

Review Desain Jenis Pondasi Dalam Rumah Susun Pondok Pesantren Miftahul Ulum Kabupaten Lumajang

Review of the Design of Foundation Types in Apartments at Miftahul Ulum Islamic Boarding School, Lumajang Regency

Fausi Rino Mustaqim¹, Pujo Priyono², Arief Alihudien³

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: nostradamus079@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

Pondasi berfungsi menyalurkan beban struktur ke tanah yang mampu menopang bangunan. Proyek rumah susun di Pondok Pesantren Miftahul Ulum, Jatiroto, Lumajang, menghadapi kendala daya dukung tanah rendah dan lokasi berdekatan dengan bangunan yang sudah ada. Penelitian ini merancang ulang sistem pondasi dengan mengganti tiang pancang menjadi tiang bor serta mengevaluasi kapasitas dan penurunan terhadap beban rencana. Analisis dilakukan secara aksial menggunakan metode Meyerhof berdasarkan data SPT. Tiga alternatif dianalisis: (1) diameter 30 cm, kedalaman 18 m (desain awal), (2) diameter 40 cm, kedalaman 18 m, dan (3) diameter 30 cm, kedalaman 26 m. Hasil menunjukkan kapasitas desain awal hanya 36,8 ton, belum memenuhi kebutuhan 50 ton. Alternatif diameter 40 cm menghasilkan 58,1 ton, namun memerlukan pelebaran pile cap sebesar 33%. Alternatif kedalaman 26 m menghasilkan 52 ton, tanpa perubahan dimensi pile cap. Penurunan berada di bawah ambang batas, yakni 178 mm dan 198 mm. Alternatif kedalaman 26 m direkomendasikan karena lebih efisien secara teknis dan ekonomis.

Kata Kunci: Desain, Pondasi, Lumajang, Pesantren, Rusun.

Abstract

The foundation functions to transfer structural loads to soil capable of supporting the building. A low-rise apartment project at Pondok Pesantren Miftahul Ulum, Jatiroto, Lumajang, faces challenges due to low soil bearing capacity and proximity to existing structures. This study redesigns the foundation system by replacing driven piles with bored piles and evaluates the bearing capacity and settlement under the planned load. The analysis was performed axially using the Meyerhof method based on SPT data. Three alternatives were analyzed: (1) 30 cm diameter, 18 m depth (initial design), (2) 40 cm diameter, 18 m depth, and (3) 30 cm diameter, 26 m depth. Results showed the initial design had a bearing capacity of only 36.8 tons, which did not meet the 50-ton requirement. The 40 cm diameter alternative produced 58.1 tons but required a 33% increase in pile cap size. The 26 m depth alternative reached 52 tons without changing pile cap dimensions. Settlement remained within allowable limits, at 178 mm and 198 mm. The 26 m depth alternative is recommended for its technical and economic efficiency.

Keywords: Design, Foundation, Lumajang, Islamic Boarding School, Flats

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pondasi suatu bangunan merupakan elemen terendah yang langsung bersentuhan dengan tanah. Pada struktur bangunan, pondasi memegang peranan penting karena bertugas menyalurkan beban dari bagian atas ke tanah. Guna menjamin kekokohan konstruksi, proses perencanaan dan pelaksanaan pondasi perlu dilakukan secara cermat dan teliti (Hardiyatmo, 2002). Dimensi serta analisis mekanis pondasi harus dipertimbangkan secara menyeluruh. Rancangan setiap pondasi wajib disesuaikan dengan jenis tanah, kekuatan, serta kapasitas dukung lokasi tempat bangunan berdiri (Bowles, 1997). Jika kondisi tanah cukup stabil dan memiliki daya dukung tinggi, maka desain pondasi dapat dibuat lebih sederhana. Sebaliknya, pada tanah berlapis dengan kapasitas dukung rendah, rancangan pondasi menjadi lebih kompleks. Dalam proses perencanaan, aspek penurunan serta kapasitas dukung tanah menjadi faktor yang sangat penting (Das, 2011). Penurunan tersebut mencakup penurunan total (seluruh pondasi turun merata) maupun penurunan diferensial (bagian pondasi mengalami penurunan tidak seragam atau miring), yang keduanya dapat menimbulkan gangguan terhadap kestabilan struktur di atasnya (Tomlinson & Woodward, 2008).

Pada saat pekerjaan pondasi dilaksanakan harus juga memperhatikan akses jalan menuju lokasi pekerjaan guna mempermudah mobilisasi alat, utamanya jika pada bangunan tersebut menggunakan pondasi tiang pancang, maka sangat perlu diperhatikan letak bangunan tersebut terhadap bangunan sekitarnya, guna memastikan bahwa saat penetrasi tiang pancang tidak mengakibatkan kerusakan bangunan sekitarnya. Pemilihan topik redesain pondasi dalam pada pembangunan rumah susun Pondok Pesantren Miftahul Ulum di Kecamatan Jatiroto, Kabupaten Lumajang didasarkan pada pentingnya penyesuaian struktur pondasi terhadap karakteristik tanah setempat yang memiliki karakteristik khusus (Hardiyatmo, 2002). Berdasarkan hasil evaluasi awal, jenis pondasi yang dirancang

sebelumnya dinilai kurang optimal untuk menjamin stabilitas dan keamanan bangunan untuk jangka panjang (Bowles, 1997). Oleh sebab itu, redesain pondasi dalam dipilih sebagai fokus penelitian guna meningkatkan efisiensi struktur, menyesuaikan dengan daya dukung tanah, serta memastikan keberlanjutan dan keamanan hunian santri (Das, 2011). Pemilihan topik ini juga dinilai relevan secara teknis dan praktis karena menyangkut aspek vital dari konstruksi bangunan bertingkat, khususnya di lingkungan pesantren yang terus berkembang. Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Pondok Pesantren Miftahul Ulum Desa Banyuputih Kidul Kecamatan Jatiroto Kabupaten Lumajang, lokasi bangunan berada pada area yang berdekatan dengan bangunan sekitar yang eksisting. penggunaan tiang pancang berpotensi menimbulkan getaran yang dapat merusak struktur di sekitarnya. Sebagai solusi teknis, pondasi borepile dipilih karena dinilai lebih aman terhadap efek rambatan getaran selama proses konstruksi (Tomlinson & Woodward, 2008). Mengacu dari hal tersebut maka kami melakukan redesain pondasi dari pondasi tiang pancang menjadi pondasi bore pile pada penelitian ini. Dengan Judul : “ studi redesain jenis pondasi dalam pada pembangunan rumah susun pondok pesantren Miftahul Ulum Kecamatan Jatiroto Kabupaten Lumajang

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil review pondasi borepile eksisting ?
2. Bagaimana hasil redesain dimensi pondasi borepile yang memenuhi kriteria daya dukung dan penurunannya ?

C. Batasan Masalah

Penelitian dibatasi pada hal – hal berikut:

1. Struktur gedung adalah Struktur Gedung Rumah Susun Pondok Pesantren Miftahul Ulum Kecamatan Jatiroto Kabupaten Lumajang.
2. Tidak membahas optimasi disegi biaya:

D. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini berdasarkan rumusan masalah adalah:

1. Mendapatkan tipe pondasi borepile yang sehingga bisa memenuhi kriteria daya dukung dan penurunannya.
2. Mendapatkan tipe ukuran pilecap setelah review desain.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum

1. Tanah Sebagai Dasar Pondasi

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting untuk lokasi di mana konstruksi dilakukan. Tanah berfungsi sebagai dasar yang menopang sebuah struktur, atau sebagai materi bangunan seperti bendungan atau tanggul, atau kadang-kadang menjadi faktor eksternal yang memengaruhi bangunan, seperti dinding penahan tanah. Oleh karena itu, tanah selalu memiliki peran dalam setiap proyek konstruksi. Dalam merencanakan atau melaksanakan pembangunan, sangat penting untuk memahami secara mendalam fungsi dan karakteristik tanah ketika diberi beban.

Tanah dalam keadaan alami terdiri dari gabungan butiran mineral yang mungkin memiliki atau tidak memiliki bahan organik. Butiran ini dapat dipisahkan dengan mudah satu sama lain menggunakan aliran air. Bahan ini berasal dari proses pelapukan batuan, baik melalui cara fisik maupun kimia. Karakteristik teknis tanah, dipengaruhi tidak hanya oleh jenis batuan induk yang menjadi sumbernya, tetapi juga oleh faktor-faktor eksternal yang berkontribusi pada pelapukan batuan itu. Dalam dunia Teknik Sipil, istilah seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung digunakan untuk mengklasifikasikan berbagai jenis tanah. Dalam kondisi alami, tanah dapat terdiri dari kombinasi dua tipe tanah atau lebih, dan kadang-kadang mengandung bahan organik. Campuran ini kemudian dijadikan sebagai tambahan pada nama material yang memiliki unsur utama. Sebagai ilustrasi, lempung berlanau merujuk pada tanah lempung yang juga mengandung lanau, dengan lempung sebagai unsur utama dan seterusnya.

Tanah dalam keadaan alaminya, terdiri dari kombinasi partikel-partikel mineral yang dapat memiliki atau tidak memiliki komponen organik. Partikel-partikel ini dapat dipisahkan dengan mudah satu sama lain melalui pencucian dengan air. Bahan-bahan ini berasal dari proses pelapukan batu, baik melalui mekanisme fisik maupun reaksi kimia. Karakteristik teknis tanah, selain dipengaruhi oleh sifat-sifat batuan induk sebagai bahan asal, juga berhubungan dengan elemen-elemen eksternal yang berkontribusi terhadap proses pelapukan batuan tersebut. Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung dipakai dalam bidang Teknik Sipil untuk mengklasifikasikan berbagai tipe tanah. Dalam keadaan alaminya, tanah dapat terdiri dari dua tipe atau lebih yang dicampur, dan kadang-kadang juga mengandung bahan organik. Campuran bahan ini akan digunakan sebagai istilah tambahan dibelakang nama bahan utama. Contohnya, lempung berlanau merupakan tanah lempung yang memiliki kandungan lanau sebagai bahan utama adalah lempung dan seterusnya. Tanah terdiri dari tiga komponen utama, yaitu gas, cairan, dan zat padat. Gas dianggap tidak memiliki efek yang berarti secara teknis, sementara cairan memiliki dampak besar terhadap sifat teknis tanah. Ruang di antara partikel dapat diisi dengan cairan atau gas, baik seluruhnya maupun sebagian. Saat celah tersebut sepenuhnya dipenuhi oleh cairan, tanah berada dalam kondisi jenuh. Jika ruang tersebut tercampur dengan cairan dan gas, tanah dikatakan dalam keadaan jenuh sebagian. Tanah yang kering merupakan jenis tanah yang sama sekali tidak memiliki kandungan cairan atau memiliki kadar cairan nol.

2. Kekuatan Tanah Sebagai Dasar Pondasi

Keadaan kekuatan tanah sebagai dasar pondasi tergantung pada susunan dan struktur tanah sebagai kulit bumi yang termakan cuaca dan air hujan. Semakin heterogen struktur tanah tersebut, semakin sulitlah perencanaan pondasi. Kekuatan tanah dapat diselidiki dengan berbagai cara, antara lain:

- a. Jarak dan ketebalan strata bumi, khususnya lapisan yang akan menanggung beban dari fondasi,
- b. Tegangan tanah (s) yang diizinkan,
- c. Keadaan hidrologis (sifat – sifat dari lapisan tanah).

Harus dicatat bahwa selain dari kekuatan atau kelemahan, stabilitas fondasi tanah juga dipengaruhi oleh:

- a.) Pemadatan dan penurunan tanah akibat vibrasi lalu lintas, peralatan berat perindustrian dan sebagainya,
- b.) Penurunan tanah yang disebabkan oleh perubahan pada pola hidrologis (seperti turunnya level air tanah atau kelembaban tanah) atau akibat erosi di pinggiran sungai dan lain sebagainya,
- c.) Longsor atau pergeseran tanah disebabkan oleh beban berat, terendam karena banjir atau air laut naik.

Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan gedung yang tidak bisa dihindari. Rancangan pondasi yang efektif dapat mencegah terjadinya penurunan. Namun, jika penurunan terjadi, hal tersebut masih bisa diterima dalam batas yang wajar. Pondasi suatu bangunan yang dapat memastikan kestabilan terhadap beban yang ada (berat bangunan itu sendiri, beban tambahan, retakan serta getaran geologis minor, selain tekanan dari angin, gempa, dan lain-lain) perlu diperhitungkan dengan cermat. Dengan pemahaman tentang prinsip-prinsip struktur, maka pondasi berfungsi sebagai komponen dari bangunan yang memiliki ketahanan paling lama sebagai dasar dari keseluruhan struktur

3. Karakteristik Tanah

Pada fondasi perlu informasi - informasi mengenai sifat tanah yang mendasari struktur itu dan beban yang beroperasi di atas fondasi yang direncanakan. Sifat tanah mencakup tipe lapisan tanah yang terletak di bawah permukaan, kandungan air, level muka air tanah, dan sebagainya. Beban yang dikenakan pada struktur tergantung pada jenis bahan yang digunakan, jumlah lantai bangunan, tipe-tipe beban yang berpengaruh pada struktur tersebut, dan lain-lain.

Hasil penyelidikan tanah yang dilaporkan oleh *Soil Engineer* antara lain :

- a.) Kondisi tanah dasar yang menjelaskan jenis lapisan tanah pada beberapa lapisan kedalaman.
- b.) Analisis daya dukung tanah.
- c.) Besar nilai SPT (*Strandar Penetration Test*) dari beberapa titik bor.
- d.) Besar tahanan ujung konus dan jumlah hambatan pelekat dari beberapa titik sondir.
- e.) Hasil tes laboratorium tanah untuk mengetahui berat jenis tanah dan lain lain.
- f.) Analisis daya dukung tiang pondasi berdasarkan data - data tanah (apabila menggunakan pondasi tiang).

4. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah di area proyek dilakukan dengan tujuan untuk memahami keadaan tanah serta tipe lapisan yang ada, sehingga struktur bangunan nantinya dapat berdiri dengan aman tanpa mengalami penurunan yang berlebihan. Oleh karena itu, pondasi bangunan harus menembus ke lapisan tanah yang memiliki kepadatan yang memadai. Untuk menentukan posisi atau kedalaman dari lapisan tanah yang padat, serta untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah dan daya dukung pondasi yang diperbolehkan, maka penting untuk melaksanakan penyelidikan tanah. Penyelidikan ini harus mencakup pengujian secara langsung di lokasi yang direncanakan untuk pembangunan dan juga analisis di laboratorium

B. Struktur Bawah (Pondasi)

Struktur bawah merujuk pada komponen yang seluruh elemennya terletak di dalam tanah atau di bawah permukaan tanah. Elemen-elemen dalam struktur bawah suatu bangunan mencakup pile cap dan pondasi; namun, elemen yang paling umum dikenal adalah pondasi karena fungsinya yang lebih signifikan dalam memikul beban dari bangunan di atasnya. Semua jenis muatan (beban) yang berasal dari bangunan, termasuk beban yang diterima oleh struktur dan bobot pondasi itu sendiri, harus diteruskan atau dialihkan oleh pondasi ke lapisan tanah dasar dengan sangat efisien.

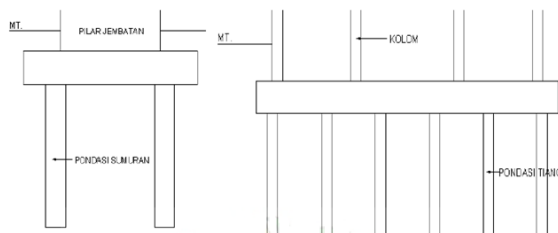
1. Pondasi Dalam

Pondasi dalam merupakan jenis pondasi yang menyalurkan beban konstruksi ke tanah

yang keras atau batu yang berlokasi jauh di bawah permukaan

2. Pondasi tiang (pile foundation)

Pondasi tiang diterapkan ketika tanah pada kedalaman standar tidak cukup kuat untuk menahan beban yang ada, dan lapisan yang kokoh terletak pada kedalaman yang jauh lebih dalam. Biasanya, pondasi tiang memiliki diameter yang lebih kecil dan panjang yang lebih besar jika dibandingkan dengan pondasi sumuran (Bowles, 1991), seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



(a) (b)

Gambar 1. (a) Pondasi Sumuran, (b) Pondasi tiang (pile)

(Sumber : (H. C. Hardiyatmo, 2002)

3. Fungsi Pondasi Dalam

Pondasi pada sebuah struktur konstruksi memiliki fungsi vital karena berperan sebagai penopang atau penahan beban dari bangunan yang berada di atasnya agar bisa diteruskan ke tanah di bawahnya. Agar bangunan menjadi solid dan kuat, perencanaan pondasi harus dilakukan dengan cermat.

Perencanaan untuk memilih fondasi dalam suatu struktur ditentukan oleh tipe tanah, kekuatan, serta kemampuan tanah dalam mendukung beban bangunan itu sendiri. Pada tanah yang memiliki kemampuan dukung yang baik, fondasinya perlu menggunakan desain yang lebih sederhana. Namun, jika tanah tersebut tidak stabil dan memiliki kemampuan dukung yang rendah, maka proses pemilihan fondasinya harus dilakukan dengan lebih cermat. Fondasi dari suatu bangunan mesti mampu menahan beban yang ada:

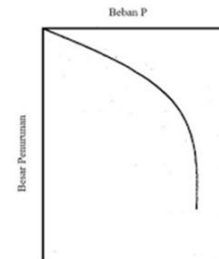
- Beban horizontal/beban geser, seperti beban akibat gaya tekan tanah
- Beban mati/dead load, atau berat sendiri bangunan
- Beban hidup/live load, atau beban sesuai fungsi bangunan.

- Beban gempa
- Beban angin
- Gaya angkat air
- Momen dan torsi

C. Daya Dukung Tanah

1. Umum

Daya dukung tanah dapat diartikan sebagai kemampuan tertinggi tanah untuk menahan beban dengan baik tanpa mengakibatkan terjadinya keruntuhan. Di sisi lain, keruntuhan pada tanah merujuk pada penurunan yang berlebihan atau ketidakmampuan tanah dalam menahan gaya geser serta mentransfer beban melalui tanah. (Bowles, 1992).



Gambar 2. Daya Dukung Batas dari Tanah Pondasi

(Sumber : Bowles, 1992)

2. Daya Dukung Pondasi Dalam

- Daya dukung tiang yang berdasarkan daya dukung kombinasi end bearing dan friksi data tanah N-SPT oleh Menurut Meyerhoff (1976):

$$P_{ult} = 2\pi \sum \Delta L \tau + A_p q_p \quad (1)$$

- Daya dukung kombinasi end bearing dan friksi)

Dimana:

$$\tau = 2\bar{N}$$

$$q_p = 40\bar{N}_b \frac{L}{D} \leq 400\bar{N}_b \quad (2)$$

$$\text{Dengan, } \bar{N}_b = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (3)$$

Dimana:

N1 = jumlah nilai N sepanjang 10D diatas ujung tiang

N2 = jumlah nilai N sepanjang 4D dibawah ujung tiang

$\bar{N}$ = nilai rata-rata tahanan gesek N-SPT

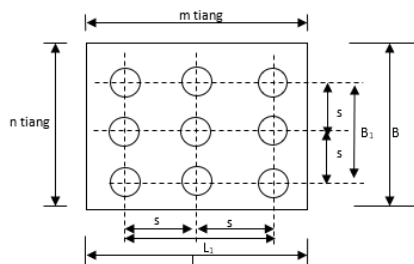
D. Pondasi Tiang Bor

1. Jarak Tiang

Penentuan jarak antar tiang pada pondasi tiang bor merupakan aspek penting dalam

perencanaan struktur, karena berpengaruh terhadap kestabilan dan potensi interaksi antar tiang (group effect). Jarak antar sumbu tiang umumnya direkomendasikan antara 2,5D hingga 3D, dengan D sebagai diameter tiang.

2. Efisiensi kelompok tiang



Gambar 3. Efisiensi Tiang

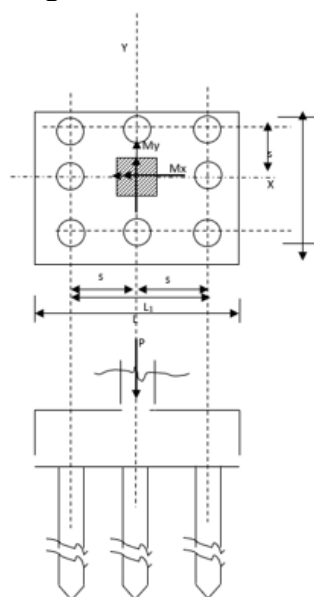
Sumber: Perusahaan PT. Adhi Utama Konsulindo, 2024

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

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.
- x, y = jarak tiang
- n = jumlah tiang.

3. Reaksi tiang



Gambar 4. Denah Pile Cap

Sumber: Perusahaan PT. Adhi Utama Konsulindo, 2024

$$P = \frac{W}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \quad (5)$$

dimana:

W = berat total yang dipikul tiang (34,38 kN)

n = jumlah tiang

M_y = Momen terhadap sumbu Y

M_x = Momen terhadap sumbu X

X = jarak tiang terhadap sumbu Y

Y = jarak tiang terhadap sumbu X

4. Perencanaan pilecap

a.) Jenis-jenis kegagalan struktur pada pilecap

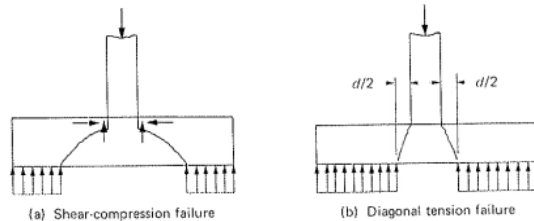
Prosedur yang digunakan untuk desain telapak/pile cap di Amerika Serikat utama didasarkan pada karya ilmiah dari Talbot (1907), Richart (1946), dan Moe (1957-1959). Moe (1957) mendefinisikan beberapa tipe keruntuhan yang mungkin terjadi pada plat yang dibebani oleh suatu beban terpusat. Mode keruntuhan ini dikaitkan dengan rasio lebar geser terhadap kedalaman (a/d) yang mempunyai μ_v/ν_d . Mekanisme keruntuhan bisa diutarakan kembali berikut:

Mekanisme keruntuhan pada pondasi:

1. Kegagalan geser tekan (Gambar 2.3(a): Jenis kegagalan dengan rasio kedalaman penampang dan bentang yang pendek (nilai a/d yang rendah) retak miring terjadi, akan tetapi tidak menyebabkan kehancuran pelat pondasi tetapi retak tersebut menyusup ke daerah tekan.
2. Kegagalan lentur, terjadi setelah retak miring akibat “shear compression” terjadi. Kegagalan ini terjadi juga bila nilai rasio a/d yang rendah. Bila penulangan baja dipasang dengan memadai, dan sehingga tidak terjadi keruntuhan pada area tekan, maka tulangan baja tarik akan mencapai leleh.
3. Kegagalan tarikan secara diagonal (Gambar 2.3(b), disebut juga “punching shear”. Kegagalan ini terjadi pada suatu rasio a/d yang nilainya moderat. Pelat pondasi akan hancur akibat retak yang membentuk sudut 45° dengan horizontal.

4. Kegagalan lentur sebelum terbentuknya retak miring. Kegagalan ini terjadi bila rasio a/d yang besar.

Dalam desain telapak, hampir sama seperti desain balok, keruntuhan geser tidak terjadi sebelum batang tersebut mencapai kuat lenturnya.



Gambar 5. Mekanisme Keruntuhan Geser

Sumber: Richart (1946), dan Moe (1957-1959).

b.) Kuat geser telapak/*pilecap*

Kuat geser telapak pada dasarnya adalah kuat geser sistem plat dua arah. Enam prinsip variabel dasarnya adalah kuat geser plat tanpa tulangan geser, yakni (a) mutu beton, f'_c ; (b) rasio panjang sisi c dari area beban terhadap tinggi efektif d pelat; (c) hubungan (V/M) antara geser dan momen dekat penampang kritis; (d) bentuk kolom dalam suku rasio sisi panjang terhadap sisi pendek β untuk penampang kolom persegi; (e) kekangan lateral seperti oleh kekakuan balok sepanjang batas dari plat (yang mana untuk telapak umumnya tidak ada kekangan tersebut); (f) laju pembebanan.

- V_c adalah kuat geser dua arah beton (geser pons)

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (6)$$

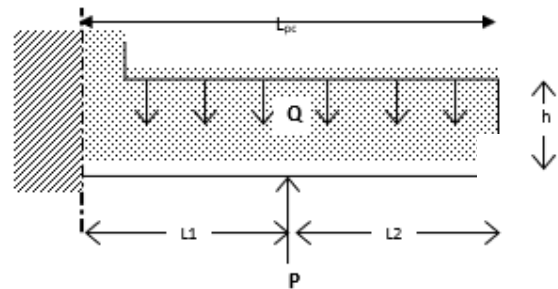
- Dimana β adalah β rasio sisi panjang

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_n} + 2\right) \frac{1}{12} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (7)$$

c.) Tulangan lentur

Untuk perhitungan tulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom.

Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar Q .



Gambar 6. Beban Kerja

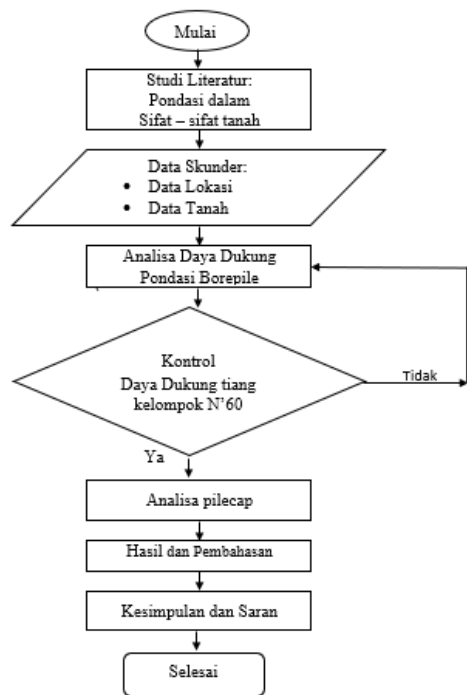
3. METODOLOGI

A. Umum

Menguraikan mengenai mekanisme serta langkah-langkah yang terdapat dalam penelitian yang dilakukan untuk menyusun karya ilmiah ini. Pengumpulan data dari lapangan yang dilakukan berfungsi sebagai gambaran dari kondisi nyata di lapangan yang beragam. Bagian ini akan mengulas tentang tata cara dalam melaksanakan penelitian yang menjadi fokus laporan tugas akhir ini.

Semua langkah ini diambil supaya informasi yang mendukung penelitian mengenai isu ini dapat terorganisir dengan baik dan terstruktur, sehingga tujuan dari penelitian ini dapat diwujudkan. Metode penelitian ini mencakup:

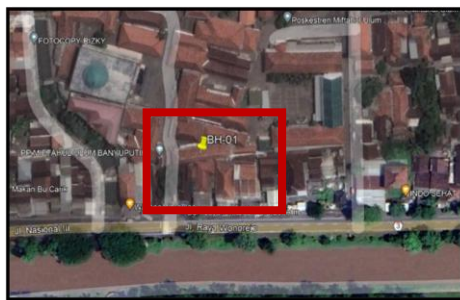
1. Persiapan penelitian yang meliputi studi literatur mengenai topik – topik yang sekiranya berhubungan dengan arah tujuan studi ini.
2. Metode pengumpulan data yang mencakup data lapangan dan data obyek studi.
3. Metode analisa struktur data yang akan digunakan dalam studi.



Gambar 8. Diagram Penelitian
Sumber : Penelitian, 2025

B. Lokasi Studi

Lokasi studi ini berada di area yang direncanakan untuk pembangunan Rumah Susun Mahasiswa Pondok Pesantren Miftahul Ulum. Secara administratif, lokasi ini terletak di Kecamatan Jatiroto, Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Lokasi spesifik dari studi ini ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah, dengan penanda BH-01 sebagai titik koordinat lokasi studi.



Gambar 7. Lokasi Penelitian
Sumber: Google Maps, 2024

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

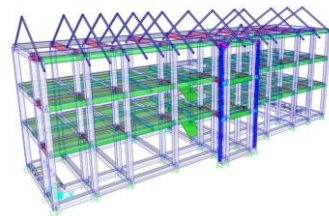
A. Pemodelan Struktur

Struktur utama TIPE REMBUNAI 3 LANTAI ini terdiri dari beberapa ruangan dengan ketinggian struktur sampai puncak atap

12 m. Portal tipe rembunai 3 lantai ini memiliki struktur dengan tipe sistem rangka pemikul momen khusus (*special moment frame*/SMF).

Struktur portal tipe rembunai 3 lantai dimodelkan sebagai suatu model tiga dimensi yang disusun oleh beberapa elemen yaitu elemen garis (untuk balok dan kolom), hal ini dimaksudkan untuk mendekati perilaku asli elemen struktur tersebut yang selain mengalami momen dalam dua arah juga mengalami tarik-tekan dalam 2 arah dalam waktu yang bersamaan.

Model ini disusun dengan metode elemen hingga. Jenis tumpuan untuk pondasi adalah tumpuan jepit



Gambar 8. Pemodelan Struktur

B. Kriteria Perencanaan

Secara garis besar material pokok yang digunakan pada perencanaan TIPE REMBUNAI 3 LANTAI ini, yaitu

Material :

- Mutu beton : K-300
- Kuat tekan beton : 25 MPa
- Mutu baja : 40
- Tegangan leleh baja : 420 MPa
- Modulus elastisitas beton : 23500 MPa
- Berat beton bertulang : 24 kN/m³

Faktor koreksi

- Struktur lentur, balok : $0,35I_g$
- pelat : $0,25I_g$
- Struktur tekan, kolom : $0,7I_g$

dimana :

I_g = momen inersia struktur

C. Beban Rencana

1. Beban Gravitasi

Beban Mati Tambahan

- Beban keramik : 24 kg/m²
- Beban spesi : 84 kg/m²
- Beban ME : 20 kg/m²
- Beban plafon : 18 kg/m²
- Waterproofing : 4 kg/m²

- Penutup lantai	: 100	kg/m ²
- Beban bata ringan	: 75	kg/m ²
- Dinding bata merah	: 200	kg/m ²
- Penebalan beton rooftank	: 480	kg/m ²
- Rangka atap	: 200	kg/m ²
Beban Hidup		
- Koridor pribadi	: 196	kg/m ²
- Koridor publik	: 489	kg/m ²
- Area berkumpul	: 550	kg/m ²
- Area dak atap	: 98	kg/m ²
- Water toren	: 479	kg/m ²

2. Beban Gempa

Ketika terjadi guncangan bumi, kekuatannya berkaitan dengan seberapa sering peristiwa itu muncul. Guncangan bumi yang berpotensi merusak merupakan kejadian yang tidak sering, sementara gempa dengan magnitudo menengah lebih umum, dan guncangan kecil sering kali terjadi

- Kategori resiko = IV.
- Faktor keutamaan, I_e = 1.
- Klasifikasi situs = SD
- S_s = 0,8487.
- S_1 = 0,4005.
- Kategori desain seismik = D.
- Koefisien modifikasi, R = 8.
- Faktor kuat, Ω_0 = 3.
- Faktor pembesaran, C_d = 5,5.

D. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas maka struktur harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan di bawah ini:

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (La atau H)
- 1,2 D + 1,6 (La atau H) + (L atau 0,5 W)
- 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (La atau H)
- $(1,2 + 0,2 \text{ SDS})D + 1,0 L + 1,0 \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
- $(1,2 + 0,2 \text{ SDS})D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x + 1,0 \rho E_y$
- $(0,9 - 0,2 \text{ SDS})D + 1,0 L + 1,0 \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
- $(0,9 - 0,2 \text{ SDS})D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x + 1,0 \rho E_y$

Adapun hasil reaksi yang sudah dilakukan menggunakan bantuan software SAP2000, berikut adalah hasil reaksi yang terjadi, pada Tabel 1. Dan momen pada Tabel 2.

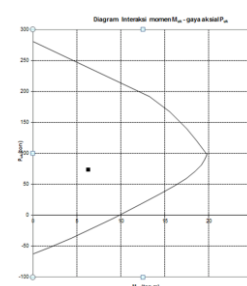
Tabel. 1 Force PC-1

	Komb. 1 (kgf)	Komb.2 (kgf)	Komb.3 (kgf)
F1	-1641,56	-1024,19	987,66
F2	-2770,61	-2693,63	5164,37
F3	46324,51	58938,45	73676,64

Tabel. 2 Moment PC-1

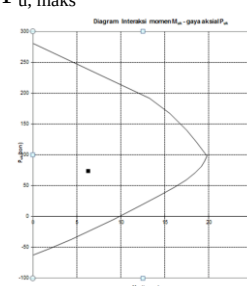
	Komb. 1 (kgf /m)	Komb.2 (kgf /m)	Komb.3 (kgf /m)
M1	-9081,68	-9348,8	6244,39
M2	-2763,07	-2037,47	1989,62

Evaluasi performa kolom K1 dilakukan melalui analisis kurva interaksi momen-lengkung (M_u - P_u) sebagaimana ditampilkan pada Gambar 9–12. Titik-titik berwarna hitam menunjukkan kombinasi beban maksimum aksial (P_u) serta momen lentur dalam dua arah (M_x dan M_y). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh titik kombinasi beban berada di dalam batas kurva interaksi, yang mengindikasikan bahwa elemen struktur tersebut memenuhi kriteria keamanan terhadap kombinasi pembebanan yang dianalisis..



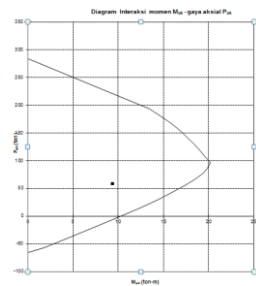
Gambar 9. Kontrol Reaksi
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

Disaat P_u maks



Gambar 10. Kontrol Reaksi
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

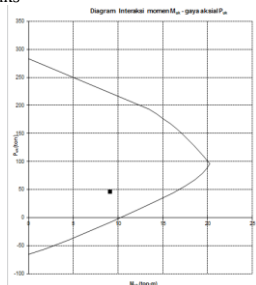
Disaat M_x , maks



Gambar 11. Kontrol Reaksi

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

Disaat M_y , maks



Gambar 12. Kontrol Reaksi

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

Berdasarkan hasil diatas pada gambar grafik, maka dapat disimpulkan analisis struktur dengan pembebanannya, bisa diterima.

E. Daya Dukung Tiang

1. Daya Dukung Aksial Ijin Tiang

Berdasarkan Kekuatan Bahan

- Kuat tekan beton : 25 MPa
- Tegangan ijin : 7,5 MPa
- Diameter tiang : 0,3 m
- Luas penampang : 0,07 m²
- Panjang tiang : 18 m
- Berat tiang : 34,38 kN
- Kapasitas tiang : 530 kN
- P_{ijin} : 496 kN

2. Metode *Mayerhoff*

Tabel 1. Data SPT

Kedalaman (m)	ΔL	SPT	0,2N
0 – 2	2	1	2,0
2 – 4	2	7	14,0
4 – 6	2	4	8,0
4 – 8	2	22	44,0
8 – 10	2	26	52,0
10 – 12	2	17	34,0
12 – 14	2	19	38,0

Kedalaman (m)	ΔL	SPT	0,2N
14 – 16	2	15	30,0
16 – 18	2	21	42,0
18 – 20	2	25	
20 – 22	2	18	
22 – 24	2	30	
24 – 26	2	30	
26 – 28	2	33	
28 – 30	2	51	
30 – 32	2	42	
Total 351			264
			N 14,67

Nilai N rata – rata sepanjang 10D di atas ujung tiang mulai kedalaman 15 – 18.

$$N_1 = 18$$

Nilai N rata – rata sepanjang 4D di atas ujung tiang mulai kedalaman 18 – 19,2.

$$N_2 = 25$$

$$\bar{N} = 21,5$$

$$Q_p = 607,590 \text{ kN}$$

$$Q_{ult} = 1104,91 \text{ kN}$$

$$Q_{ijin} = 368,3 \text{ kN}$$

Nilai faktor (SF = 3)

3. Rekap Daya Dukung

Tabel 2. Uraian Daya Dukung

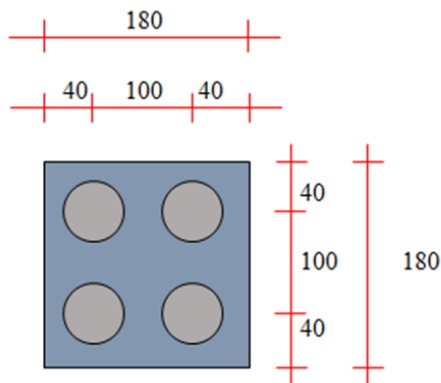
No	Uraian Daya Dukung Aksial Tiang	P (kN)
1.	Berdasarkan kekuatan bahan	496
2.	Pengujian SPT (<i>Mayerhoff</i>)	368,3
Daya Dukung aksial terkecil, P_u		368,3

Memperhatikan hasil analisis diatas, menunjukkan bahwa daya dukung tiang sebesar 36,8 ton yang lebih kecil dari daya dukung ijin yang dipersyaratkan oleh rencana yakni 50 ton, sehingga diperlukan suatu justifikasi memperbesar diameter atau kedalaman kedalaman tiang dan atau kombinasinya

4. Kelompok Tiang

a.) Kondisi 1

- Berat pilecape + 10% = 4,946 ton
- Force = 46,32 ton
- Momen x = 9,08 ton.m
- Momen y = 2,76 ton.m
- Q_{all} , tunggal = 50 ton
- Diameter tiang = 30 cm



Gambar 13. Dimensi *Pilecap*
Efisiensi tiang

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{y} \left[\frac{(n-1)m + (n-1)n}{m \cdot n} \right]$$

dimana:
 $m = 2$ (sumbu x)
 $n = 2$ (sumbu y)
 $\theta = 21,80^\circ$

$$E_g = 1 - \frac{21,80}{90} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2 \cdot 2} \right] = 0,758$$

$$Y_{\max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$X_{\max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$P_{\max} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{\max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{51,27}{4} + \frac{9,08 \times 0,45}{0,810} + \frac{2,76 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 12,88 + 5,045 + 1,535$$

$$= 19,398 \text{ ton}$$

$$P_{\min} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{\max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{51,27}{4} - \frac{9,08 \times 0,45}{0,810} - \frac{2,76 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 12,818 - 5,045 - 1,535$$

$$= 6,237 \text{ ton}$$

Cek control

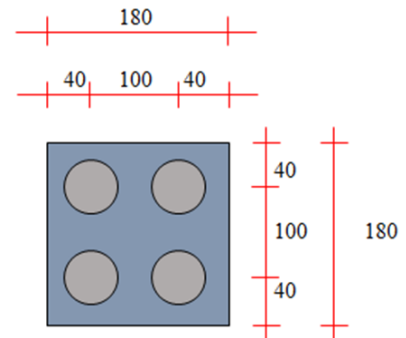
$$P_{\max} < Q_{\text{ef}}$$

$$19,398 < 37,888 \quad \text{OKEY}$$

Rasio yang terjadi = 51%

b.) Kondisi 2

- Berat pilecape + 10% = 4,946 ton
- Force = 58,94 ton
- Momen x = 9,35 ton.m
- Momen y = 2,04 ton.m
- $Q_{\text{all, tunggal}}$ = 50 ton
- Diameter tiang = 30 cm



Gambar 14. Dimensi *Pilecap*
Efisiensi tiang

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{y} \left[\frac{(n-1)m + (n-1)n}{m \cdot n} \right]$$

dimana:
 $m = 2$ (sumbu x)
 $n = 2$ (sumbu y)
 $\theta = 21,80^\circ$

$$E_g = 1 - \frac{21,80}{90} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2 \cdot 2} \right] = 0,758$$

$$Y_{\max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$X_{\max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$P_{\max} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{\max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{63,88}{4} + \frac{9,35 \times 0,45}{0,810} + \frac{2,04 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 15,971 + 5,194 + 1$$

$$= 19,398 \text{ ton}$$

$$P_{\min} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{\max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{63,88}{4} - \frac{9,35 \times 0,45}{0,810} - \frac{2,04 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 15,971 - 5,194 - 1$$

$$= 9,645 \text{ ton}$$

Cek control

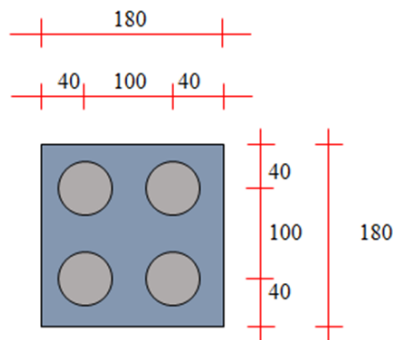
$$P_{\max} < Q_{\text{ef}}$$

$$22,297 < 37,888 \quad \text{OKEY}$$

Rasio yang terjadi = 59%

c.) Kondisi 3

- Berat pilecape + 10% = 4,946 ton
- Force = 73,68 ton
- Momen x = 6,24 ton.m
- Momen y = 1,99 ton.m
- $Q_{\text{all, tunggal}}$ = 50 ton
- Diameter tiang = 30 cm



Gambar 15. Dimensi *Pilecap*
Efisiensi tiang

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{y} \left[\frac{(n-1)m + (n-1)n}{m \cdot n} \right]$$

dimana:

$m = 2$ (sumbu x)

$n = 2$ (sumbu y)

$\theta = 21,80^\circ$

$$E_g = 1 - \frac{21,80}{90} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2 \cdot 2} \right] = 0,758$$

$$Y_{\max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$X_{\max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{\max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2} \\ &= \frac{78,62}{4} + \frac{6,24 \times 0,45}{0,810} + \frac{1,99 \times 0,45}{0,8} \\ &= 19,656 + 3,469 + 1 \\ &= 24,230 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\min} &= \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{\max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2} \\ &= \frac{78,62}{4} - \frac{6,24 \times 0,45}{0,810} - \frac{1,99 \times 0,45}{0,8} \\ &= 19,656 - 3,469 - 1 \\ &= 15,081 \text{ ton} \end{aligned}$$

Cek control

$$P_{\max} < Q_{ef}$$

$$24,230 < 37,888 \quad \text{OKEY}$$

Rasio yang terjadi = 64%

Sehingga tahap review pondasi harus berdasarkan pada hasil rasio yang terjadi, yakni sekitar 64 persen, selain daya dukung tiang tunggal sekitar 50 ton.

5. Justifikasi

1. Pembesaran diameter tiang

Studi thd rencana, $d = 40$, $L = 18 \text{ m}$

Berdasarkan Kekuatan Bahan

- Kuat tekan beton : 25 MPa
- Tegangan ijin : 7,5 MPa
- Diameter tiang : 0,4 m

- Luas penampang : 0,07 m²
- Panjang tiang : 18 m
- Berat tiang : 34,38 kN
- Kapasitas tiang : 942 kN
- P_{ijin} : 908 kN

6. Metode *Mayerhoff*

Tabel 3. Data SPT

Kedalaman (m)	ΔL	SPT	0,2N
0 – 2	2	1	2,0
2 – 4	2	7	14,0
4 – 6	2	4	8,0
4 – 8	2	22	44,0
8 – 10	2	26	52,0
10 – 12	2	17	34,0
12 – 14	2	19	38,0
14 – 16	2	15	30,0
16 – 18	2	21	42,0
18 – 20	2	25	
20 – 22	2	18	
22 – 24	2	30	
24 – 26	2	30	
26 – 28	2	33	
28 – 30	2	51	
30 – 32	2	42	
Total		351	264
		N	14,67

Nilai N rata – rata sepanjang 10D di atas ujung tiang mulai kedalaman 15 – 18.

$$N_1 = 18$$

Nilai N rata – rata sepanjang 4D di atas ujung tiang mulai kedalaman 18 – 19,2.

$$N_2 = 25$$

$$\bar{N} = 21,5$$

$$Q_p = 1080,16 \text{ kN}$$

$$Q_{ult} = 1743,6 \text{ kN}$$

$$Q_{ijin} = 581 \text{ kN}$$

Nilai faktor (SF = 3)

7. Rekap Daya Dukung

Tabel 4. Uraian Daya Dukung

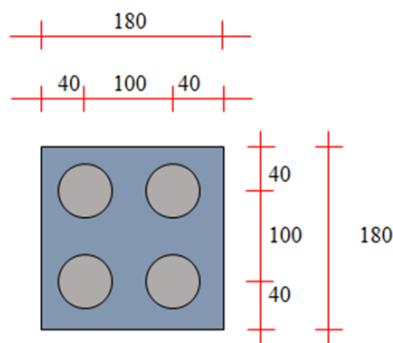
No	Uraian Daya Dukung Aksial Tiang	P (kN)
1.	Berdasarkan kekuatan bahan	908
2.	Pengujian SPT (<i>Mayerhoff</i>)	581
	Daya Dukung aksial terkecil, P_u	581

Memperhatikan hasil analisis diatas, menunjukkan bahwa daya

dukung tiang sebesar = 58,1 ton yang lebih besar dari daya dukung ijin yang dipersyaratkan oleh rencana yakni 50 ton, sehingga diperlukan suatu justifikasi ukuran pile cap, akibat diameter tiang tambah besar, mengingat jarak antar tiang tergantung diameter tiang.

a.) Kondisi 1

- Berat pilecap + 10% = 8,848 ton
- Force = 46,32 ton
- Momen x = 9,08 ton.m
- Momen y = 2,76 ton.m
- $Q_{all, tunggal}$ = 50 ton
- Diameter tiang = 40 cm



Gambar 16. Dimensi *Pilecap* Efisiensi tiang

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{y} \left[\frac{(n-1)m + (n-1)n}{m \cdot n} \right]$$

dimana:

m = 2 (sumbu x)

n = 2 (sumbu y)

$\theta = 21,80^\circ$

$$E_g = 1 - \frac{21,80}{90} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2 \cdot 2} \right] = 0,758$$

$$Y_{max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$X_{max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$P_{max} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{55,17}{4} + \frac{9,08 \times 0,45}{0,810} + \frac{2,76 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 15,79 + 5,045 + 1,535$$

$$= 20,373 \text{ ton}$$

$$P_{min} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{55,17}{4} - \frac{9,08 \times 0,45}{0,810} - \frac{2,76 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 15,79 - 5,045 - 1,535$$

$$= 7,213 \text{ ton}$$

Cek control

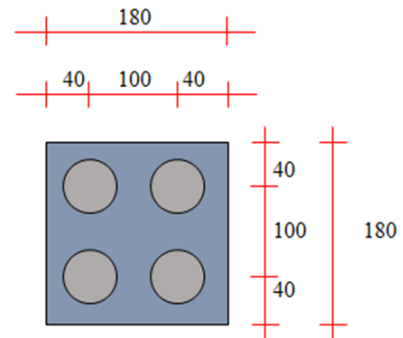
$$P_{max} < Q_{ef}$$

$$20,373 < 43,950 \quad \text{OKEY}$$

Rasio yang terjadi = 46%

d.) Kondisi 2

- Berat pilecap + 10% = 8,848 ton
- Force = 58,94 ton
- Momen x = 9,35 ton.m
- Momen y = 2,04 ton.m
- $Q_{all, tunggal}$ = 50 ton
- Diameter tiang = 40 cm



Gambar 17. Dimensi *Pilecap* Efisiensi tiang

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{y} \left[\frac{(n-1)m + (n-1)n}{m \cdot n} \right]$$

dimana:

m = 2 (sumbu x)

n = 2 (sumbu y)

$\theta = 21,80^\circ$

$$E_g = 1 - \frac{21,80}{90} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2 \cdot 2} \right] = 0,758$$

$$Y_{max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$X_{max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$P_{max} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{67,79}{4} + \frac{9,35 \times 0,45}{0,810} + \frac{2,04 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 16,947 + 5,194 + 1$$

$$= 23,272 \text{ ton}$$

$$P_{min} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y X_{max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{67,79}{4} - \frac{9,35 \times 0,45}{0,810} - \frac{2,04 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 16,947 - 5,194 - 1$$

$$= 10,621 \text{ ton}$$

Cek control

$$P_{max} < Q_{ef}$$

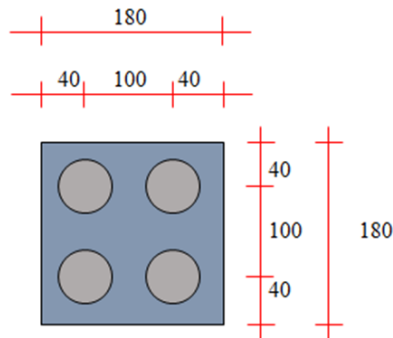
$$23,272 < 43,950 \quad \text{OKEY}$$

Rasio yang terjadi = 59%

e.) Kondisi 3

- Berat pilecap + 10% = 8,848 ton
- Force = 73,68 ton
- Momen x = 6,24 ton.m
- Momen y = 1,99 ton.m

- $Q_{all, tunggal}$ = 50 ton
- Diameter tiang = 40 cm



Gambar 18. Dimensi *Pilecap*
Efisiensi tiang

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{y} \left[\frac{(n-1)m + (n-1)n}{m \cdot n} \right]$$

dimana:

$m = 2$ (sumbu x)

$n = 2$ (sumbu y)

$\theta = 21,80^\circ$

$$E_g = 1 - \frac{21,80}{90} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2 \cdot 2} \right] = 0,758$$

$$Y_{max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$X_{max} = 0,810 \text{ m}^2$$

$$P_{max} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y Y_{max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{82,52}{4} + \frac{6,24 \times 0,45}{0,810} + \frac{1,99 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 20,631 + 3,469 + 1$$

$$= 25,206 \text{ ton}$$

$$P_{min} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y Y_{max}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{82,52}{4} - \frac{6,24 \times 0,45}{0,810} - \frac{1,99 \times 0,45}{0,81}$$

$$= 20,631 - 3,469 - 1$$

$$= 16,057 \text{ ton}$$

Cek control

$$P_{max} < Q_{ef}$$

$$25,206 < 43,950 \quad \text{OKEY}$$

Rasio yang terjadi = 57%

Berdasarkan hasil analisis tersebut diatas, bahwa rasio daya dukung yang terjadi sebesar 57 persen lebih kecil dari rasio daya dukung rencana yakni 64 persen, dalam arti lebih aman, meski ada penambahan ukuran pile cape yang menjadi 214 x 214 dari 160 x 160, meningkat sebesar $(214-160)/160 = 33$ persen.

2. Menambah kedalaman tiang
Berdasarkan Kekuatan Bahan

- Kuat tekan beton : 29 MPa
- Tegangan ijin : 8,7 MPa
- Diameter tiang : 0,3 m
- Luas penampang : 0,07 m²
- Panjang tiang : 26 m
- Berat tiang : 49,66 kN
- Kapasitas tiang : 616 kN
- P_{ijin} : 566 kN

3. Metode *Mayerhoff*

Tabel. 5 Data SPT

Kedalaman (m)	ΔL	SPT	0,2N
0 – 2	2	1	2,0
2 – 4	2	7	14,0
4 – 6	2	4	8,0
4 – 8	2	22	44,0
8 – 10	2	26	52,0
10 – 12	2	17	34,0
12 – 14	2	19	38,0
14 – 16	2	15	30,0
16 – 18	2	21	42,0
18 – 20	2	25	50,0
20 – 22	2	18	36,0
22 – 24	2	30	60,0
24 – 26	2	30	40,0
26 – 28	2	33	66,0
28 – 30	2	51	102,0
30 – 32	2	42	84,0
Total		351	702,0
		N	27,00

Nilai N rata – rata sepanjang 10D di atas ujung tiang mulai kedalaman 23 – 26.

$$N_1 = 25$$

Nilai N rata – rata sepanjang 4D di atas ujung tiang mulai kedalaman 26 – 27,2.

$$N_2 = 33$$

$$\bar{N} = 29$$

$$Q_p = 819,96 \text{ kN}$$

$$Q_{ult} = 1538,31 \text{ kN}$$

$$Q_{ijin} = 512,8 \text{ kN}$$

Nilai faktor (SF = 3)

4. Rekap Daya Dukung

Tabel 6. Uraian Daya Dukung

No	Uraian Daya Dukung Aksial Tiang	P (kN)
1.	Berdasarkan kekuatan bahan	566
2.	Pengujian SPT (<i>Mayerhoff</i>)	512,8

No	Uraian Daya Dukung Aksial Tiang	P (kN)
	Daya Dukung aksial terkecil, P_u	512,8

Memperhatikan hasil analisis di atas, dengan diameter tiang bor tetap sesuai rencana yakni 30 cm, dengan kedalaman tiang ditambah menjadi 26 meter dari 18 meter atau meningkat 44 persen, daya dukung tiang adalah 52 ton hampir setara dengan yang direncanakan yakni 50 ton. Akibat daya dukung tiang mendekati dari rencana, maka ukuran pile cap tidak berubah atau tetap seperti rencana, dan sekaligus rasio daya dukung juga mendekati sama yakni 64 persen.

5. Penurunan Tiang

Data umum :

- $Q_{wp} = 136453,8$ N
- $Q_{ws} = 110104$ N
- $L = 26000$ mm
- $D = 400$ mm
- $A_p = 70650$ mm²
- $E_s = 150$ kg/cm²
- $E_p = 23453$ MPa
- $Q_p = 16,8$ MPa
- $C_p = 0,12$
- $\mu = 0,2$

a.) Menentukan S_1

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

$$= 7,263 \text{ mm}$$

b.) Menentukan S_2

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

$$= 12,560 \text{ mm}$$

c.) Menentukan S_3

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

$$= 1256 \text{ mm}$$

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

$$= 6,680 \text{ mm}$$

d.) Menghitung S_{total}

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

$$= 7,263 + 12,560 + 6,680$$

$$= 26,504 \text{ mm}$$

Cek kontrol

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

$$= 40 \text{ mm}$$

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

$$26,50 < 40$$

OKEY

Penurunan kelompok tiang

$$S_{ge} = 56 \text{ mm}$$

$$S_{ijin} = 75 \text{ mm}$$

$$57 \text{ mm} < 75 \text{ mm} \text{ OKEY}$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi diatas, terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil evaluasi terhadap pondasi borepile eksisting dengan diameter 30 cm dan kedalaman 18 meter menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung yang diperoleh hanya sebesar 36,8 ton, masih berada di bawah kebutuhan rencana sebesar 50 ton. Selain itu, penurunan kelompok pada konfigurasi ini diperkirakan melebihi 198 mm, yang menunjukkan bahwa desain eksisting belum memenuhi persyaratan teknis, baik dalam hal kekuatan maupun deformasi. Dengan demikian, perlu dilakukan modifikasi desain pondasi melalui penyesuaian dimensi tiang.
2. Analisis redesain menghasilkan dua alternatif solusi teknis:
 - a. Alternatif pertama dilakukan dengan meningkatkan diameter tiang menjadi 40 cm, sedangkan kedalamannya tetap 18 meter. Berdasarkan hasil analisis, pendekatan ini menghasilkan peningkatan kapasitas daya dukung yang memadai serta penurunan kelompok yang lebih kecil, yaitu 178 mm. Meskipun demikian, solusi ini membutuhkan perubahan pada ukuran pile cap, dari 160×160 cm menjadi 214×214 cm, atau bertambah sekitar 33%.
 - b. Alternatif kedua tetap mempertahankan diameter 30 cm namun memperdalam tiang menjadi 26 meter, atau meningkat 44% dari desain awal. Hasilnya, daya dukung meningkat menjadi 52 ton, mendekati nilai rencana sebesar 50 ton, dan dimensi pile cap dapat dipertahankan seperti semula. Akan

tetapi, penurunan kelompok tidak mengalami perubahan, yaitu tetap sebesar 198 mm, sehingga dari sisi deformasi tidak memberikan perbaikan, meskipun dari sisi efisiensi struktur atas lebih menguntungkan.

B. Saran

Sebagai opsi alternatif, apabila pembesaran dimensi pile cap tidak dapat dilakukan akibat keterbatasan ruang atau pertimbangan biaya konstruksi, maka penggunaan tiang bor berdiameter 30 cm dengan kedalaman 26 meter tetap merupakan pilihan yang dapat dipertimbangkan. Desain ini masih memenuhi persyaratan daya dukung struktur, meskipun menghasilkan penurunan kelompok yang sedikit lebih besar, yaitu sekitar 198 mm. Oleh sebab itu, alternatif ini layak dipilih apabila efisiensi struktur atas dan pemanfaatan ruang menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Andika, R., & Maulana, H. (2022). *Evaluasi Metode Meyerhof pada Tanah Lempung*. Jurnal Rekayasa Sipil, 18(1), 23-30.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Standar Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta.
- Bela, K. R., et al. (2024). *Hubungan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Hasil Sondir, SPT dan Laboratorium*. Jurnal Teknik Sipil, Institut Teknologi Padang.
- Bowles, J. E. (1991). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design (5th ed.)*. McGraw-Hill.
- Budhu, M. 2011. *Soil Mechanics and Foundations (3rd ed.)*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Das, B. M. 1985. *Principles of Geotechnical Engineering*. Boston: PWS Publishers.
- Das, B. M. 2011. *Principles of Foundation Engineering (7th ed.)*. Stamford: Cengage Learning.
- Das, B. M. (1985). *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS Publishers.
- Depertemen PU, Ditjen Cipta Karya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung.
- Fikar, M. I., et al. (2024). *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, UB.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Dasar-dasar Teknik Pondasi*. Andi.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Pondasi 2*. Beta Offset.
- Hidayat, R., & Kusuma, D. (2020). *Studi Penyelidikan Tanah dan Kapasitas Daya Dukung Pondasi pada Proyek Infrastruktur Jalan Tol*. Jurnal Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin.
- Hutapea, B. M., et al. (2024). *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Proyek Puskesmas Kecamatan Pasar Minggu*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Universitas Darma Agung.
- Kristyanto, H., et al. (2023). *Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Tanah Berdasarkan Data SPT dan CPT*. CivETech, Universitas Cokroaminoto Yogyakarta.
- Koven, W., & Hamdany, A. H. (2024). *Jurnal Teknik Sipil ITB*.
- Mulyanto, E., & Siregar, A. M. (2021). *Studi Daya Dukung Pondasi dan Potensi Penurunan pada Tanah Ekspansif*. Jurnal Infratek.
- Nawy, E. G. (1985). *Reinforced Concrete-A Fundamental Approach*. Prentice-Hall.
- Pradana, I. T., et al. (2024). *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, UB.
- Prakoso, T. Y., Nugroho, H., & Saputra, M. A. (2021). *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Nilai SPT*. Jurnal Teknik Sipil UNNES, 15(2), 110-119.
- Putra, A. M., et al. (2023). *Evaluasi Kapasitas Daya Dukung Pondasi pada Lapisan Tanah Keras Menggunakan Data SPT dan CPT*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- SNI 1727-2013. *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.

- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Tomlinson, M. J., & Woodward, J. 2008. *Pile Design and Construction Practice* (5th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Wahyudi, T., et al. (2022). *Penerapan Metode CPT untuk Penentuan Lapisan Keras dan Perencanaan Pondasi*. Jurnal Geoteknik Indonesia, Institut Teknologi Bandung.
- Wahid, L. H., et al. (2022). *Analisa Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Lempung Menggunakan Perkuatan Cerucuk Bambu*. Jurnal Reaktif, Universitas Hasyim Asy'ari.
- Wicaksono, B., & Sari, A. P. (2023). *Pengaruh N-SPT terhadap Daya Dukung Pondasi*. Jurnal Sipil Indonesia, 21(2), 78-85.