusi gaya yang lebih merata.

Selanjutnya adalah pengecekan terhadap kestabilan Gedung atau efek dari P-Delta dari tumpuan jepit dan *spring*.



Gambar 18. Grafik Distribusi Kestabilan pada Tumpuan Jepit

Sumber: Hasil Penelitian, 2024



Gambar 18. Grafik Distribusi Kestabilan pada Tumpuan *Spring*

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan dari hasil analisis pada tumpuan jepit dan *spring* diatas dapat dilihat jika $\Theta < 0,091$ maka tidak disyaratkan untuk memperhitungkan pengaruh dari P-delta karena dari hasil analisa tumpuan jepit dan *spring* nilai $\Theta < \Theta_{max}$ maka Gedung masih dalam keadaan stabil dan aman.

Tumpuan jepit dengan kekakuan yang sangat tinggi, cenderung menahan lebih banyak momen dan gaya dibandingkan dengan tumpuan *spring* yang lebih fleksibel. Hal ini mempengaruhi distribusi gaya dalam struktur pada efisiensi desain, terutama pada struktur yang menerima beban.

Penggunaan tumpuan *spring* meningkatkan kenyamanan struktur tetapi memerlukan pertimbangan kekakuan. Kombinasi kedua tumpuan memberikan keseimbangan optimal antara kekakuan dan fleksibilitas.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sebagai hasil dari analisis dan diskusi, kesimpulan berikut dibuat:

1. Desain seismik gedung termasuk kategori D dengan nilai parameter S_{DS} : 0,774 dan S_{D1} : 0,509. Daya dukung ujung tiang sebesar 113,40 ton dengan panjang tiang 10 m, serta berat jenis tanah 1,73 ton/m³.
2. Analisis getaran bebas menunjukkan periode fundamental untuk tranlasi arah T_x : 0,741 detik, T_y : 0,521 detik, dan T_z : 0,874 detik pada tumpuan jepit, sedangkan pada tumpuan *spring* nilai T_x : 1,365 detik, T_y : 1,268 detik, dan T_z : 0,874 detik menunjukkan adanya pengaruh fleksibilitas tumpuan.
3. Kedua jenis tumpuan dapat memberikan hasil yang optimal dalam mendesain struktur dengan metode interaksi struktur-tanah dan juga meningkatkan kestabilan, serta keamanan bangunan terhadap gempa.

B. Saran

Adapun saran dari tugas akhir ini, yaitu:

1. Untuk peninjauan lebih lanjut, klasifikasi tanah dimodelkan sesuai dengan lapisan tanah untuk hasil yang lebih akurat.
2. Untuk peninjauan lebih lanjut tiang pancang diikuti sertakan dalam pemodelan struktur.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, S. 2021. Soil-Structure Interaction for Building Structures. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, Civil And Environmental Engineering Reports* 9 (8): 2248–2253.
- Agus & Salim. 2018. *Kriteria Dasar Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa. Jurnal Teknik Sipil*, 11 (1): 787-2466.
- Alihudien & Ilanka. 2022. *Perilaku Pondasi Tiang Pancang Tunggal Akibat Beban Gempa Pada Lokasi Sekitar Pendaratan Ikan Puger Jember. Rekayasa Sipil*, 16 (1): 1978-5658.
- Alihudien & Priyono, P. 2025. *Studi Batasan Periode Getar Struktur Akibat Beban Gempa Terhadap Nilai Gaya Geser Dasar Seismik. Jurnal Smart Teknologi*, 6 (2): 2774-1702.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 1727-2013 - Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847-2019 - Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (b). 2019. *SNI 1726:2019 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Candra & Yusuf. 2018. *Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pada Pembangunan Gedung Lp3M Universitas Kadiri. Jurnal CIVILA*, 3 (2): 166.
- Das, B. M. 1993. *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis. Institut Teknologi 10 Nopember*. Surabaya.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. Penerbit Erlangga, Surabaya*.
- Meisari & Yakin. 2017. *Analisis Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang pada Tanah Lempung Cimencrang. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 3 (4): 92–103.
- Mulyadi, Harimurti & Eko. 2021. *Analisis Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Dan Pondasi Rakit Dengan Mempertimbangkan Interaksi Struktur Tanah Pada Proyek Gedung Sarpras Pasmars-1*. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Patrick D. 2012. *NIST GCR 12-917-21 Soil-Structure Interaction for Building Structures*. California.
- Priyono, P. & Ilanka. 2021. *Studi Struktur Pier Berpondasi Tiang Pancang Dengan Peninjauan Metode Interaksi Antara Pondasi Tiang Dan Tanah (Studi Kasus Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya)*.

- Jurnal Smart Teknologi*, 4 (3): 2774-1702.
- Priyono, P. & Alihudien. 2022. *Studi Perencanaan Struktur Pondasi Tiang Pancang Tahan Gempa Pada Gedung Sekolah SDN Kapasari 1 Surabaya. Jurnal Smart Teknologi*, 7 (1): 2774-1702.
- Priyono, P. & Ilanka. 2023. *Studi Review Desain Gedung Bertingkat Tahan Gempa Dengan Memperhatikan Lokasi Jepitan Tiang Yang Panjang (Studi Kasus: Gedung RSUD Kota Probolinggo). Jurnal Smart Teknologi*, 4 (5): 2774-1702.
- Santoso & Hartono. 2020. *Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji Spt Dan Pengujian Dinamis. Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 4 (1), 30.
- Sompie & Rondonuwu. 2018. *Analisis Stabilitas Tanah dengan Model Material Mohr Coulomb dan Soft Soil. Jurnal Sipil Statik*, 6 (10), 783–792.
- Sriandini. 2016. *Analisa Perilaku Tiang Pancang Pada Struktur Perpanjangan Kanal Water Intake Pltgu Grati*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.